

بررسی مسایل فنی و بهره‌برداری از برخی قنوات استان کرمان

مسعود فرزام نیا^{۱*} و فریرز عباسی^۲

(تاریخ دریافت: ۱۳۸۸/۱۱/۴؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۸۹/۸/۹)

چکیده

قنات یک سازه سنتی کشور ایران بوده که بدون صرف انرژی و هزینه زیاد به صورت یک سرریز طبیعی آب را به سطح زمین می‌رساند. در مناطق شرقی کشور که از داشتن رودهای بزرگ و پرآب محروم‌اند، قنات می‌تواند نقش مهمی در اقتصاد مردم داشته باشد. بنابراین، توجه به قنات در مناطق شرقی کشور امری ضروری به نظر می‌رسد. یکی از این مناطق استان کرمان است که در مناطق جوپار، ماهان، بم و نرماشیر و فهرج دارای قنات زیاد با آبدهی بالا و مادر چاه عمیق می‌باشد. در این تحقیق مسائل و مشکلات فنی و بهره‌برداری، نظام تقسیم و توزیع آب، وضعیت الگوی کشت اراضی پایین‌دست و تغییرات کمی و کیفی آب ۱۵ رشته از قنات این استان مورد مطالعه قرار گرفته است. نتایج نشان دادند که آبدهی قنات در دراز مدت دستخوش تغییرات زیاد شده و در دهه اخیر کاهش قابل ملاحظه‌ای داشته است. این کاهش، مساحت و الگوی کشت مناطق پایین‌دست را تغییر داده است. در قنات مورد مطالعه مقادیر متوسط راندمان انتقال آب و ضریب زبری در کانال‌های انتقال آب از مظهر تا محل مصرف، به ترتیب ۸۱/۲ درصد و ۰/۲۴، میانگین بازده کاربرد آب در اراضی پایین‌دست قنات ۵۹/۳ درصد و متوسط کارایی مصرف آب برای محصولات زراعی مانند گندم، یونجه، چغندر، ذرت دانه‌ای، ذرت علوفه‌ای و هندوانه به ترتیب ۰/۴۳، ۰/۵۱، ۰/۳۱، ۰/۶۵، ۴/۷۵ و ۸ و برای محصولات باغی مانند پسته، بادام، خرما، مرکبات و درختان سیاه‌ریشه به ترتیب ۰/۵۲، ۰/۳، ۰/۶۶، ۱/۱ و ۰/۵۴ کیلوگرم بر مترمکعب به دست آمد. بررسی‌های انجام شده نشان دادند از مشکلات عمده قنات عدم تخصیص بودجه لازم برای مرمت و نگهداری، حفر چاه‌های عمیق در حریم آنها، عدم رعایت مسائل فنی، بهره‌برداری و نگهداری مناسب است.

واژه‌های کلیدی: کرمان، قنات، مسائل فنی و بهره‌برداری، کارایی مصرف آب

۱. مربی پژوهشی بخش تحقیقات فنی و مهندسی، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان اصفهان

۲. دانشیار پژوهشی مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، کرج

*: مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: masoud_farzamia@yahoo.com

مقدمه

قنات ثروت ملی و باستانی ایران بوده و قدمت آن و سیستم‌های آبیاری وابسته به آن به ۸۰۰ سال قبل از میلاد مسیح (حدود ۲۸۰۰ سال قبل) برمی‌گردد. این سازه از ارزنده‌ترین اختراعات ایرانیان برای استخراج آب، با وسایل و امکانات موجود زمان بوده است (۲)، لذا حفظ و نگهداری آن به‌عنوان یک میراث با ارزش فرهنگی برای متخصصین امر بخصوص در مناطق خشک و نیمه‌خشک کشور همانند همدان، یزد، کرمان، اصفهان، سمنان و خراسان جنوبی و رضوی یک وظیفه انسانی است. در سایت ایران- هیدرولوژی تعداد قنات کشور ۳۲۶۹۸ رشته عنوان شده است که سالیانه بیش از ۸ میلیارد مترمکعب از آب‌های زیرزمینی کشور یعنی حدود ۱۵٪ از کل تخلیه را استخراج می‌نمایند (۶). قدیمی‌ترین قنات ایران، قنات اسکندر به طول ۷۲ کیلومتر در یزد و پرآب‌ترین قنات، پاکم در حومه شهرستان بم است. عمیق‌ترین قنات ایران قنات قصبه در گناباد است که عمق مادرچاه آن ۳۰۰ تا ۳۵۰ متر گزارش شده است (۱۰). براساس سایت ایران هیدرولوژی (۱۳۸۲) قنات در حدود ۵۲۵ سال قبل از میلاد توسط ایرانیان به عمان، قطر و عربستان منتقل گردید. حدود ۲۵ سال بعد از آن، با لشکرکشی‌های ایرانیان این فن در مصر رواج یافت و با گسترش اسلام، شمال آفریقا با قنات آشنا شد. در سال ۷۵۰ میلادی توسط مسلمین در شهر مادرید دایر و در سال ۱۵۲۰ میلادی اسپانیایی‌ها حفر قنات را در مکزیک آغاز کردند و از آنجا به لس‌آنجلس رسید و در سال ۱۵۴۰ شهر پیکا در شیلی صاحب قنات گردید. در حال حاضر در ۳۴ کشور دنیا قنات وجود دارد که از مهم‌ترین آنها می‌توان کشورهای افغانستان، اردن، امارات متحده عربی، بحرین، پاکستان، چین، سوریه، ترکمنستان، عراق، عربستان، عمان، فلسطین، کامبوج، هند و یمن در قاره آسیا، کشورهای ترکیه، آلمان، انگلیس، اسپانیا، جمهوری چک، قبرس و فرانسه در قاره اروپا و کشورهای پرو، مکزیک و شیلی در قاره آمریکا را نام برد (۱۰). عبدی (۸) در بررسی وضعیت قنات استان زنجان، دلایل خشک شدن و متروکه ماندن قنات را

خشک‌سالی و افت سطح ایستابی، عدم انجام مرمت و لایروبی سالانه، مهاجرت بهره‌برداران و بدون استفاده ماندن قنات و حفر چاه‌های عمیق و نیمه‌عمیق در حریم قنات دانسته و راه‌کارهای افزایش بهره‌وری را کنترل و مهار آب‌های سطحی در حوزه‌های بالادست قنات و تغذیه آن به‌داخل زمین به صورت پخش سیلاب، انجام عملیات مرمت و لایروبی مستمر، ممنوعیت حفر چاه‌های عمیق و نیمه‌عمیق در حریم قنات و آموزش بهره‌برداران دانسته است. ایکاردا برای بررسی مدیریت سنتی یک رشته قنات در روستای شلاله سخیره در جنوب غربی شهر حلب در کشور سوریه تحقیقی را انجام دادند. دبی این قنات در سال‌های اخیر به علت رسوب سیلت در کوره و هم‌چنین نشت آب از کف کوره به علت شکستگی، کم شده بود. به‌منظور کمک به حفظ سیستم‌های اجتماعی در جامعه روستایی و ذخیره آب، به مرمت و نوسازی این قنات اقدام نمودند. در این کار از کارشناسان جامعه‌شناسی، اقتصاد و هیدرولوژی کمک گرفته شد و در نهایت ۲۵٪ آبدهی قنات افزایش یافت. این گروه تحقیقاتی در کل ۹۱ رشته قنات را شناسایی کردند که فقط ۳۰ رشته از آن دایر بود و علت خشک شدن سایر قنات افت سطح ایستابی گزارش شده است (۱۶). لایت‌فوت (۱۳) در مورد پیامدهای خشک‌شدن قنات سوریه اظهار می‌دارد که با پایین رفتن سطح ایستابی و خشکیدن قنات‌ها این منبع ارزشمند تأمین آب رها می‌شود. پدیده‌ای که در پاکستان، ایران، عمان و بسیاری از جاهای دیگر نیز در حال اتفاق است. یکی از تبعات زیان‌بار این پدیده مهاجرت روستاییان به شهرها و رها کردن کشاورزی و جذب آنها در بخش‌های صنعت و غیره می‌باشد. ناصری و همکاران (۱۴) در تحقیقی در استان خراسان دلایل تخریب و افت عملکرد قنات منطقه را مورد بررسی قرار دادند. آنها اظهار داشتند که خشک‌سالی همراه با پیدایش روش‌های ساده و سریع حفر چاه‌های عمیق و کنترل ضعیف یا عدم کنترل دولت بر حجم آب استحصالی از چاه‌ها دلیل اصلی تخریب قنات در این مقیاس بوده است. براهیمی و همکاران (۱۲) در تحقیقی سیستم بهره‌برداری از قنات (شامل نظام توزیع و

موقعیت آنها در شکل ۱ نمایش داده شده است. بعد از مشخص شدن قنوات به محل آنها مراجعه و به بررسی مسائل و مشکلات فنی و بهره‌برداری و اندازه‌گیری پارامترهای مورد نیاز اقدام گردید. اقدامات انجام شده شامل بازدیدهای محلی و تکمیل پرسش‌نامه (شامل: مشخصات عمومی، موقعیت طبیعی و مالکیت قنات، مساحت زیرکشت در پایین‌دست قنات و موقعیت آنها از لحاظ بارندگی و پوشش گیاهی، عملیات بازسازی انجام شده و مورد نیاز و خطراتی که قنات را تهدید می‌کند)، نمونه‌برداری از خاک جداره و بستر قنوات و نمونه آب قنوات برای تعیین مشخصات فیزیکی و شیمیایی آنها، تعیین مشخصات هندسی و هیدرولیکی قنوات (سطح مقطع جریان، شیب طولی، ضریب زبری، دبی)، تعیین بازده انتقال آب در هرنج قنوات، بازده کاربرد آب آبیاری و تخمین کارایی مصرف آب قنوات تحت مطالعه بود.

ضریب زبری مانینگ در مسیر هرنج قنوات، با اندازه‌گیری سطح مقطع، محیط خیس شده، متوسط دبی جریان، شیب طولی و با فرض یک‌نواخت بودن جریان، از رابطه مانینگ برآورد شد. سطح مقطع جریان و محیط خیس شده در مقاطع منظم و نامنظم بسته به شرایط کانال، با استفاده از روابط هندسی در سه تکرار و به فواصل ۵۰ متر از هم تعیین شدند. لازم به ذکر است مقاطع نامنظم به مقاطع کوچک‌تر تقسیم شدند تا به شکل هندسی منظم تبدیل شوند. با به دست آوردن سطح مقطع (A)، سرعت جریان (V) با استفاده از جسم شناور تعیین و دبی (Q) هرنج از رابطه $Q = A \times V$ محاسبه شد. این اندازه‌گیری هر بار در ۳ مقطع و با ۳ تکرار انجام شد. از آنجایی که گیاهان با ریشه سطحی، باعث افزایش نفوذپذیری خاک و بر آبدهی قنات تأثیر مثبت دارد و گیاهان با ریشه‌های عمیق، آب سفره زیرزمینی را مصرف کرده و بر آبدهی آنها تأثیر منفی دارند، بنابراین پوشش گیاهی اطراف قنوات از این زاویه مورد بررسی قرار گرفت.

بازده انتقال آب در کلیه قنوات مورد مطالعه در سه مرحله اولیه، میانی و پایانی فصل زراعی در نقاط مختلف اندازه‌گیری شد.

تقسیم آب بین شاربین) را در نقاط مختلف ایران مورد بررسی قرار دادند تا نقاط قوت آن برای سایر بخش‌ها بخصوص برای تشکل‌های آب‌بران به عنوان راهنما معرفی شود. آنها نشان دادند که تمام قنوات فعال ایران سیستم بهره‌برداری منحصر به فرد خود را دارند. با توجه به شرایط آب و هوایی، اقتصادی - اجتماعی و فرهنگی، سیستم بهره‌برداری از هر قنات با قنات دیگر متفاوت است. به عبارت دیگر شرایط غالب در منطقه، سیستم بهره‌برداری از قنات را تحت تأثیر قرار می‌دهد و باید مورد توجه قرار گیرد. سیستم‌های بهره‌برداری از قنوات توسط مردم بر پایه توافق و رضایت خودشان نه بر اساس دستور و آییننامه خاصی به وجود آمده است. رهبری و افشار اصل (۱۵) نشان دادند که قنات روی رسوب و فرسایش خاک، اکولوژی و مسائل اقتصادی - اجتماعی (شامل درآمد، مهاجرت و مشارکت مصرف کنندگان) آثار مثبت دارد.

استان کرمان یکی از پهناورترین استان‌های کشور محسوب شده و از نظر اقلیمی جزو مناطق گرم و خشک است. این استان در زمره استان‌هایی است که شدیداً با مشکل کم آبی مواجه است. بنابراین، استفاده بهینه از منابع آبی ضروری به نظر می‌رسد (۷). وجود حدود ۲۰۰۰ رشته قنات در استان کرمان اقتصاد کشاورزان برخی از مناطق این استان را در گروی بقای خود قرار داده است. به طوری که در صورت عدم رسیدگی و بهره‌برداری مناسب، کشاورزان این استان از لحاظ اقتصادی شدیداً آسیب می‌بینند.

این مقاله مسائل و مشکلات فنی و بهره‌برداری، نظام تقسیم و توزیع آب، وضعیت الگوی کشت اراضی پایین دست و تغییرات کمی و کیفی آب ۱۵ رشته از قنوات مهم استان کرمان و نحوه استفاده از آب در اراضی پایین دست آنها را مورد بررسی قرار می‌دهد.

مواد و روش‌ها

در این تحقیق، ۱۵ رشته از قنوات استان به عنوان نمونه انتخاب و بررسی شدند. مشخصات قنوات مورد مطالعه در جدول ۱ و

جدول ۱. مشخصات قنوات مورد مطالعه در استان کرمان

ردیف	نام قنات	روستا	مختصات (UTM) مادر چاه		دبی متوسط (lit/s)	عمق مادر چاه (متر)	اراضی زیر کشت (هکتار)	طول قنات (متر)	تعداد میله قنات
			عرض (متر)	طول (متر)					
۱	گوهرریز	جوپار	۳۳۲۲۳۴۲	۵۱۰۲۱۱	۱۲۲	۶۰	۳۰۰	۴۰۰۰	۱۵۰
۲	قَرَمِیْتَن	سکنج	۳۳۱۴۹۲۳	۵۳۸۹۳۵	۱۲۴	۳۲	۱۶۰	۶۰۰۰	۲۰۰
۳	خیرآباد خالصه	محمدآباد سید	۳۲۸۳۹۴۳	۳۹۱۴۲۴	۳۵/۵	۸۷	۱۰۰	۲۹۰۰۰	۶۵۰
۴	رَمَجِرِد	رمجرد	۳۲۴۷۰۶۳	۴۰۷۹۴۸	۴۴	۱۰۷	۱۴۰	۱۷۰۰۰	۴۰۰
۵	قلعه‌نو	وکیل‌آباد	۳۱۵۵۶۳۱	۴۰۶۱۰۲	۱۶۹	۴۵	۴۵۰	۱۱۰۰۰	۴۰۰
۶	قادرآباد عمومی	قادرآباد	۳۱۴۹۰۵۲	۴۶۲۶۰۳	۱۱۰	۲۶	۳۲۰	۴۳۰۰	۱۰۰
۷	عیسویه	پشترود	۳۲۲۵۴۰۰	۶۲۳۶۰۰	۷۶	۴۰	۱۲۰	۳۵۰۰	۷۶
۸	پاکم	پاکم	۳۲۲۴۳۸۵	۶۱۷۹۵۵	۲۵۱	۴۵	۳۰۰	۵۰۰۰	۱۲۲
۹	تُرْشَاب	ترشاب	۳۲۹۵۳۱۴	۴۵۸۶۰۲	۸۶	۱۸	۱۰۰	۳۰۰۰	۱۲۰
۱۰	سِفْتَه‌گِلُو	سفته‌گلو	۳۳۰۴۶۵۲	۴۲۹۴۵۱	۶۳	۲۵	۱۵۰	۳۰۰۰	۱۲۰
۱۱	سَرخِکَان	سرخکان	۳۲۸۶۷۵۲	۴۷۹۴۵۰	۴۴	۵۰	۸۰	۴۰۰۰	۱۶۰
۱۲	احمدآباد	احمدآباد	۳۳۷۲۱۵۷	۳۵۸۸۸۳	۳۷	۸۰	۱۴۴	۷۰۰۰	۲۳۵
۱۳	خَنَامَان	خنامان	۳۳۷۳۱۷۰	۴۴۹۹۲۹	۴۷	۷۰	۱۳۷	۵۰۰۰	۱۶۰
۱۴	دِه‌مَلِک	ده‌ملک	۳۴۶۹۰۰۵	۴۳۲۳۰۷	۳۶	۴۵	۴۵	۲۰۰۰	۶۵
۱۵	جَوْر	جور	۳۴۶۷۷۴۸	۴۳۴۳۷۷	۴۱	۶۰	۳۵	۲۰۰۰	۶۵

UTM: طول و عرض جغرافیایی بر حسب متر در سیستم تبدیلی مرکاتور

آب ناخالص (سانتی‌متر) هستند. برای محاسبه بازده کاربرد آب، عمق توسعه ریشه محصولات مختلف از نشریه ۵۶ فائو (۱۱) استخراج گردید.

در این تحقیق، کارایی مصرف آب در مورد محصولات زراعی و باغی پایین دست هر قنات به‌طور جداگانه از رابطه زیر برآورد گردید.

$$[۳] \quad \text{عملکرد} = \frac{\text{کارایی مصرف آب}}{\text{آب مصرفی}}$$

که در آن، کارایی مصرف آب برحسب کیلوگرم بر مترمکعب، عملکرد برحسب کیلوگرم و آب مصرفی برحسب مترمکعب هستند. برآورد آب مصرفی محصولات مختلف در طول فصل رشد از طریق اندازه‌گیری آب واگذاری به کشاورز در چند

بازده کاربرد آب آبیاری در برخی از مزارع و یا باغ‌های مربوط به هر کدام از قنوات مورد مطالعه، با استفاده از روابط زیر محاسبه شد.

$$[۱] \quad dn = (q_2 - q_1) \times r \times z$$

$$[۲] \quad E_a = \frac{dn}{d_a} \times 100$$

که در آن، dn عمق آب ذخیره شده در منطقه توسعه ریشه (سانتی‌متر)، θ_2 متوسط رطوبت خاک بعد از آبیاری در منطقه توسعه ریشه (درصد وزنی)، θ_1 متوسط رطوبت خاک قبل از آبیاری در منطقه توسعه ریشه (درصد وزنی)، ρ جرم مخصوص ظاهری خاک (گرم بر سانتی متر مکعب)، Z عمق توسعه ریشه محصول (سانتی‌متر)، E_a بازده کاربرد آب (درصد) و d_a عمق

به صورت زمانی است تا در صورت تغییر آبدهی قنات و یا هر مشکل دیگری اختلافی بین مالکین به وجود نیاید. ولی با توجه به کاهش آبدهی قنات، سطح زیرکشت و الگوی کشت در این مناطق تغییر کرده است. در دهه‌های قبل در مناطق زیردست قنات مورد مطالعه در کنار باغ‌های پسته، بادام، مرکبات، خرما، سیاه‌ریشه و تاکستان‌ها تقریباً تمام محصولات زراعی مانند غلات، حبوبات، صیفی‌جات، علوفه و غیره کشت می‌شدند. ولی اخیراً به دلیل کم‌آب شدن قنات، زمین‌های زراعی به باغ و در برخی مناطق به زمین‌های بایر تبدیل شده‌اند. برای مثال هم‌اکنون کشاورزی شهرستان‌های سیرجان، زرنند، رفسنجان، کرمان و بم در باغ‌های پسته، سیاه‌ریشه، خرما و مرکبات خلاصه شده‌است و زراعت فقط در شهرستان‌های بافت و بردسیر رواج دارد.

ارزیابی پرسش‌نامه‌های تکمیل شده نشان می‌دهد عملیات ترمیمی در نظرگرفته شده برای قنات از نظر مالی و زمانی کافی نبوده و اصلاحات در قناتی مؤثر بوده که همت و حضور مالکین در منطقه بیشتر بوده است. مشکل عمده‌ای که در ترمیم قنات توسط مدیریت آب و خاک شهرستان‌های مختلف وجود دارد، اختصاص بودجه اندک سالانه به چندین قنات است که در این شرایط بودجه تخصیصی با تقسیم شدن بین چندین رشته قنات اثر بخشی لازم را در مرمت ندارد.

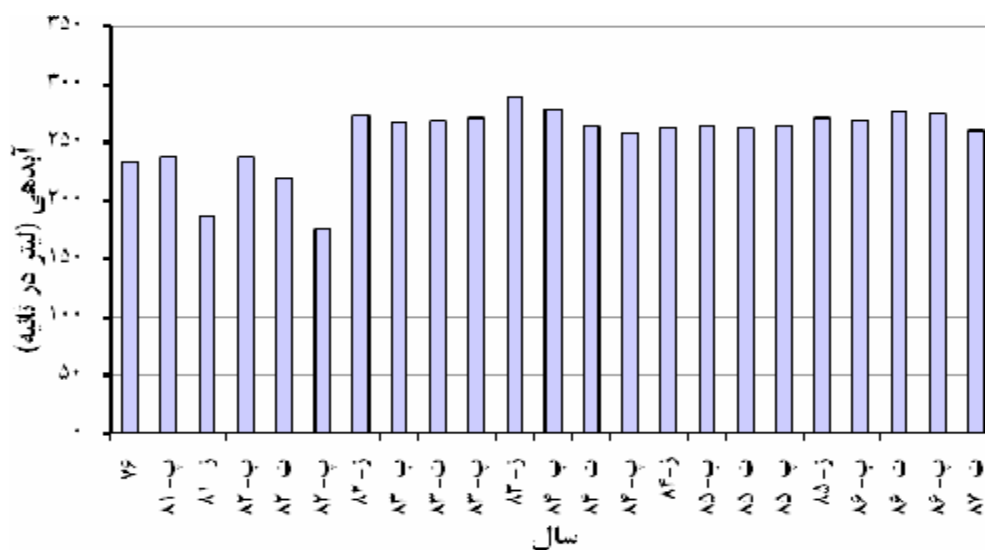
جدول ۳ وضعیت بازده انتقال آب را در هرنج قنات نشان می‌دهد. بازده انتقال در قنات گوهرریز، خیرآباد، پاکم و جور به واسطه این که فاصله مظهر تا محل مصرف ناچیز بود، اندازه‌گیری نشد. نتایج نشان می‌دهد در کانال‌های انتقال بعد از مظهر قنات متوسط بازده انتقال $81/2$ درصد است که در مقایسه با مقدار اعلام شده توسط ریاحی (۵) قابل قبول می‌باشد. ریاحی بازده انتقال آب در کانال‌های پوشش‌دار استان کرمان را بین ۵۸ تا ۸۲ درصد گزارش نمود که این نشان می‌دهد نگهداری و بهره‌برداری از کانال‌های انتقال آب قنات با دقت بیشتری انجام می‌گیرد. پایین بودن نسبی بازده انتقال آب در قنات‌های سفته‌گلو، سرخکان و احمدآباد به دلیل طولانی

حفر چاه در حریم قنات اشاره نمود. نتایج نشان می‌دهد نوسانات آبدهی قنات دشتی و قناتی که خاک بستر آنها درشت بافت (پایدار) هستند، از بقیه کمتر است. زیرا قنات دشتی بیشتر به سطح سفره آب زیرزمینی منطقه وابسته هستند ولی قنات کوهستانی تحت تأثیر میزان بارندگی منطقه‌اند. هم‌چنین قناتی که بستر آنها درشت بافت‌اند کمتر تحت تأثیر حوادث طبیعی قرار می‌گیرند و تغییرات در مسیر کوره آنها کمتر و در نتیجه نوسانات دبی آنها کمتر است. پاکم، خیرآباد، رمجرد، قلعه‌نو و جور از جمله قنات دشتی هستند. به‌عنوان مثال شکل ۲ تغییرات آبدهی یکی از قنات مورد اشاره، قنات پاکم شهرستان بم را نشان می‌دهد که این تغییرات محسوس نیست.

جدول ۲ نشان می‌دهد ضریب تغییرات دبی این قنات به ترتیب یاد شده ۱۱، ۱۲، ۱۴، ۱۶ و ۱۷ درصد می‌باشد که در مقایسه با سایر نشان از تغییرات آبدهی کمتر است. برخی از قنات مانند قادرآباد، عیسویه و ترشاب بر اثر بلایای طبیعی مانند سیل، در یک مقطع زمانی با کاهش چشمگیر دبی مواجه شده‌اند که ناپایدار بودن خاک بستر آنها (بستر آنها بر اساس انجام آزمون خاک در آزمایشگاه خاک و آب، لومی شنی بود) هم مزید بر علت شده‌است. دبی قنات نام برده پس از مرمت و بازسازی میله‌ها و کوره آنها به‌طور قابل ملاحظه‌ای افزایش یافته‌اند. شکل ۳ تغییرات آبدهی یکی از قنات مورد اشاره، قنات ترشاب شهرستان بردسیر را نشان می‌دهد. کاهش چشمگیر آبدهی این قنات در سال ۱۳۸۴ به خاطر سیل و در نتیجه خرابی اعظم کوره این قنات است. به همت مالکین این قنات که سه برادرند، قنات در حال مرمت و بازسازی می‌باشد و هم‌اکنون دبی آن به حدود ۹۰ لیتر در ثانیه رسیده‌است.

نظام تقسیم و توزیع آب و الگوی کشت اراضی پایین‌دست قنات‌های مورد مطالعه

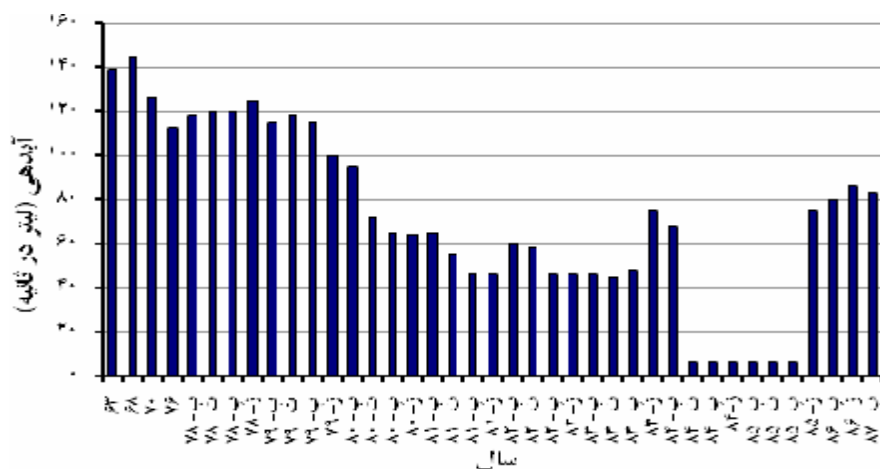
نتایج نشان می‌دهد نحوه توزیع آب نسبت به گذشته (دهه‌های قبل) تغییری نکرده و تقسیم آن بر اساس میزان مالکیت زمین و



شکل ۲. تغییرات آبدهی قنات پاکم طی سال‌های ۷۶ تا ۸۷

جدول ۲. شاخص‌های آماری تغییرات دبی قنوات مورد مطالعه

ردیف	نام قنات	تعداد نمونه	میانگین دبی (l/s)	انحراف معیار	ضریب تغییرات (درصد)	دامنه نوسانات دبی (l/s) حدود اطمینان ۹۵ درصد
۱	گوهرریز	۲۰	۱۲۷	۵۰/۱	۳۹	۱۰۳/۵ - ۱۵۰/۴
۲	فرمیتن	۳۴	۱۲۵	۴۶/۵	۳۷	۱۰۸/۸ - ۱۴۱/۳
۳	خیرآباد	۱۲	۳۲/۹	۳/۹	۱۲	۳۰/۵ - ۳۵/۴
۴	رمجرد	۲۳	۴۱/۸	۶	۱۴	۳۹/۲ - ۴۴/۴
۵	قلعه نو	۹	۱۷۵	۲۷/۲	۱۶	۱۵۴/۱ - ۱۹۵/۹
۶	قادرآباد	۲۱	۵۲/۷	۵۸/۶	۱۱۱	۲۶/۱ - ۷۹/۴
۷	عیسویه	۲۱	۶۶/۹	۲۸/۵	۴۳	۵۳/۹ - ۷۹/۹
۸	پاکم	۲۳	۲۵۵/۳	۲۸/۴	۱۱	۲۴۳ - ۲۶۷/۶
۹	ترشاب	۳۹	۷۲/۱	۴۰/۷	۵۶	۵۸/۹ - ۸۵/۳
۱۰	سفته‌گلو	۴۱	۶۰/۸	۲۶/۱	۴۳	۵۲/۶ - ۶۹/۱
۱۱	سرخکان	۲۰	۴۵/۸	۱۰/۱	۲۲	۴۱ - ۵۰/۵
۱۲	احمدآباد	۲۲	۳۹/۶	۱۱/۶	۲۹	۳۴/۵ - ۴۴/۷
۱۳	خنامان	۳۵	۴۵/۹	۱۳	۲۸	۴۱/۴ - ۵۰/۴
۱۴	ده‌ملک	۳۰	۳۷/۶	۱۰/۸	۲۹	۳۳/۵ - ۴۱/۶
۱۵	جور	۳۰	۴۲	۷/۱	۱۷	۳۹/۳ - ۴۴/۶



شکل ۳. تغییرات آبدهی قنات ترشاب طی سال‌های ۶۳ تا ۸۷

جدول ۳. وضعیت بازده انتقال در هرنج قنات مورد مطالعه استان کرمان

ردیف	نام قنات	نام روستا	طول قنات (متر)	طول هرنج (متر)	میانگین دبی اندازه‌گیری شده (l/s)	بازده انتقال در هرنج (%)
۱	فرمیتین	سکنج	۶۰۰۰	۱۰۰۰۰	۸۰	۹۱
۲	رمجرد	رمجرد	۱۷۰۰۰	۶۰۰۰	۲۸	۸۵
۳	قلعه‌نو	وکیل‌آباد	۱۱۰۰۰	۱۱۰۰۰	۱۴۲	۹۰
۴	قادرآباد	قادرآباد	۴۳۰۰	۱۳۰۰۰	۱۲۲	۸۵
۵	عیسویه	پشت‌رود	۳۵۰۰	۶۰۰۰	۵۱	۸۸
۶	ترشاب	ترشاب	۳۰۰۰	۵۰۰	۸۶/۵	۹۲
۷	سفته‌گلو	سفته‌گلو	۳۰۰۰	۴۰۰۰	۳۶	۷۶
۸	سرخکان	سرخکان	۴۰۰۰	۸۰۰۰	۴۴	۷۹
۹	احمدآباد	احمدآباد	۷۰۰۰	۱۷۰۰۰	۳۷	۵۶
۱۰	خنامان	خنامان	۵۰۰۰	۵۰۰۰	۴۷	۵۸
۱۱	ده‌ملک	ده‌ملک	۲۰۰۰	۳۰۰۰	۳۶	۹۳
	میانگین	-	۵۹۸۲	۷۵۹۱	۶۴/۵	۸۱/۲

بودن هرنج، بدون پوشش بودن کانال انتقال آب و شنی بودن بستر آن می‌باشد.

کیفیت آب و خاک بستر

از بستر هرنج و داخل ۱۵ رشته قنات مورد مطالعه دو نمونه و در کل تعداد ۳۰ نمونه خاک تهیه و آزمایش دانه‌بندی روی آنها

انجام و مقادیر EC و pH آنها اندازه‌گیری شد. نتایج نشان می‌دهد مقادیر pH در داخل و در هرنج قنات تفاوت قابل ملاحظه‌ای با هم ندارند و مقادیر EC داخل قنات به‌طور غیرمحسوسی کمتر از هرنج آن می‌باشد. بررسی کیفیت آب قنات مورد مطالعه طی سال‌های گذشته نشان می‌دهد که کیفیت آب قنات طی سال‌های گذشته تاکنون تغییر محسوسی

پوشش است.

بازده کاربرد آب

نتایج تخمین بازده کاربرد آب در مزرعه که متوسطی از اندازه‌گیری بازده در سه نوبت آبیاری است، در جدول ۴ ارائه شده است. بدیهی است در ارتباط با محصولات زراعی عمق توسعه ریشه در سه نوبت آبیاری متفاوت بود و با توجه به مرحله رشد گیاه از مقادیر ارائه شده توسط آلن و همکاران (۱۱) برآورد گردید. ولی برای محصولات باغی عمق مؤثر ریشه ثابت در نظر گرفته شد. نتایج نشان می‌دهد بازده کاربرد آب در مزارع زیردست قنوات بین ۵۰ تا ۶۸ درصد نوسان دارد و متوسط آنها ۵۹/۳ درصد است. مقادیر پایین مربوط به مناطقی است که سطح زیرکشت محصولات زراعی بیشتر از باغی است. این موضوع بیانگر تلفات زیاد آب در اراضی زراعی است. با توجه به این که روش آبیاری مزارع فوق سطحی می‌باشد بازده فوق نسبتاً قابل قبول بوده و می‌توان به این نکته اشاره کرد که در مناطق زیردست قنوات، کشاورزان در مصرف آب بیشتر دقت می‌کنند. در آزمایشی تحت عنوان بررسی عملکرد روش‌های آبیاری سطحی تحت مدیریت زارعین، میانگین بازده کاربرد آب در شهرستان بردسیر کرمان ۱۷/۵ گزارش شده است (۱). هم‌چنین ریاحی (۴) بازده کاربرد آب گندم تحت روش آبیاری سطحی را در شهرستان بردسیر کرمان ۲۳ درصد گزارش نمود.

کارایی مصرف آب

نتایج کارایی مصرف آب در مزرعه و تخمین متوسط مقدار آب مصرفی و عملکرد هر محصول در جدول ۵ ارائه شده است. نتایج نشان می‌دهد میانگین کارایی مصرف آب برای محصولات زراعی مانند گندم، یونجه، چغندر، ذرت دانه‌ای، ذرت علوفه‌ای و هندوانه به ترتیب ۰/۴۳، ۰/۵۱، ۳/۱، ۰/۶۵، ۴/۷۵ و ۸ کیلوگرم بر مترمکعب است. البته پارامتر مورد نظر برای هر کدام از این محصولات در هر منطقه، به دلیل تفاوت در حاصل‌خیزی

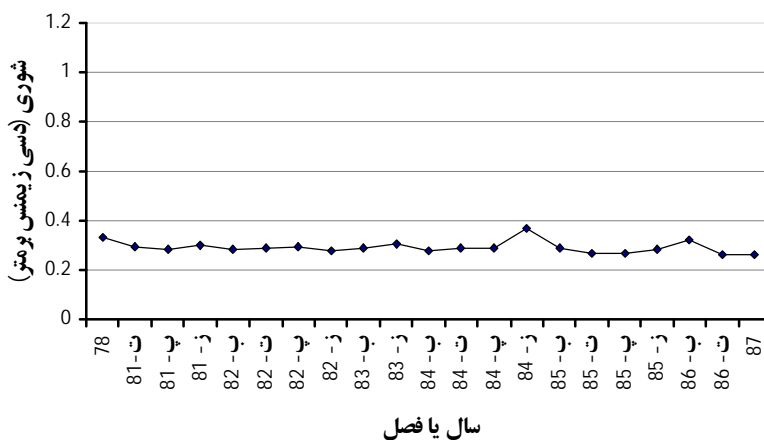
نکرده و عوامل محیطی در حدی نبوده که بر آن تأثیر گذاشته باشد. به عبارتی مسیر کوره قنوات هنوز تحت تأثیر نشت فاضلاب‌های شهری، صنعتی و هرزآب‌های کشاورزی قرار نگرفته است. برای نمونه شکل‌های ۴ و ۵ تغییرات شوری (EC) و pH آب قنات گوهرریز را طی سال‌های ۷۸ تا ۸۷ نشان می‌دهد که مؤید این مطلب است.

پوشش گیاهی

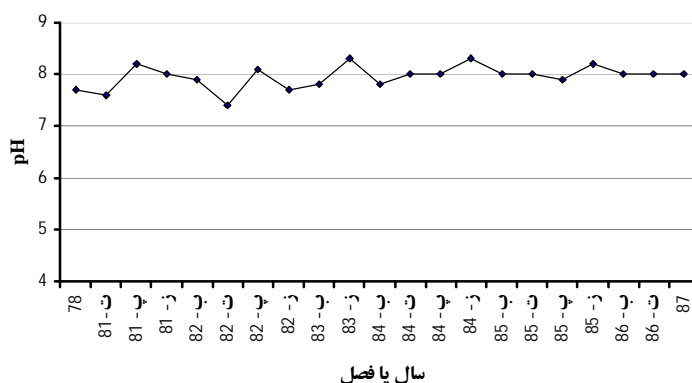
با توجه به خشک‌سالی‌های اخیر در بیشتر قنوات، پوشش گیاهی ضعیف و بسیار پراکنده بودند. اغلب از نوع گز، گون، خار شتر و سایر بوته‌های تنک بودند که تراکم آنها تقریباً به ده درصد نمی‌رسد. بنابراین نمی‌تواند بر آبدهی قنوات تأثیر قابل ملاحظه‌ای داشته باشد. سر سبزی پوشش گیاهی اطراف قنوات بیشتر از ۳ ماه اول سال دوام ندارد. خبرگان محلی و بهره‌برداران اعتقاد بر این داشتند در دهه‌های قبل به دلیل وفور آب، زراعت بیشتر در حریم قنوات بر آبدهی آنها تأثیر می‌گذاشت. به‌طورکلی در قنوات دشتی که مسیر کوره آنها در اراضی روستاهای بالادست واقع شده و در این مسیر عملیات آبیاری انجام می‌شود (مانند قلعه‌نو، پاکم، عیسویه، خیرآباد، ترشاب و فرمیتن)، پوشش گیاهی تأثیر مستقیم بر افزایش آبدهی قنوات دارد و در قنوات کوهستانی که کوره آنها در شیب قرار می‌گیرند (مانند قادرآباد، گوهرریز و ده‌ملک)، پوشش گیاهی نامناسب بوده و تأثیری در افزایش آبدهی آنها ندارد.

ضریب زبری مانینگ

نتایج نشان می‌دهد که شیب طولی هر نچ قنوات مورد مطالعه به طور متوسط ۰/۴۵۵ درصد بوده و ضریب زبری مانینگ آنها بین ۰/۱۸ تا ۰/۳۴ و بطور متوسط ۰/۲۴ می‌باشد. بالا بودن ضریب زبری تعداد معدودی از آنها به دلیل خرابی پوشش بعضی از قسمت‌های کانال‌های پوشش‌دار به واسطه شیب نسبتاً زیاد در قسمتی از مقاطع، عدم لایروبی، وجود قطعات خارجی در مسیر انتقال و رشد علف‌های هرز در کانال‌های بدون



شکل ۴. تغییرات شوری آب قنات گوهرریز طی سال‌های ۷۸ تا ۸۷



شکل ۵. تغییرات pH آب قنات گوهرریز طی سال‌های ۷۸ تا ۸۷

آبیاری دوار مرکزی به ترتیب ۰/۵۶، ۰/۲۳، ۱/۴۸ و ۶/۴۶ کیلوگرم بر مترمکعب گزارش نموده‌اند. ریاحی (۴) کارآیی مصرف آب گندم را در منطقه بردسیر کرمان تحت روش آبیاری سطحی ۰/۴ کیلوگرم بر مترمکعب گزارش کرده‌است. فرزنام‌نیا (۹) کارآیی مصرف آب خرماي مضافتی را در منطقه بم تحت روش آبیاری سطحی، ۰/۹ کیلوگرم بر مترمکعب گزارش نموده‌است. با توجه به نتایج محققین و نتایج آزمایش اخیر، مقادیر کارآیی مصرف آب محصولات باغی و زراعی پایین دست قنات مورد مطالعه، کمتر از حد انتظار بوده و پتانسیل افزایش این پارامتر در این مناطق، با برنامه‌ریزی مناسب در این بخش وجود دارد.

خاک، مدیریت کود، اولویت محصول و بالاخره مدیریت مزرعه، با منطقه دیگر تفاوت دارد. برای مثال کارآیی مصرف آب گندم در مزارع زیردست قنات گوهرریز و فرمیتن حدود ۰/۳۸ کیلوگرم بر مترمکعب می‌باشد. در صورتی که این عدد در مزارع زیردست قنات خیرآباد خالصه به حدود ۰/۵۳ می‌رسد. نتایج هم‌چنین نشان می‌دهد در مناطق پایین دست قنات مورد مطالعه، میانگین کارآیی مصرف آب برای محصولات باغی مانند پسته، بادام، خرما، مرکبات و درختان سیاه‌ریشه به ترتیب ۰/۵۲، ۰/۳، ۰/۶۶، ۱/۱ و ۰/۵۴ کیلوگرم بر مترمکعب است. حیدری و همکاران (۳) میانگین کارآیی مصرف آب گندم، چغندرقد، یونجه و ذرت علوفه‌ای را در منطقه بردسیر کرمان تحت روش

جدول ۴. مقایسه بازده کاربرد آب در اراضی پایین‌دست قنوات مورد مطالعه

ردیف	نام قنات	دبی (lit/s)	رطوبت خاک قبل از آبیاری (% وزنی)	رطوبت خاک بعد از آبیاری (% وزنی)	عمق توسعه ریشه (cm)	نوع محصول	جرم مخصوص ظاهری خاک (gr/cm ³)	عمق آب‌داده شده (cm)	بازده کاربرد (%)
۱	گوهرریز	۱۲۸	۱۴	۲۱/۵	۱۵۰	گندم	۱/۴	۲۵/۵	۶۱
۲	فرمیتن	۸۰	۱۳/۳	۲۱	۷۵	گندم	۱/۴	۱۴/۵	۵۵
۳	خیرآباد	۲۹/۵	۱۴/۵	۲۱	۱۲۰	پسته	۱/۳۵	۱۵/۵	۶۸
۴	رمجرد	۲۸	۱۱	۱۹	۱۲۰	پسته	۱/۵۰	۲۸	۵۱
۵	قلعه‌نو	۱۴۲	۱۴/۵	۲۲	۱۳۰	ذرت‌دانه‌ای	۱/۳۵	۲۴	۵۴
۶	قادرآباد	۱۲۲	۱۳	۲۰	۶۰	ذرت‌دانه‌ای	۱/۴۵	۱۱/۵	۵۳
۷	عیسویه	۵۱	۱۳/۵	۲۱/۵	۲۰۰	خرما	۱/۳۵	۳۶	۶۰
۸	پاکم	۲۷۲	۱۴	۲۲/۵	۲۰۰	خرما	۱/۳۵	۴۰	۵۷
۹	ترشاب	۸۶/۵	۱۳/۵	۱۹/۵	۷۵	چغندرقد	۱/۴	۱۰/۳	۶۱
۱۰	سفته‌گلو	۳۶	۱۱/۵	۲۰	۷۵	چغندرقد	۱/۵	۱۹	۵۰
۱۱	سرخکان	۴۴	۱۲	۲۲	۷۵	چغندرقد	۱/۵	۲۰	۵۶
۱۲	احمدآباد	۲۷	۱۵	۲۱/۵	۱۲۰	پسته	۱/۴	۱۶	۶۸
۱۳	خانامان	۴۷	۱۱/۵	۱۹	۱۲۰	پسته	۱/۵	۲۰/۵	۶۶
۱۴	ده‌ملک	۳۳	۱۳	۲۰	۱۲۰	یونجه	۱/۵	۱۹	۶۶
۱۵	جور	۴۱	۱۲	۲۰/۵	۱۲۰	یونجه	۱/۵۵	۲۵	۶۳
	میانگین	۷۷/۸	-	-	-	-	-	-	۵۹/۳

نتیجه‌گیری

در این پژوهش مسائل و مشکلات فنی و بهره‌برداری ۱۵ رشته قنات، از قنوات استان کرمان مورد بررسی قرار گرفت. با مراجعه به محل قنوات مورد مطالعه، تکمیل پرسش‌نامه، بازدیدهای محلی و مصاحبه حضوری با افراد بومی و اندازه‌گیری اطلاعات مورد نیاز جمع‌آوری گردید. ضریب زبری، بازده انتقال و کاربرد آب آبیاری و کارایی مصرف آب در اراضی پایین‌دست قنوات نیز برآورد و با اراضی آبخور از منابع آبی چاه یا رودخانه مقایسه شد.

نتایج نشان دادند آبدهی قنوات در دراز مدت دستخوش تغییرات زیاد شده و در دهه اخیر به دلیل خشک‌سالی کاهش قابل ملاحظه‌ای داشته‌است. قنوات پاکم و قادرآباد به ترتیب دارای کمترین و بیشترین تغییرات دبی بودند. کاهش دبی قنوات مساحت و الگوی کشت مناطق پایین‌دست را تغییر داده است. نظام تقسیم و توزیع آب در تمام قنوات براساس میزان مالکیت و به‌صورت زمانی می‌باشد. عملیات ترمیمی که برای

قنوات استان در نظر گرفته شده از نظر مالی و زمانی کافی نبوده است. در قنوات مورد مطالعه مقادیر متوسط راندمان انتقال آب و ضریب‌زبری در کانال‌های انتقال آب از مظهر تا محل مصرف به ترتیب ۸۱/۲ درصد و ۰/۲۴، میانگین بازده کاربرد آب در اراضی انتخابی پایین‌دست قنوات ۵۹/۳ درصد و متوسط کارایی مصرف آب برای محصولات زراعی مانند گندم، یونجه، چغندر، ذرت‌دانه‌ای، ذرت علوفه‌ای و هندوانه به ترتیب ۰/۴۳، ۰/۵۱، ۰/۳۱، ۰/۶۵، ۰/۷۵ و ۸ و برای محصولات باغی مانند پسته، بادام، خرما، مرکبات و درختان سیاه‌ریشه به ترتیب ۰/۵۲، ۰/۳، ۰/۶۶، ۱/۱ و ۰/۵۴ کیلوگرم بر مترمکعب به‌دست آمد.

براساس نتایج این پژوهش، افت سطح آب‌های زیرزمینی به دلیل خشک‌سالی‌های متوالی و حفر بی‌رویه چاه‌های عمیق و نیمه‌عمیق از مهم‌ترین مشکلات بهره‌برداری و یکی از عوامل اصلی کاهش آبدهی قنوات مناطق مورد مطالعه است. عدم رعایت حریم قنوات و هم‌چنین عدم استفاده از تکنولوژی‌های

جدول ۵. مقایسه کارایی مصرف آب محصولات مختلف در پایین دست قنوات مورد مطالعه

ردیف	نام قنات	نوع محصول	آب مصرفی (مترمکعب در هکتار)	عملکرد (تن در هکتار)	کارایی مصرف آب (کیلوگرم بر مترمکعب)
۱	گوهرریز	سیاه ریشه	۱۲۰۰۰	۶/۵	۰/۵۴
		گندم	۸۰۰۰	۳	۰/۳۷۵
		یونجه	۱۸۰۰۰	۸	۰/۴۴
۲	فرمیتن	سیاه ریشه	۱۲۰۰۰	۶/۵	۰/۵۴
		گندم	۸۰۰۰	۳	۰/۳۷۵
		یونجه	۱۸۰۰۰	۸	۰/۴۴
۳	خیرآباد	پسته	۵۵۰۰	۳	۰/۵۴
		گندم	۸۵۰۰	۴/۵	۰/۵۳
۴	رمجرد	پسته	۶۰۰۰	۳	۰/۵
		مرکیبات	۱۲۵۰۰	۱۷	۱/۳۶
۵	قلعه‌نو	ذرت دانه‌ای	۱۳۰۰۰	۸/۵	۰/۶۵
		گندم	۱۰۰۰۰	۴/۵	۰/۴۵
		هندوانه	۵۰۰۰	۴۰	۸
۶	قادرآباد	ذرت دانه‌ای	۱۳۰۰۰	۸/۵	۰/۶۵
		گندم	۱۰۰۰۰	۴/۵	۰/۴۵
		هندوانه	۵۰۰۰	۴۰	۸
۷	عیسویه	خرما	۲۱۰۰۰	۱۴/۵	۰/۶۹
		مرکیبات	۱۳۰۰۰	۱۲/۵	۰/۹۶
		یونجه	۲۳۰۰۰	۱۴	۰/۶
۸	پاکم	خرما	۲۲۰۰۰	۱۴	۰/۶۳
		مرکیبات	۱۳۰۰۰	۱۲	۰/۹۲
		یونجه	۲۳۰۰۰	۱۴	۰/۶
۹	ترشاب	گندم	۷۵۰۰	۳/۵	۰/۴۶
		یونجه	۲۱۰۰۰	۱۱	۰/۵۲
		چغندر	۱۲۵۰۰	۴۰	۳/۲
۱۰	سفته‌گلو	گندم	۸۰۰۰	۳/۵	۰/۴۳
		یونجه	۲۱۰۰۰	۹/۵	۰/۴۵
		گندم	۷۵۰۰	۳	۰/۴
۱۱	سرخکان	یونجه	۲۰۰۰۰	۹/۵	۰/۴۸
		چغندر	۱۲۰۰۰	۳۵	۲/۹
		ذرت علوفه‌ای	۸۰۰۰	۳۸	۴/۷۵
۱۲	احمدآباد	پسته	۶۰۰۰	۲/۵	۰/۴۱
		پسته	۵۰۰۰	۶	۱/۲
۱۳	خنامان	پسته	۵۵۰۰	۱/۲	۰/۲۲
		بادام	۴۰۰۰	۱/۲	۰/۳
		گندم	۸۵۰۰	۳/۵	۰/۴
۱۴	ده‌ملک	یونجه	۲۱۰۰۰	۱۱	۰/۵۲
		پسته	۵۵۰۰	۱/۲	۰/۲۲
		بادام	۴۰۰۰	۱/۲	۰/۳
۱۵	جور	بادام	۴۰۰۰	۱/۲	۰/۳
		گندم	۸۰۰۰	۳/۵	۰/۴۴

۴- تعیین علمی حریم قنوات و نظارت دقیق بر حفظ حریم قنوات توسط شرکت‌های آب منطقه‌ای و عدم ارائه مجوز حفاری چاه عمیق در حریم مربوطه توسط وزارت نیرو

۵- ممنوعیت حفر چاه‌های عمیق و نیمه‌عمیق در حریم قنات و آموزش بهره‌برداران

۶- برنامه‌ریزی مناسب برای جلوگیری از تلفات آب قنوات در فصل زمستان، برنامه‌هایی مثل ذخیره‌سازی، پرورش ماهی، پرورش قارچ و تزریق آب به سفره‌های آب زیرزمینی در پایین دست

۷- انجام تمهیدات لازم برای استفاده بهینه از آب قنوات در پایین دست مانند پوشش انهار، توزیع مناسب آب و بهبود روش‌های آبیاری

۸- نصب دستگاه‌ها و دریچه‌های کنترل دبی و ذخیره‌سازی آب در فصول غیرزراعی در قناتی که امکان‌پذیر است.

۹- جلوگیری از تقسیم آب همزمان با تقسیم زمین بین وراثت از طریق اصلاح قوانین موجود

۱۰- حفظ قوانین تقسیم و توزیع آب قنوات که بسیار دقیق از دیرباز تاکنون در مناطق مختلف اجرا شده است.

۱۱- ارائه وام‌های کم‌بهره یا بی‌بهره برای مرمت و بازسازی قنوات

مدرن برای مرمت و بازسازی آنها، عدم برنامه‌ریزی برای استفاده صحیح از آب قنوات در فصولی که نیاز به آب برای آبیاری محصولات کمتر است، خرده مالکی بودن اراضی پایین دست قنوات و عدم هم‌آهنگی بین مالکان برای مشارکت در بازسازی و نگهداری از قنوات و کمبود برنامه‌های آموزشی و ترویجی در زمینه نحوه بهره‌برداری بهینه از آب قنوات از دیگر مسایل قنوات مورد مطالعه بود. در برخی موارد وراثت قنات‌ها به شهرها مهاجرت نموده و در مدیریت قنات اختلال به وجود می‌آید. چراکه این افراد در شهرها به کارهای دیگری مشغول هستند و با توجه به هزینه بالای نگهداری قنوات تمایل چندانی به مرمت قنوات خود ندارند. علی‌رغم این مشکلات، نظام‌های توزیع و تقسیم آب قنوات بسیار دقیق و منسجم بوده که توصیه می‌شود از این تجربه گران‌بها در مدیریت و توزیع آب در شبکه‌های مدرن استفاده شود.

با توجه به نتایج به دست آمده، برای حفظ قنوات این میراث با ارزش فرهنگی پیشنهادات زیر ارائه می‌شود:

۱- مدیریت واحد این سازه و تعیین متولی مشخص برای آنها از سوی دولت

۲- افزایش اعتبارات تخصیصی مشخص سالانه جهت تعمیر و نگهداری قنوات

۳- استفاده از فنون و روش‌های جدید به منظور انجام عملیات مرمت و بازسازی و محافظت از قنوات با هزینه و خسارت کمتر و سرعت بیشتر

منابع مورد استفاده

۱. اسدی، ا.، ش. اشرفی، ج. باغانی، ح. ریاحی، ت. سهرابی، ح. طایفه‌رضایی، ف. عباسی، ع. کشاورز، ع. مأمون‌پوش و ع. میان‌آبی. ۱۳۷۵. بررسی عملکرد روش‌های آبیاری سطحی تحت مدیریت زارعین. دومین کنگره ملی مسایل آب و خاک کشور، ۲۷-۳۰ بهمن ماه ۱۳۷۵، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران، ص ۳۰-۴۰.
۲. بهراملو، ر. ۱۳۸۳. قنات بهترین سازه در شرایط بحران آب. چکیده مقالات همایش ملی قنات، ۱۶ و ۱۷ اردیبهشت ۱۳۸۳، فرمانداری گناباد.
۳. حیدری، ن.، ا. اسلامی، ع. قدمی فیروزآبادی، ا. کانونی، م. اسدی و م. ح. خواجه‌عبدللهی. ۱۳۸۴. تعیین کارآیی مصرف آب محصولات زراعی مناطق مختلف کشور. کرمان، همدان، مغان، گلستان و خوزستان. گزارش نهایی شماره ۸۴/۹۸۸، مؤسسه

- تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، کرج.
۴. ریاحی، ح. ۱۳۷۸. بررسی راندمان کاربرد آب به ازای دو روش بارانی و سطحی بر روی گندم. گزارش نهایی شماره ۷۸/۵۲، مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، کرج.
۵. ریاحی، ح. ۱۳۸۷. تعیین تلفات آب در کانال‌های پوشش‌دار در استان کرمان. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، گروه مهندسی آب دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم تحقیقات، تهران.
۶. سمسار یزدی، ع. ا. ۱۳۸۳. تدوین تجربیات خبرگان قنات. مهندسین مشاور ستیران.
۷. سیمای آب استان کرمان. ۱۳۸۷. دفتر مطالعات پایه منابع آب، شرکت سهامی آب منطقه‌ای کرمان، وزارت نیرو.
۸. عبدی، پ. ۱۳۸۳. بررسی وضعیت قنات استان زنجان و ارائه راه‌کارهایی برای ارتقای بهره‌برداری و حفاظت و احیای آنها. چکیده مقالات همایش ملی قنات، ۱۶ و ۱۷ اردیبهشت ۱۳۸۳، فرمانداری گناباد، ص ۷۶.
۹. فرزامنیا، م. ۱۳۸۳. تأثیر کم آبیاری روی درختان متمر خرمای مضافتی تحت روش آبیاری سطحی. گزارش نهایی شماره ۸۳/۲۸۷ مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی.
۱۰. منزوی، م. ت. ۱۳۷۷. آبرسانی شهری. انتشارات دانشگاه تهران.
11. Allen, R., S. L. Pereira and M. Smith. 1998. Crop evapotranspiration "Guidelines for Computing Crop Water Requirements" FAO Irrigation. and Drain. Paper No.56, Food and Agricultural Organization of United Nation, Rome.
12. Barahimi, M., H. Mehrabian and A. Rezaeenejad. 2007. Some learning from irrigation participatory management in qanats. CD Proceedings of the 4th Asian Regional Conference and 10th International Seminar on Participatory Irrigation Management. May 2-5, Tehran, Iran.
13. Lightfoot, D. 1996 Syrian qanat Romani: history, ecology, abandonment. J. Arid Environ. 33: 321- 336.
14. Naseri, M., E. Mirzaee, S. M. Hasheminia and K. Davari. 2007. Estimation of the reasons of qanat degradation and its effect on villagers' participation (case study of six regions in the Khorassan province). CD Proceedings of the 4th Asian Regional Conference and 10th International Seminar on Participatory Irrigation Management. May 2-5, Tehran, Iran.
15. Rahbari, P. and M. Afsharasl. 2007. Qanat's environmental impact assessment in arid and semi-arid areas. CD Proceedings of the 4th Asian Regional Conference and 10th International Seminar on Participatory Irrigation Management. May 2-5, Tehran, Iran.
16. Wessels, K. 2000. Renovating Qanats in a changing world, a case study in Syria, paper presented to the International Syposuim on Qanats, May 2000, Yazd, Iran.