گفتـــاری دربـــاره‌ی آبـــدهـــی قناتهـــــــا

نوشتـــــه‌ی :
دکتر محمد تقی منـــــــزوی
استادیـار دانشکده فنـی دانشگاه تهـــــران

چکیـــــده

ساختن کاریز یا قنات هنر بومی و ملی ایرانیان برای بهره برداری از آبهای زیر زمینی است که اکنون کمتر از گذشتـــه از آن استفاده می‌شود : احیای این روش سنتی آبرسانی تنها با افزایش بازده آن از نظر اقتصادی ممکن است .افزایش بازده اقتصادی کاربرد قنات از دو راه باید مورد مطالعه گیرد ، نخست افزایش آبدهی قنات و دوم مکانیزه کردن روش کندن آن . در این مقاله تنها راه نخست مورد گفتگو قرار گرفته و بررسی راه دوم خود موضوع گسترده دیگری است که در این مقاله نمی‌گنجد و به آینده موکول می‌گردد .با فرض اینکه خواننده به قوانین هیدرولیکی جریان آبهای زیر زمینی و نگره یا تئوری شبکه های جریان آشنائی دارد ، قدرت زهکشی قنات در سفره های آب زیر زمینی از یکسو ، و چگونگی هدررفتن آب در قسمتهای خشک قنات از سوی دیگر مورد توجه قرارگرفته است . پیشنهادهائی برای افزایش آبدهی قنات و روشهائی برای‌کاهش تلفات آب در مسیر آن داده شده است . البته مسئله به این مقاله ختم نشده و امید است که بررسیهای گسترده تری در زمینه ی افزایش بازده اقتصادی کاربرد قنات در ایران توسط صاحب نظران و اهل‌فن‌دنبال شود .

۱ــ پیشگفتـــــار

درین گفتار کوشش می‌شود که آنچه را که استادکاران و مهندسین ایرانی از هزاران سال پیش تاکنون ، با استفاده از تجربه و علم ، در ساختن قنات بکارمی‌گرفته اندبا قوانین هیدرولیکی مدرن امروزی تطابق داده شود تا شاید با کمـک این قوانین بتوان راهی برای تکامل این هنر ایرانی یافته و نقاط ضعف ایجاد قنات را که بیشتر در جنبه های اقتصادی آن نهفته است ، برطرف کرد .

۲ــ تاریخچه ی قنات سازی

قنات سازی فنی است ایرانی . نخستین قناتها در ایران زمین بوجود آمده اند . قدیمی ترین آثار قنات دردنیا درشمال ایران کشف شده که ساختمان‌آن را مربوط به ۳۰۰۰ سال پیش یعنی همزمان باورود آریائی ها به این سرزمیـن نسبت می‌دهند .در دوران‌هخامنشیان وساسانیان‌سازمانهای وسیعی مامور اداره و نگهداری شبکه ی قناتهای ایران ، که طول‌آن به حدود ۲۸۰۰۰۰ کیلومترمی‌رسیده است ،بوده‌اند . علائم و نوشته های بسیاری در دست است که چگونگـــی گسترش این روش آبرسانی را به خاور نزدیک ، شمال‌آفریقا و حتی به آمریکای لاتین نشان می‌دهد . [۲۹]

صاحبنظران ، مشکلات فنی برای قنات سازی رادر آن زمان بیشتر از مشکلاتی می‌دانند که در ساختمان اهرام سه گانه ی مصر وجود داشته اند . [۷]

چون در مورد تاریخچه‌ی قنات سازی و اهمیت آن

درگذشته و امروز ایران نوشته های بسیاری وجود دارد لذا از خواننده ی گرامی تقاضا می‌شود در صورت تمایل به اطلاع بیشتر در این زمینه، به کتابنامه ی این مقاله مراجعه نماید .

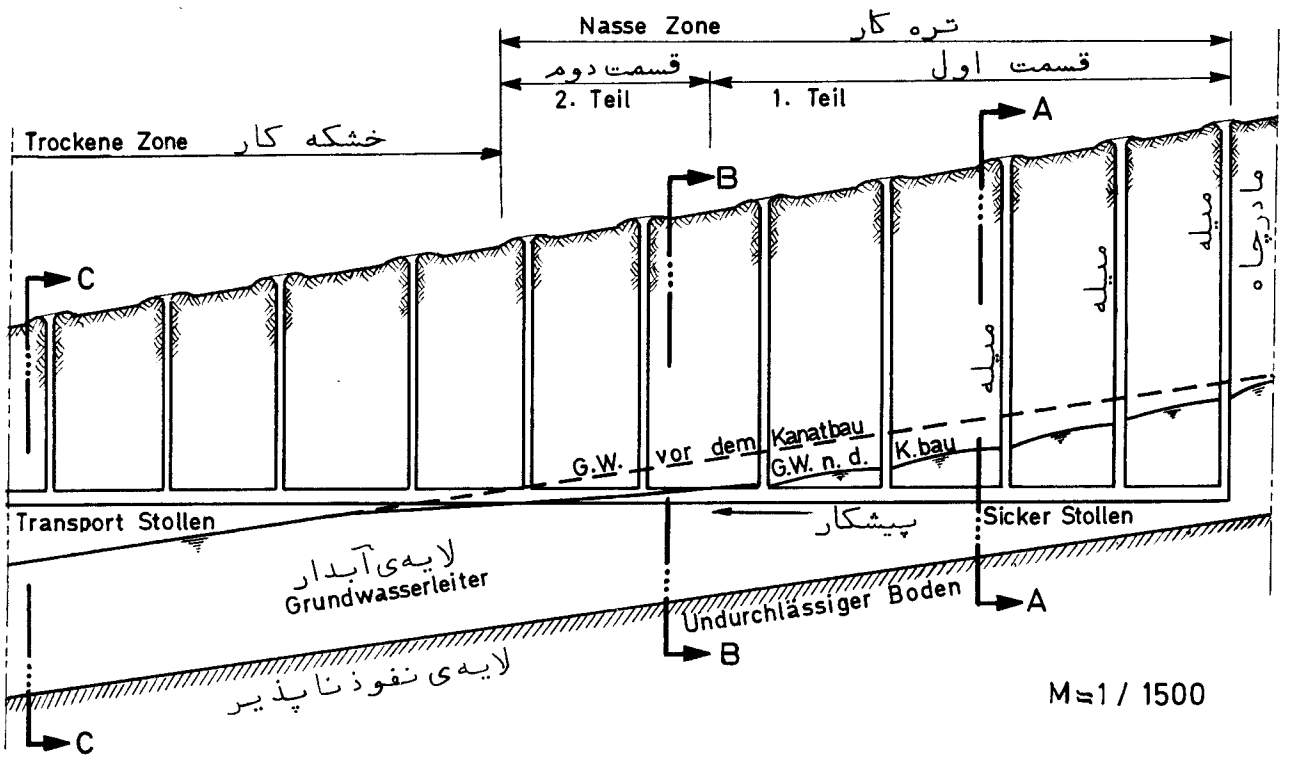
۳ــ شناسائی قنات ازدیدگاه هیدرولیکی

ساختمان یک قنات از دیدگاه هیدرولیکی ترکیبی است از تعدادی چاه قائم و چاه افقی .چاههای قائم ، میله و قسمتهای افقی پشته ،پیشکار و یا نقب نامیده می‌شوند .کندن میله در زمینهای خشک مانند چاه معمولی از بالا به پایین و در سفره های آب‌زیر زمینی به شکل وارونه ، از پایین به‌سمت بالا انجام می‌گیرد که آنرا قنات کن های ایرانی دویـــــل می‌نامند .[۲۹] . ما در چاه و میله هائی از قنات که در قسمت آبدار زمین زده می‌شوند علاوه بر استفاده ی‌ارتباطی پیشکار با سطح زمین ، در آبدهی قنات نیز مانند یک چاه قائم موثر می‌باشد ولی بیشتر آبی که توسط قنات جمع آوری می‌شود توسط پیشکار آن انجام می‌گیرد که مانند چاههای افقی کار می‌کند و تابع قوانین هیدرولیکی آن است . با توجه به آنچه گفته شد ساختمان یک قنات از دیدگاه هیدرولیکی برابر شکل (۱) از سه‌قسمت تشکیل می‌شود :

الف ــ مادر چاه و میله هائی که وارد سفره آب زیر زمینی می‌شوند ــ با توجه به اصول و ضوابط کشیـــدن شبکه های جریان ، خطهای جریان و هم پتانسیل در ایـن قسمت ، مانند چاههای معمولی برداشت آب نموده‌نمی‌شوند بلکه به علت وجود پیشکار قنات شرایط مرزی تغییر کرده ، سطح تراوش در دیواره ی چاه افزایش یافته و نیز افت سطح آب دراینگونه چاههاکه ناشی ازتاثیر توام پیشکار ومیله‌های قنات است با افت سطح آب در یک چاه معمولی یکســـان نمی‌باشد .

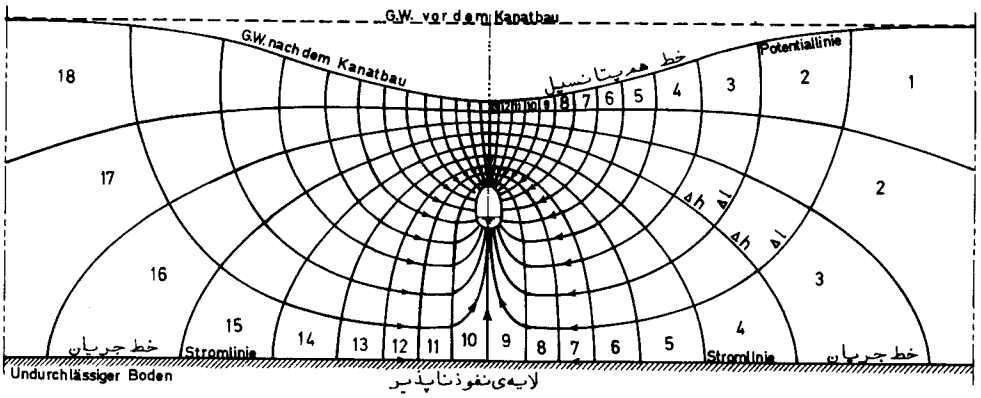
ب ــ قسمتی از پیشکار قنات که در زیر سطح آب زیر زمینی قرار دارد ــ این قسمت تره کار با آبگان نامیـده می‌شودو بیشترین قسمت آبدهی قنات را تامین می‌نماید و خود از دو قسمت زیرتشکیل می‌شود :

قسمت اول ــ قسمتی از تره کار که در آن تمام مقطع نقب یا پیشکار در زیر سطح آب زیر زمینی قرار دارد ، ولذا در این قسمت ، مانند شکل (۲) ، آب از تمام سطح مقطـع پیشکار واردآن می‌شود .این قسمت از نظر هیدرولیکی مانند لوله های زهکش عمیق کار می‌کند و طول آن ، برحسب نوع زمین وشیب سطح آب زیر زمینی ،تغییر می‌کند . در زمینهای

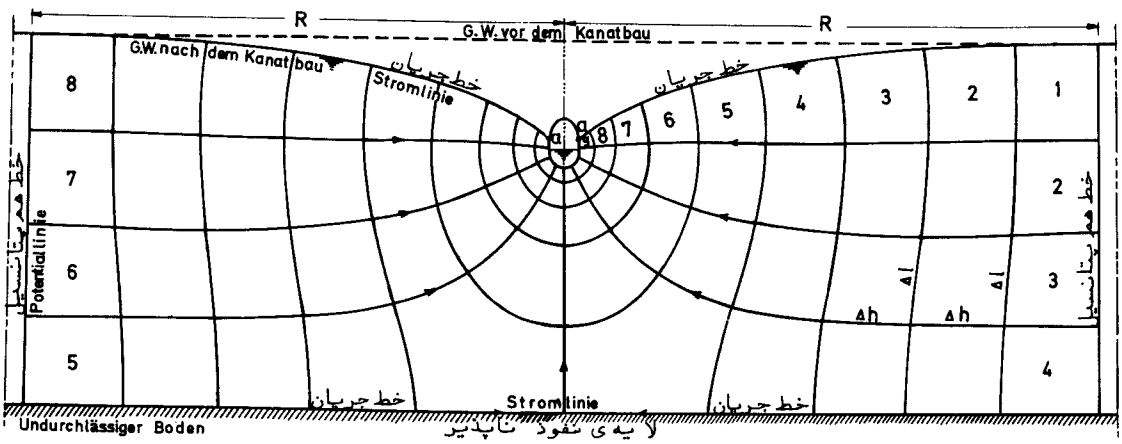


شکل شماره ی ۱ــ برش طولی یک قنـــات

شولاتی یعنی زمینهائی که از ماسه ی روان تشکیل شده اند و کندن نقب در آنها بسیار مشکل و تنها باکمک کول زنی ممکن می‌باشد ،با افزایش عمق پیشکارنسبت به سطح آب زیرزمینی ، فشار آب به اندازه یی می‌رسد که عملا کار گذاری کول نیز با اشکال مواجه می‌شود . لذا طول این قسمت نمی‌تواند زیاد باشد .اما درزمینهای معمولی برحسب میزان چسبندگی خاک‌و میزان ایستادگی دیواره ی نقب می‌توان تا چندین متر زیر سطح آب زیر زمینی هم نقب زد و در اینصورت طول این قسمت ممکن است به چند صد متر و گاهی حتی به چند کیلو متر نیز برسد .البته پس از بهره برداری از قنات بتدریج سطح آب زیر زمینی در روی پیشکار افت کرده از طول این قسمت کاسته می شود .



شکل شماره‌ی ۲ــ برش A-A از شکـــل (۱)



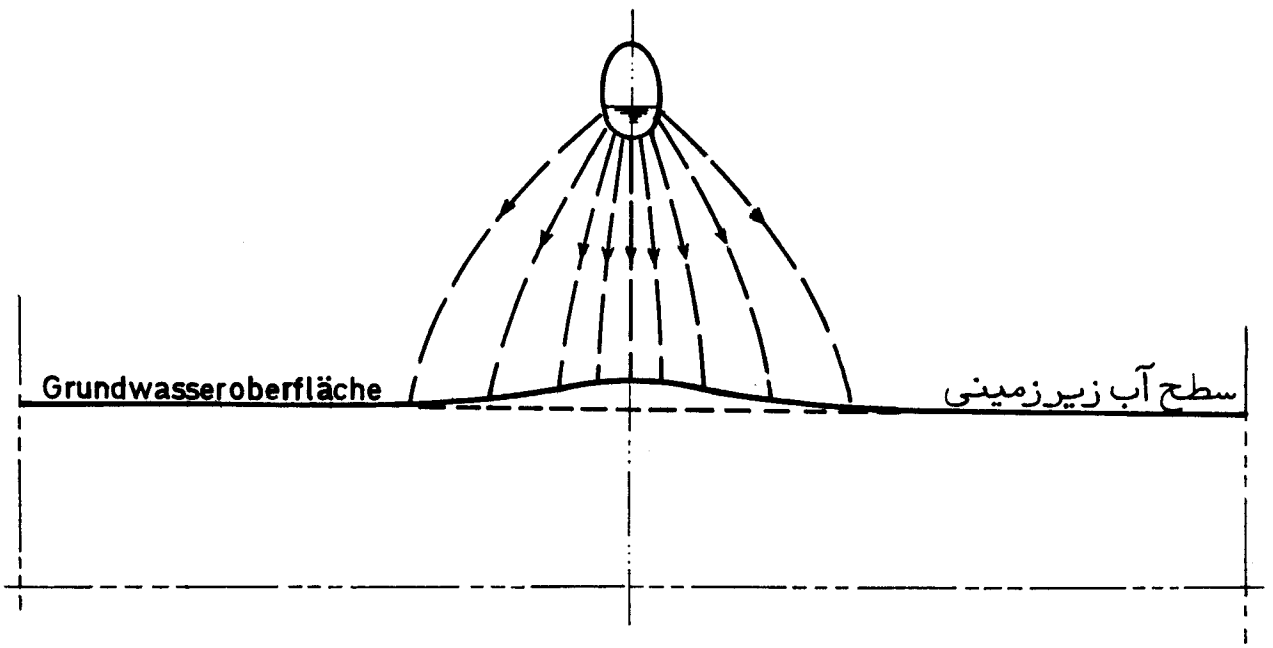
شکل شماره ی۳ ــ برش B-Bاز شکـــل (۱)

قسمت دوم ــ قسمتی از تره کار که در آن نیمی از مقطع پیشکار در زیرسطح آب زیر زمینی قرار داردو لذا ازنظر هیدرولیکی مانند کانالهای روباز زهکشی بوده و جریان آب به درون این قسمت مانند شکل (۳) انجام می‌گیرد .

البته باید توجه داشت که برخی ار قسمتهای قنات در فصلهای گوناگون سال ، که عمق سطح آب زیر زمینی تغییر می‌کند ،گاهی حزو قسمت اول و گاهی جزو قسمت دوم بحساب می‌آیند . در هر صورت هرچه طول قسمت تره کار بیشتر گردد به آبدهی قنات افزوده می‌شود .

ج ــ قسمتی از پیشکار قنات که بر روی سطح آب زیر زمینی قرار دارد ــ این قسمت که خشکه کار نامیده می‌شود عملا مانند تونل آب بر است .

در این قسمت ، مانند شکل (۴) ، بخشی از آب قنات به صورت نفوذ درزمین دوباره به سفره‌ی‌آب زیرزمینی می‌پیوندد . لذا فزونی طول این قسمت بر مقدار تلفات آب می‌افزاید و کاستن نفوذ پذیری کف آن موجب کاهش تلفات آب قنات می‌شود .



شکل شماره ی ۴ــ برش C-C از شکل (۱) ، چگونگی نفوذ آب در زمین و پیوستن آن به سفره ی آب زیر زمینی .

۴ــ محاسبه‌ی آبدهی قنات

۴ــ۱ــ عوامل موثر در آبدهی قنات ــ به طور کلی قدرت آبدهی یک قنات در مظهر آن بستگی دارد به وسعت و ظرفیت سفره ی آب زیر زمینی باعمق کم ، نفوذ پذیری زمین و بالاخره ابعاد هندسی قنات که خود شامل طول قنات در قسمت تره کار ، طول قنات در قسمت خشکه کار ، سطح مقطع قنات و بالاخره شیب طولی آن در قسمتهای گوناگون است .

الف ــ وسعت وظرفیت سفره‌ی آب زیر زمینی ــ آگاهی از ظرفیت سفره ی آب زیر زمینی مستلزم یک رشته بررسیهای زمین شناسی‌است . این بررسیها باید به صورت کیفی و کمی انجام گیرند . تغییرات عمق سطح آب زیر زمینی‌در فصلهای گوناگون سال ،تعیین وسعت سفره ی آب زیرزمینی ، عمق لایه های آبده ، با آب مناسب و خوب ، و نیز عمق و کلفتی لایه های آبده با آب نامناسب ،نوع و مبداء تغذیه‌ی لایه‌های نامبرده ، نوع زمینها از نقطه نظر نمکهای موجود در آن و علت نامناسب شدن آب برخی از سفره های آن ناحیه نکاتی هستند که ظرفیت سفره ی آب‌زیر زمینی را مشخص می‌کنند . همچنین دراین بررسیها تعیین بیلان آبی منطقه از نظرکمی ، یعنی محاسبه‌ی کل باران و برفی که سفره ی آب زیر زمینی را تغذیه می‌کند و مقدار آبی که به صورت جریان زیر زمینی و یا روی زمینی (مثلا به صورت چشمه ها یا قناتها) از حوزه بیرون می‌رود لازم می‌باشد . بعلاوه ، در این بررسیها باید جنس زمینهائی‌که احتمالا پیشکار قنات از آنها خواهدگذشت دقیقا بوسیله آزمایش مشخص گردد . ممکن است مقدار نمکهائی نظیر کلرورها ، سولفاتها و غیره در زمینهای مسیر قنات به اندازه ای باشند که آبی با کیفیت خوب پس از گذشتن از خشکه کار تبدیل به آبی‌با کیفیت بدونامناسب شود . (مثال : قنات ضیائیه در سمنان) .

ب ــ نفوذپذیری زمین ــ تراوائی زمین‌درقسمتهای مختلف قنات در میزان آبدهی آن اثری متضاد دارد . نفوذ پذیری زمین در قسمت تره کار سبب آبدهی بیشتر قنات می‌شود در صورتیکه در قسمت خشکه کار ، موجب نفوذ آب در زمین و تلفات بیشتر آن می‌گردد . با کندن چاههای گمانه درمسیر قنات مورد طرح ، و نمونه برداری از لایه های زمین می‌توان باتقریبهای متداول آزمایشگاهی‌ضریب‌تراوائی زمین را در پیشکار قنات مشخص نمود .ضمنا از این چاههای گمانه می‌توان بعدا برای میله های قنات استفاده کرد .

ج ــ ابعادهندسی قنات ــ ابعاد هندسی قنات‌تابع شرایط هندسی زمین ، سطح آب زیر زمینی و بالاخره شرایط کار در قنات می‌باشد .چون هر یک از ابعاد هندسی ازقبیل طول ،سطح مقطع وشیب کف قنات در محاسبه‌ی هیدرولیکی آن موثر ند لذا بحث درباره‌ی هریک‌ازآنهابه‌جایی که آنها

در محاسبه دخالت می‌کنند موکول می‌شود .

۴ـ۲ـ محاسبه آبدهی قنات در قسمت تره کـار ـ

همانطورکه پیش از این اشاره شداین قسمت از نظرهیدرولیکی مانند مجراهای زهکش کار می‌کند . تعیین مقدار آبی که در واحد طول قنات واردآن می‌شود بسادگی امکان پذیر نیست . زیرا به تناسب ارتفاع آب زیر زمینی در روی پیشکار قنـات تغییر می‌کند .دراین مورد دو قسمت را می‌توان‌به صورت‌مجزا از هم مورد بررسی قرار داد :

قسمت اول ـ در این قسمت سطح آب زیر زمینـی نسبت به تاج قنات درارتفاع بیشتری قرار گرفته و آب‌اجبارا" از جمیع نقاط سطح مقطع قنات وارد آن می‌شود . در صورتی که بنابر تئوری شبکه های جریان ، خطهای جریان و هـم پتانسیل را طبق ضوابط مربوطه بکشیم [۳، ۱۳، ۲۵، ۳۵] .

در یک متر طولی از قنات ، m عدد لوله ی‌جریان ، آب زیر زمینی را وارد پیشکارمی‌کند .چنانچه در برش A-A ملاحظه می‌شود ، طبق همان ضوابط افت فشارهای ناشی از جریان آب در زمین به n قسمت یکسان تقسیم می‌شود .بسته به‌چگونگی‌کشیدن‌شکل شبکه ی‌جریان‌و با تغییر تعدادلوله‌های جریان ، مقدار m و n می‌توانند تغییر کنند ولی نسبت $\frac{m}{n}$ برای یک شبکه همواره مقداری است ثابت و تنها تابع شرایط مرزی مسئله است . در صورتیکه اختلاف ارتفاع سطح آب زیر زمینی تا تاج قنات h متر باشد فاصله ی دو خط هم پتانسیل برابر $\Delta h = \frac{h}{n}$ می‌شود . از سوی دیگر اگر فاصله ی دو خط جریان رابا Δl و ضریب تراوائی زمین را با K_f و گرادیـان هیدرولیکی جریان آب زیر زمینی را با i نمایش دهیم بنابر رابطه ی دارسی خواهیم داشت :

$$V = K_f.i = K_f.\frac{\Delta h}{\Delta l} = K_f.\frac{h}{n.\Delta l}$$

بنابراین مقدار دبی آب وارده از یک لوله ی جریان به یـک متر طولی از پیشکار قنات چنین می‌شود :

$$\Delta Q = V.1.\Delta l = K_f.\frac{h}{n.\Delta l}.\Delta l = K_f.\frac{h}{n}$$

و لذا کل مقدار آبی که به L متر از طول قنات وارد می‌شـود برابر خواهد بود با :

$$Q = \frac{m}{n} . K_f.h.L \qquad (۱)$$

با توجه به اینکه ارتفاع سطح آب زیرزمینی نسبت به تـاج قنات ، یعنی h،درامتداد محور آن تغییر می‌کند و درجائی که سطح آب زیر زمینی همتراز تاج قنات می‌شود از مقـدار ماکزیمم H در ما در چاه به مقدار صفر افت می‌کند . هنگامی که شیب سطح آب زیر زمینی در امتداد محور قنات ثابـت فرض شود می‌توان میانگینی برای h در نظر گرفت . علاوه‌بر این ملاحظه می‌شود که در صورت استفاده از رابطه ی (۱) دو خطای اصلی دیگر رخ می‌دهد که ناشی از متغیر بودن مقدار ضریب تراوائی K_f در امتداد محور قنات و متغیـر بودن نسبت $\frac{m}{n}$ به علت تغییرات شرایط مرزی در مسیر قنات‌می‌باشد . لذا برای دقت بیشتر پیشنهاد می‌شود کـه محاسبه برای طولهای کوتاهی از قنات تکرارشود . یعنی در هر مورد با استفاده از آزمایش نفوذ پذیری مقدار K_f تعیین و شبکه ی جریان کشیده شده و نسبت $\frac{m}{n}$ تعیین گردد . به عنوان مثال نسبت نامبرده در مورد برش A-A در شکل (۲) برابر ۲/۸۹ می‌باشد .

قسمت دوم ـ قسمتی است از تره کار که در آن نیمی‌از مقطع پیشکار در زیر سطح آب زیر زمینی قراردارد و در آن آب تنها از بخشی ازدیواره ی قنات وارد می‌شود . در اینصورت نیز می‌توان از رابطه ی (۱) که در آن h برابر تفاوت ارتفاع سطح‌آب زیر زمینی پیش از ایجاد قنات نسبت به نقطه ی a در شکل (۳) است.استفاده نمود.درشکل نامبـرده مقدار $m=8$ و $n=9$ می‌باشد .لازم‌به‌تذکر است که برای‌کوتاهی درگفتار ، از بیان چگونگی کشیدن شبکه ی خطهای جریان و هم پتانسیل که حل ترسیمی معادله ی دیفرانسیل لاپلاس می‌باشد ، خودداری گردیده است .خواننده می‌تواند برای این منظور به کتابهایی کلاسیکی مانند [۳ و ۲۵ و ۳۵] مراجعه نماید . تنها یادآوری می‌شود که برای تعیین مـرز جانبی شبکه و یا فاصله ی R یعنی حریم قنات می‌توان از رابطه ی تجربی (۲) استفاده نمود . [۳۱]

$$R = 3000.(h-h_o) . Kf \qquad (۲)$$

در رابطه ی (۲) مقدار h_o ارتفاع آب در قنات و h ارتفاع سطح آب زیر زمینی در محل ، پیش از ساختن قنات نسبت به کف قنات می‌باشد . سطح نامبرده‌در شکلها با خط چیـن نشان داده شده است .

۴ـ۳ـ محاسبه‌ی تلفات آب در قسمت خشکه کار ـ

همچنانکه پیش از این اشاره شد ، آب قنات ، در قسمتی از پیشکار که روی سطح آب‌زیر زمینی قرار دارد و مانند کانال روبازانتقال آب کارمی‌کند ،در زمین نفوذکرده تلف می‌شود . مقدار آبی که در کانالهای روباز به صورت نفوذ در زمیـن تلف می‌شود به عوامل‌اصلی زیر بستگی دارد :

جنس بستر کانال از نقطه نظر نفوذ پذیری زمین ، طول کانال ،محیط تر شده ی کانال ، عمق آب و سرعت آن در کانال .

برای محاسبه ی مقدار تلفات آبی که از کانالها به صورت نفوذ در زمین رخ می‌دهد رابطه های تجربی زیادی پیشنهاد شده اند که جامع ترین آنها رابطه ی دیویس ـ ویلسون آمریکائی است :

$$Q = 0/45\ C.\ \frac{L_3 .U.3\sqrt{h_o}}{4000 + 3650\sqrt{V}} \qquad (۳)$$

در رابطه ی (۳) مقدار L_3 طول قنات در قسمت خشکه کار برحسب کیلومتر ، U محیط تر شده ، h_o ارتفاع آب در کانال برحسب متر ، V سرعت جریان آب در کانال برحسب متر در ثانیه و بالاخره C ضریبی است که نمایانگر جنس کف کانال و میزان نفوذ پذیری آن می‌باشد . مقدار ضریب C برای بستر سازیهای گوناگون در جدول زیر داده شده است .

جدول شماره ی (۱) ـ ضریب C برای بستر سازیهای گوناگون کف قناتها [۳۰] .

نوع بستر سازی	C
بستر سازی بتنی به کلفتی ۷۵ تا ۱۰۰ میلیمتر	۱
برای قشری از خاک رس کوبیده شده به کلفتی ۱۵۰ میلیمتر	۴
برای قشری از آسفالت	۵
برای قشری از خاک رس کوبیده شده به کلفتی ۷۵ میلیمتر	۸
برای بسترهائی که به طور طبیعی در زمین رس دار ساخته شده اند	۱۲
" " " " " " " لیمونی (سیلتی) رسی ساخته‌شده اند	۱۵
برای بسترهائی که به طور طبیعی در زمین لیمونی معمولی ساخته‌شده‌اند	۲۰
" " " " " " لیمونی ماسه‌یی ساخته‌شده‌اند	۲۵
" " " " " " ماسه یی ساخته شده اند	۳۰
" " " " " " ماسه ی نرم ساخته‌شده اند	۴۰
" " " " " " ماسه یی بادانه‌های متوسط "	۵۰
" " " " " " شنی و ماسه یی ساخته‌شده‌اند	۷۰

۵ ـ بهبود و افزایش آبدهی قناتها

برای افزایش آبدهی قناتها باید همیشه دو جنبه مورد بررسی قرار گیرد . افزایش آبدهی قسمت تره کار و کاهش تلفات آب در قسمت خشکه کار .

۵ ـ ۱ ـ افزایش آبدهی قسمت تره کار ـ با توجه به اینکه جریان آب در سطح مقطع قنات به‌صورت جریان نیمه پر انجام می‌گیرد مطابق رابطه ی (۱) عوامل درجه ی اول موثر در آبدهی قنات عبارتند از طول L و عمق آن h نسبت به سطح آب زیر زمینی . پیش از گفتگو درباره ی دو عامل اصلی نامبرده لازم به یادآوری است که شیب طولی قنات بسته به درجه ی سختی زمین طی هزاران سال تجربه بین ۰/۲ تا یک در هزار محدود بوده و افزایش آن موجب فرسایش و آب شستگی کف و بالاخره ریزش قنات می‌شود .

الف ـ افزایش L، طول قسمت تره کار ـ برای انجام این کار اگر پیشکار قنات را در امتداد خطهای تراز سطح آب زیر زمینی در آبرفت ادامه دهیم ، در اینصورت ارتفاع h ثابت مانده و کار کندن قنات از نظر فشار آب زیر زمینی مواجه با اشکالی نخواهد شد و میزان افزایش دبی قنات با

افزایش L نسبت خطی پیدا می‌کند .ولی در صورتیکه ادامه‌ی پیشکار در امتدادی باشد که با جهت جریان آب زیر زمینی زاویه ای کمتراز ۹۰ درجه ایجاد کند ارتفاع h افزایش یافته و لذا فشار آب زیر زمینی و در نتیجه سرعت ورود آب به پیشکار زیاد می‌شود که خود محدودیتی را فراهم می‌سازد . لذادر عمل‌از روش شاخه ای برای‌افزایش طول تره کاراستفاده می‌شود یعنی کوشش می‌شودکه در جهتهای گوناگون و به وسیله ی کندن قناتهای فرعی مانند شاخه های درختی آب زیر زمینی سفره ی گسترده ای را در یک قنات اصلی زهکشی نمود .

ب ــ افزایش h ،ارتفاع سطح آب زیر زمینی بر روی قنات ــ افزایش ارتفاع h ممکن است به دو گونه انجام‌گیرد :

نخست ــ درموقع طراحی قنات هرچه زاویه‌ی‌امتداد پیشکار با جهت جریان آب زیر زمینی کوچکتر انتخاب گردد ارتفاع h بدست آمده بیشتر خواهد شد . در صورتیکه جهت کندن و پیشروی پیشکار در سفره ی آب زیر زمینی ، کاملا در جهت مخالف حرکت آب زیر زمینی باشد مقدار h به حداکثر خود می‌رسد .دوم ــ برای افزایش ارتفاع h در قناتهای‌موجود باید سفره‌ی آب زیر زمینی تغذیه ی مصنوعی گردد تغذیه ی سفره های آب زیر زمینی روشهای گوناگونی داردکه باید در گفتاری جداگانه مورد بررسی قرار گیرد ولی به طور خلاصه می‌توان گفت‌که همه ی روشهای تغذیه ی سفره‌ی‌آبدهی برمهار نمودن سیلاب کوهستانهاپایه گذاری شده اند . هدف از مهار کردن سیلاب کوهسارها کاهش‌سرعت جریان سیلاب ، بالا بردن ارتفاع استاتیکی آب و در نتیجه افزایش نفوذ آن در زمین می‌باشد .مهار کردن سیلابها ممکن است به روشهای گوناگونی‌از قبیل ساختن سد ،ایجاد بندهای کوتاه ، استفاده از گودالهای طبیعی و یا مصنوعی برای نگهداری آب ، کندن شیارهائی عمود بر جهت جریان سیلاب و بالاخره در برخی از دره ها حتی با قرار دادن موانعی از قبیل تخته سنگهای بزرگ در مسیر سیلاب انجام گیرد . در اینجا لازم به تذکر است که تغذیه‌ی‌سفره های آب زیر زمینی باید همراه با آگاهی کامل بر مشخصات سفره و مبداء تغذیه ی آن و توجه به‌بیلان آبی منطقه انجام گیرد . همچنین باید به نوع زمینها از نظر داشتن نمکهای گوناگون توجه نمود . چه بسا به علت عدم مطالعه ی لازم نه تنها سفره ی آب زیر زمینی مورد نظرتغذیه نشود بلکه آب سطحی باکیفیت خوبی نیز تبدیل به آبی غیر قابل استفاده و یا با کیفیتی بدتر شود .

۵ــ۲ــ کاهش‌تلفات آب در قسمت خشکه کار ــ با توجه به رابطه‌ی (۳) ،برای‌کاهش تلفات‌آب باید به گونه‌یی در پارامترهای رابطه ، تغییراتی به صورت زیر داد :

کاهش h_o و u ــ چون مقادیر h_o و u مشخص کننده ی سطح مقطع جریان هستند لذا می‌توان گفت که مناسبترین سطح مقطع جریان برای بستر قنات نیم‌دایره می‌باشد زیرا محیط تر شده ی U در آن برای یک سطح جریان ثابت نسبت به مقطعهای دیگر به حداقل خود می‌رسد .

افزایش V ــ افزایش سرعت جریان با کمک افزایش شیب طبق رابطه ی (۳) ،موجب کاهش تلفات آب‌در قسمت خشکه کار می‌گردد ولی از سوی دیگرموجب فرسایش‌کف قنات و آب شستگی آن‌می‌شود لذا تنها در صورتی می‌توان به این کار مبادرت ورزید که پیش بینی های لازم در مورد مقاومت در قبال سایش کف انجام گرفته باشد . همچنانکه پیش از این گفته شد ، شیب کف قناتها به طور تجربی ۰/۲ تا یک در هزار انتخاب شده اند که انحراف از آن باید با مطالعه ی کامل و توام با احتیاط انجام گیرد .انتخاب سطح مقطع نیم‌دایره برای کف قنات خودموجب کاهش افت‌انرژی و افزایش سرعت می‌شود . کاهش L ــ طول خشکه کار را می‌توان با کاهش شیب کف قنات کاست اما این کار موجب کاهش سرعت ،افزایش امکان ته نشینی مواد معلق و بالاخره افزایش امکان نفوذ آب می‌شود .لذا بهتر است در طراحی قنات کوشش شود تا مظهر قنات درجائی انتخاب گردد که طول نامبرده حداقل خود راپیدا نماید . البته باید توجه نمود که اگر با کوتاه کردن طول،آب قنات را زودتر به سطح زمین برسانیم علاوه بر تلفات نفوذی در زمین بر مقدار تلفات ناشی از تبخیر آب نیز افزوده می‌شود . لذا باید پیش بینی هائی برای پوشش‌جریان آب در روی زمین نمود . بهترین روش در این مورد استفاده از لوله برای انتقال آب می‌باشد .

کاهش ضریب C ــ باتوجه به اعداد جدول شماره‌ی (۱) ملاحظه می‌شودکه موثرترین روش برای کاهش تلفات‌آب در قنات کاهش مقدار C می‌باشد . بطورکلی مقدار C درشروع بهره برداری ازقنات بیشتر است و بتدریج به علت ته‌نشین شدن موادکلوئیدی‌و بسته شدن خلل‌و فرج‌کف قنات از مقدار آن کاسته می‌شود . پس از رسیدن پیشکار قنات به قسمت تره کار وجاری‌شدن آب‌زیر زمینی درقنات عملابعلت‌عملیات کنده کاری آب گل آلود گشته و مواد کلوئیدی بیشتری را به

قسمتهای خشکه کار منتقل می‌سازد و بتدریج از نفوذ پذیری آن می‌کاهد .بعلاوه چون آبهای‌زیرزمینی غالبا دارای‌مقداری سختی کربناتی (سختی ناپایدار و موقت) هستند در موقع جریان اینگونه آبها در قنات و تماس‌آن با فشار جو ، که از راه میله ها برقرارمی‌شود مقداری از گاز CO_2 که بنابر رابطه‌ی تعادلی (۴) در آن موجود است بیرون رفته و در عوض

$$Ca(CO_3H)_2 \rightleftharpoons CaCO_3 + CO_2 + H_2O \quad (۴)$$

کربنات کلسیم اضافی در آب بصورت لایه های کربناتی مقاومی بر کف و دیواره‌ی قسمت خیس شده ی قنات ته نشین می‌شود . [۳۱] . نیاکان ما همیشه توجه داشتند تا درموقع لاروبی قناتها این لایه ی نسبتا سخت آسیب نبیند . [۲۸]، [۲۹]

با توجه به نکات نامبرده در بالا برای کاهش‌نفوذ پذیری زمین در قسمت خشکه‌کاربه ویژه پس از هر لاروبی که عملا به علت امکان صدمه دیدن لایه های‌طبیعی آب بندی کف قنات کاسته می‌شود ، باید با روشهای مصنوعی و ارزان قیمت عمل آب بندی کف را تشدید نمود . برای این منظور در اینجا دو روش ارزان قیمت معرفی می‌گردد :

الف ــ پوشش کف قنات‌با استفاده ازمایع امولسیون قیر (Emulsion Bitumen)

تعریف ــ امولسیون مخلوط دو مایع است که در همدیگر حل نمی‌شود و یکی به شکل توده های مولکولی در دیگری شناور است . امولسیون قیر مایعی است قهوه ای رنگ که در آن دانه های خیلی ریز قیر باقطری در حدود ۰/۰۰۲ تا ۰/۰۰۴ میلیمتر ، درآب شناور می‌باشند . [۲۶، ۲۷]از این ماده در فرانسه و ایتالیا برای کاهش تلفات آب در کانالهای روباز خاکی ، که جهت انتقال آب ساخته شده بوده اند ، استفاده شده است . ذرات قیر ، همراه با آب به درون خلل و فرج زمین نفوذ کرده موجب کاهش نفوذ پذیری آن می‌گردد .این روش کیفیت آب را تغییر نمی‌دهد . تنها در مدت انجام کار بایداز مصرف آب بدون تصفیه و عبور از صافیهای ماسه یی خودداری نمود . زیرا بخشی از ذرات ریز قیر که فرصت ته نشینی در کف قنات را نیافته‌اند درآب شناور می‌مانند .

درکانالهای روباز کشاورزی ،به‌علت امکان‌لاروبیهای دائمی ، قشر تولید شده در کف کانال پس از مدتی صدمه دیده و اجبارا باید استفاده از امولسیون بیتیوم تکرار شود . در فرانسه و ایتالیا ،برای نتیجه گیری خود مجبور شده‌اند . در سال اول چند بار از مایع نامبرده استفاده کنند ولی‌در سالهای بعد نیاز به تکرار کمتر شده است . [۲۷]

در قناتها به‌علت عدم نیاز به‌لاروبی های روزانه پیش بینی می‌شود که استفاده ی یکبار از مایع نامبرده‌پس‌از لاروبی قنات کافی باشدتا آب بندی کف قنات را تا لاروبی بعدی تامین نماید .

روش اجرا ــ برای اینکه ذرات قیر فرصت بیشتری برای ته نشینی و نفوذ در زمین را بیابند باید به تناسب شیب کف قنات ، در هر چند صد متر (مثلا هر ۵۰۰ متر) ، با ایجاد مانعی در مسیر آب موجب بالا آمدن سطح‌آب در قنات شد و مایع امولسیون را پس‌از بهم زدن کامل توسط لوله های پلاستیکی‌وارد میله ی نخستین قطعه مورد آزمایش ازقنات نمود و باآرامی به آب قنات افزود . برای کانالهای روباز ، انتقال آب،مقدار ۳ تا ۵ کیلوگرم امولسیون برای هر متر مربع از سطح تر شده در مدت ۴۸ ساعت نفوذ پذیری کف را ۷۰% تا ۹۰% کاهش داده است . [۲۷]

در مورد قناتها ، نتایج آزمایشی دردست نیست ولی آنچه مسلم است اینست که این روش می‌تواند ازتلفات آب در قنات به صورت چشمگیری بکاهد .برای بدست‌آوردن نتایج قطعی ، باید نخست روی مدلهای هیدرولیکی در آزمایشگاه و سپس در کانالهای روباز آب بر و پس از آن روی قناتهای‌موجودبا استفاده ازامولسیونهای‌گوناگون‌آزمایشهایی انجام دادو تنها با کار برد چنین روشهای علمی است که می‌توان بازده اقتصادی استفاده از قنات را بالا برد و آنها را احیا نمود .

ب ــ پوشش کف قنات با کمک خاک رس وبنتونیت (Bentonite)

تعریف ــ خاک رس، هیدروسیلیکات آلومینیم است که از دانه های بسیار ریزی تشکیل شدمو به صورت آبرفتی و معدنی در طبیعت یافت می‌شود . خاک رس معدنی خالصتر وذرات آن پولکی‌شکل است‌که کلفتی‌آنهاتا ۰/۰۰۰۱ میلیمترنیز می‌رسد . جنس و مرغوبیت خاک رس بستگی به مقدار دانه های‌ریزتراز ۰/۰۰۲ میلیمتر درآن دارد .خاک رس معدنی گرانتر و انواع آن بنتونیت (Bentonite) و کائولینیت (Caolinite) یا خاک چینی و غیره می‌باشد [۲۶]

ویژگی ــ ذرات ریزخاک رس در صورت شناور شدن

درآب (دوغاب)و کاهش دوباره ی سرعت حرکت آنها درآب قنات‌ته نشین شده و همراه آب در خلل وفرج کف قنات نفوذ می‌کند و موجب کاهش نفوذپذیری آن‌می‌شود . استفاده‌ازخاک رس برای آب بندی وکاهش تلفات آب در قنات از قدیم در ایران متداول بوده و کرجی در کتاب خود از آن به نام خاک سرخ نام می‌برد . [۲۸] . استفاده از بنتونیت برای آب‌بندی کف کانالهای خاکی از سال ۱۹۴۰ در آمریکا مورد آزمایشهای دقیق و مفصل قرار گرفته است[۱۰]

روش اجرا- خاک رس یا بنتونیت را نخست باید در آب کاملا "به صورت کلوئیدی درآورد . برای این کار که‌اجرای درست آن در نتیجه گیری نهائی بسیار موثر است ، می‌توان از دمیدن هوا بدرون مایع کلوئیدی کمک گرفت تا ذرات‌خاک رس کاملا از هم جدا شده و بصورت شناور درآیند . سپس محلول کلوئیدی نامبرده را به آرامی و نظیر آنچه برای امولسیون‌قیر گفته شد وارد آب‌قنات نمود .

آزمایشهای انجام گرفته در آمریکا برای کانالهای روباز ، نشان داده است که مصرف ۱۰ کیلوگرم برای هر متر مکعب دبی کانال (۱% وزنی در مدت ۲۴ ساعت) نتایج‌بسیار خوبی داده است . [۲۱].استفاده از بنتونیت برای آب بندی کف قنات از امولسیون قیر گرانتر می‌باشد .

Untersuchung der Wasserentnahme aus den Kanaten

Von:
Dr. Ing.M.T. Monzavi
Technische Fakultät der Teheran Universität

Kurzfassung

Der Kanat ist eine Art Unter irdischer Kanal, der der Erschliessung des Grundwassers Unter Gravitatswirkung dient. Ein Kanat besteht aus zwei Hauptelementen; Ein kriechbarer Tunnel(Stollen) und mehreren vertikalen Löchern.
Das alteste Kanatbauwerk, das in letzter Zeit entdeckt wurde,liegt in Nordiran, seine Bauzait geht auf dreitausend jahre zuruck.
Die Landwirtschaftliche Bedeutung der Kanate in heutigen Iran ist relative zu der Vergangenheit zuruck gegangen. Die Ursache liegt meistens auf den wirtschaftlichen Aspekten des Kanatbaues. Die Wiedererlebung dieser nationalen Methede der Bewasserung und die weitere Entwicklung dieser Art der Grundwasser-fassungs anlage soll auf zwei Richtungen erreicht werden:

1,Die Erhöhung der Wasserentnahmefähigkeit der Kanate, was in diesem Artikel behandelt wird.
2,Mechanisierung und Modernisierung des Kanatbaues. Die Behandlung dieses Thema wurde für die Zukünft vorgesehen.
Die nutzbare Wassermenge eines kanates hängt von zwei Faktoren ab:
1, Die Wasserentnahme von dem nassen und unter der Gundwasseroberfläche liegenden Teil des Tunnels (sicker Stollen). Siehe Bild 1;.
2, Die Wasserverluste in dem trockenen und über die Grundwasseroberfläche liegenden Teil des Tunnels(transport Stollen).
In diesem Artikel wurde wirtschaftliche und relativ einfache Methoden zur Erhöhung der ersten und Abminderung der zweiten Faktor Vorgestellt.

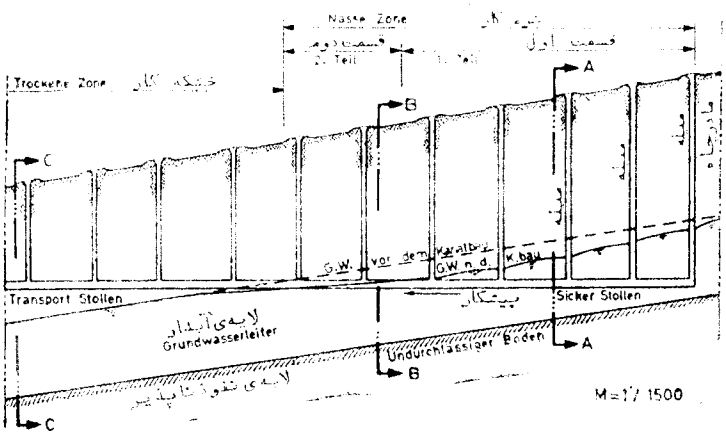


Bild 1- Ein Teillängsschnitt eines Kanates