Archive of SID

نشریه علمی-پژوهشی مهندسی و مدیریت آبخیز
جلد ۱۲، شماره ۲، ۱۳۹۹، صفحات ۵۳۵-۵۴۶

Journal of Watershed Engineering and Management
Volume 12, Issue 2, 2020, Pages 535-546
DOI: 10.22092/ijwmse.2019.116127.1374

بررسی تاثیر عملیات آبخیزداری بر تغییرات کمی و کیفی منابع آب‌های زیرزمینی در حوزه آبخیز بودجان دهاقان

فرزاد حیدری مورچه خورتی*[۱] و راضیه صبوحی[۲]

[۱] مربی پژوهشی بخش تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اصفهان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اصفهان، ایران و [۲] دکترای علوم مرتع، بخش تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اصفهان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اصفهان، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۸/۱۰ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۵/۱۳

چکیده

این پژوهش، با هدف بررسی تاثیر سازه‌های احداث شده در رودخانه بودجان بر کمیت و کیفیت منابع آب منطقه انجام شد. این رودخانه، یکی از سرشاخه‌های رودخانه شور-دهاقان بوده، حوضه آن نقش مهمی در تامین آب اراضی پائین‌دست دارد. در این راستا، داده‌های هواشناسی، هیدرومتری و سایر اطلاعات و نقشه‌ها جمع‌آوری شد. حجم مخازن پشت بندهای احداثی و همچنین، میزان بارندگی طی دو سال اجرای پژوهش در باران‌سنج‌های تعبیه شده در حوضه اندازه‌گیری و با انجام مطالعات میدانی و ارزیابی از شرایط هیدرولوژیکی حوضه، بیلان آبی محاسبه شد. نتایج نشان داد که میزان مصرف آب کشاورزی در این حوضه، حدود ۱۷ میلیون متر مکعب می‌باشد. چنانچه این مقدار از حجم آب ناشی از نزولات جوی (حدود ۲۶/۶ میلیون متر مکعب) کسر شود، باقی‌مانده ۹/۶ میلیون متر مکعب آب مازادی است که می‌تواند در اراضی زیردست مورد استفاده قرار گیرد. به این ترتیب نقش این حوضه در تامین آب مناطق زیردست مشخص می‌شود که برای کشت ۱۶۰۰ هکتار گندم با فرض ۶۰۰۰ متر مکعب آب مصرفی برای هر هکتار کافی است. احداث بندها با کاهش سرعت جریان آب، اثرات مخرب سیلاب‌های فصلی رودخانه را کاهش داده، با افزایش زمان نفوذ آب، سبب تغذیه بهتر آبخوان منطقه شده‌اند. حجم کم مخازن آب پشت بندهای احداثی، اختلالی در تامین آب مناطق زیردست ایجاد نکرده است، ولی عدم مدیریت صحیح پس از اجرای این عملیات و توسعه بی‌رویه باغات و اراضی کشاورزی به‌دلیل سهولت دسترسی به آب، زنگ خطری است که تمامی نتایج مثبت عملیات آبخیزداری را که با صرف هزینه بسیار زیاد اجرا شده را تحت‌الشعاع قرار داده است.

واژه‌های کلیدی: احداث بند، بیلان آب، تغذیه آبخوان، سیلاب فصلی، نفوذ آب

مقدمه

مهار بارش‌های جوی می‌تواند کیفیت منابع آب به‌خصوص منابع آب زیرزمینی را تغییر دهد. تکنیک‌های مختلفی برای برآورد میزان تغذیه وجود دارد، ولی انتخاب تکنیک مناسب اغلب مشکل است. ملاحظات اهمیت در انتخاب یک تکنیک شامل مقیاس زمانی و مکانی، محدوده، تغییرات و قابلیت اعتماد است (Harandi، ۱۹۹۷).

در مطالعه سفره کانزاس مشخص شد، این سفره دارای نفوذپذیری بالا، هدایت هیدرولیکی پایین است

* مسئول مکاتبات: farzad.heidari@gmail.com

www.SID.ir

Archive of SID

که رسوبات آن نهشته‌های سیلتی و سنگ بستر آن شیل و آهک می‌باشد. پارامترهای شیمیایی بیشتر در رابطه با انحلال سولفات و نیترات هستند. تجمع بیشتر نیترات در زون غیراشباع و منبع آن دشت‌های حاصل‌خیزی سیلابی است و تجمع سولفات در زون غیراشباع بیشتر از منبع ژیپس که در سنگ بستر است، تامین می‌شود. بنابراین، کیفیت و ساختار سنگ بستر در هنگام تغذیه آب‌های زیرزمینی منطقه از عوامل تاثیرگذار بر کیفیت منابع آب آن منطقه است (Cook و همکاران، ۲۰۰۵). در حوزه‌های آبخیز مناطق خشک غرب چین، آب را عامل مهم کنترل اقتصادی توسعه پایدار و حفاظت از منابع و اکوسیستم‌های زیست‌محیطی معرفی کرده‌اند و آب زیرزمینی را جزیی از منابع آب منطقه که نقش اساسی در توسعه آن دارد، شناسایی کرده‌اند، زیرا کمیت و کیفیت تقریبا ثابتی دارد (Zhu و Wu، ۲۰۰۳). هیدرولوژی، وضعیت جریان آب و کیفیت آب در پن‌پلین‌های اروپای مرکزی که ساختار زمین‌شناسی آن‌ها از سنگ‌های کریستالین اسیدی تشکیل یافته است، در سه زون خلاصه شده است. با تحلیل‌هایی با استفاده از تکنیک‌های دیجیتالی نفوذ و یک مدل ساده از دو جریان جداگانه، سه جریان مستقیم، نفوذی و جریان پایه را معرفی کرده‌اند که نشان می‌دهد، کیفیت منابع آن در این مناطق تابعی از کیفیت و شرایط جریانات سطحی و میزان نفوذ آن به منابع آبی منطقه دارد (Dowdeswell، ۲۰۰۶).

Healy و Cook (۲۰۰۲) با بررسی سطح آب زیرزمینی روشی برای تخمین میزان تغذیه ارایه کردند و نشان دادند که نوسانات سطح ایستابی یکی از روش‌های مطمئن برای برآورد میزان تغذیه می‌باشد. بدین صورت که با در نظر گرفتن مکانیزم حرکت آب در زون غیر اشباع و تغییرات سطح آب در زمان (افت-زمان)، میزان تغذیه با اطمینان قابل قبولی برآورد می‌شود. Kamali Moghadam و همکاران (۲۰۱۱) تاثیر عملیات آبخیزداری در کاهش اثرات خشکسالی بر تغییرات کمی و کیفی آب قنوات در پهنه‌های اجرای اقدامات و عملیات تغذیه مصنوعی آبخوان‌ها بررسی کردند. نتایج نشان داد که میزان آبدهی قنوات منتخب در قبل و بعد از اجرای برنامه‌های تغذیه مصنوعی افزایش یافته است. همچنین، تجزیه و تحلیل تأثیر تغذیه مصنوعی بر خصوصیات کیفی آب این قنوات نیز نشان‌دهنده این است که کیفیت آب قنوات مورد بررسی در اثر اجرای عملیات آبخیزداری بهبود یافته، نقش موثری در کاهش اثرات خشکسالی در منطقه داشته است. Sophocleous (۲۰۰۲) با بررسی اثر متقابل بین آب‌های زیرزمینی و آب‌های سطحی در مناطقی همچون نوادای آمریکا، جنوب سنگال و نیجریه نشان داد که روابط پیچیده‌ای بین آب‌های سطحی و زیرزمینی وجود دارد. برای فهم بهتر این اثرات، پارامترهای آب و هوایی، شکل زمین، زمین‌شناسی، عوامل زیستی و یک چارچوب کامل از اکولوژی آب‌های زیرزمینی نیاز است. اکوسیستم آب‌های سطحی و زیرزمینی به هم وابسته و از اجزاء جدایی‌ناپذیر اکوسیستم‌ها هستند. پدیده‌های بیوشیمیایی درون چند سانتی‌متری زیر رسوبات از سطح زمین (زون هیدرولیکی) روی تغییرات شیمیایی آب تاثیر چشم‌گیری دارند و این در واقع محل یا زونی است که تحقیقات اخیر در آن متمرکز شده است. Roostaei و Sedghi (۲۰۱۶) با مطالعه وضعیت جغرافیایی حوزه آبخیز فامور و نقشه‌های پهنه‌بندی رسم شده، نشان دادند که فعالیت‌های کشاورزی مانند برداشت بی‌رویه آب‌های زیرزمینی و مصرف کودها شیمیایی، عامل اصلی افزایش شوری و SAR منابع آب و خاک منطقه در مجاورت دریاچه پریشان می‌باشد. این تغییرات با حرکت از شمال به جنوب حوضه روند افزایشی دارد.

در حال حاضر، نقش سازه‌های کوتاه در نفوذ و ذخیره رواناب‌ها یکی از موضوعات مهم در بحث مدیریت عملیات اجرایی می‌باشد. بررسی‌های انجام شده نشان می‌دهد که میزان نفوذ در یک مخزن به عوامل گوناگونی بستگی دارد، از جمله مهمترین عوامل می‌توان به فاصله کف مخزن تا سطح ایستابی یعنی عمق لایه غیراشباع خاک زیرحوضچه اشاره کرد. در حالت معمول سطح ایستابی بسیار پایین‌تر از کف مخزن می‌باشد. با شروع نفوذ از حوضچه یک جبهه رطوبتی به‌صورت نفوذ یک بعدی غیر اشباع غیر ماندگار به‌سمت پایین حرکت می‌کند. در صورتی‌که تا پایان مدت ورود آب به حوضچه جبهه رطوبتی به

www.SID.ir

Archive of SID

سطح ایستابی نرسد، وجود لایه اشباع هیچ‌گونه تاثیری روی حداکثر سطح صعود آب در مخزن نخواهد داشت (Weaver و Kuthy، ۱۹۷۵). زیرساخت‌های ناچیز شامل رویکردها، فناوری‌ها و سامانه‌هایی است که بر اساس اهداف و الزامات پروژه در شرایط خاصی انتخاب می‌شوند. برای یک پروژه خاص، یک یا چند سامانه غیر متمرکز را می‌توان از عملیات واحد سازگار پیکربندی کرد. طراحی و پیاده‌سازی سامانه نیاز به برآورده شدن الزامات پایدار فنی و اکتشافی دارد (Zhu و Wu، ۲۰۰۳).

Kamali و Niksokhan (۲۰۱۷) مسئله مدیریت بهینه آبخوان‌ها را با استفاده از مدل شبیه‌سازی الگوریتم ریاضی که بر پایایی کیفیت و کمیت آب با توجه به شوری می‌باشد را مورد توجه قرار دادند. نتایج نشان داد، با کاهش ۳۰ درصد عملیات، بیشتر پاسخ‌های بهینه دارای شاخص پایدارتری هستند.

با توجه به ویژگی آبراهه‌ها و مسیل‌ها و همچنین، نوع رسوبات برجای مانده از سیلاب‌ها در بستر آن‌ها، احداث سازه‌های کوتاه در این محل‌ها تاثیر مهمی در میزان نفوذ رواناب‌ها و تغذیه آب‌های زیرزمینی خواهد داشت. بررسی انجام شده بر مقدار نفوذ در خاک‌های مختلف بر اساس بافت خاک نشان می‌دهد که مقدار نفوذ در خاک‌های با بافت شنی و ماسه‌ای در حدود ۲۰۰ میلی‌متر در ساعت و یا ۰/۵۶ میلی‌متر بر ثانیه است (Heidari Moorchekhorti و Mehdipoor، ۲۰۰۳). بررسی نقش نفوذ در حوضچه‌های نفوذ نشان می‌دهد که اثر ضریب هدایت هیدرولیکی عمودی غیر اشباع به‌عنوان عامل کنترل کننده، اثر مهمی در میزان نفوذ به عهده دارد. بر این اساس، می‌توان استنباط کرد که با کاهش شیب حاصل از احداث سازه‌های کوتاه بر روی آبراهه‌ها و مسیل‌ها، مقدار نفوذ به‌طور قابل ملاحظه‌ای افزایش می‌یابد (Weaver و Kuthy، ۱۹۷۵). Martinez-Ramirez و همکاران (۲۰۱۷) سطح قابل قبولی از قابلیت اطمینان لازم است که امکان تعیین مناطق مناسب برای استفاده از آب‌های سطحی و جذب آن را تعیین کند. شناسایی به روش کیفی و کمی منطقه، فرایندهای جستجو و کاوش مکان‌های مناسب برای تغذیه رواناب‌های سطحی در مناطق خشک و نیمه‌خشک را تسهیل می‌کند.

بررسی‌های انجام شده نشان می‌دهد که میزان اثربخشی و تغذیه به‌وسیله سازه‌های اجرا شده در عملیات آبخیزداری به هدف از طراحی، طراحی بر اساس ویژگی‌های عرصه‌ها و تطابق کامل آن‌ها با مشخصات و خصوصیات عرصه‌ها، تعداد سازه‌های احداث شده، نحوه اجرا و مدیریت استفاده از سازه‌ها و در بندهای کنترل سیلاب به فاصله کف مخزن تا سطح ایستابی بستگی دارد.

این تحقیق، با هدف بررسی میزان اثر عملیات آبخیزداری انجام شده در حوزه آبخیز بودجان بر منابع آب زیرزمینی تعریف و انجام شد. آگاهی از نحوه و میزان تاثیر عملیات، امکان هدف‌گذاری مناسب، برای ارائه راهکارهای کاربردی در نحوه بهره‌برداری از منابع آب و خاک حوضه و بهینه‌سازی عملیات آبخیزداری را ایجاد می‌کند.

مواد و روش‌ها

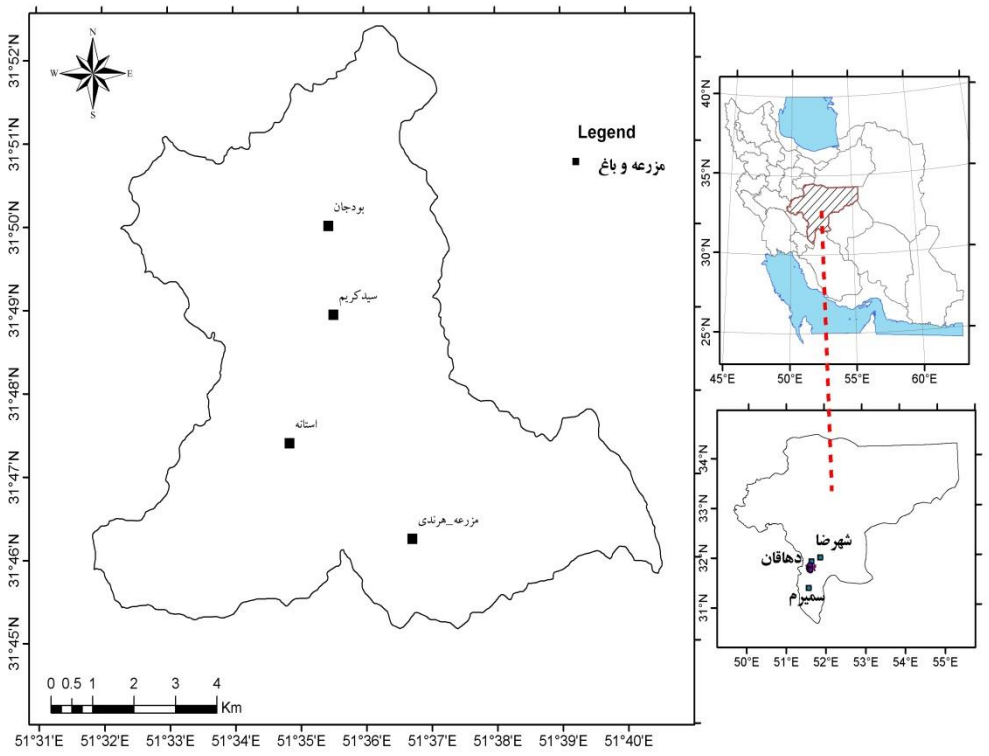
منطقه مورد پژوهش: حوضه بودجان، حوضه‌ای کوهستانی است که به سبب شرایط مناسب برای تولید سیب درختی، بخش قابل توجهی از اراضی کشاورزی آن به این محصول اختصاص داده شده است. علاوه بر این، سایر محصولات زراعی نیز در آن کشت می‌شود. در زیردست این حوضه شهر دهاقان، مرکز سمیرم سفلی قرار دارد که منطقه‌ای است، ییلاقی و خوش آب و هوا که عمدتاً کشاورزی بوده، در چند سال اخیر، با رشد شهرنشینی در آن به خصوص جمعیت عشایری توسعه یافته است. این حوضه در سراب زیرحوضه شور-دهاقان قرار داشته و یکی از شاخه‌های اصلی تامین آب رودخانه شور می‌باشد. مساحت آن ۹۲۷۹ هکتار، بیشینه و کمینه ارتفاع و ارتفاع متوسط آن به‌ترتیب ۳۲۹۹، ۲۱۹۰ و ۲۵۸۵ متر از سطح دریا و متوسط شیب حوضه ۲۴ درصد می‌باشد. سطح زیرکشت در این حوضه حدود ۴۵۰ هکتار می‌باشد. این حوضه به‌همراه حوضه همجوار آن به‌نام همگین، سرشاخه‌های اصلی رودخانه شور-دهاقان را تشکیل می‌دهند و آب آن‌ها منشا منابع آب اراضی زیردست می‌باشد. شکل ۱، موقعیت حوضه نسبت به شهر دهاقان را نشان می‌دهد. اقلیم این حوضه، در طبقه‌بندی گوسن، استپی سرد بوده، متوسط بارش

www.SID.ir

Archive of SID

سالانه آن ۳۱۸ میلی‌متر، که در ارتفاعات بیشتر به‌صورت برف است. با توجه به بارش نسبتاً مناسب، حوضه از منابع آبی خوبی برخوردار می‌باشد.

از نظر زمین‌شناسی، قدیمی‌ترین سازند حوضه که سنگ بستر آن را تشکیل می‌دهد، سنگ‌های شیستی نفوذناپذیر ژوراسیک هستند. رسوبات سازندهای آهکی دوران دوم (کرتاسه) و سازندهای دوران سوم (ترشیر نئوژن) بر روی آن به‌صورت متوالی قرار گرفته‌اند. گسل‌های منطقه منطبق با روند گسل‌های زاگرس (شمال، غرب، جنوب و شرق) بوده، در قسمت‌های فوقانی حوضه و پایین‌دست (پایاب) رخنمون دارند. در قسمت خروجی حوضه گسلی معکوس دیده می‌شود که در رخساره‌های شیستی رخنمون دارد، ولی در زیر رسوبات آبرفتی کواترنر مدفون شده است که به احتمال زیاد این روند در زیر آبرفت‌ها ادامه دارد (شکل ۳).



شکل ۱- موقعیت حوضه مورد پژوهش

عملیات آبخیزداری اجرا شده در این حوضه، شامل مجموعه بندهای کنترل و تغذیه سیلاب است که در طول آبراهه به‌صورت پی‌درپی به‌وسیله مدیریت آبخیزداری استان اصفهان طراحی و اجرا شده است. این مجموعه شامل ۴۱ بند بوده که ابعاد هر یک از قسمت‌های بندها در جدول زیر خلاصه شده است.

جدول ۱- ابعاد بندهای اجرا شده در عملیات آبخیزداری دهاقان

اجزای بند	طول (m)	عرض (m)	ارتفاع (m)
دستک‌ها	۳-۲۴/۵	۰/۶-۱/۳	۰/۷۲-۲/۸
دیواره نگه‌دارنده	۱/۸۵-۱۲/۴	۰/۶-۱	۰/۶-۲/۷
سرریز	۳/۸-۱۳/۸	۰/۵-۱/۵	۰/۴۵-۱/۱
حوضچه آرامش	۲-۶/۳	۳/۸-۱۳/۸	۰/۹-۲/۷۵

روش انجام پژوهش: در این پژوهش، ابتدا پایگاه اطلاعاتی پایه منابع آب منطقه شامل نقشه‌ها،

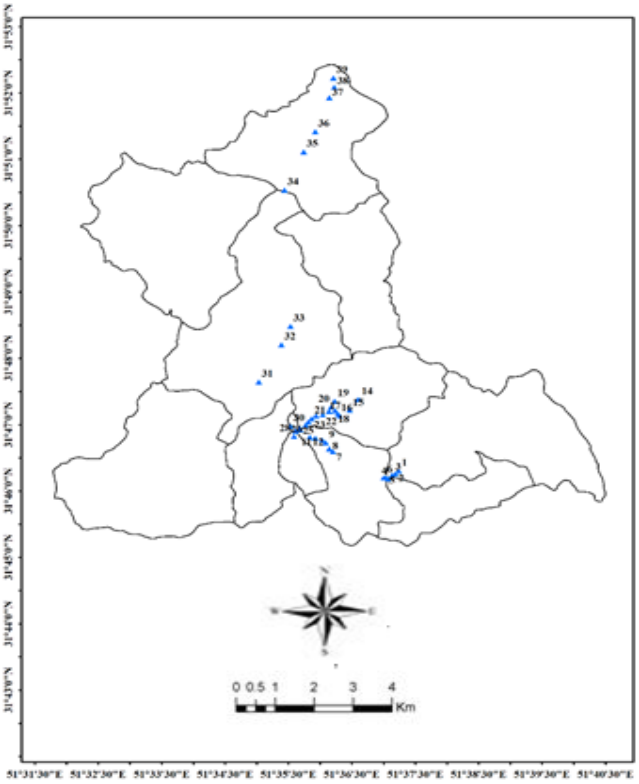
www.SID.ir

Archive of SID

مطالعات هواشناسی و هیدرولوژی سطحی، همچنین، آمار و اطلاعات مورد نیاز شامل بارش سالانه، رواناب و منابع آب (سطحی و زیرزمینی) ناشی از آن تهیه شد. برای بررسی ویژگی‌های عملیات آبخیزداری که شامل مجموعه بندهای سنگ و سیمانی که به‌صورت پی‌درپی برای کنترل سیلاب و تغذیه آبخوان منطقه احداث شده است. ابتدا، نقشه‌های اجرایی و توجیهی مجموعه عملیات، بررسی و ابعاد و احجام عملیات اجرا شده مشخص شد. سپس، با انجام بازدیدهای صحرایی و اندازه‌گیری و ثبت مشخصات عملیات انجام شده، حجم مخازن سازه‌های اجرا شده محاسبه و با نقشه‌های اولیه مقایسه شد. همچنین، شبکه پایش کمی و کیفی منابع آب زیرزمینی حوضه بررسی و نقشه منابع آب شامل چاه، چشمه، قنات و زهکش تهیه شد، سپس، محل‌های تغذیه و تخلیه حوزه آبخیز تعیین و نقاط پایش کمی آب زیرزمینی شامل چاه، چشمه، قنات و زهکش‌های طبیعی مشخص شدند. همراه با موارد بالا اندازه‌گیری دبی و آبدهی چاه‌ها، قنوات و چشمه‌های در دوره زمانی دو ساله انجام شد. در این راستا، رخدادهای وقوع رواناب و بررسی تغییرات ذخیره رواناب در مخزن عملیات آبخیزداری ثبت شد. تغییرات کیفی نمونه‌های آب حاصل از چاه‌ها، قنوات و چشمه‌ها در محدوده عملیات آبخیزداری طی زمان اجرای تحقیق در قبل و بعد از بارش‌های سالیانه، شامل Na^{+}، K^{+}، Ca^{++}، Mg^{++}، $C1^{-}$، SO_4^{2-}، CO_3^{2-} و HCO_3^{2} باقی‌مانده خشک در آزمایشگاه و pH، EC و دما در محل اندازه‌گیری شد.

نتایج و بحث

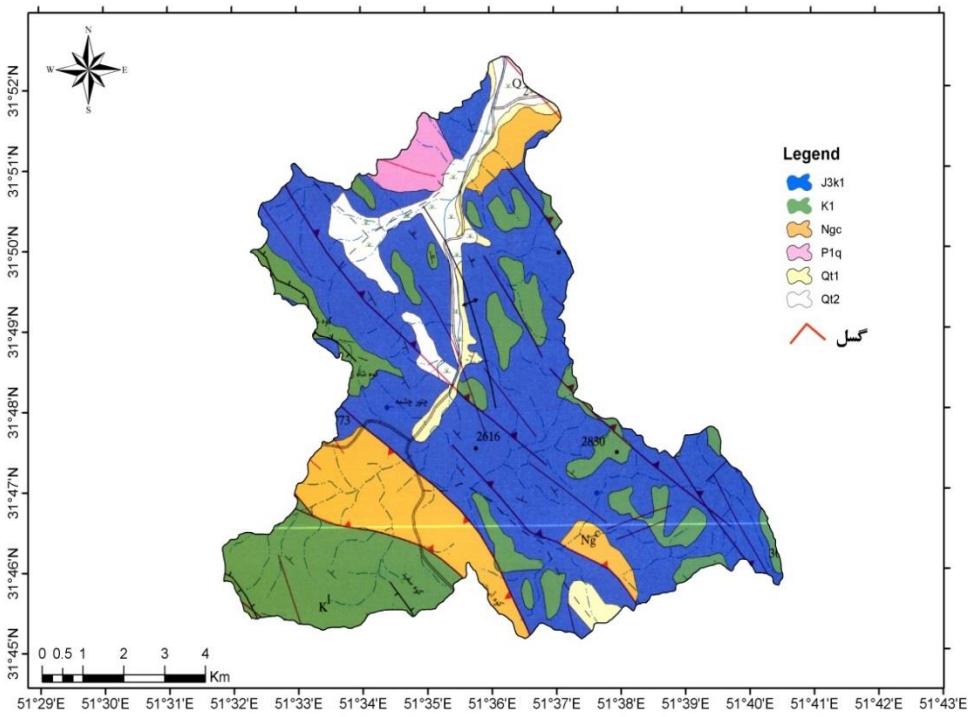
عمده مصرف آب داخلی این حوضه، محدود به آب کشاورزی است. یکی از نکات بارز در این حوضه، عدم وجود چاه آب است که این عدم نیاز، ناشی از وجود منابع آب سطحی در موقع لزوم و همچنین، وجود قنات‌های متعدد در آن می‌باشد که آب مورد نیاز اراضی کشاورزی را تامین می‌کنند. جمع اراضی زراعت آبی و باغی حوضه در حدود ۴۵۰ هکتار بوده، بر طبق گزارش مشاور، میزان نیاز آبی سالانه باغات حوضه ۸۴۱۰ متر مکعب در هکتار می‌باشد که با کسر ۵۵۰ متر مکعب آب ناشی از بارندگی موثر از آن، این مقدار به ۷۸۶۰ متر مکعب کاهش می‌یابد.



شکل ۲- موقعیت سازه‌های احداث شده در حوضه مورد مطالعه

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۳- سازندهای زمین‌شناسی حوضه بودجان

همچنین، نیاز آبی محصولات زراعی اصلی حوضه که شامل گندم و در سطح کمتر جو یا لوبیا است، حدود ۶۰۰۰ متر مکعب در هکتار است. با احتساب ۱۵۰ هکتار باغ و ۳۰۰ هکتار زراعت در حوضه، میزان مصرف آب کشاورزی این حوضه، ۲/۷ میلیون متر مکعب برآورد می‌شود (First Consulting Engineers، ۱۹۹۷). به این ترتیب، مجموع آب تبخیر و استفاده شده حوضه حدود ۱۷ میلیون متر مکعب می‌شود. چنانچه این مقدار از حجم نزولات در ماه‌هایی که تبخیر در آن‌ها منظور شده است (حدود ۲۶/۶ میلیون متر مکعب ناشی از ۲۸۷ میلی‌متر بارندگی از اول ماه نوامبر تا اول ماه می معادل ۹۰ درصد بارندگی حوضه) کسر شود، باقی‌مانده ۹/۶ میلیون متر مکعب، آب مازادی است که در یک دوره برگشت دو ساله در اراضی زیردست مورد استفاده قرار می‌گیرد. به این ترتیب نقش این حوضه در تامین آب مناطق زیردست مشخص می‌شود. این مقدار آب، برای کشت ۱۶۰۰ هکتار گندم با فرض ۶۰۰۰ متر مکعب آب مصرفی برای هر هکتار کافی می‌باشد. از آنجا که این مقدار آب مازاد بر مصرف حوضه، بر اساس بارندگی متوسط محاسبه شده، لازم است، مقدار آن برای بارش‌هایی در دوره برگشت‌های مختلف محاسبه تا نقش این حوضه در تامین آب مناطق پایین‌دست بیشتر مشخص شود. برای این کار، بارندگی حوضه با توزیع‌های مختلف آماری برازش و مناسب‌ترین روش برآورد توزیع نرمال تشخیص داده شد و مقدار آن برای دوره برگشت‌های مختلف محاسبه شد (Alizadeh، ۱۹۹۳). جدول ۲، میزان و حجم بارش حوضه در دوره برگشت‌های مختلف و حجم آب مازاد محاسبه شده حوضه را نشان می‌دهد. هر چه بارندگی با دوره برگشت‌های بالاتر به‌وقوع بپیوندد، به‌علت عدم ظرفیت کامل نفوذپذیری خاک و آبراهه، رواناب بیشتری در آبراهه‌ها به راه افتاده، به‌طوری که در مواقع سیلابی این جریانات به رودخانه زاینده‌رود هم تخلیه می‌شود. آب مازاد حوضه به‌صورت سطحی و زیرزمینی از حوضه خارج می‌شود. به‌دلیل این‌که آب مصرفی برای کشاورزی بیش از سه میلیون متر مکعب برآوردی بوده، عمده اراضی حوضه بیش از نیازشان آب دریافت می‌کنند و حتی در فصل غیر رشد جریان آب در بعضی نهرها برقرار است. آب اضافه بر مصرف بیشتر به آب‌های زیرزمینی ملحق شده که یا در اراضی پایین‌دست خود حوضه مصرف شده و یا از آن خارج می‌شود.

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۲- میزان بارش، حجم بارش و حجم آب مازاد حوضه بودجان در دوره‌های برگشت مختلف

میزان بارش، حجم بارش و حجم آب مازاد	دوره برگشت (سال)					
	۲	۵	۱۰	۲۵	۵۰	۱۰۰
بارش حوضه (میلی‌متر)	۳۱۹	۴۱۶	۴۶۸	۵۲۳	۵۵۸	۵۸۹
بارش حوضه در ماه‌های سرد و خنک سال یا ۹۰ درصد بارش (میلی‌متر)	۲۸۷	۳۷۴	۴۲۱	۴۷۰	۵۰۲	۵۳۰
حجم رواناب ناشی از بارش حوضه در ماه‌های سرد و خنک سال (میلیون متر مکعب)	۲۶/۶	۳۴/۷	۳۹	۴۳/۶	۴۶/۶	۴۹/۱
حجم تبخیر و مصرف آب حوضه (در صورت ثابت بودن میزان مصرف و تبخیر در سال‌های مختلف) (میلیون متر مکعب)	۱۷	۱۷	۱۷	۱۷	۱۷	۱۷
آب مازاد حوضه (میلیون متر مکعب)	۹/۶	۱۷/۷	۲۲	۲۶/۶	۲۹/۶	۳۲/۱

منابع آبی و محل تغذیه حوضه بودجان ناشی از پوشش برفی در ارتفاعات آهکی کرتاسه در بالادست حوضه است که وجود شکستگی‌ها و گسترش گسل‌های مورب، زهکشی سریع برف‌های ذوب شده و حرکت بر روی سنگ کف منطقه را موجب می‌شود (شکل ۴). همچنین، لازم به ذکر است، با توجه به روند شمال غرب-جنوب شرق خطواره‌ها و شیب شرقی لایه‌های زمین، امکان از دسترس خارج شدن بخشی از منابع آبی وجود دارد.

لایه‌های آهکی کرتاسه و نئوژن با امتداد شمال غرب-جنوب شرق و شیب بین ۱۰ تا ۲۳ درجه به سمت شرق هستند. با توجه به متوسط عرض آبرفت‌های کواترنر (۵۰۰ متر) و شیب متوسط لایه‌های زمین (۱۵ درجه)، ضخامت آبرفت در عمیق‌ترین قسمت حدود ۶۰ متر می‌باشد. از طرف دیگر، شیب متوسط زمین در محل آبرفت‌های کواترنر حدود نه درجه است، لذا، حجم آبرفت با توجه به متوسط هفت کیلومتر طول آن از رابطه (۱) معادل ۳۳ میلیون متر مکعب برآورد شد.

$$V_A = W \times L \times H \times Sin \propto \qquad (۱)$$

که در آن، V_A حجم آبرفت (متر مکعب)، W عرض آبرفت (متر)، L طول آبرفت (متر)، H ضخامت آبرفت (متر) و $Sin\alpha$ شیب متوسط زمین در محل آبرفت است.

با توجه به جنس ساختار آبرفت تخلخل مفید آن حدود پنج درصد بوده و میزان پتانسیل ذخیره آبی در آبرفت معادل ۱/۶۴ میلیون متر مکعب خواهد شد که عمدتاً در قسمت‌های میانی تا خروجی حوضه گسترش دارد. بررسی‌های انجام شده به‌وسیله سایر محققین نشان داده است که، تاثیر ذخیره‌ای رواناب‌ها به مقدار و طول زمان بارندگی، زمان وقوع بارندگی موثر، اندازه حجم مخازن پشت بندها در طول زمان تخلیه کامل آب آن‌ها، میزان رسوب کف و ظرفیت خالی آبخوان است. بستر رودخانه بودجان و آبراهه‌های آن به‌سبب بافت سبک و قلوه‌سنگی و عدم وجود رسوب قابل ملاحظه در آن‌ها دارای نفوذپذیری بالایی بوده، سریعاً به آبرفت زیرین خود تخلیه و پس از تغذیه از منطقه خارج می‌شود. آن‌چه قابل ذکر است، این‌که کم حجم بودن آبرفت در پشت بندها باعث پر شدن سریع آن تا کف آبراهه در زمان وقوع بارش‌های موثر و سپس، جریان یافتن آن در سطح آبراهه می‌شود. به این ترتیب، میزان نفوذپذیری کف آبراهه تابع میزان بارش قبلی و عمق اشباع شده آبرفت است. به‌عبارت دیگر، نفوذپذیری آبراهه زیاد ولی جریانات سطحی در بستر رودخانه تابع عمق آب آبرفت است. نتایج حاصل، علاوه بر تایید دستاوردهای ذکر شده موید بررسی نتیجه Amini (۲۰۱۲)، Heidari Moorchekhorti (۲۰۰۳)، Brian (۲۰۰۳) و Scanlon و همکاران (۲۰۰۲) است.

شکل ۴، توزیع منابع آب زیرزمینی شامل قنات، چشمه و چاه را در منطقه نشان می‌دهد. منابع آب قابل استحصال منطقه عموماً در بستر یا حاشیه رودخانه اصلی و یا سرشاخه‌های آن پراکنده هستند. عدم وجود چاه آب در حوضه و تعداد کم قنوات موجود در آن، سبب شده تا باغداران و کشاورزان برای تامین آب مورد نیاز از آب ذخیره شده پشت بندهای احداث شده در عملیات آبخیزداری که برای کنترل رواناب و تغذیه سفره‌های آب زیرزمینی منطقه اجرا شده، استفاده کنند. دلیل این کار، علاوه بر موارد اشاره شده، زمان آب‌گیری بندها است که منطبق بر زمان آبیاری باغات و کشت‌های انجام شده در منطقه و

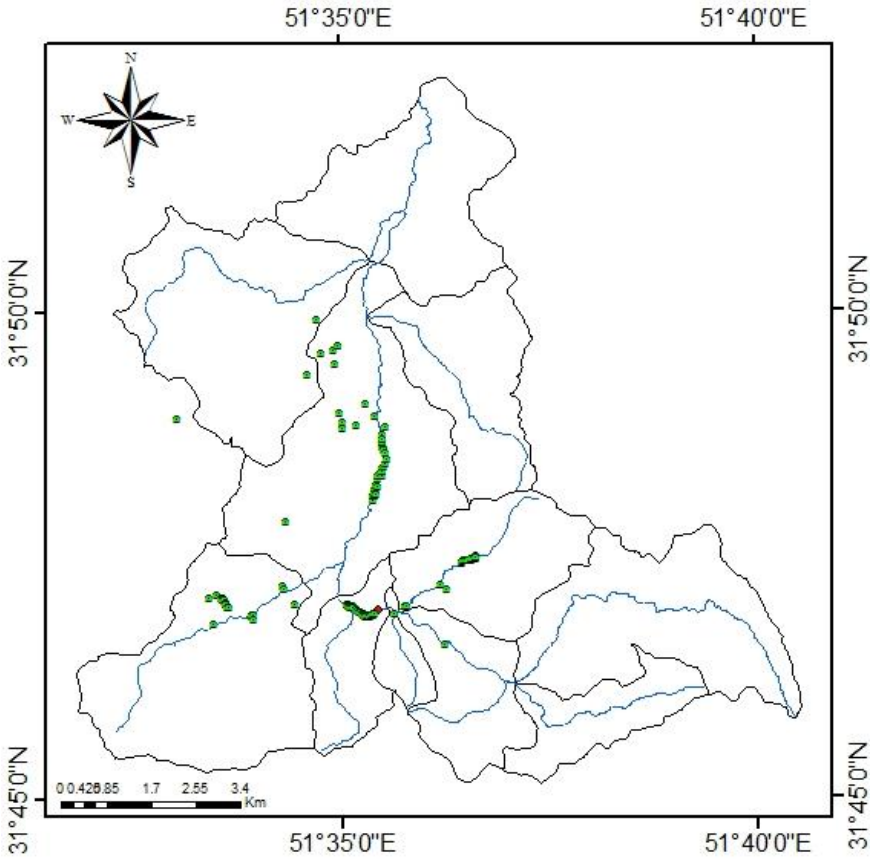
www.SID.ir

Archive of SID

دسترسی آسان، سریع و ارزان به آب می‌باشد.

چشمه‌های موجود در این حوضه عموما به‌دلیل پایین بودن سطح اساس رودخانه در بستر و یا کنار آن ظهور پیدا می‌کنند که با توجه به خصوصیات زمین‌شناسی منطقه امری بدیهی است. تقریبا تمام چشمه‌ها در این حوضه، موقت بوده، زمان پرآبی آن‌ها هم‌زمان با بارش‌های بهاره و ذوب برف زمستانه می‌باشد، این امر سبب شده تا ظهور چشمه‌ها با وقوع سیلاب‌های منطقه و آبگیری بندهای عملیات آبخیزداری هم‌زمان شود که سبب محو شدن چشمه‌ها در جریان آب رودخانه می‌شود.

نکات ارایه شده، گسترش مرازع و باغات در حاشیه رودخانه بودجان را به‌دلیل در دسترس بودن و سهولت برداشت آبی که به‌وسیله بندهای اجرا شده ذخیره و نگهداری توجیه می‌نماید (شکل ۵). از سویی دیگر، این امکان باعث گسترش بی‌رویه باغات و مزارع در این منطقه و به‌خصوص حاشیه رودخانه و اراضی که به‌نحوی به این بندها دسترسی دارند، شده است. بدون توجه به این‌که بخشی از این آب سهم کشاورزان و باغداران پایین‌دست و بخشی هم باید صرف تغذیه سفره‌های زیرزمینی آن اراضی و همچنین، شهرستان دهاقان شود.



شکل ۴- پراکنش چشمه، چاه و قنوات در حوضه

به‌طور کلی، بیشتر بررسی‌های انجام شده موید این موضوع هستند که میزان اثربخشی سازه‌ها و تغذیه به‌وسیله مخازن بستگی دارد به تطابق کامل آن‌ها با ویژگی‌های عرصه‌ها، فاصله کف مخزن تا سطح ایستابی یعنی عمق لایه غیر اشباع خاک زیرحوضچه و تعداد سازه‌های احداث شده که بر حسب شرایط توپوگرافیک منطقه تعیین می‌شود (Brian، ۲۰۰۳؛ Martínez-Ramírez و همکاران، ۲۰۱۷؛ Zhu و Wu، ۲۰۰۳).

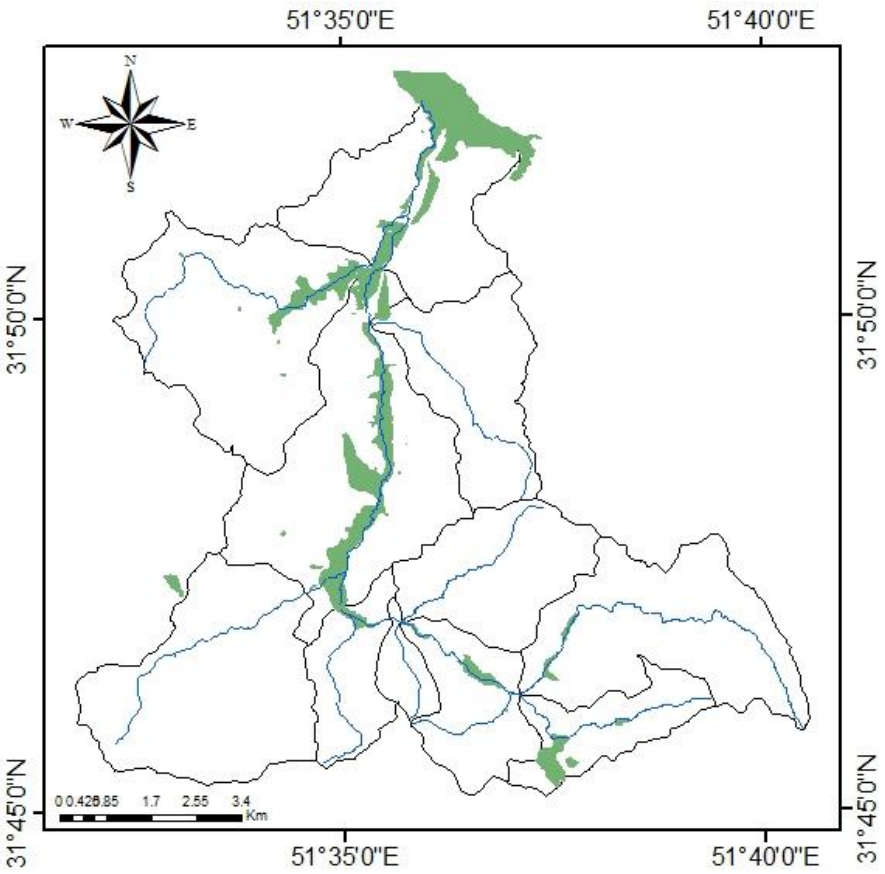
از سویی دیگر، با توجه به اطلاعات جدول ۳، می‌توان استنباط کرد که با گذشت زمان و استفاده منابع و کم شدن میزان دبی آن‌ها، شوری آب مقدار اندکی افزایش می‌یابد، ولی بر اساس جدول ۴، هنوز کیفیت آب برای آبیاری در محدوده خوب دسته‌بندی

www.SID.ir

Archive of SID

می‌شود (Harandi، ۱۹۹۷). تغییرات خصوصیات شیمیایی منابع آب مورد بررسی بر اساس دوره آماربرداری کمی آب مورد بررسی قرار گرفت. بر این اساس، میزان اسیدیته منابع آب بین ۷/۴ تا ۸/۱ و شوری آن‌ها بین ۰/۲۱ تا ۰/۳۶۵ دسی‌زیمنس در تغییر بود. تغییرات سایر پارامترهای شیمیایی این منابع به‌طور متوسط در جدول ۳، خلاصه شده است.

از طرفی، باید در نظر داشت که آب تولیدی حوضه از نظر حجمی نقش قابل ملاحظه‌ای در منابع آبی زیردست از دورترین نقطه حوضه تا نقطه ورود به رودخانه زاینده‌رود دارد. نفوذپذیری زیاد بستر رودخانه که ناشی از بافت قلوه سنگی و سبک آن می‌باشد، شرایط را برای تغذیه آبخوان فراهم کرده است، ولی حجم کم آبرفت به‌ویژه در سراب حوضه و بیشتر محل‌های احداث بندها در مقایسه با آب تولیدی میزان تغذیه را محدود کرده است. همین عامل سبب شده که تاثیر کنترل آب این حوضه از طریق احداث بندهای پیاپی، بیشتر نقش مهار سیلاب و جلوگیری از خسارت سیل را داشته باشد.



شکل ۵- کاربری اراضی حوضه بودجان

جدول ۳- طبقه‌بندی کیفیت آب آبیاری بر اساس شوری و SAR

روز	ماه	سال	K	Na	Mg	Ca	SO_4	Cl	HCO_3	CO_3	TDS
۱۹	۲	۱۳۹۱	۰/۰۱	۰/۱	۱	۳/۹	۰/۳۱	۰/۴	۴/۳	۰	۲۹۶
۱۲	۹	۱۳۹۱	۰/۰۱	۰/۴	۱/۳	۳/۴	۰/۰۱	۰/۵	۴/۶	۰	۳۱۹
۲۲	۲	۱۳۹۲	۰/۰۱	۰/۱	۱/۴	۳/۲	۰/۱۱	۰/۴	۴/۲	۰	۲۹۱
۲۰	۷	۱۳۹۲	۰/۰۱	۰/۳	۱/۱	۳/۸	۱/۱۱	۰/۱	۴	۰	۳۰۸

www.SID.ir

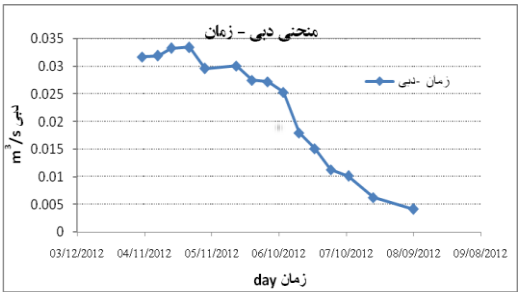
Archive of SID

جدول ۴- پارامترهای کیفی منابع آب

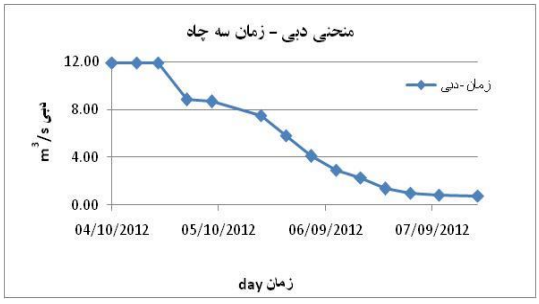
کیفیت آب	SAR ($mgrl^{-1}$)	طبقه قلیاییت	کیفیت آب	Ec (dSm^{-1})	طبقه شوری
عالی	< ۱۰	کم (S_1)	عالی	< ۰/۲۵	کم (C_1)
خوب	۱۰–۱۸	متوسط (S_2)	خوب	۰/۲۵–۰/۷۵	متوسط (C_2)
متوسط	۱۸-۲۶	زیاد (S_3)	متوسط	۰/۷۵-۲/۲۵	زیاد (C_3)
بد	> ۲۶	خیلی زیاد (S_4)	بد	> ۲/۲۵	خیلی زیاد (C_4)

شکل ۶، رابطه بین تغییرات دبی تعدادی از قنات‌های اصلی حوضه را نسبت به زمان نشان می‌دهد. تحقیقات سایر محققین، نشان داده که تغییرات میزان دبی چاه‌ها و قنوات تابعی از بارش و برداشت از منابع آب منطقه است و کمی پس از زمان بارش میزان بده بالا رفته، سپس، مقدار آن طی دوره مصرف و برداشت کاهش می‌یابد (Healy Richard و Cook، ۲۰۰۲) . این بررسی نیز نتایج مشابهی در تغییرات میزان دبی قنوات با گذشت زمان نشان داد. این روند به‌صورت کاهشی بوده، بستگی به عواملی مانند میزان بارش در فصول سرد سال (تغذیه) و برداشت در زمان نیاز دارد. در این نمودارها، تغییرات ناگهانی به‌علت وقوع بارش است و حاکی از تغذیه سریع و نفوذ آب ناشی از بارش و تغذیه سفره آب این قنوات می‌باشد.

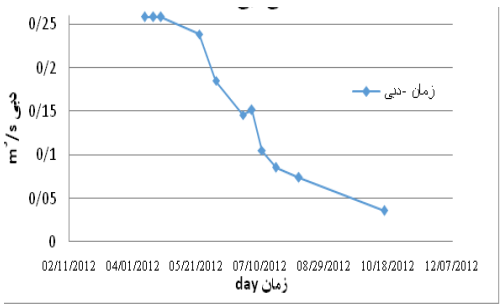
تغییرات اندک کیفیت منابع آب حوضه بودجان که شامل قنوات و چشمه‌ها می‌باشد، نیز نتایجی شبیه نتایج تحقیقات Kamali Moghadam و همکاران (۲۰۱۱) نشان می‌دهد، ولی تطبیقی با نتایج حاصل تحقیقات Roostaei و Sedghi (۲۰۱۶) ندارد و علت آن همان‌گونه که به‌وسیله محقق اعلان شده مصرف کودهای شیمیایی و پمپاژ بی‌رویه منابع آب زیرزمینی منطقه می‌باشد. علاوه بر آن، میزان بارش و بالطبع تغذیه آبخوان در منطقه این تحقیق به مراتب با منطقه حاشیه دریاچه پریشان متفاوت بوده که خود دلیلی بر به‌دست آمدن نتایج متفاوت است.



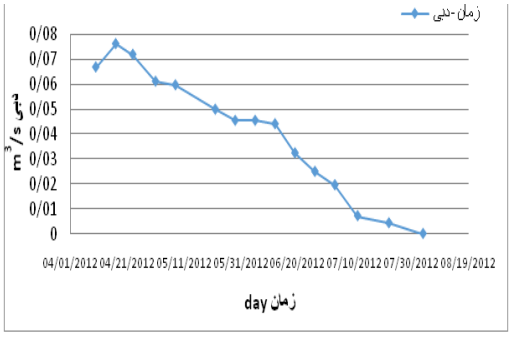
منحنی دبی-زمان قنات هرندی



منحنی دبی-زمان قنات سه‌چاه



منحنی دبی-زمان قنات کنار جاده



منحنی دبی-زمان قنات آستانه

شکل ۶- تغییرات آبدهی قنوات منطقه نسبت به زمان

www.SID.ir

Archive of SID

نتیجه‌گیری

آب تولیدی حوضه از نظر حجمی نقش قابل ملاحظه‌ای در منابع آبی زیردست از دورترین نقطه حوضه تا نقطه ورود به رودخانه زاینده‌رود دارد و چنانچه نقش آن تا تالاب گاوخونی در مواقع سیلابی نیز در نظر گرفته شود، دیگر این پدیده با احداث سد همگین و این بندها دست‌کم در دوره‌های برگشت کوتاه‌تر سیلاب، به‌وقوع نمی‌پیوندد. در این حالت، اهمیت این حوضه در تامین آب مناطق پایین‌دست مشخص‌تر می‌شود. همچنین، نفوذپذیری زیاد بستر رودخانه که ناشی از بافت قلوه‌سنگی و سبک آن می‌باشد، شرایط را برای تغذیه آبخوان فراهم کرده است، ولی حجم کم آبرفت به‌خصوص در سراب حوضه و بیشتر محل‌های احداث بندها در مقایسه با آب تولیدی میزان تغذیه را محدود کرده است و همین عامل سبب شده که تاثیر کنترل آب این حوضه از طریق احداث بندهای پیاپی، بیشتر نقش مهار سیلاب و جلوگیری از خسارت سیل را داشته باشد و تاثیر ذخیره‌ای این رواناب‌ها به مقدار و طول بارندگی، زمان وقوع بارندگی موثر از نظر مصرف آب، اندازه حجم مخازن پشت بندها در طول زمان تخلیه کامل آب آن‌ها، میزان رسوب کف و ظرفیت خالی آبخوان می‌باشد.

بستر رودخانه و آبراهه‌های متصل به آن به سبب بافت سبک و قلوه‌سنگی و عدم وجود رسوب قابل ملاحظه در آن‌ها دارای نفوذپذیری بالایی بوده، سریعاً به آبرفت زیرین خود تخلیه و پس از تغذیه از منطقه خارج می‌شود. آن‌چه که قابل ذکر است، این‌که کم حجم بودن آبرفت در پشت بندها باعث پر شدن سریع آن تا کف آبراهه در زمان وقوع بارش‌های موثر و سپس، جریان یافتن آن در سطح آبراهه می‌شود. به این ترتیب، اندازه‌گیری نفوذپذیری کف آبراهه تابع میزان بارش قبلی و میزان حجم اشغال شده آبرفت دارد، به‌عبارت دیگر، نفوذپذیری آبراهه زیاد ولی تابع عمق آب آبرفت است. آب اضافه بر مصرف حوضه حدود ۱۲ میلیون متر مکعب در سال می‌باشد که تقریباً معادل نیاز آبی ۲۰۰۰ هکتار گندم آبی است (First Consulting Engineers، ۱۹۹۷). هرگونه برداشت از این آب اضافه، مناطق پایین‌دست را با مشکلاتی به‌مراتب بدتر از وضع موجود روبه‌رو می‌کند و بنابراین، توصیه می‌شود، برای رفع کمبود نیاز فعلی اراضی زیرکشت روش‌های آبیاری با راندمان بالاتر مورد استفاده قرار گرفته و از هر گونه افزایش سطح زیرکشت جلوگیری شود.

آن‌چه که در مدیریت حوزه‌های آبخیز و از جمله حوضه مورد مطالعه فراموش شده، یا کمتر به آن بها داده می‌شود، کنترل سطوح زیرکشت و نظارت بر هر گونه تغییر کاربری در راستای مدیریت جامع منابع آب و توسعه پایدار می‌باشد. مدیریت بهره‌برداری از اراضی و استفاده از الگوی کشت مناسب به‌همراه انجام عملیات آبخیزداری منطبق با شرایط منطقه می‌تواند نقش مهمی در این مسیر ایفا نماید.

منابع مورد استفاده

1. Alizadeh, A. 1993. Principles of applied hydrology. Imam Reza University, 815 pages (in Persian).
2. Amini, A. 2012. Investigating the effects of runoff and sediment control structures on runoff storage in the Gav Dare Basin of Kurdistan Province. Final Report of Research Project, Soil Conservation and Watershed Management Research Institute, 122 pages (in Persian).
3. Brian, O. 2003. Soils infiltration and on-site testing**.** Geo Environmental Sciences and Environmental Engineering Department**,** Texas Council of Governments, 125 pages.
4. Cook, A.J., A.J. Fox, D.G. Vaughan and J.G. Ferrigno. 2005. Retreating glacier fronts on the Antarctic Peninsula over the past half-century. Science, 308(5721): 541-544.
5. Dowdeswell, J.A. 2006. The Greenland ice sheet and global sea level rise. Science, 311(5763): 963-964.
6. Harandi, S. 1997. Factors affecting selection effective on biological selection of industrial wastewater. Journal of Environmental Studies, 20: 19-24 (in Persian).
7. Healy Richard, W. and P.G. Cook. 2002. Using groundwater levels to estimate recharge. Hydrogeology Journal, 10: 91-109.
8. Heidari Moorchekhorti, F. and A. Mehdipoor. 2003. Investigation of soil permeability due to changes in the depth of sediments deposited in Bam water flood spreading area. Third Conference of Water Spreading, Oroomieh, Soil Conservation and Watershed Management Research Institute (in

www.SID.ir

Archive of SID

Persian).
9. Kamali, A. and M.H. Niksokhan. 2017. Multi-objective optimization for sustainable groundwater management by developing of coupled quantity-quality simulation-optimization model. Journal of Hydroinformatics, 19(6): 973-992.
10. Kamali Moghadam, R., F. Saeidi and Sh. Ebrahimi. 2011. Investigating watershed management operations in reducing drought effects, case studies of Qom Watershed. 5th National Conference on Watershed Management and Water Resources Management of the Country, Kerman, Iran, Water and Irrigation Engineering Society (in Persian).
11. Martínez-Ramírez, Á., B. Steinich and J. Tuxpan. 2017. Morphometric and hypsometric analysis in the Tierra Nueva Basin, San Luis Potosí, México. Environmental Earth Sciences, 76: 267–279.
12. Macpherson, G.L. and M. Sophocleous. 2004. Fast ground-water mixing and basal recharge in an unconfined, alluvial aquifer, Konza LTER Site, Northeastern Kansas. Journal of Hydrology, 286(1-4): 271-299.
13. Roghani, M. 2003. Investigating the spatial effects of areas affected by flood peak discharges in order to reduce the flood risk in the watersheds of the country. Soil Conservation and Watershed Management Research Institute, 116 pages (in Persian).
14. Roostaei, F. and M. Sedghi Asl. 2016. Assessment of the accuracy of geostatistical methods in estimating groundwater quality characteristics, case study: Famor Kazeroun Watershed. 11th National Conference on Watershed Management Sciences and Engineering, Yasouj, Iran, Watershed Association, Yasouj University (in Persian).
15. Scanlon, B., R.G. Healy and P. Cook. 2002. Choosing appropriate techniques for quantifying groundwater recharge. Hydrogeology Journal, 10: 18-39.
16. Siegrist, R.L. 2017. Selection, design and implementation of decentralized infrastructure. In Decentralized Water Reclamation Engineering, Springer International Publishing, 39-80.
17. Sophocleous, M. 2002. Interactions between groundwater and surface water: the state of the science. Hydrogeology Journal, 10: 52-67.
18. Weaver, R.J. and R.A. Kuthy. 1975. Filed evaluation of a recharge basin. New York State Department of Transportation. Engineering Research and Development, Research Report 26.
19. Zhu, Y. and Y. Wu. 2003. Water consumption of natural plant *Alhagi sparsifolia* in arid desert region. Bulletin of Soil and Water Conservation, 23(4): 43–45.

www.SID.ir