

ارزیابی هیدروژئولوژیکی قنات‌های دشت گناباد

حجت میرانی مقدم^۱، غلامحسین کرمی^{۲*}، رحیم باقری^۳

۱- دانشجوی دکتری هیدروژئولوژی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه صنعتی شاهرود

۲- دانشیار هیدروژئولوژی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه صنعتی شاهرود

۳- استادیار هیدروژئولوژی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه صنعتی شاهرود

* نویسنده مسئول: g.karami@shahroodut.ac.ir

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۸/۰۸/۰۷

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۸/۰۲/۰۹

چکیده

قنات مهم‌ترین روش بهره‌برداری از آب‌های زیرزمینی در مناطق خشک و نیمه‌خشک است. در این تحقیق هیدروژئولوژی قنات‌های دشت گناباد بررسی شد. به این منظور ابتدا محدوده حوضه آبرگیر قنات‌های دشت تعیین شد. محاسبات بیلان در حوضه آبرگیر قنات‌ها نشان می‌دهد سالانه حدود ۳/۷ میلیون مترمکعب بیش از مقدار تغذیه حوضه و از ذخیره سفره آب زیرزمینی برداشت می‌شود که باعث افت سطح آب زیرزمینی در سفره به میزان حدود ۰/۰۶ متر در سال و کاهش زون آبرگیر قنات‌ها می‌گردد. برای مشخص شدن تأثیر کاهش بارش بر کاهش آبدی قنات‌ها، تغییرات بارش حوضه در طی سال‌های ۱۳۷۶ تا ۱۳۹۶ به همراه میانگین ۵ ساله بارش‌ها بررسی گردید. شش رشته از قنات‌های اصلی دشت شامل قصبه، بهاباد، بیدخت، رهن، دیزق و خشویی انتخاب شدند. هیدروگراف آنها طی سال‌های ۱۳۷۶ تا ۱۳۹۶ ترسیم و شیب هیدروگراف برای دو دوره زمانی معین محاسبه گردید. شیب هیدروگراف قنات‌های قصبه و بهاباد در دوره ۱۳۸۵ تا ۱۳۹۶ نسبت به دوره ۱۳۷۶ تا ۱۳۸۵ به ترتیب ۵ و ۲ برابر شده است. عدم لایروبی، احداث سد و حفر چاه‌های عمیق در حوضه آبرگیر قنات‌ها باعث کاهش آبدی آنها شده است. شیب هیدروگراف قنات دیزق از ابتدا تقریباً ثابت و قنات مذکور کمترین تغییرات آبدی را دارد. استعداد خوب سفره در محل زون آبرگیر قنات، عدم حفر چاه در حریم قنات و تغذیه از طریق نفوذ آب در کوره قنات‌های بالادست باعث شده تغییرات آبدی قابل ملاحظه‌ای نداشته باشد. کاهش آبدی از ۶ تا ۲۰ لیتر بر ثانیه در قنات‌های مورد مطالعه در طول دوره آماری اتفاق افتاده است. واژه‌های کلیدی: بیلان آب، حوضه آبرگیر، قنات، کاهش آبدی، هیدروگراف.

مقدمه

آب زیرزمینی در مناطق کویری، از گذشته تاکنون است که با وجود پیدایش روش‌های جدید کماکان ارزش و اعتبار خود را حفظ کرده است. نقش قنات در پیدایش شهرها و روستاها و توسعه آن در مناطق کویری ایران کاملاً مشخص است. اگر قنات ابداع نشده بود در محدوده وسیعی از مناطق خشک و نیمه خشک کره زمین به ویژه در آسیا و شمال آفریقا، عملاً شهر و روستای بزرگی به وجود

کشور ایران در منطقه خشک و نیمه خشک قرار گرفته است. در پهنه وسیعی از شرق و مرکز ایران به دلیل کمبود شدید بارش، جریانات آب سطحی دائمی و چشمه وجود نداشته و امکان حیات مداوم در یک محل بدون دسترسی به آب زیرزمینی محدود بوده است بنابراین برای زیستن راهی جز استفاده از قنات وجود نداشته است. قنات، یکی از کارآمدترین روش‌ها برای استحصال

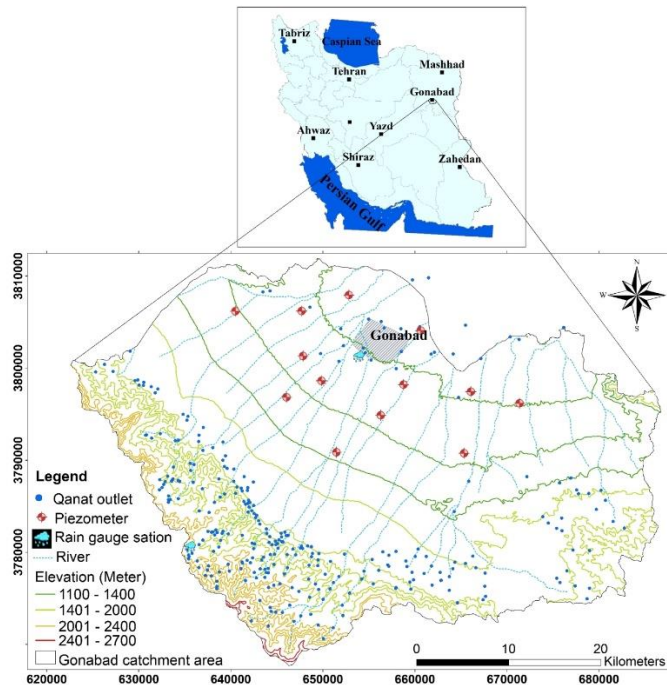
کوهپایه‌ای پس از یک سال و در قنات دشتی بعد از ۲ سال بر رژیم آبدهی قنات اثرگذار است.

کرباسی راوری و سنایی راد (۱۳۸۳) با بررسی وضعیت سفره‌های آب زیرزمینی در منطقه فرهان، کاهش سطح آب زیرزمینی طی دو دهه و افزایش بی‌رویه تعداد چاه‌های برداشت در منطقه را عامل اصلی پایین افتادن سطح آب زیرزمینی و خشک شدن و یا کم آب شدن قنات‌های منطقه دانسته‌اند. محدوده مطالعاتی گناباد در شرق ایران و در جنوب استان خراسان رضوی قرار دارد (شکل ۱).

وسعت کل حوضه آبریز گناباد ۱۸۷۲ کیلومترمربع است که ۹۳۹ کیلومترمربع آن را ارتفاعات و ۹۳۳ کیلومترمربع را دشت تشکیل می‌دهد. این محدوده جزء مناطق کویری و خشک ایران است که به دلیل بارندگی کم، درجه حرارت و تبخیر بالا، در این منطقه جریان آب سطحی دائمی وجود ندارد و تنها راه حیات استفاده از آب‌های زیرزمینی توسط قنات است. مقدار برداشت از آب‌های زیرزمینی محدوده مطالعاتی توسط ۳۰۰ رشته قنات، سالانه برابر ۳۰ میلیون مترمکعب است. از ۳۰۰ رشته قنات موجود در محدوده گناباد، ۲۶ رشته در دشت قرار دارد که تخلیه سالیانه آن‌ها ۱۹/۵ میلیون مترمکعب در سال می‌باشد. هدف اصلی این مطالعه بررسی هیدروژئولوژیکی قنات‌های مهم دشت گناباد شامل تعیین حوضه آگیر و محاسبه بیلان در حوضه آگیر قنات‌ها، شناخت رفتار هیدروژئولوژیکی قنات‌ها و شناسایی عوامل مؤثر بر تغییرات آبدهی آن‌ها به منظور برنامه‌ریزی و تدبیراندیشی برای حفاظت و نگهداری آن‌ها می‌باشد.

نمی‌آمد (پاپلی یزدی و همکاران، ۱۳۷۹). از مهم‌ترین عوامل مؤثر بر افت سطح آب زیرزمینی در مناطق خشک و نیمه‌خشک می‌توان به برداشت بی‌رویه آب‌های زیرزمینی از طریق حفر چاه‌های عمیق و نیمه عمیق، کاهش بارندگی و خشکسالی‌های مداوم، احداث سد در ارتفاعات و جلوگیری از تغذیه دشت‌ها اشاره کرد. قنات یک منبع آبی بسیار مهم در بسیاری از مناطق ایران است ولی مطالعات اندکی در رابطه با هیدروژئولوژی قنات‌ها انجام گرفته است.

هنری و کرمی (۱۳۹۳) آبدهی قنات‌های منطقه خور را در طی یک سال آبی ماهیانه اندازه‌گیری کردند، آبدهی قنات‌های منطقه مورد مطالعه به دلایلی مانند طول قنات، محل قرارگیری مادر چاه قنات، ویژگی‌های حوضه آگیر و تأثیر فاضلاب شهر و آب برگشتی کشاورزی بر آب قنات از ۴ تا ۴۷ لیتر در ثانیه متفاوت بود. بررسی بارش روزانه و تغییرات آبدهی قنات‌ها نشان داد که علاوه بر مقدار بارش، شدت و تداوم بارش تأثیر مهمی در میزان تغذیه به قنات دارد. کیانی و کرمی (۱۳۸۸) با اندازه‌گیری آبدهی قنات‌های منطقه بیارجمند، هیدروگراف و منحنی فرود قنات‌ها را ترسیم کردند. شیب منحنی فروکش در قنات‌های کوهستانی بیشتر از قنات‌های دشتی بود. آبدهی قنات‌های دشتی بیشتر از قنات‌های کوهستانی بود که این به دلیل بزرگ‌تر بودن حوضه آگیر قنات‌های دشتی و طولانی بودن مسیر تره‌کار در این قنات‌ها بود. اکرامی و همکاران (۱۳۹۲) تأثیر خشکسالی‌های اقلیمی بر تغییر رژیم آبدهی قنات‌ها در منطقه یزد را بررسی کردند و نشان دادند در منطقه مورد مطالعه تغییرات اقلیمی در قنات



شکل ۱- موقعیت حوضه آبرگیر گناباد، مظهر قنات‌ها، پیزومترها و ایستگاه‌های باران‌سنجی موجود در حوضه.

زمین‌شناسی و هندسه آبخوان

از نظر جایگاه زمین‌شناسی محدوده گناباد جزئی از زون زمین‌شناسی ایران مرکزی و بلوک لوت است. قدیمی‌ترین سنگ‌های موجود در محدوده، سنگ آهک و دولومیت‌های توده‌ای متعلق به پرموتریاس هستند که بخش اعظم ارتفاعات شرق دشت گناباد را تشکیل می‌دهند (شکل ۲).

مهم‌ترین تشکیلات زمین‌شناسی متعلق به دوران مزوزوئیک، سازند شمشک (ژوراسیک) با لیتولوژی ماسه‌سنگ، شیل‌های تیره‌رنگ و شیل‌های آهکی است که از جنوب غربی تا جنوب و شرق منطقه وسعت دارد. این تشکیلات به‌شدت گسل خورده بوده و شکستگی‌های فراوانی در آن وجود دارد. از سازندهای دیگر مزوزوئیک، آهک بادامو به سن ژوراسیک پایانی است که به‌طور هم‌شیب بر روی سازند شمشک قرار گرفته است. این تشکیلات به‌صورت محدود در جنوب غربی محدوده رخنمون دارند. رسوبات کرتاسه شامل سنگ آهک‌های ضخیم است که در شمال شرق، شرق و جنوب محدوده به‌صورت محدود رخنمون دارند. در دوره پالئوژن به‌واسطه تأثیر فازهای کوهزایی، فعالیت‌های آتشفشانی

شدید در سطح منطقه رخ داده است. این تشکیلات در جنوب شرقی دشت گناباد به‌صورت توده باتولیتی دیده می‌شوند. همچنین گسترش قابل توجهی از این سنگ‌ها در غرب و شمال غرب دشت گناباد نیز وجود دارد. تشکیلات نئوژن را می‌توان به دو دسته رسوبات قدیمی که شامل کنگلومراهای پلیوسن و رسوبات جوان‌تر که شامل تشکیلات رس و ماری بوده تقسیم نمود که در حاشیه جنوبی دشت رخنمون دارند. این تشکیلات نقش سنگ کف آبخوان آبرفتی محدوده گناباد را دارند. تراس‌ها و مخروط افکنه‌های آبرفتی دوره کواترنری در سطح وسیعی رخنمون داشته، بخش اعظم پهنه آبرفتی دشت گناباد را تشکیل داده و آبخوان آبرفتی این دشت را در خود جای داده است. این رسوبات در حاشیه ارتفاعات دانه‌درشت‌تر بوده و به واسطه نفوذ سیلاب‌ها نقش تغذیه‌ای اصلی آبخوان آبرفتی دشت را ایفا می‌نمایند. به تدریج با نزدیک شدن به نقاط خروجی دشت، این تشکیلات ریزدانه‌تر شده و نفوذپذیری آن‌ها کاهش می‌یابد، تا آنجایی که در حوالی شهر گناباد و خروجی این دشت پهنه‌های رسی می‌باشد. ضخامت این آبرفت‌ها در دشت گناباد از حداقل

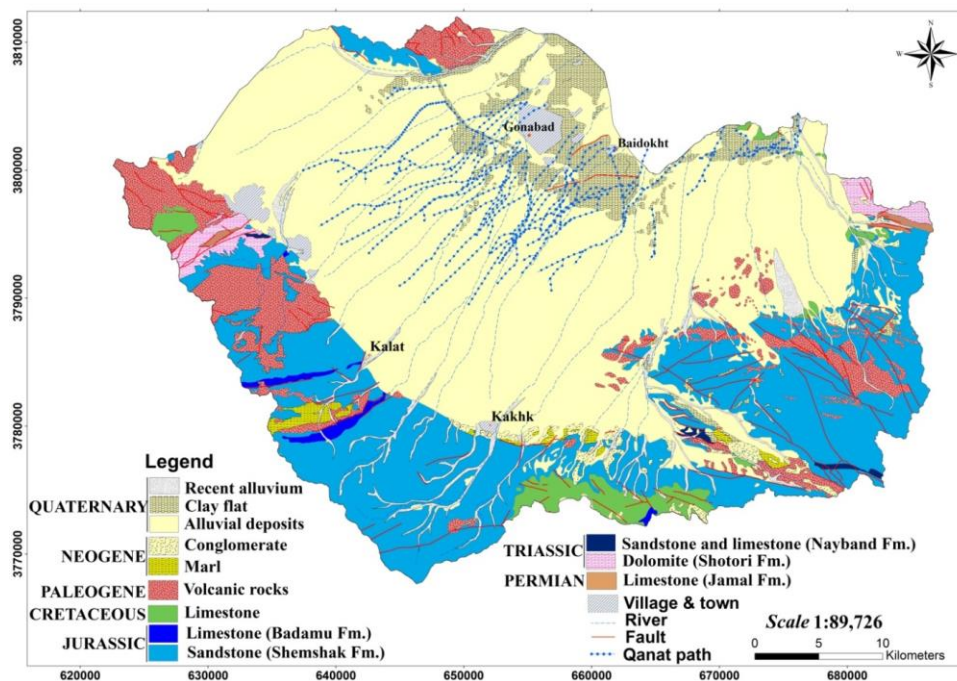
روش مطالعه

در این تحقیق به منظور ارزیابی هیدروژئولوژی قنات‌های دشت گناباد، داده‌های منابع آب، بارش، تبخیر و سدهای احداث شده در محدوده گناباد جمع‌آوری گردید. محدوده حوضه آبگیر کلی برای قنات‌های دشت گناباد تعیین و بیلان آب در محدوده حوضه آبگیر قنات‌ها محاسبه شد.

تغییرات میزان بارندگی ارتفاعات حوضه در طی سال‌های ۱۳۷۶ تا ۱۳۹۶ به همراه تغییرات میانگین بارش در چهار دوره ۵ ساله بررسی شد. شش رشته از قنات‌های اصلی دشت گناباد انتخاب شدند. داده‌های آبدی آن‌ها در طول سال‌های گذشته گردآوری و در ۵ سال اخیر اندازه‌گیری شد. هیدروگراف قنات‌ها از سال ۱۳۷۶ تا ۱۳۹۶ ترسیم و وضعیت شیب هیدروگراف‌ها یا نرخ کاهش آبدی قنات‌ها در دوره‌های زمانی مختلف مورد بررسی قرار گرفت. به این ترتیب که شیب خط هیدروگراف برای دو دوره زمانی معین ۱۳۷۶ تا ۱۳۸۵ و ۱۳۸۵ تا ۱۳۹۶ به طور جداگانه محاسبه گردید. در نهایت عوامل مؤثر بر تغییرات هیدروگراف قنات‌ها مورد بررسی قرار گرفت.

۲۰ متر در بخش شرقی تا حداکثر ۳۰۰ متر در جنوب دشت در نوسان است (گزارش تمديد ممنوعیت دشت گناباد، آب منطقه‌ای خراسان رضوی). فروافتادگی سنگ کف در بخش جنوبی دشت سبب افزایش ضخامت آبرفت به بیش از ۳۰۰ متر در این ناحیه شده است. داده‌های پی‌زومتری نشان می‌دهد که تراز سطح آب زیرزمینی در جنوب بیشتر و به سمت شمال تدریجاً کاهش می‌یابد.

جریان عمومی آب زیرزمینی از بالادست و ارتفاعات به سمت شمال شرق (خروجی آبخوان) است. مطالعات پی‌زومتری نشان دهنده یک جبهه تغذیه‌ای در ارتفاعات جنوبی است. تغییرات عمق سطح آب زیرزمینی در دشت گناباد متأثر از توپوگرافی سطح زمین است. حداکثر عمق سطح آب زیرزمینی در حاشیه جنوب آبخوان به میزان ۲۲۰ متر اندازه‌گیری شده است. با فاصله گرفتن از ارتفاعات جنوب غربی به سمت شرق، شمال شرقی و شمال عمق سطح آب به سرعت کاهش یافته و به کمتر از ۶۰ متر در شمال غرب آبخوان، کمتر از ۲۵ متر در شمال شرق آبخوان و ۵۰ متر در شمال آبخوان می‌رسد.



شکل ۲- نقشه زمین‌شناسی محدوده گناباد.

نتایج و بحث

حوضه آبریز قنات‌ها

حوضه آبریز قنات‌های موجود در دشت گناباد در شکل ۴ ترسیم شده است. به دلیل نزدیکی مسیر قنات‌ها به یکدیگر و تداخل زیادی که با همدیگر دارند، یک حوضه آبریز کلی و مشترک برای آن‌ها ترسیم شده است. محدوده حوضه آبریز بر اساس عواملی همچون جهت جریان‌ات زیرزمینی و سطحی، لیتولوژی، شیب و درز و شکستگی سازندهای ارتفاعات، توپوگرافی منطقه و میزان آبردهی قنات‌ها تعیین شد. مساحت حوضه آبریز قنات‌ها برابر ۱۰۳۲ کیلومتر مربع است که ۳۹۰ کیلومتر مربع آن ارتفاعات و ۶۴۲ کیلومتر مربع آن دشت است.

ارزیابی بیلان آب زیرزمینی در حوضه آبریز قنات‌ها

ارزیابی بیلان بر پایه اصل بقای ماده استوار است و در آن تمام ورودی‌ها، خروجی‌ها و تغییر در ذخیره در محدوده‌ای با مرزهای مشخص ارزیابی می‌شود. بیلان آب زیرزمینی یک آبخوان طبق معادله کلی زیر محاسبه می‌شود.

$$\pm \Delta V = [Q_{in} + Q_p + Q_R + Q_I] - [Q_{out} + Q_{ex} + Q_{et} + Q_D] \quad (1)$$

طبق معادله بالا ورودی‌ها شامل میزان نفوذ مؤثر حاصل از ریزش‌های جوی (Q_p)، میزان جریان‌ات زیرزمینی ورودی به محدوده بیلان (Q_{in})، حجم آب برگشتی از کشاورزی، شرب و صنعت (Q_I)، حجم آب ناشی از نفوذ رواناب‌ها (Q_R) و خروجی‌ها شامل میزان جریان‌های خروجی از محدوده بیلان (Q_{out})، حجم آب زیرزمینی بهره‌برداری شده (Q_{ex})، حجم آب تبخیر شده از سفره آب زیرزمینی (Q_{et})، حجم آب زهکشی شده از آبخوان (Q_D) و ΔV تغییر در میزان ذخیره آبخوان است.

عوامل ورودی محدوده بیلان

میزان جریان زیرزمینی ورودی به حوضه آبریز قنات‌ها: به دلیل اینکه محدوده ارتفاعات نیز جزء محدوده بیلان است همچنین با توجه به لیتولوژی و شیب سازندهای ارتفاعات مجاور تقریباً جریان زیرزمینی از ارتفاعات مجاور به ارتفاعات و دشت

محدوده بیلان صورت نمی‌گیرد و مقدار این کمیت در محاسبات برابر صفر در نظر گرفته شده است.

حجم آب نفوذ یافته از نزولات جوی: بارندگی مفید به مجموع رواناب و نفوذ حاصل از بارندگی در ارتفاعات یا دشت یک محدوده مطالعاتی اطلاق می‌شود. علاوه بر تبخیر و تعرق حقیقی بخشی از بارش نیز صرف تأمین رطوبت خاک می‌شود که میزان سالانه آن با توجه به شرایط اقلیمی، دانه‌بندی خاک و وضعیت پوشش گیاهی منطقه متغیر می‌باشد. بارندگی مفید از تفاضل بارش با تبخیر و تعرق حقیقی و نیاز رطوبت خاک حاصل می‌شود. متوسط بارندگی ۵ ساله منتهی به سال آبی ۹۵-۹۶ در ارتفاعات و دشت حوضه آبریز به ترتیب برابر ۲۱۰/۱ و ۱۰۷/۵ میلی‌متر است. ضریب تغذیه ناشی از بارندگی در ارتفاعات و دشت حوضه آبریز به ترتیب حدود ۲۷ درصد و ۱۰ درصد در نظر گرفته شد. بنابراین با توجه به جنس و ذرات خاک، لیتولوژی و درز و شکستگی سنگ‌ها، شیب توپوگرافی، پوشش گیاهی و میزان بالای تبخیر در منطقه سالانه حدود ۲۹/۰۲ میلیون مترمکعب نفوذ عمقی ناشی از بارش‌های حوضه و رواناب حاصل از آن خواهد بود.

حجم آب برگشتی از کشاورزی، شرب و صنعت (Q_I): نفوذ از مصرف کشاورزی یا تغذیه از مزارع به نوع آبیاری، دانه‌بندی خاک، وضعیت کربندی مزرعه و حتی کیفیت آب مصرفی بستگی دارد. نفوذ از مصارف شرب و صنعت بر حسب نوع دفع پساب شرب و صنعت بسیار متفاوت می‌باشد. از سفره آب زیرزمینی دشت حوضه آبریز ۱۹/۵ میلیون مترمکعب توسط قنات‌ها و ۴/۹ میلیون مترمکعب توسط چاه‌های تخلیه می‌گردد. در ارتفاعات حوضه آبریز تخلیه قنات‌ها و چشمه‌های موجود به ترتیب برابر ۱۰/۱ و ۳/۱ میلیون مترمکعب در سال می‌باشد. آب زیرزمینی تخلیه شده توسط قنات‌های دشت در خارج از محدوده بیلان مصرف می‌گردد. قنات‌ها و چشمه‌های موجود در ارتفاعات حوضه آبریز عمده‌تاً مصرف کشاورزی دارند و حدود ۳۰ درصد آب تخلیه شده از آن‌ها دوباره در ارتفاعات و قسمت‌های بالادست

(پمپاژ) توسط چاه و تخلیه به وسیله قنات و چشمه می‌باشد. در محدوده بیلان ۲۳۴ رشته قنات وجود دارد که سالانه حدود ۲۹/۶ میلیون مترمکعب از سفره آب زیرزمینی حوضه آگیر توسط قنات‌ها تخلیه می‌گردد. همچنین از ۶۶ حلقه چاه موجود در محدوده بیلان سالانه حدود ۴/۹ میلیون مترمکعب آب استخراج می‌گردد. میزان تخلیه آب زیرزمینی از حوضه آگیر توسط چشمه‌های موجود در ارتفاعات حوضه نیز ۳/۱ میلیون مترمکعب در سال است.

میزان تخلیه از حوضه آگیر قنات‌ها سالانه برابر ۳۸/۶۵ میلیون مترمکعب و میزان تغذیه حوضه آگیر سالانه برابر ۳۴/۹۴ میلیون مترمکعب است. در نتیجه سالانه حدود ۳/۷ میلیون مترمکعب بیش از مقدار تغذیه حوضه آگیر و از ذخیره سفره آب زیرزمینی برداشت می‌شود که باعث افت سطح آب زیرزمینی در سفره آب زیرزمینی دشت می‌گردد. افت سطح آب زیرزمینی یکی از دلایل اصلی کاهش زون آگیر قنات و در نتیجه از بین رفتن قنات است. با بررسی میزان برداشت از سفره آب زیرزمینی در حوضه آگیر توسط چاه‌ها و حجم کسری مخزن سفره، چنانچه چاه‌ها در دشت گناباد حفر نمی‌شدند با برداشت آب توسط قنات‌ها مدیریت پایدار آب زیرزمینی ایجاد می‌شد. با توجه به هیدروگراف معرف آبخوان دشت گناباد (شکل ۳)، میزان متوسط افت سطح آب زیرزمینی در ۵ سال منتهی به سال آبی ۹۵-۹۶ به میزان ۰/۰۶ متر بوده است. مساحت سفره آب زیرزمینی در محدوده بیلان (حوضه آگیر قنات‌ها) برابر ۶۴۲ کیلومترمربع و میزان متوسط ضریب ذخیره دشت بر اساس جنس آبرفت سفره در قسمت‌های مختلف دشت با استفاده از لاگ زمین‌شناسی چاه‌های اکتشافی و بهره‌برداری برابر ۸/۵ درصد در نظر گرفته شده است. در نتیجه میزان کسری متوسط سالانه مخزن با استفاده از هیدروگراف دشت برابر ۳/۳ میلیون مترمکعب برآورد می‌گردد که تقریباً با کسری مخزن محاسبه شده از طریق رابطه بیلان مطابقت دارد.

دشت نفوذ کرده و به ذخایر زیرزمینی برمی‌گردد که در تغذیه قنات‌های دشت مؤثر است. همچنین چاه‌های حوضه آگیر مصرف شرب و کشاورزی دارند و حدود ۳۰ درصد آب برداشتی برای مصارف کشاورزی و ۶۰ درصد آب برداشتی برای مصارف شرب، دوباره به آبخوان حوضه برمی‌گردد. با محاسبات انجام گرفته میزان آب برگشتی کشاورزی و شرب محدوده بیلان برابر ۵/۹۲ میلیون مترمکعب خواهد بود.

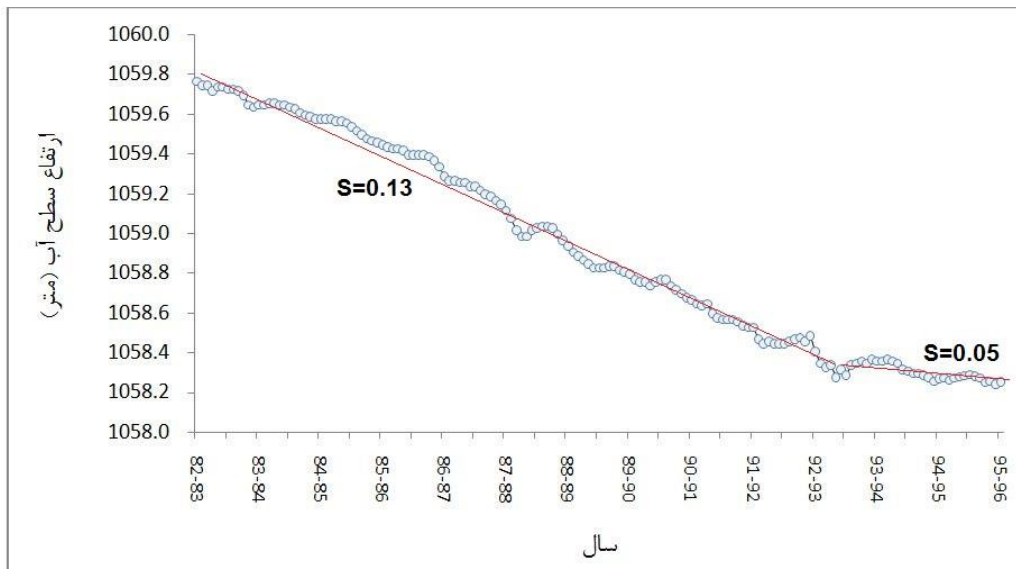
عوامل خروجی محدوده بیلان

مقدار تبخیر و تعرق از آبخوان: تبخیر و تعرق از آب زیرزمینی به عمق سطح آب زیرزمینی، نوع و بافت خاک، درجه حرارت خاک، درجه حرارت محیط، شدت باد، پوشش گیاهی، رطوبت نسبی هوا و غلظت املاح بستگی دارد. عمق آب زیرزمینی در محدوده حوضه آگیر قنات‌ها بیش از ۵ متر است و از آنجا که تبخیر و تعرق در عمق کمتر از ۵ متر صورت می‌گیرد، میزان تبخیر و تعرق از حوضه صفر در نظر گرفته می‌شود.

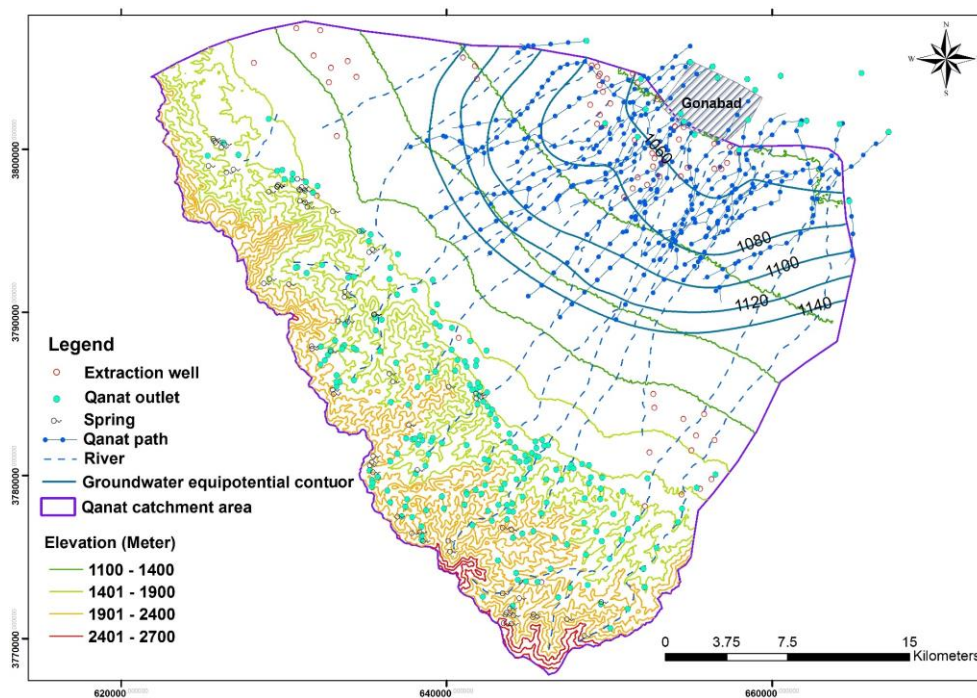
حجم آب زهکشی شده از حوضه: در محدوده حوضه آگیر امکان زهکشی آب زیرزمینی توسط مسیل‌ها وجود ندارد. بنابراین، حجم زهکشی از حوضه صفر در نظر گرفته شد.

میزان جریان زیرزمینی خروجی از حوضه: بر اساس نقشه‌های خطوط تراز آب زیرزمینی تنها خروجی زیرزمینی حوضه آگیر در قسمت شمال شرق دشت وجود دارد. حجم آب خروجی از حوضه با توجه به طول مقطع خروجی برابر ۱۲ کیلومتر، ضریب قابلیت انتقال ۶۰ مترمربع بر روز (برآورد با استفاده از جنس آبرفت در لاگ زمین‌شناسی چاه‌های حفر شده و عمق سطح آب زیرزمینی و عمق سنگ کف) و شیب هیدرولیکی برابر ۰/۰۰۴ سالانه برابر ۱/۰۵ میلیون مترمکعب برآورد می‌شود.

تخلیه و برداشت از آب زیرزمینی (Qex): تخلیه و برداشت از آب زیرزمینی مهم‌ترین عامل خروجی آب بوده که شامل برداشت



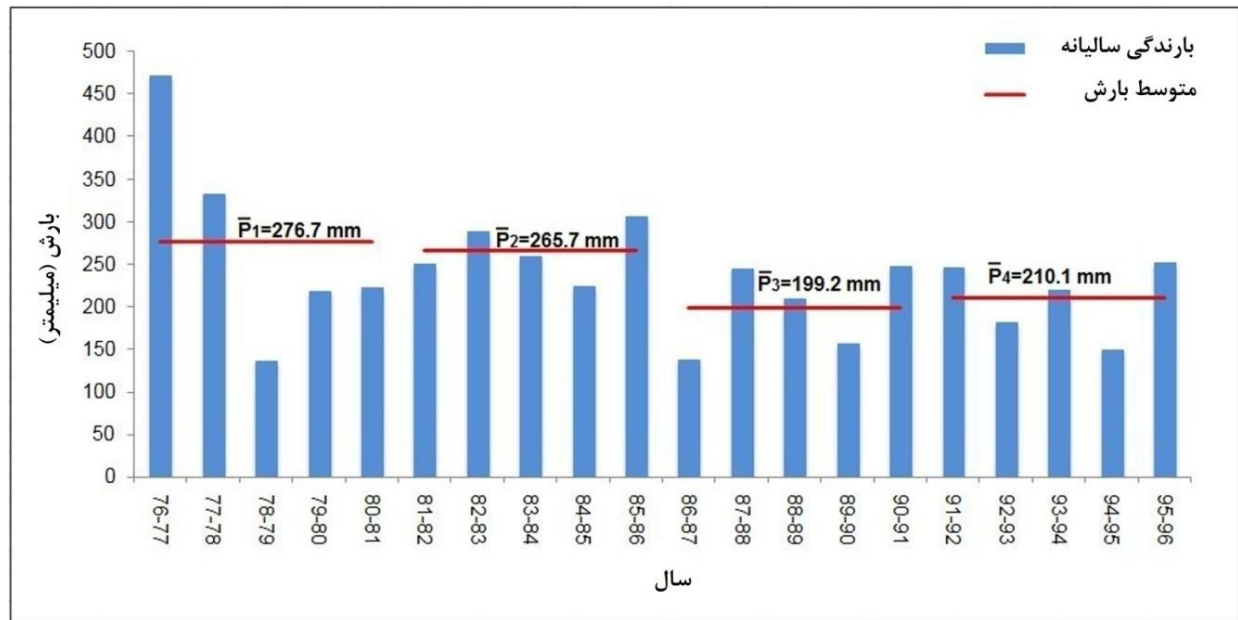
شکل ۳- هیدروگراف معرف آبخوان دشت گناباد.



شکل ۴- حوزه آبخیز قنات‌های دشت گناباد.

بررسی تغییرات آبدهی قنات‌های مهم دشت گناباد با استفاده از هیدروگراف قنات‌ها
تغییرات میزان بارش سالانه ارتفاعات حوزه آبخیز گناباد در فاصله زمانی سال‌های ۱۳۷۶ تا ۱۳۹۶ به همراه تغییرات میانگین پنج‌ساله بارش‌ها در شکل شماره ۵ آمده است.

میانگین بارش در دوره پنج‌ساله ۱۳۷۶ تا ۱۳۸۱ برابر ۲۷۶ میلی‌متر است که به ۲۱۰ میلی‌متر در دوره پنج‌ساله ۱۳۹۱ تا ۱۳۹۶ کاهش یافته است. کاهش بارندگی در کاهش آبدهی همه قنات‌ها تأثیرگذار بوده است.

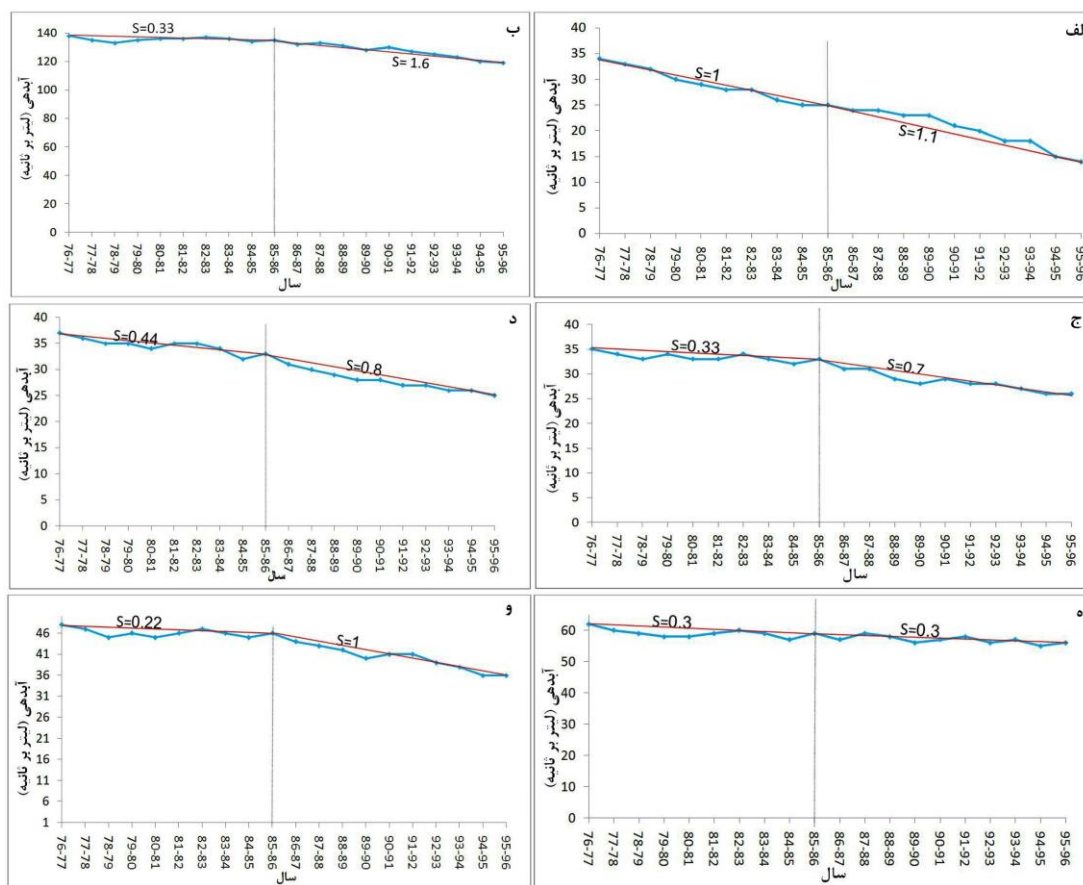


شکل ۵- بارندگی سالانه ارتفاعات حوضه آبرگیر قنات‌ها به همراه میانگین پنج‌ساله بارندگی‌ها.

هیدروگراف قنات قصبه در شکل ۶ (ب) نشان داده شده است. قنات قصبه با عمق مادر چاه ۳۴۰ متر و طول ۳۳ کیلومتر عمیق‌ترین قنات جهان است. آبدهی قنات مذکور از سال ۱۳۷۶ تا سال‌های ۱۳۸۵ و ۱۳۹۶ از ۱۳۸ لیتر در ثانیه به ترتیب به ۱۳۵ و ۱۱۹ لیتر در ثانیه کاهش یافته است. شیب هیدروگراف قنات در فاصله زمانی ۹ ساله ۱۳۷۶ تا ۱۳۸۵ برابر ۰/۳۳ لیتر در ثانیه در سال و در فاصله زمانی ۱۰ ساله ۱۳۸۵ تا ۱۳۹۶ برابر ۱/۶ لیتر در ثانیه در سال است. شیب هیدروگراف و در نتیجه نرخ کاهش آبدهی قنات در دوره ده سال اخیر بیشتر شده است. کاهش بارندگی تأثیر زیادی در کاهش آبدهی قنات قصبه داشته است. از دیگر عوامل مؤثر در کاهش آبدهی قنات مذکور می‌توان به احداث سد کلات و نیز تخریب بستر رودخانه‌های تغذیه کننده قنات توسط واحدهای برداشت شن و ماسه در حوضه آبرگیر این قنات اشاره کرد. همچنین ته‌نشست رسوبات کربناتی در دیواره کوره در قسمت تره‌کار و عدم لایروبی باعث کاهش تراوایی زون آبد و کاهش آبدهی قنات قصبه شده است.

در شکل ۶ (الف) هیدروگراف قنات رهن ارائه شده است. قنات مذکور بعد از قنات قصبه عمیق‌ترین و طولانی‌ترین قنات دشت گناباد با عمق مادر چاه ۲۶۰ متر و طول ۲۸ کیلومتر است. هیدروگراف قنات در طول دوره آماری از ابتدا روند نزولی داشته و آبدهی قنات کاهش شدیدی داشته است چنانچه بیشترین کاهش آبدهی در بین قنات‌های دشت مربوط به این قنات بوده و آبدهی قنات در طول دوره آماری از ۳۴ به ۱۴ لیتر در ثانیه کاهش یافته است. کاهش بارندگی یکی از عوامل مؤثر بر کاهش آبدهی این قنات است ولی دلیل اصلی کاهش آبدهی قنات مذکور تغذیه قنات توسط سازندهای آهکی جمال و شتری، ترکیب کربناتی آب قنات، ته‌نشست ترکیبات کربناتی در دیواره‌های کوره قنات و عدم لایروبی قنات مذکور است.

از دیگر عوامل کاهش آبدهی قنات، احداث دو سد بر روی رودخانه‌های زبید و روچی (شکل ۷) و در نتیجه کاهش رواناب‌های ورودی به دشت و تغذیه آبرفت دشت در بالادست قنات است.



شکل ۶- هیدروگراف قنات‌های مهم دشت گناباد، الف) رهن ب) قصبه ج) بیدخت د) بهاباد ه) دیزق و خسویی.

حوضه آبگیر توسط این چاه‌ها استخراج می‌شود. در شکل ۶ (د) هیدروگراف قنات بهاباد با عمق مادر چاه ۱۷۰ متر و طول ۱۲ کیلومتر نشان داده شده است. آبدی قنات مذکور در طول دوره ۹ ساله ۱۳۷۶ تا ۱۳۸۵ از ۳۷ به ۳۳ لیتر در ثانیه کاهش یافته است. در طول دوره ۱۰ ساله ۱۳۸۵ تا ۱۳۹۶ شیب هیدروگراف تقریباً دو برابر شده و آبدی قنات از ۳۳ به ۲۵ لیتر در ثانیه کاهش یافته است. علاوه بر کاهش بارش، حفر چاه‌های عمیق در جنوب شرق حوضه آبگیر و نیز احداث سد کاخک بر روی رودخانه‌های تغذیه کننده دشت (شکل ۷)، همچنین عدم لایروبی قنات از دلایل کاهش آبدی این قنات می‌باشد.

در شکل ۶ (ه) هیدروگراف قنات دیزق با عمق مادر چاه ۱۴۴ متر و طول ۱۰ کیلومتر ارائه شده است. آبدی قنات مذکور در طول دوره آماری تقریباً ثابت بوده و تغییرات محسوسی نداشته

در شکل ۶ (ج) هیدروگراف قنات بیدخت با عمق مادر چاه ۱۴۵ متر و طول ۱۸ کیلومتر ارائه شده است. آبدی قنات در دوره اول (۱۳۷۶ تا ۱۳۸۵) به میزان ۲ لیتر در ثانیه و در دوره دوم (۱۳۸۵ تا ۱۳۹۶) به میزان ۷ لیتر در ثانیه کاهش داشته است. شیب هیدروگراف در دوره دوم تقریباً دو برابر شده است. علاوه بر کاهش بارندگی، حفر چاه‌های آب شرب کاخک در جنوب شرق حوضه آبگیر (در فاصله سال‌های ۱۳۷۰ تا ۱۳۸۰) و نیز احداث سد کاخک (سال ساخت ۱۳۷۸) بر روی رودخانه تغذیه کننده آبرفت دشت در بالادست قنات مذکور از دلایل کاهش آبدی قنات بیدخت است. چاه‌های آب شرب شهر کاخک و روستاهای اطراف آن که در جنوب شرق حوضه آبگیر قرار دارند عمقی بین ۳۰۰ تا ۳۳۰ متر دارند که با دبی بین ۸ تا ۱۹ لیتر بر ثانیه در حال پمپاژ بوده و سالانه ۱/۵ میلیون مترمکعب آب از این قسمت

بررسی عوامل مؤثر بر کاهش آبدهی قنات‌های دشت گناباد

کاهش بارش، احداث سد، حفر چاه‌های عمیق، از بین بردن شرایط طبیعی رودخانه‌های تغذیه کننده آبخوان در حوضه آبرگیر قنات‌ها و عدم لایروبی قنات‌ها از مهم‌ترین عوامل کاهش آبدهی قنات‌های دشت گناباد است.

کاهش بارش از سال ۸۵ به بعد چشمگیر بوده و باعث شیب بیشتر هیدروگراف قنات‌ها در ده سال اخیر شده است. در این مدت نوع بارش‌ها نیز تغییر کرده است، میزان بارش برف بسیار کمتر شده است و مدت زمان تداوم بارش‌ها نیز کاهش یافته است. در نتیجه میزان نفوذ از بارش‌ها کاسته شده است. در حوضه آبرگیر قنات‌های دشت گناباد تعداد ۶۶ حلقه چاه با عمق بین ۵۰ تا ۳۳۰ متر حفر گردیده است (شکل ۷) که سالانه ۴/۹ میلیون مترمکعب آب جهت مصارف کشاورزی و شرب و بهداشت از طریق آن‌ها استخراج می‌گردد (آب منطقه‌ای خراسان رضوی). حفر چاه‌ها در حوضه آبرگیر و مخصوصاً در حریم قنات‌ها تأثیر زیادی بر کاهش آبدهی آن‌ها دارد. احداث سد در حوضه آبرگیر قنات‌ها از دیگر عوامل مؤثر در کاهش آبدهی قنات‌هاست. در ارتفاعات حوضه آبرگیر قنات‌ها ۴ سد احداث گردیده است (شکل ۷). این سدها مانع ورود سالانه ۳/۶ میلیون مترمکعب آب به رودخانه‌های دشت می‌شود. از آب ذخیره شده در مخزن سدها نیز استفاده‌ای نمی‌شود. مدتی پس از احداث سدها در کف دریاچه آن‌ها لایه‌ای از رس ته‌نشین می‌گردد که در صورت عدم لایروبی کف مخزن میزان نفوذ آب بسیار کاهش می‌یابد. میزان تبخیر سالانه از سطح آب در ارتفاعات محدوده گناباد برابر ۲۳۳۹ میلی‌متر است در نتیجه مقدار آب تبخیر شده از سدهای احداث شده سالانه برابر ۳/۵ میلیون مترمکعب خواهد بود و حدود ۹۵ درصد آب ذخیره شده تبخیر می‌گردد. در صورت عدم احداث سدها در ارتفاعات حوضه، رواناب‌ها درون رودخانه‌های موجود در دشت به طول ۲۵ کیلومتر جریان یافته، منشعب و پخش گردیده، به دلیل نفوذپذیری زیاد بستر رودخانه‌ها میزان زیادی از آن در

است چنانکه آبدهی قنات در سال‌های ۱۳۷۶ و ۱۳۹۶ به ترتیب برابر ۶۲ و ۵۶ لیتر در ثانیه بوده است. این قنات کمترین کاهش آبدهی در دشت گناباد داشته است. از دلایل عدم کاهش آبدهی قنات، درشت دانه بودن آبرفت و در نتیجه استعداد خوب سفره آب زیرزمینی در محل تره‌کار قنات مذکور، عدم حفر چاه در حریم قنات و ترکیب شیمیایی آب قنات است. مادر چاه قنات مذکور در اواسط دشت گناباد قرار دارد. آب باران پس از نفوذ در ارتفاعات حوضه آبرگیر و طی مسافت حدود ۱۰ کیلومتر در آبرفت دشت به مادر چاه و قسمت تره‌کار قنات مذکور می‌رسد، در این فاصله ترکیب شیمیایی آن تغییر کرده و قسمت اعظم مواد کربناتی خود را از دست می‌دهد. بنابراین دارای ترکیبات کربناتی کمتری است و در نتیجه ته‌نشست رسوبات کربناتی در تره‌کار این قنات به‌طور قابل ملاحظه‌ای اتفاق نمی‌افتد. علاوه بر این قسمت تره‌کار (زون آبرگیر) قنات دیزق در پایین دست قنات‌های اطراف آن قرار دارد و نفوذ قسمتی از آب قنات‌های بالادست در کوره آن‌ها سبب تغذیه قنات مذکور می‌گردد.

آبدهی قنات خشویی با عمق مادر چاه ۱۷۰ متر و طول ۱۴ کیلومتر مطابق شکل ۶ (ز) از سال ۱۳۷۶ تا سال‌های ۱۳۸۵ و ۱۳۹۶ از ۴۸ به ۴۶ و ۳۶ لیتر در ثانیه کاهش یافته است. در طول ۱۰ سال اخیر شیب هیدروگراف حدود ۵ برابر افزایش یافته است. علاوه بر کاهش بارش از مهم‌ترین دلایل کاهش آبدهی این قنات می‌توان به حفر ۱۰ حلقه چاه‌های آب شرب و کشاورزی در غرب دشت گناباد اشاره کرد. به طور کلی در جنوب غرب حوضه آبرگیر قنات‌ها ۷ حلقه چاه آب شرب با دبی بهره‌برداری بین ۴ تا ۷/۵ لیتر در ثانیه، همچنین ۳ حلقه چاه کشاورزی با دبی بین ۷ تا ۱۵/۵ لیتر در ثانیه وجود دارد. برداشت آب در این قسمت دشت توسط چاه‌ها سالانه حدود یک میلیون مترمکعب است. همچنین یک واحد برداشت شن نیز در بالادست این قنات وجود دارد که از دلایل کاهش نفوذ آب در بستر رودخانه‌های حوضه آبرگیر قنات و تغذیه قنات است.

نفوذناپذیر در کف و دیواره‌های قنات به وجود می‌آورد و مانع جریان آب زیرزمینی به داخل کوره می‌گردد. همچنین اگر ته‌نشست رسوبات کربناتی در طول کوره قنات در قسمت‌های مختلف یکنواخت نباشد، شیب منظم کف کوره از بین رفته و آب در برخی نقاط کوره بالا آمده و سبب ریزش کوره می‌گردد. برای جلوگیری از موارد مذکور لازم است قنات‌ها در دوره‌های زمانی منظم لایروبی گردند. با از بین رفتن مقنیان و استادکاران قدیمی قنات، عملیات لایروبی انجام نمی‌گیرد یا به درستی و طبق اصول مهندسی قنات انجام نمی‌گیرد.



نگهداری از قنات‌ها نیازمند لایروبی دوره‌ای و مرمت و استحکام بخشی نقاط پر خطر و ریزشی قنات است. وجود دی‌اکسیدکربن در آب‌های زیرزمینی باعث افزایش خاصیت اسیدی آب و افزایش انحلال کربنات کلسیم می‌شود. با تراوش آب به داخل کوره قنات در بخش تره‌کار و کاهش فشار، همچنین حرکت آب در کوره قنات با سرعت بسیار بیشتر از محیط متخلخل آبخوان و تلاطم آب، دی‌اکسید کربن موجود در آب خارج شده در نتیجه آب قلیائی شده و کربنات کلسیم در کف و دیواره‌های قنات ته‌نشین می‌شود (شکل ۹). ته‌نشست‌های کربناتی لایه‌ای سخت و



شکل ۹- رسوبات کربناتی خارج شده حاصل از لایروبی چند چاه از قنات قصبه.

نتیجه‌گیری

۱۳۸۱ برابر ۲۷۶ میلی‌متر است که به ۲۱۰ میلی‌متر در دوره پنج‌ساله ۱۳۹۱ تا ۱۳۹۶ کاهش یافته است. شیب هیدروگراف قنات‌ها در دوره ۱۳۸۵ تا ۱۳۹۶ بیشتر از دوره ۱۳۷۶ تا ۱۳۸۵ بوده است. تغییرات شیب هیدروگراف قنات‌ها یا نرخ کاهش آبدهی در بین قنات‌ها نیز یکسان نبوده است چنانکه شیب هیدروگراف در دوره ۱۳۸۵ تا ۱۳۹۶ نسبت به دوره ۱۳۷۶ تا ۱۳۸۵ در قنات‌های قصبه و خشویی بیشترین میزان افزایش و حدود ۵ برابر شده است در حالی که این نسبت در قنات‌های بهاباد و بیدخت ۲ برابر شده است. شیب هیدروگراف قنات قصبه در دوره ۸۵-۷۶ برابر ۰/۳۳ لیتر در ثانیه در سال بوده که در دوره ۹۶-۸۵ به ۱/۶ لیتر در ثانیه در سال افزایش یافته است. قدمت زیاد قنات قصبه و عدم لایروبی آن، همچنین کاهش

قنات مهم‌ترین روش بهره‌برداری از منابع آب زیرزمینی در دشت گناباد است. محاسبات بیلان در حوضه آگیر قنات‌های دشت گناباد نشان دهنده کسری مخزن سالانه ۳/۷ میلیون مترمکعب آب در سفره آب زیرزمینی حوضه آگیر قنات‌هاست. برداشت از سفره آب زیرزمینی در حوضه آگیر قنات‌ها توسط چاه‌ها سالانه برابر با ۴/۹ میلیون مترمکعب است. چنانچه این چاه‌ها حفر نمی‌شدند با برداشت آب توسط قنات‌ها در دشت مدیریت پایدار و تعادل سفره آب زیرزمینی برقرار بود، آن چنانکه حدود هزار سال با وجود بیش از ۳۰ رشته قنات و برداشت بیش از ۲۰ میلیون مترمکعب آب در دشت این شرایط برقرار بوده است. میانگین بارش حوضه آگیر قنات‌ها در دوره پنج‌ساله ۱۳۷۶ تا

آقانباتی، ع.، ۱۳۸۳. زمین‌شناسی ایران، انتشارات سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور (تهران). ۷۰۶ ص.

پاپلی یزدی، م.، لباف خانیکی، ر.، لباف خانیکی، م.، جلالی، ع.، وثوقی، ف. ۱۳۷۹. قنات قصبه گناباد یک اسطوره. شرکت سهامی آب منطقه‌ای خراسان رضوی (مشهد). ۲۹۲ ص.

سازمان زمین‌شناسی کشور، نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ گناباد.

شمشکی، ا.، کرمی، غ. ح.، ۱۳۹۸. تغییرات زمانی و مکانی جریان آب زیرزمینی در ساحل جنوب شرقی دریاچه ارومیه. هیدروژئولوژی، جلد ۴، شماره ۱، ۴۱-۲۶.

عباسی، ف.، کرمی غ. ح.، ۱۳۸۸. ارزیابی خصوصیات هیدروژئولوژیکی و هیدروژئوشیمیایی قنات‌های منطقه میامی. پایان‌نامه کارشناسی ارشد هیدروژئولوژی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه صنعتی شاهرود، ۱۱۱ ص.

کرباسی راوری، م.، سنایی راد، ع.، ۱۳۸۳. نقش پایین افتادن سطح آب زیرزمینی در منطقه فراهان روی قنوات و کشاورزی منطقه. همایش ملی قنات، گناباد.

کرمی، غ. ح.، ۱۳۸۳. قنات‌ها کوچک موجود در آبراهه‌های کوهستانی: ویژگی‌ها و نحوه جلوگیری از هدر رفتن آب در ماه‌های سرد. چکیده مقالات همایش ملی قنات گناباد.

کرمی، غ. ح.، ۱۳۹۰. بررسی خصوصیات هیدروژئولوژیکی و هیدروژئوشیمیایی قنات بزرگ بیارجمند. طرح پژوهشی با کد ۲۴۰۲۱، دانشگاه صنعتی شاهرود، ۴۵ صفحه.

کرمی، غ. ح.، باقری، ر.، رحیمی، ف.، ۱۳۹۷. هیدروژئولوژی چشمه‌های کارستی تاقدیس سالدوران، استان چهارمحال و بختیاری. هیدروژئولوژی، جلد ۳، شماره ۱، ۷۹-۶۹.

کیانی، م.، کرمی، غ. ح.، ۱۳۸۸. بررسی خصوصیات هیدروژئولوژیکی و هیدروژئوشیمیایی قنات‌های منطقه بیارجمند، پایان‌نامه کارشناسی ارشد هیدروژئولوژی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه صنعتی شاهرود، ۱۰۲ ص.

گوبلو، ه.، ۱۳۷۱. قنات فنی برای دستیابی به آب، چاپ اول، مشهد، انتشارات آستان قدس رضوی. ۲۵۰ ص.

هنری، ف.، کرمی، غ. ح.، ۱۳۹۳. ارزیابی خصوصیات هیدروژئولوژیکی و هیدروژئوشیمیایی قنات‌های منطقه خور. پایان‌نامه کارشناسی ارشد هیدروژئولوژی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه صنعتی شاهرود، ۱۰۷ ص.

بارش باعث افزایش شیب هیدروگراف این قنات شده است. در قنات خشویی نیز شیب هیدروگراف در طی دو دوره برابر ۰/۲۲ و ۱ لیتر در ثانیه در سال بوده است. حفر چاه‌های عمیق در جنوب غرب حوضه تأثیر زیادی در افزایش شیب هیدروگراف قنات داشته است. در قنات‌های شرق دشت نیز شیب هیدروگراف‌ها از ۰/۴۴ به ۰/۸ لیتر در ثانیه در سال در قنات بهاباد و از ۰/۳۳ به ۰/۷ لیتر در ثانیه در سال در قنات بیدخت در طی دو دوره افزایش یافته است. حفر چاه‌های عمیق در جنوب شرق حوضه باعث افزایش شیب هیدروگراف‌ها در قنات‌های مذکور شده است. در قنات رهن کاهش آبدی با شیب ثابت حدود ۱ لیتر در ثانیه در سال از ابتدای دوره آماری وجود داشته است. ترکیب کربناتی آب قنات رهن باعث رسوب زیاد مواد کربناتی در کوره قنات شده و عدم لایروبی آن باعث کاهش تدریجی آبدی قنات شده است. تغییرات آبدی در قنات دیزق کمترین مقدار است. کاهش آبدی قنات مذکور با شیب ثابت ۰/۳ لیتر در ثانیه در سال حدود ۶ لیتر در ثانیه در طول دوره بوده است. مادر چاه قنات دیزق و زون آبگیر قنات مذکور در پایین دست قنات‌های اطراف آن قرار دارد و نفوذ قسمتی از آب قنات‌های اطراف در کوره قنات‌ها باعث تغذیه قنات دیزق می‌شود. کاهش بارندگی، حفر چاه‌های عمیق و احداث سد در حوضه آبگیر قنات‌ها و عدم لایروبی آن‌ها از مهم‌ترین عوامل کاهش آبدی قنات‌هاست.

سپاسگزاری

از شرکت آب منطقه‌ای خراسان رضوی به دلیل همکاری و مساعدت در انجام این پژوهش تشکر و قدردانی می‌گردد.

منابع

اکرامی، م.، ملکی نژاد، ح.، اختصاصی، م.، ۱۳۹۰. بررسی تأثیر خشک‌سالی اقلیمی بر آبدی برخی از قنوات دشت یزد- اردکان، همایش بین‌المللی دانش سنتی مدیریت منابع آب، یزد، مرکز بین‌المللی قنات و سازه‌های تاریخی آبی.

Boustani, F. 2008. Sustainable Water utilization in arid region of Iran by Qanat. World Academy of Science, Engineering and Technology International Journal of Social, 45, 213- 216

Cressey, G.B. 1958. Qanats, Karez, and foggaras. Geographical Review, 27-44.

Taghavi jeloudar, M., Han, M., Davoudi, M. and Kim, M., 2013. Review of Ancient Wisdom of Qanat and suggestions for Future Water Management. Environmental Engineering Research, 18.2, 57-63.
Todd D.K. and Mays L.W. 2005. Groundwater Hydrology. John Wiley and sons, New York, 625p.

Remini, B., Kechad, R. and Achour., B. 2014. The Collecting of Groundwater by the Qanats: a Millennium Technique Decaying. Larhyss Journal, 259-277.
Salih A. 2006. Qanats a Unique Groundwater Management Tool in Arid Region, The case of Bam Region in Iran. International Symposium on Groundwater Sustainability, 79-87.