Archive of SID

اکوهیدرولوژی

دورهٔ ۷، شمارهٔ ۲، تابستان ۱۳۹۹، ص ۴۷۹-۴۶۳

اثر سیلاب‌های ورودی از کشور افغانستان بر تغییرات کمی و کیفی منابع آب زیرزمینی دشت سیستان

معین جهان‌تیغ[۱]، منصور جهان‌تیغ[*۲]

۱. دانشجوی دکترای علوم و مهندسی آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

۲. دانشیار بخش تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی سیستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی

(تاریخ دریافت ۱۳۹۸/۰۷/۰۱؛ تاریخ تصویب ۱۳۹۹/۰۱/۲۵)

چکیده

هدف از انجام پژوهش حاضر، بررسی اثر سیلاب‌های ورودی از کشور افغانستان بر تغییرات کمی و کیفی منابع آب زیرزمینی دشت سیستان است. به این منظور، ابتدا با تعیین مسیرهای انتقال سیلاب در دشت سیستان، ۱۶ حلقه چاهک که در مجاورت مسیر انتقال سیلاب احداث شده، انتخاب شد. در ادامه، تغییرات کمی منابع آب زیرزمینی منطقهٔ سیستان در بازهٔ زمانی ۴ سال (۱۳۹۴- ۱۳۹۸) با به‌کارگیری معادلات بیلان آب زیرزمینی و هیدروگراف واحد در قبل و بعد از ورود سیلاب ضمن برآورد تغییرات حجم ذخیرهٔ آبخوان و نیز مقایسهٔ وضعیت بارندگی منطقه در دورهٔ مشابه، بررسی شد. تغییرات کیفی آبخوان نیز با نمونه‌برداری از چاهک‌های مشاهداتی طی دورهٔ بیلان و بررسی تغییرات زمانی پارامترهای کیفی آب از جمله هدایت الکتریکی (EC) و اسیدیته (pH) تجزیه‌وتحلیل شد. یافته‌ها نشان داد با جاری شدن سیلاب به طور میانگین تراز سطح آب در چاهک‌های احداثی ۰/۳۹ متر افزایش و روند تغییرات آن همبستگی زیادی (R^2 =۰/۸۵) با حجم سیلاب جاری‌شده در منطقه دارد. همچنین، بررسی هیدروگراف واحد دشت نیز بیانگر تغییرات محسوس سطح آب زیرزمینی در قبل و بعد از ورود سیلاب در منطقه است. به طوری که این دورهٔ ۴ ساله به طور متوسط ۲/۱۶ متر سطح آب نسبت به قبل از ورود سیلاب افزایش داشته و با جاری شدن سیلاب، ۲۰/۶۶۲ میلیون مترمکعب طی دورهٔ بیلان به صورت طبیعی به حجم ذخیرهٔ آبخوان اضافه شده و با توجه به کم بودن نزولات جوی در منطقه، تغذیهٔ سفره‌های آب زیرزمینی تحت تأثیر نزولات جوی ناچیز است. در بررسی تغییرات کیفی آب زیرزمینی نتایج بیانگر کاهش چشم‌گیر شاخص هدایت الکتریکی (EC) در چاهک‌های مشاهداتی است که اختلاف معناداری در سطح ۰/۰۱ بین میانگین هدایت الکتریکی در قبل و بعد از ورود سیلاب دارد. همچنین، مقادیر اسیدیتهٔ آب زیرزمینی نیز با جاری شدن سیلاب روند کاهشی دارد که به لحاظ آماری معنادار نیست. با توجه به نتایج به‌دست‌آمده، ورود جریان‌های سیلابی ناشی از بارش در کشور افغانستان با تغذیهٔ طبیعی آبخوان سبب بهبود وضعیت کمی و کیفی آب زیرزمینی دشت سیستان شده که با توجه به بحران کمبود آب در منطقه، اجرای طرح‌های آبخیزداری و تغذیهٔ مصنوعی به‌منظور حداکثر بهره‌برداری از این منابع آبی با نفوذ سیلاب در خاک و تزریق آن به منابع آب زیرزمینی می‌تواند گامی مؤثر در توسعهٔ منابع آبی منطقه سیستان به‌شمار آید.

کلیدواژگان: آب زیرزمینی، تغذیهٔ طبیعی، دشت سیستان، سیلاب.

[*] نویسندهٔ مسئول

Email: Mjahantigh2000@yahoo.com

www.SID.ir

Archive of SID

مقدمه

واقع شدن ایران در جغرافیای خشک جهان با ریزش‌های جوی کم و پراکنش نامناسب، سبب شده است تا منابع آب زیرزمینی به‌عنوان منبعی بالقوه برای تأمین نیاز بخش‌های مختلف از جمله صنعت، کشاورزی و شرب مورد توجه قرار گیرد [۱]. این مهم با توجه به بروز خشکسالی‌های اخیر در مناطق خشک و بیابانی، سبب افزایش برداشت بیش از ظرفیت آبخوان‌ها شده است که به تبع آن، سطح آب زیرزمینی هر ساله کاهش و مشکلات فراوانی همچون خشک شدن قنوات، چشمه‌ها و چاه‌ها را در پی داشته است [۲ و ۳]. این فرایند تأثیر زیادی بر کاهش پایداری آبخوان‌ها با تأثیر بر خصوصیات کمی و کیفی منابع آب زیرزمینی دارد که احیای آن نیازمند تغذیهٔ سفره‌های آب به صورت طبیعی (از طریق بارندگی و یا نفوذ قسمتی از آب‌های سطحی) و یا مصنوعی (با اجرای عملیات آبخوان‌داری و پخش سیلاب و...) در این مناطق است [۴]. از آنجا که در مناطق خشک میزان بارندگی سالانه اندک است و منابع آب سطحی نیز به صورت دائمی جریان ندارد، سیلاب‌های فصلی پتانسیل بالقوه برای تغذیهٔ سفره‌های آب زیرزمینی به‌شمار می‌رود که خصوصیات کمی و کیفی این منابع آبی را نیز تحت تأثیر قرار می‌دهد [۵ـ ۷]. مطالعات متعددی در رابطه با تغذیهٔ آب زیرزمینی و اثر آن بر تغییرات کمی و کیفی این منابع آبی صورت گرفته که از آن جمله می‌توان به موارد ذیل اشاره کرد:

سایانا و همکاران در مطالعه‌ای اثر تغذیهٔ مصنوعی با استحصال رواناب ناشی از بارش بر خصوصیات کمی آب زیرزمینی در چنای هند را بررسی کردند. آنها با استفاده از ۷۰ حلقه چاه مشاهده‌ای و بررسی تغییرات سطح آب و میزان حجم ذخیرهٔ آبخوان با به‌کارگیری معادلات بیلان آب و هیدروگراف واحد، دریافتند که با استحصال آب باران و تغذیهٔ آبخوان، سطح سفرهٔ آب زیرزمینی نسبت به قبل از اجرای طرح به‌طور معناداری افزایش یافته است [۸]. یوجون و همکاران در احیای آبخوان منطقهٔ ژین-ژیانگ چین با بررسی تغییرات سطح آب و حجم ذخیرهٔ آبخوان، دریافتند که تغذیهٔ مصنوعی با عملیات پخش سیلاب تأثیر زیادی بر افزایش سطح ایستابی آب در چاه‌های مشاهده‌ای و نیز تغذیهٔ آبخوان منطقهٔ مطالعه‌شده داشته است [۹]. نتایج مطالعات ابراهیم و موهان در بررسی اثر تغذیهٔ مصنوعی با ساخت سازه‌های چک‌دم و چاه‌های نفوذ بر خصوصیات کمی آب زیرزمینی در منطقهٔ کودالور کشور هند با اندازه‌گیری نوسان‌های سطح آب در چاه‌های مشاهداتی و استفاده از معادلات بیلان آب، بیانگر افزایش ۲ برابری سطح آب زیرزمینی نسبت به قبل از اجرای طرح تغذیهٔ مصنوعی و همچنین اضافه شدن حجم درخور توجهی آب به حجم ذخیرهٔ آبخوان منطقهٔ مطالعه‌شده بوده است [۱۰]. در مطالعات صورت‌گرفته در داخل کشور نیز موسوی و رضائی در بررسی اثر پخش سیلاب بر تغییرات کمی منابع آبی دشت سهرین زنجان دریافتند که تغذیهٔ مصنوعی منابع آبی دشت سهرین با توجه به روند کاهش بارندگی در این منطقه، افزایش چشم‌گیر سطح آب در چاه‌های مشاهداتی را به همراه داشته است. به طوری که کاهش سطح آب در منطقهٔ شاهد را ۶/۵ متر و افزایش آن را در عرصهٔ پخش سیلاب بین ۵ تا ۱۰ متر طی سال‌های متناظر گزارش کرده‌اند [۱۱]. ویسکرمی و همکاران در مطالعه‌ای تأثیر پخش سیلاب بر تغییرات کمی منابع آب زیرزمینی دشت کوهدشت لرستان را بررسی کردند. آنها با استفاده از آمار و اطلاعات داده‌های بارش، سطح سفرهٔ آب زیرزمینی و میزان بهره‌برداری در قبل و بعد از اجرای عملیات پخش سیلاب طی یک دورهٔ آماری ۱۰ ساله به این نتیجه رسیدند که قبل از عملیات پخش سیلاب تغییرات سطح سفرهٔ آب زیرزمینی تابع میزان بهره‌برداری بوده و روندی کاهشی داشته و با اجرای طرح پخش سیلاب این روند کاهشی متوقف و با تغذیهٔ سفره‌های زیرزمینی سطح آب در چاه‌های پیزومتری افزایش یافته است [۱۲]. مسلمی و همکاران در بررسی تأثیر پخش سیلاب بر منابع آبی دشت هشت‌بندی استان هرمزگان، با اندازه‌گیری تغییرات سطح آب زیرزمینی و همچنین تغذیهٔ سفرهٔ آب زیرزمینی در قبل و بعد از احداث سیستم پخش سیلاب به کمک هیدروگراف واحد و معادلات بیلان آب زیرزمینی، دریافتند که متوسط رقوم سطح آب از سطح دریا در قسمت‌های مرکزی و حاشیه‌ای دشت (که کمتر تحت تأثیر پخش سیلاب بوده‌اند) و مناطق نزدیک پخش سیلاب (که تحت تأثیر مستقیم پخش سیلاب قرار داشتند) در قبل و بعد از اجرای طرح به‌ترتیب برابر با ۲۱۳/۴، ۲۰۹/۵ و ۲۵۱، ۲۵۴ متر بوده که رقوم سطح آب در چاه‌های نزدیک عرصهٔ پخش سیلاب به دلیل تأثیر

www.SID.ir

Archive of SID

بیشتر سیلاب بر تغذیهٔ سطح سفرهٔ آب زیرزمینی، افزایش یافته است [۱۳]. در خصوص اثر تغذیهٔ آبخوان بر تغییرات کیفی آب زیرزمینی نیز مطالعات متعددی صورت گرفته است: نتایج پژوهش قهاری و حسینی مرندی در بررسی تأثیر تغذیهٔ مصنوعی آبخوان بر تغییرات کیفی آب زیرزمینی در منطقهٔ گربایگان نشان داد اجرای عملیات پخش سیلاب سبب کاهش میزان شوری آب در چاه‌های مشاهداتی شده که این فرایند را به منزلهٔ تأثیر مثبت تغذیهٔ مصنوعی آبخوان بر خصوصیات کیفی منابع آب زیرزمینی گزارش کرده‌اند [۱۴]. قضاوی و همکاران در تحقیقی به بررسی اثر پخش سیلاب بر تغییرات کیفی منابع آب زیرزمینی در شهرستان داراب استان فارس پرداختند. آنان با نمونه‌برداری از چاه‌های مشاهداتی در قبل و بعد از احداث سیستم پخش سیلاب و اندازه‌گیری پارامترهای کیفی آب از جمله اسیدیته (pH)، هدایت الکتریکی (EC)، Ca_2+، Mg_2+، Hco_3، Cl، SO_4^2 به این نتیجه رسیدند که با اجرای عملیات پخش سیلاب و تغذیهٔ آبخوان، پارامترهای مطالعه شده به‌طور محسوس کاهش یافته است [۱۵]. مسلمی و همکاران در بررسی اثر تغذیهٔ مصنوعی آبخوان (با اجرای پخش سیلاب) بر خصوصیات کیفی منابع آب زیرزمینی حوضهٔ آبخیز دهندر در شهرستان هشت‌بندی، دریافتند که هدایت الکتریکی کل سفره روند افزایشی، ولی مقدار آن در محدودهٔ تأثیر پخش سیلاب به‌مراتب کمتر از نقاط دیگر بوده است که این فرایند را متأثر از نقش مثبت تغذیهٔ مصنوعی آبخوان بر خصوصیات کیفی آب زیرزمینی در منطقهٔ مطالعه شده گزارش کرده‌اند [۱۶]. بررسی پیشینهٔ تحقیق نشان می‌دهد تغذیهٔ سفره‌های آب زیرزمینی تأثیر زیادی بر تغییرات خصوصیات کمی و کیفی این منابع آبی دارد که آگاهی از آن با توجه به اصل همزیستی به منظور فائق آمدن بر مشکلات ناشی از کمبود آب در مناطق خشک، بستری مناسب برای مدیریت پایدار منابع آب زیرزمینی با توجه به اهمیت آن به‌عنوان منبعی مناسب برای آب شرب و کشاورزی را فراهم می‌کند. منطقهٔ سیستان که در پایاب حوضهٔ آبخیز بسیار وسیع هیرمند واقع شده، از جمله مناطقی است که پتانسیل منابع آب سطحی بالقوه همانند جریان‌های سیلابی را دارد که به صورت فصلی از کشور افغانستان وارد منطقهٔ سیستان می‌شود که تنها منبع تأمین‌کنندهٔ آب اراضی کشاورزی، شرب و صنعت در این منطقه به‌شمار می‌رود [۱۷ و ۱۸]. با توجه به موارد یادشده و به اینکه منطقهٔ سیستان تحت تأثیر خشکسالی‌های متعدد دچار بحران کمبود آب است، تأثیر سیلاب‌های ورودی بر منابع آب زیرزمینی منطقهٔ سیستان با توجه به فزونی حجم جریان‌های سیلابی طی سال‌های اخیر و نبود مطالعات پیشین در این زمینه، می‌تواند نقطه عطفی به منظور بهره‌برداری اصولی و کارآمد از این پتانسیل آبی با توسعهٔ منابع آب زیرزمینی در منطقه باشد. بنابراین، تحقیق حاضر با هدف بررسی اثر سیلاب‌های ورودی از کشور افغانستان بر تغییرات کمی و کیفی منابع آب زیرزمینی دشت سیستان طی یک دورهٔ ۴ساله (۱۳۹۴تا ۱۳۹۸) صورت گرفته است.

مواد و روش‌ها

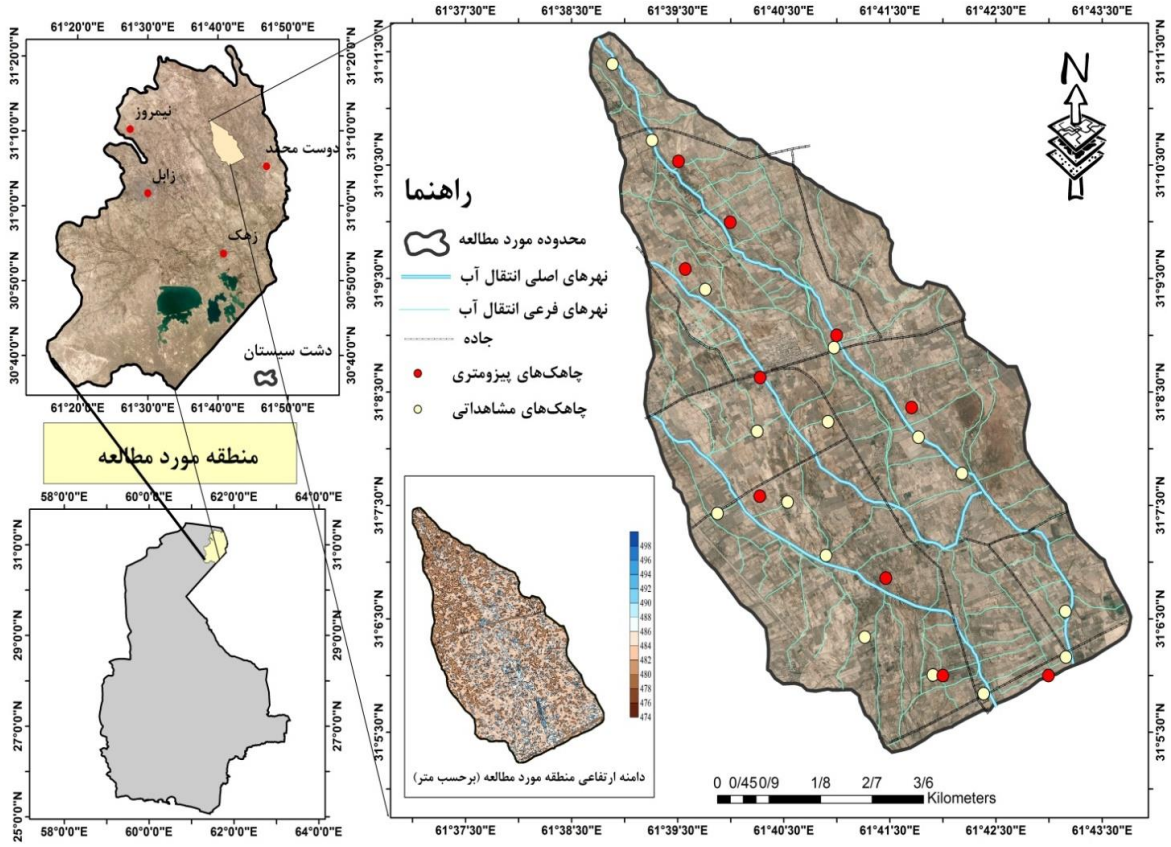
منطقهٔ مطالعه‌شده

محدودهٔ مطالعه شده در شمال استان سیستان و بلوچستان و بخشی از دشت سیستان با مساحتی حدود ۴۶۱۰ هزار هکتار با مختصات ۶۱ درجه و ۳۷ دقیقه تا ۶۱ درجه و ۴۳ دقیقه و ۳۰ ثانیه طول شرقی و ۳۱ درجه و ۵ دقیقه و ۳۰ ثانیه تا ۳۱ درجه و ۱۱ دقیقه و ۳۰ ثانیه عرض شمالی است که در ارتفاع متوسط ۴۷۶ متری از سطح دریا قرار دارد (شکل ۱). متوسط بارندگی محدودهٔ مطالعه‌شده ۴۷ میلی‌متر است که بیشترین آن در فصل زمستان ریزش می‌کند. میانگین دما، متوسط حداکثر و حداکثر مطلق سالیانه به‌ترتیب ۱۸، ۲۵، ۴۳ درجهٔ سانتی‌گراد است. این محدوده تبخیر زیاد و رطوبت کمی دارد، به طوری که متوسط رطوبت سالانهٔ آن ۲۸ درصد و تبخیر آن حدود ۵ متر در سال است که ۳ متر آن در ماه‌های بحرانی سال انجام می‌شود و با توجه به شرایط اکولوژیکی، محدودهٔ بررسی‌شده جزء مناطق خشک کشور محسوب می‌شود [۱۹]. تنها منبع تأمین‌کنندهٔ نیاز آبی منطقهٔ سیستان (بخش کشاورزی، صنعت و شرب) جریان‌های سیلابی ناشی از بارش در کشور افغانستان است که از طریق رودخانهٔ هیرمند (به طول ۱۱۰۰ کیلومتر) به منطقهٔ سیستان منتقل می‌شود. آورد متوسط سالانهٔ رودخانهٔ هیرمند در محلی به نام (چهاربرجک) در بالادست بند کمال‌خان که آخرین ایستگاه اندازه‌گیری قبل از ایران و به فاصلهٔ ۶۵ کیلومتری

www.SID.ir

Archive of SID

محل ورود رودخانهٔ یادشده به ایران قرار دارد، ۵/۹۶ میلیارد مترمکعب است. این رودخانه با توجه به شیب بسیار کم آن (شیب متوسط ۰/۰۷ درصد) پتانسیل تولید رواناب را نداشته و رواناب آن وابسته به جریان‌های سیلابی واردشده از کشور افغانستان است [۲۰ و ۲۱]. آب‌های زیرزمینی به مفهوم واقعی و پیوسته در این محدوده وجود ندارد و آنچه مشاهده می‌شود سفره‌های نیمه‌سطحی آب شور هستند که عمق آنها با توجه به فصول و نوع خاک بین ۵۰ تا ۱۰۰ سانتی‌متر تغییر می‌کند و در برخی نقاط در فصول خشک به عمق ۶ متر نیز می‌رسد. سازندهای منطقهٔ سیستان مربوط به دوران نئوژن - کواترنری، هالئوسن - پلیستوسن است و از لحاظ زمین‌شناسی آبرفت‌های ریز، رسوبات رودخانه‌ای، تپه‌ها و میدان‌های ماسه‌ای، مخروط‌افکنهٔ جوان، پهنه‌های گراولی و پادگانه دارد. بافت خاک منطقه از سبک تا بسیار سنگین متغیر است. بیشتر خاک‌های منطقه دارای بافت متوسط است و قابلیت نفوذ خاک بستگی به تغییرات ساختمان و بافت خاک دارد. این تغییرات در پروفیل خاک‌های منطقه بسیار زیاد و مقدار آن از قابلیت نفوذ سریع تا بسیار آهسته متغیر است. به طور کلی، خاک‌های این منطقه نفوذپذیری کم دارند [۲۲].



شکل ۱. موقعیت منطقهٔ مطالعه‌شده در دشت سیستان و استان سیستان و بلوچستان

مواد روش‌ها

از آنجا که هدف از انجام تحقیق حاضر، بررسی اثر سیلاب‌های ورودی بر تغییرات کمی و کیفی آب زیرزمینی در منطقهٔ سیستان است، به این منظور ابتدا با استفاده از آمار و اطلاعات شرکت آب منطقه‌ای سیستان، نقشهٔ موقعیت مکانی چاهک‌ها تهیه و با همپوشانی با نقشهٔ مسیر انتقال جریان‌های سیلابی در محیط GIS، ۱۶ حلقه چاهک که در مجاورت مسیر انتقال سیلاب احداث شده و دارای آمار قرائت درازمدت دارد، انتخاب و طی عملیات میدانی از این چاهک‌ها بازدید صورت گرفت. نمایی از محل احداث چاهک‌های مشاهداتی و مختصات جغرافیایی آنها به‌ترتیب در شکل ۲ و جدول ۱ ارائه شده است.

www.SID.ir

Archive of SID

الف) قبل از ورود سیلاب به دشت سیستان، ب) بعد از ورود سیلاب به دشت سیستان

شکل ۲. محل احداث چاهک‌های مشاهداتی در منطقهٔ مطالعه‌شده

جدول ۱. مختصات چاه‌های مشاهداتی منطقهٔ مطالعه‌شده

شمارهٔ چاهک	مختصات (برحسب UTM)		ارتفاع نقطهٔ نشانه		عمق چاهک	سال احداث
	Y	X	از سطح دریا	از سطح زمین		
۱	۳۴۴۸۷۴۶	۳۷۲۸۱۱	۴۸۷	۰/۴	۵	۱۳۸۴
۲	۳۴۴۸۳۵۱	۳۷۲۵۷۲	۴۸۲/۱	۰/۵	۵	۱۳۸۲
۳	۳۴۴۸۶۰۳	۳۷۲۲۳۶	۴۷۹/۴	۰/۴	۵	۱۳۸۵
۴	۳۴۴۹۴۸۳	۳۷۲۱۴۰	۴۸۲/۲	۰/۵	۶	۱۳۸۳
۵	۳۴۴۸۲۲۴	۳۷۳۱۳۶	۴۸۰/۵	۰/۶	۷	۱۳۸۰
۶	۳۴۴۸۶۵۶/۶۰	۳۷۳۷۲۰/۳۸	۴۷۹	۰/۶	۷	۱۳۸۰
۷	۳۴۴۷۴۵۴/۳۲	۳۷۳۷۸۸/۸۹	۴۸۱/۹	۰/۶	۷	۱۳۷۸
۸	۳۴۴۷۷۶۸	۳۷۳۹۷۷	۴۸۱/۱	۰/۵	۶	۱۳۷۹
۹	۳۴۴۸۰۰۳	۳۷۳۶۳۶	۴۸۰/۵	۰/۶	۷	۱۳۸۲
۱۰	۳۴۴۶۵۸۹	۳۷۳۰۹۶	۴۸۱/۳	۰/۶	۷	۱۳۸۴
۱۱	۳۴۴۶۷۳۸	۳۷۴۳۳۳	۴۸۲/۸	۰/۵۵	۶	۱۳۸۵
۱۲	۳۴۴۷۰۱۲	۳۷۴۲۵۶	۴۸۰/۵	۰/۴۵	۶	۱۳۸۵
۱۳	۳۴۴۶۵۸۹	۳۷۳۰۹۶	۴۸۰/۲	۰/۶	۷	۱۳۸۵
۱۴	۳۴۴۷۱۹۱	۳۷۲۸۶۰	۴۷۹/۷	۰/۶	۷	۱۳۸۵
۱۵	۳۴۴۷۸۹۰	۳۷۲۶۴۶	۴۷۹	۰/۶۵	۷	۱۳۸۵
۱۶	۳۴۴۷۳۴۷	۳۷۲۳۷۶	۴۸۱/۳	۰/۶	۷	۱۳۸۵

به‌منظور ارزیابی تأثیر سیلاب‌های ورودی از کشور افغانستان بر منابع آب زیرزمینی منطقهٔ سیستان، تغییرات آب زیرزمینی در دو بخش کمی و کیفی برای یک دورهٔ ۴ ساله با اندازه‌گیری ۲۲ رخداد سیل با حداکثر تداوم جریان در منطقهٔ سیستان بررسی شده که هر یک تشریح می‌شود.

اثر جریان‌های سیلابی بر تغییرات کمی آب زیرزمینی

تغییرات سطح آب در چاهک‌های مشاهده‌ای

برای بررسی تغییرات سطح ایستابی آب در چاهک‌ها در قبل (فصل زمستان) و بعد (فصل بهار) از ورود سیلاب، به صورت میدانی طی هر ماه با استفاده از عمق‌سنج، سطح ایستابی آب زیرزمینی اندازه‌گیری شد. با استفاده از ارتفاع قرائت‌شده توسط جی پی‌اس و سطح ایستابی اندازه‌گیری شده، سطح ایستابی مرجع (ارتفاع از سطح دریا) برای هریک از چاهک‌های مشاهداتی برآورد شد [۲۳].

میزان بهره‌برداری از چاهک‌ها

از آنجا که چاهک‌های احداثی به طور عمده برای مصارف کشاورزی بهره‌برداری می شود (جدول ۲)، حجم تخلیهٔ چاهک‌ها در قبل (کشت پاییزه) و بعد (کشت بهاره) از ورود سیلاب با اندازه‌گیری میزان ساعت برداشت و دبی خروجی موتور پمپ‌ها برآورد شد.

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۲. وضعیت بهره‌برداری و مشخصات چاهک‌های احداثی منطقهٔ مطالعه‌شده

شمارهٔ چاهک	نوع مصرف	چگونگی برداشت آب	نوع حفاری	ساختار زمین‌شناسی
۱	کشاورزی	پمپ شناور (سطح مقطع ۱ اینچ)	دستی	رسوبات آبرفتی
۲	کشاورزی	پمپ شناور (سطح مقطع ۱ اینچ)	دستی	رسوبات آبرفتی
۳	کشاورزی	پمپ شناور (سطح مقطع ۱ اینچ)	دستی	رسوبات آبرفتی
۴	کشاورزی	پمپ شناور (سطح مقطع ۱ اینچ)	دستی	رسوبات آبرفتی
۵	کشاورزی	پمپ شناور (سطح مقطع ۱ اینچ)	دستی	رسوبات آبرفتی
۶	کشاورزی	پمپ شناور (سطح مقطع ۱ اینچ)	دستی	رسوبات آبرفتی
۷	کشاورزی	پمپ شناور (سطح مقطع ۱ اینچ)	دستی	رسوبات آبرفتی
۸	کشاورزی	پمپ شناور (سطح مقطع ۱ اینچ)	دستی	رسوبات آبرفتی
۹	کشاورزی	پمپ شناور (سطح مقطع ۱ اینچ)	دستی	رسوبات آبرفتی
۱۰	کشاورزی	پمپ شناور (سطح مقطع ۱ اینچ)	دستی	رسوبات آبرفتی
۱۱	کشاورزی	پمپ شناور (سطح مقطع ۱ اینچ)	دستی	رسوبات آبرفتی
۱۲	کشاورزی	پمپ شناور (سطح مقطع ۱ اینچ)	دستی	رسوبات آبرفتی
۱۳	کشاورزی	پمپ شناور (سطح مقطع ۱ اینچ)	دستی	رسوبات آبرفتی
۱۴	کشاورزی	پمپ شناور (سطح مقطع ۱ اینچ)	دستی	رسوبات آبرفتی
۱۵	کشاورزی	پمپ شناور (سطح مقطع ۱ اینچ)	دستی	رسوبات آبرفتی
۱۶	کشاورزی	پمپ شناور (سطح مقطع ۱ اینچ)	دستی	رسوبات آبرفتی

تهیهٔ هیدروگراف (آب‌نگار) محدودهٔ مطالعه‌شده

برای ترسیم این نمودار ابتدا موقعیت مکانی چاهک‌های مشاهداتی، وارد نرم‌افزار GIS و با استفاده از دستور Create Thiessen Polygons، محدودهٔ تیسن و مساحت هریک از چاهک‌های مشاهداتی تعیین و با توجه به آمار اندازه‌گیری سطح آب زیرزمینی در این چاهک‌ها، اقدام به ترسیم هیدروگراف واحد دشت شد [۱۳ و ۲۴].

تغییرات حجم ذخیرهٔ آبخوان

به منظور بررسی تغییرات حجم آبخوان برای دورهٔ بیلان از رابطهٔ ۱ استفاده شد.

$$\Delta V = A \times S \times \Delta h \qquad (۱)$$

که در آن ΔV = تغییرات حجم ذخیرهٔ آبخوان، A = مساحت برحسب کیلومترمربع، S = ضریب ذخیره و Δh = تغییرات سطح آب (تغییرات سطح آب از آغاز تا پایان دورهٔ بیلان) است. برای تعیین ضریب ذخیرهٔ آبخوان با توجه به نبود مطالعات پیشین، ابتدا طی عملیات میدانی، آزمایش افت سطح آب برای ۶ چاهک انجام شد. در ادامه، با اندازه‌گیری افت سطح آب نسبت به زمان، منحنی آن برای هر چاهک ترسیم شد. از آنجا که با ترسیم این منحنی میزان افت در یک سیکل لگاریتمی (Δs) و زمان محل برخورد خط افقی با منحنی افت (t_0) قابل استخراج است، بنابراین با تخمین این مقادیر برای هر چاهک، ضریب قابلیت انتقال‌پذیری (T) و با استفاده از آن ضریب ذخیره (S) مطابق با روابط ۲ و ۳ برآورد شد[۱، ۲۵ و ۲۶].

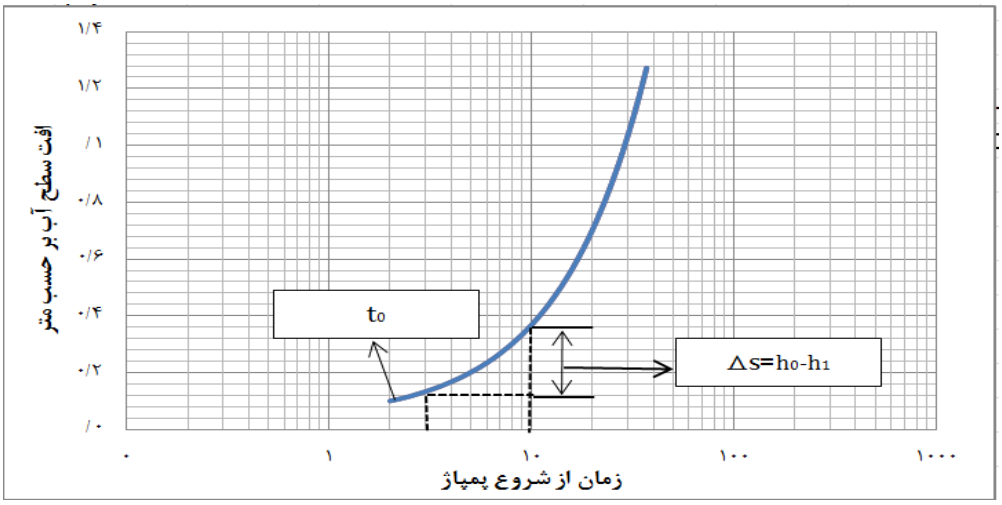
$$T = \frac{2.3Q}{4\pi\Delta S} \qquad (۲)$$

$$S = \frac{2.25T\,t0}{r^2} \qquad (۳)$$

که روابط یادشده T= ضریب قابلیت انتقال‌پذیری، معادلات Q = دبی پمپ، S = ضریب ذخیره و r = فاصله از چاه اصلی تا چاه پیزومتری است. نمونه‌ای از منحنی تغییرات افت نسبت به زمان در چاهک‌های مشاهداتی در شکل ۳ ارائه شده است.

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۳. منحنی تغییرات افت نسبت به زمان در چاهک‌های مشاهداتی

مقایسهٔ تغییرات سطح آب زیرزمینی در زمان بارندگی با وقایع سیلاب در منطقهٔ سیستان

به منظور مقایسهٔ اثر جریان‌های سیلابی و میزان بارندگی بر تراز سطح آب در چاهک‌ها، داده‌های ایستگاه هواشناسی و وقایع سیل که اندازه‌گیری دبی دارد از شرکت آب منطقه‌ای سیستان جمع‌آوری شده و تغییرات سطح آب زیرزمینی طی دو سال آبی با انتخاب پایهٔ زمانی مجزا (به منظور کاهش تداخل اثر هر یک از عوامل مؤثر بر تراز سطح آب زیرزمینی) بررسی شد (از آنجا که بیشترین بارش در منطقهٔ سیستان در فصل زمستان و حداکثر رخداد وقایع سیل در فصل بهار صورت می‌گیرد، بنابراین در تحقیق حاضر از داده‌های بارش در فصل زمستان با وقایع سیلاب اندازه‌گیری‌شده در فصل بهار برای مقایسهٔ تغییرات تراز سطح آب زیرزمینی استفاده شد).

ترسیم منحنی‌های هم‌افت آب زیرزمینی دشت

با استفاده از داده‌های اندازه‌گیری‌شده در ۱۶ چاهک مشاهده‌ای در قبل و بعد از ورود سیلاب طی ۴ سال آبی، متوسط افت سطح آب در چاهک‌های مشاهده‌ای از تفاضل سطح آب ترازشده طی فصول اندازه‌گیری و جمع این مقادیر با اعداد نقاط نشانه برای هر چاهک، میزان افت سطح آب از سطح آب دریا برآورد و با استفاده از نرم‌افزار Surfer منحنی‌های هم‌افت دشت تهیه شد [۱۳ و ۲۷].

اثر جریان‌های سیلابی بر تغییرات کیفی آب زیرزمینی

در بررسی اثر جریان‌های سیلابی بر تغییرات کیفی آب زیرزمینی، در قبل (فصل زمستان) و بعد (فصل بهار) از ورود سیلاب اقدام به نمونه‌برداری از آب چاهک‌ها طی دورهٔ مطالعه‌شده شد. در ادامه، با انتقال نمونه‌های برداشت‌شده به آزمایشگاه مرکز تحقیقات سیستان، پارامترهای هدایت الکتریکی (EC) و اسیدیته (pH) برای هریک از چاهک‌ها اندازه‌گیری شد [۲۸ و ۲۹]. برای مقایسهٔ آماری داده‌های اندازه‌گیری‌شده در بخش کمی و کیفی آب زیرزمینی، ابتدا نرمال بودن داده‌ها با استفاده از آزمون کولموگروف اسمیرنوف بررسی شده و با استفاده از آزمون t استیودنت در نرم‌افزار SPSS 23 تجزیه‌وتحلیل شد. همچنین، به منظور ترسیم نمودارها و برآورد معادلات رگرسیونی از نرم‌افزار EXCEL و برای تهیهٔ لایه‌های اطلاعاتی و نقشه‌های مربوطه از نرم‌افزار GIS و Surfer استفاده شده است.

یافته‌ها

بر اساس انجام مراحل کار در روش تحقیق، نتایج به شرح ذیل است:

بررسی خصوصیات کمی آب زیرزمینی

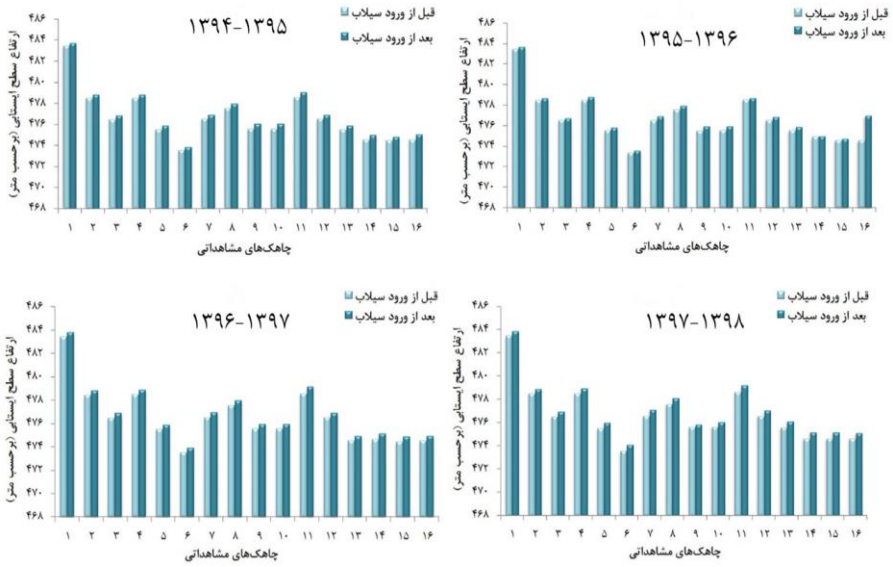
بررسی تغییرات سطح آب در چاهک‌های مشاهداتی در قبل و بعد از ورود جریان‌های سیلابی

طی مطالعات میدانی، تغییرات سطح آب در چاهک‌ها طی دو بازهٔ زمانی قبل (فصل پاییزه) و بعد (فصل بهاره) از ورود سیلاب به منطقهٔ سیستان اندازه‌گیری شد (شکل ۴). براساس نتایج به‌دست‌آمده متوسط اختلاف تراز سطح آب

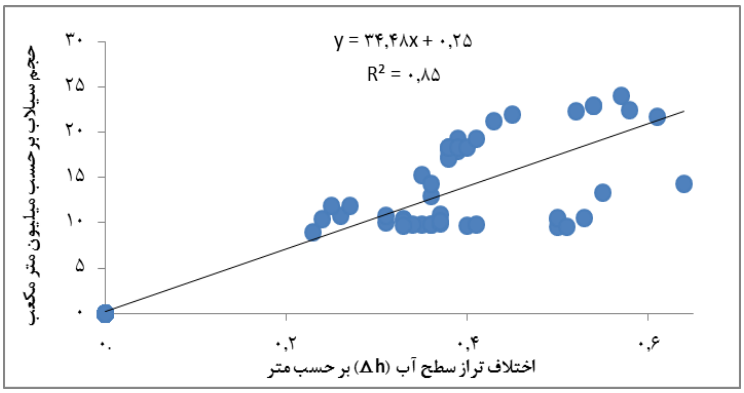
www.SID.ir

Archive of SID

(Δh) در دو بازهٔ زمانی (قبل و بعد از ورود سیلاب) طی ۴ سال آبی، به‌ترتیب برابر با (۰/۳۸+)، (۰/۳۱+)، (۰/۳۹+) و (۰/۴۹+) متر است. با مقایسهٔ روند تغییرات سطح آب زیرزمینی با حجم سیلاب‌های متناظر طی دورهٔ بیلان، یافته‌ها بیانگر همبستگی زیاد (R^2 =۰/۸۵) بین تغییرات تراز آب در چاهک‌های احداثی و حجم سیلاب‌های جاری‌شده است که با افزایش حجم سیلاب‌ها، تراز سطح آب در چاهک‌ها نیز افزایش یافته است (شکل ۵).



شکل ۴. تغییرات سطح آب زیرزمینی در چاهک‌های مشاهده‌ای از سال ۱۳۹۴ تا ۱۳۹۸



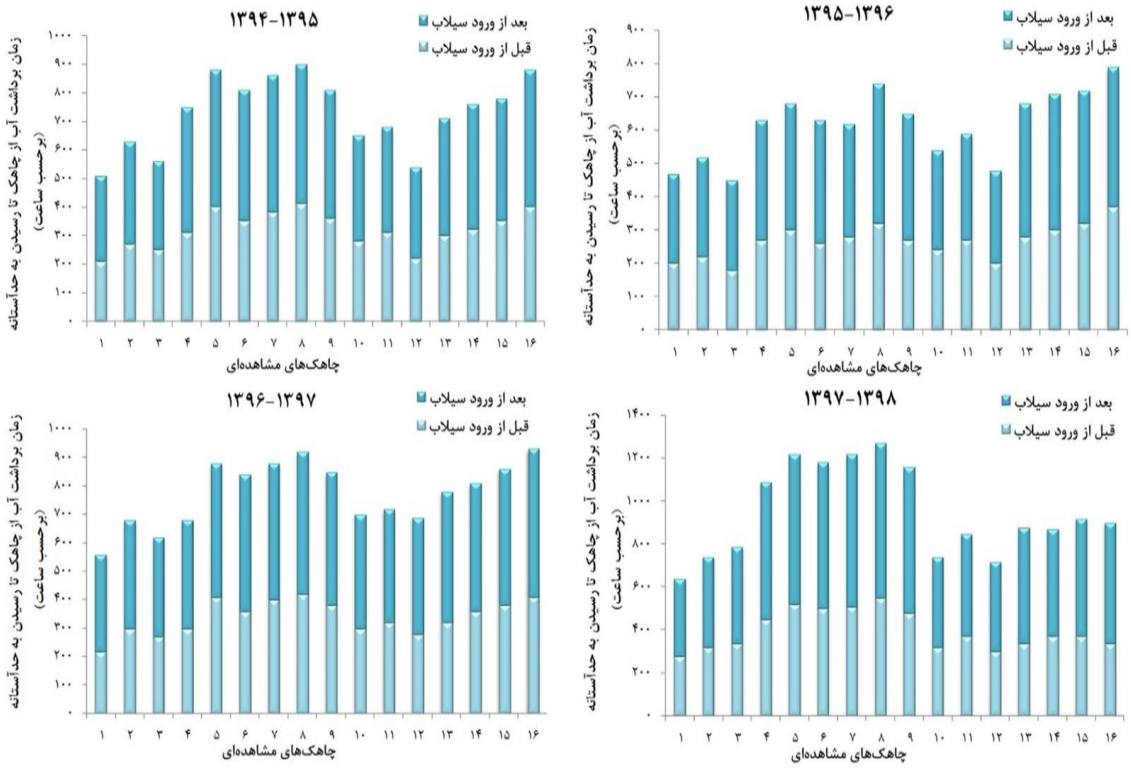
شکل ۵. رابطهٔ بین تغییرات سطح تراز چاهک‌های مشاهده‌ای و حجم جریان‌های سیلابی

روند تغییرات حجم برداشت آب زیرزمینی در قبل و بعد از ورود سیلاب

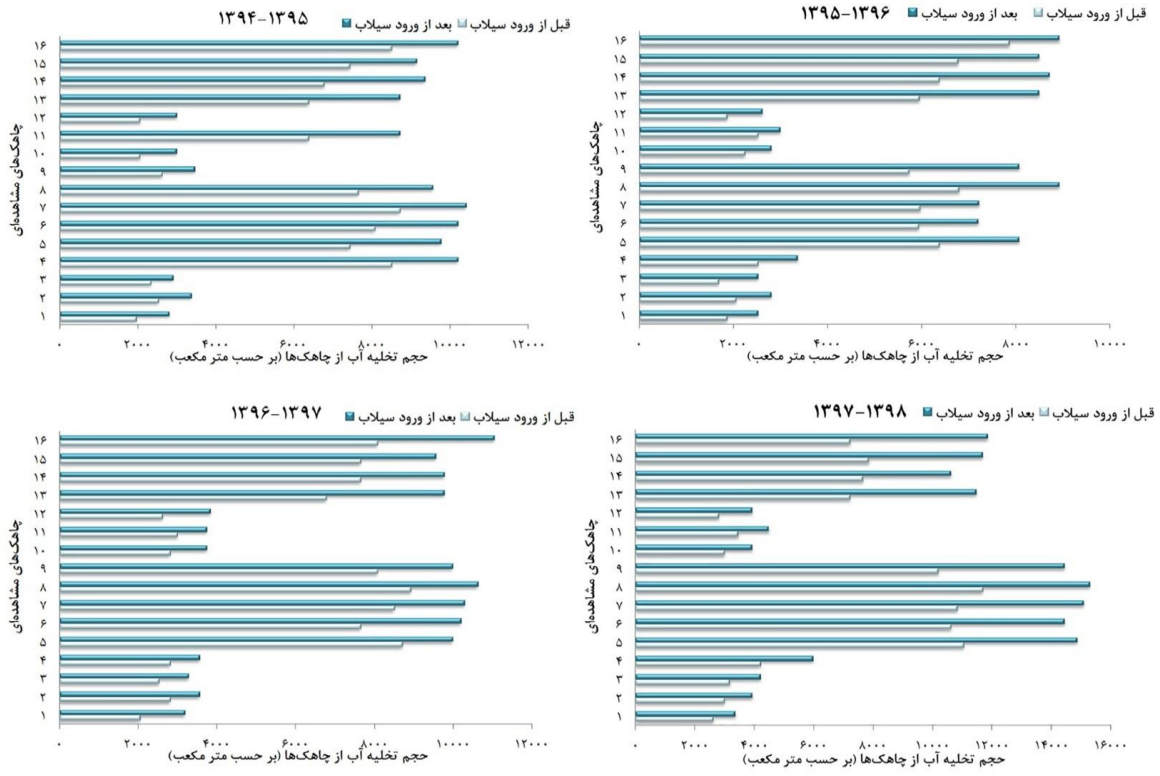
با توجه به اینکه مهم‌ترین عامل در تخلیهٔ سفره‌های آب زیرزمینی در منطقهٔ سیستان، چاهک‌های احداثی است با اندازه‌گیری میزان ساعت برداشت و دبی خروجی موتور پمپ‌ها، حجم تخلیهٔ چاهک‌ها در قبل (هم‌زمان با کشت پاییزه) و بعد (هم‌زمان با کشت بهاره) از ورود جریان‌های سیلابی برآورد شد (شکل‌های ۶ و ۷). براساس نتایج به‌دست‌آمده متوسط ساعت برداشت در قبل از جاری شدن سیلاب طی دورهٔ بیلان از ۳۳۱/۴۰ به ۴۳۷/۱۸ ساعت بعد از جاری شدن سیلاب افزایش یافته که به تبع آن، میزان برداشت از چاهک‌ها نیز از ۵۵۹۱/۱۹ مترمکعب به ۷۳۵۱/۶۵ مترمکعب افزایش یافته است. با مقایسهٔ میانگین حجم تخلیهٔ چاهک‌ها در فصل کشت پاییزه و بهاره، یافته‌ها بیانگر اختلاف معنادار (sig=۰) در میزان برداشت آب در قبل و بعد از ورود سیلاب است (جدول ۳).

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۶. میزان ساعت برداشت از چاهک‌ها تا رسیدن به حد آستانه در قبل و بعد از ورود جریان‌های سیلابی به دشت سیستان (حد آستانه= مقدار ارتفاع آب مورد نیاز برای پمپاژ توسط موتور پمپ‌های شناور)



شکل ۷. میزان تخلیهٔ چاهک‌ها در قبل و بعد از ورود جریان‌های سیلابی به دشت سیستان

www.SID.ir

Archive of SID

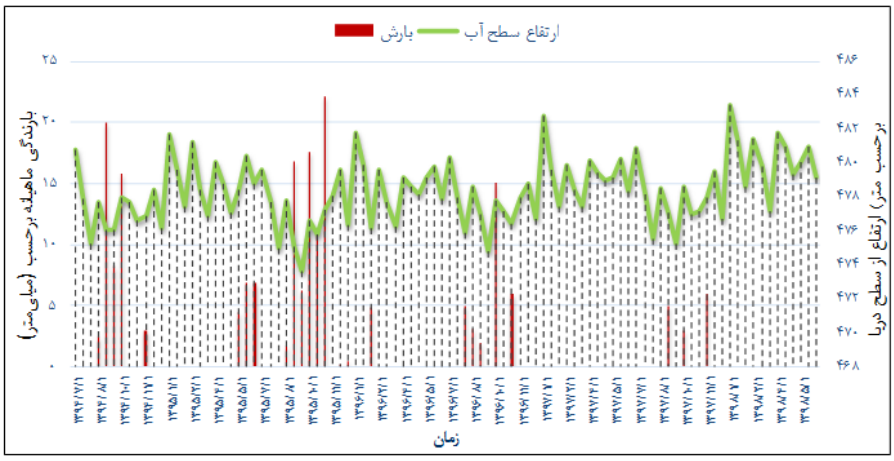
جدول ۳. تجزیهٔ میانگین حجم تخلیهٔ چاهک‌ها در قبل و بعد ورود سیلاب به دشت سیستان

سال	متغیر	میانگین	انحراف معیار	آزمون t		
				آمارهٔ t	درجهٔ آزادی	سطح معناداری
سال اول	حجم تخلیه قبل از ورود سیلاب	۵۴۲۳/۱۷	۲۷۵۹/۷۰	-۸/۹۴	۱۵	*۰/۰۰
	حجم تخلیه بعد از ورود سیلاب	۶۹۱۴/۲۵	۳۳۲۸/۸۷			
سال دوم	حجم تخلیه قبل از ورود سیلاب	۴۵۷۴/۹۲	۲۳۳۵/۲۸	-۱/۲۹	۱۵	*۰/۰۲۱
	حجم تخلیه بعد از ورود سیلاب	۱۰۴۸۱/۱۸	۱۸۹۴۸/۴۹			
سال سوم	حجم تخلیه قبل از ورود سیلاب	۵۷۳۰/۷۵	۲۸۴۶/۱۹	-۶/۶۴	۱۵	*۰/۰۰
	حجم تخلیه بعد از ورود سیلاب	۷۲۷۷/۶۲	۳۴۰۸/۱۲			
سال چهارم	حجم تخلیه قبل از ورود سیلاب	۶۶۷۵/۷۵	۳۴۶۲/۷۲	-۷/۰۴	۱۵	*۰/۰۰
	حجم تخلیه بعد از ورود سیلاب	۹۳۵۴/۹۳	۴۸۵۶/۲۶			

* معناداری در سطح ۱ درصد

بررسی هیدروگراف واحد محدودهٔ مطالعه‌شده

با اندازه‌گیری تغییرات تراز سطح آب زیرزمینی در چاهک‌ها و شبکه‌بندی محدودهٔ مطالعه‌شده به روش تیسن ضمن برآورد مساحت مربوط به هر محدوده، هیدروگراف واحد آب زیرزمینی منطقهٔ مطالعه‌شده ترسیم شد (شکل ۸). با توجه به هیدروگراف واحد دشت از ابتدای دورهٔ روند کاهشی ارتفاع سطح آب هم‌زمان با کشت پاییزه و بهره‌برداری از چاهک‌ها شروع شده و طی فصل بهار هم‌زمان با جاری شدن سیلاب در منطقهٔ سیستان هیدروگراف به‌تدریج روند افزایشی را در پی داشته که این افزایش بسته به حجم و تداوم جریان‌های سیلابی تا انتهای فصل بهار ادامه داشته و با خشک شدن سیلاب و بهره‌برداری از چاهک‌ها سطح هیدروگراف به‌تدریج روند کاهشی و به تبع آن، از ارتفاع سطح آب کاسته می‌شود. بررسی هیدروگراف دشت همچنین کاهش ارتفاع سطح آب به رغم افزایش نسبی بارش در فصل پاییز و قبل از ورود سیلاب طی دورهٔ بیلان را نشان می‌دهد که این امر علاوه بر مشکلات اقلیمی حاکم در مناطق خشک از جمله پراکنش نامناسب بارش و زیاد بودن پتانسیل تبخیر به علت وجود مشکلات ثانویه مانند موانع فیزیکی مانند لایه‌های سخت متراکم و فشرده (Hard Pan) به‌خصوص در بخش فوقانی نیمرخ خاک (به طور متوسط، ۷۰ سانتی‌متر)، که مانع از نفوذ عمقی بارش و تغذیهٔ منابع آب زیرزمینی می‌شود، صورت گرفته که با توجه به روند افزایشی برداشت آب از چاهک‌ها و عدم تغذیهٔ آبخوان در فصل پاییز، سبب افت تراز سطح آب زیرزمینی می‌شود (شکل ۹). براساس نتایج این بخش، تغییرات رقوم سطح آب طی سال‌های بررسی‌شده نسبت به قبل از ورود سیلاب به‌ترتیب برابر با (+۱/۸۶)، (+۱/۹۴)، (+۲/۰۸) و (+۲/۷۸) متر است که به طور متوسط ۲/۱۶ متر افزایش در سطح آب نسبت به قبل از ورود سیلاب را طی دورهٔ بیلان نشان می‌دهد.



شکل ۸. هیدروگراف واحد دشت سیستان طی دورهٔ مطالعه‌شده

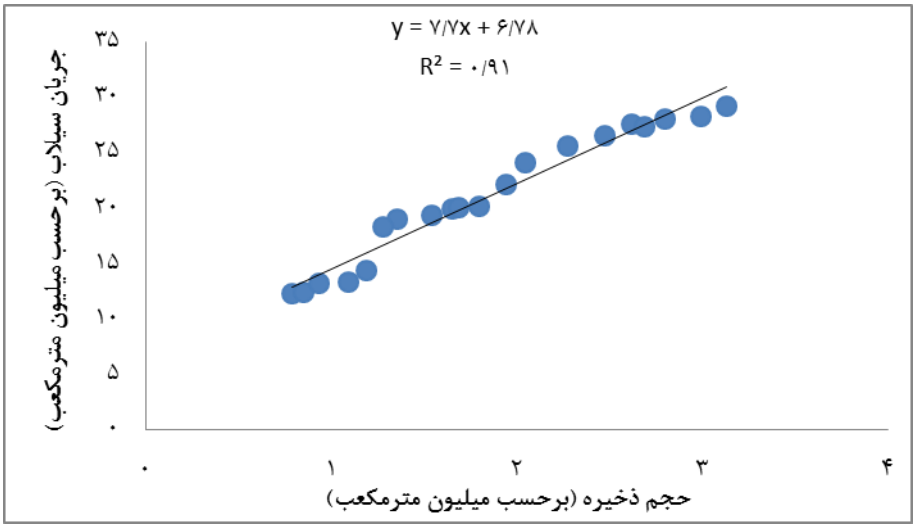
www.SID.ir

Archive of SID

شکل ۹. نمایی از پروفیل خاک منطقهٔ مطالعه‌شده

تغییرات حجم ذخیرهٔ آبخوان

تغییرات سطح آب محدودهٔ مطالعه شده طی مهرماه سال آبی ۱۳۹۴-۱۳۹۵ تا شهریور ۱۳۹۸-۱۳۹۹ برابر با ۸/۳ + متر است که با برآورد ضریب ذخیرهٔ آبخوان براساس مطالعات میدانی (معادل با ۰/۰۵۴ درصد) و تعیین مساحت محدودهٔ بیلان (۴۶/۱ کیلومترمربع)، تغییرات حجم ذخیرهٔ دینامیک آبخوان طی دورهٔ ۴ ساله بیلان، معادل با مثبت ۲۰/۶۶۲۰۲ میلیون مترمکعب است. طی ۴ سال آبی با جاری شدن سیلاب به‌ترتیب ۳/۰۱۴، ۴/۱۰۴، ۶/۲۲ و ۷/۳۱۹ میلیون مترمکعب به حجم ذخیرهٔ آبخوان اضافه شده است. براساس نتایج به‌دست‌آمده حجم آب اضافه‌شده به آبخوان طی دورهٔ بیلان، همبستگی زیادی (R^2 =۰/۹۱) با حجم سیلاب‌های جاری‌شده در منطقه دارد و با افزایش حجم و تداوم سیلاب‌ها در منطقه، آب بیشتری به حجم ذخیرهٔ آبخوان اضافه شده است (شکل ۱۰).



شکل ۱۰. رابطهٔ بین تغییرات حجم ذخیرهٔ آبخوان و حجم جریان‌های سیلابی

www.SID.ir

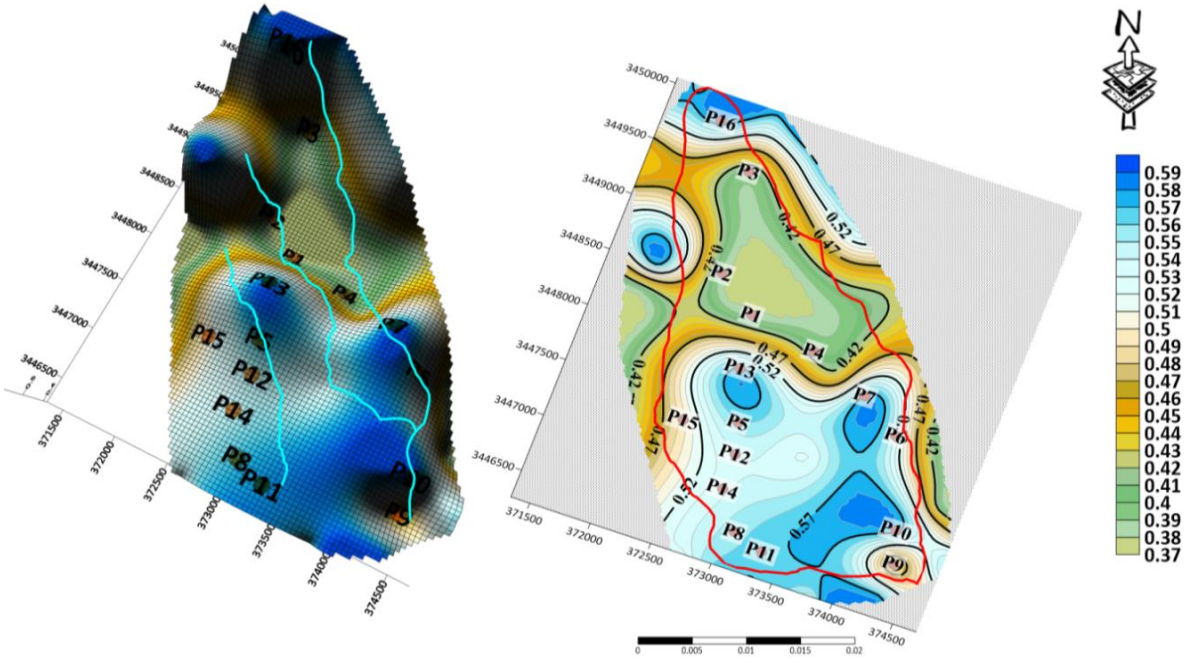
Archive of SID

مقایسهٔ تغییرات سطح آب زیرزمینی در زمان بارندگی با وقایع سیلاب در منطقهٔ سیستان

به منظور مقایسهٔ اثر جریان‌های سیلابی و میزان بارندگی بر تراز سطح چاهک‌های احداثی، میزان تغییرات فصلی سطح آب در چاهک‌ها (فصل زمستان و فصل بهار) برای ۲ سالهٔ آبی بررسی شد. برای جلوگیری از تداخل اثر بارندگی و سیلاب‌های ورودی بر تغییرات سطح آب در چاهک‌ها، پایه زمانی مجزا طی دورهٔ مطالعه‌شده انتخاب شد (سال آبی ۱۳۹۶-۱۳۹۷ و ۱۳۹۷-۱۳۹۸). با تعیین ارتفاع متوسط سطح دشت برای دو سال آبی یادشده، میزان تغییرات سطح آب در فصل زمستان طی سال آبی ۱۳۹۶ـ۱۳۹۷ با بارندگی ۱۹/۴ میلی‌متر برابر با ۰/۰۴ و در فصل بهار با جاری شدن سیلاب با حجم ۱۵ میلیون مترمکعب برابر با ۰/۳۰ بوده که ۰/۲۶ متر اختلاف را نسبت به فصل زمستان نشان می‌دهد. تغییرات سطح آب در سال آبی ۱۳۹۷ـ ۱۳۹۸ با ۹/۸ میلی‌متر بارش در فصل زمستان، برابر با ۰/۰۵ متر است که در فصل بهار با جاری شدن سیلاب با حجم ۲۹/۴ میلیون مترمکعب به ۰/۵ متر افزایش یافته است (۰/۴۵ متر افزایش نسبت به فصل زمستان). بر این اساس، طی این دوره با ورود سیلاب سطح کل سفرهٔ آب زیرزمینی به‌طور میانگین ۰/۴۲ متر افزایش یافته است که با توجه به نتایج بخش قبل و عدم نفوذ عمقی باران، اثر بارندگی بر این تغییرات ناچیز است.

بررسی منحنی هم‌افت آب زیرزمینی منطقهٔ سیستان

با استفاده از داده‌های ۱۶ حلقه چاهک مشاهده‌ای، منحنی‌های هم‌افت آب زیرزمینی در محیط سورفر ترسیم شد (شکل ۱۱). بررسی منحنی‌های هم‌افت سطح دشت بیانگر آن است که بیشترین افزایش تراز آب زیرزمینی به‌ترتیب مربوط به چاهک‌های P۱۶، P۱۳، P۷ و P۱۰ است که در مجاورت نهرهای اصلی انتقال جریان سیل (به طور متوسط ۷ متر فاصله از نهرهای انتقال آب) حفر شده که بیشترین حجم سیل‌گیری را دارند. از این‌رو، افزایش آب این چاهک‌ها را می‌توان به جاری شدن حجم بیشتر سیلاب در این نهرها مربوط دانست. کمترین افزایش تراز آب زیرزمینی نیز مربوط به چاهک‌های P۱ و P۳ است. این چاهک‌ها در مجاورت نهرهای فرعی انتقال آب و در مرکز اراضی کشاورزی حفر شده که حجم سیل‌گیری آنها کمتر از نهرهای اصلی انتقال سیلاب است. افزایش کمتر سطح آب در این چاهک‌ها را نیز می‌توان به حجم سیل‌گیری کم در این نهرها مربوط دانست.



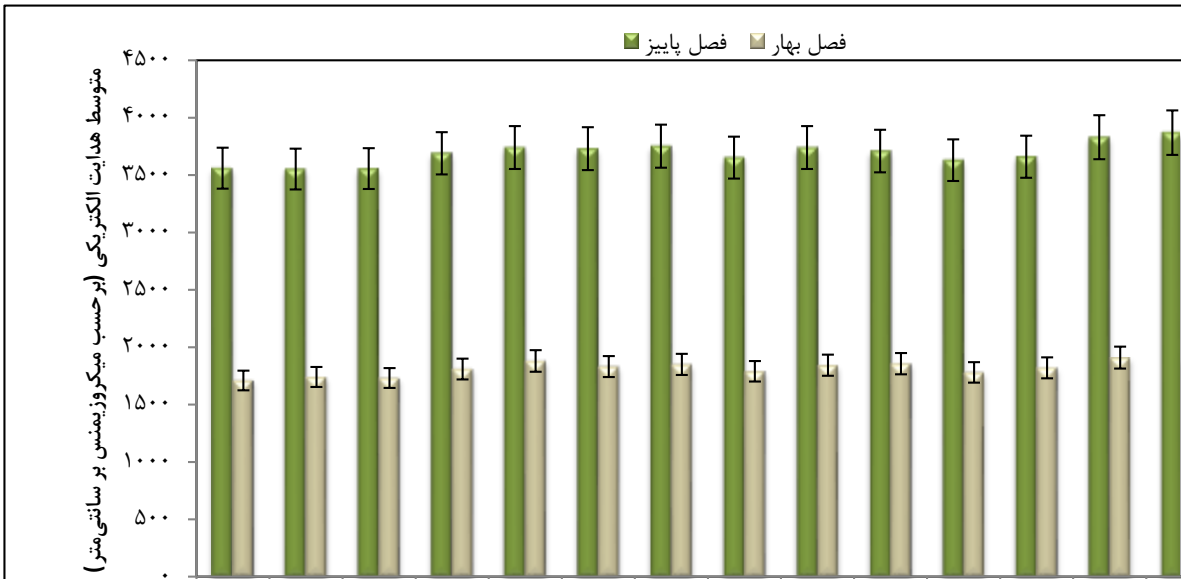
شکل ۱۱. نقشهٔ هم‌افت آب زیرزمینی دشت سیستان طی دورهٔ بیلان ۴ ساله

www.SID.ir

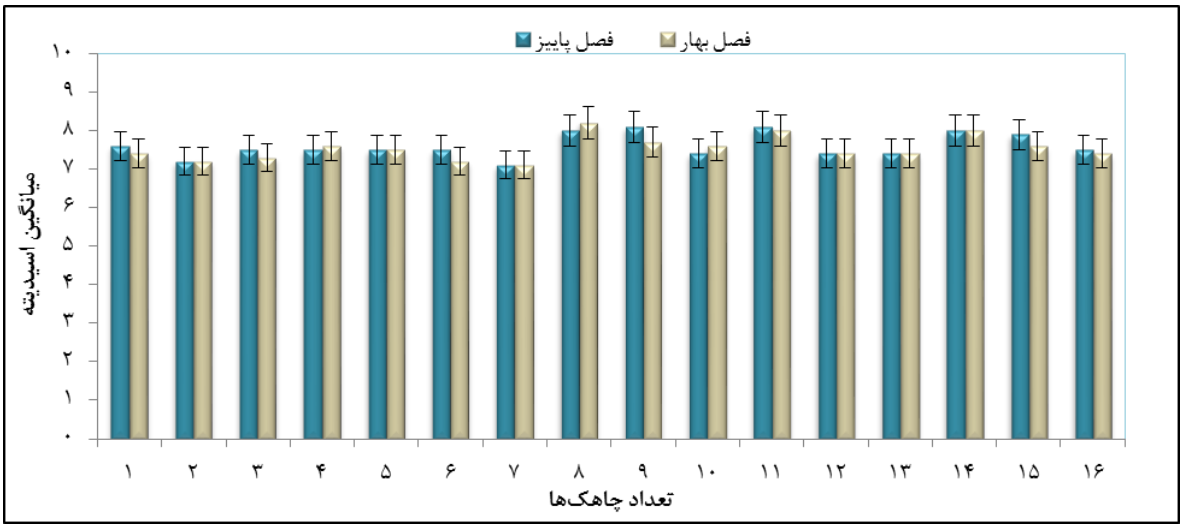
Archive of SID

بررسی خصوصیات کیفی آب زیرزمینی

با نمونه‌برداری از چاهک‌های مشاهداتی طی دورهٔ بیلان، تغییرات زمانی پارامترهای کیفی آب از جمله pH و EC بررسی شد (شکل‌های ۱۲ و ۱۳). بر اساس نتایج به‌دست‌آمده، مقایسهٔ میانگین شاخص هدایت الکتریکی (EC) در چاهک‌های مشاهداتی، تغییرات چشم‌گیر این شاخص را طی دورهٔ بیلان نشان می‌دهد. به‌طوری که قبل از جاری شدن سیلاب (طی فصل زمستان) مقادیر متوسط این شاخص برابر با ۳۷۱۳/۸۷ میکروزیمنس بر سانتی‌متر بوده که با جاری شدن سیلاب (طی فصل بهار) به ۱۸۲۷/۲۵ کاهش یافته و به لحاظ آماری مقایسهٔ میانگین تغییرات این شاخص در قبل و بعد از ورود سیلاب اختلاف معنادار را نشان می‌دهد. در بررسی تغییرات مقادیر اسیدیته آب زیرزمینی، یافته‌ها بیانگر تغییرات نامحسوس این شاخص طی دورهٔ بیلان است. به‌طوری که میانگین این پارامتر قبل از جاری شدن سیلاب برابر با ۷/۶ بوده که پس از ورود سیلاب به ۷/۵۳ کاهش یافته که به لحاظ آماری تفاوت معنادار را نشان نمی‌دهد (جدول ۴).



شکل ۱۲. میانگین تغییرات هدایت الکتریکی آب در قبل و بعد از ورود سیلاب طی دورهٔ بیلان



شکل ۱۳. میانگین تغییرات شاخص اسیدیتهٔ آب چاهک‌های مشاهداتی در قبل و بعد از ورود سیلاب طی دورهٔ بیلان

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۴. تجزیۀ میانگین متغیرهای کیفی آب زیرزمینی در قبل و بعد ورود سیلاب منطقۀ سیستان

متغیر	زمان	میانگین	انحراف معیار	آزمون t		
				آمارۀ t	درجۀ آزادی	سطح معناداری
هدایت الکتریکی	قبل از ورود سیلاب (فصل زمستان)	۳۷۱۳/۸۷	۱۱۰/۵۳	۱۳۷/۱۸	۱۵	*۰/۰۰
	بعد از ورود سیلاب (فصل بهار)	۱۸۲۷/۲۵	۶۲/۸۹			
اسیدیته	قبل از ورود سیلاب (فصل زمستان)	۷/۶	۰/۳۱	۰/۶۷۸	۱۵	ns۰/۵۰۸
	بعد از ورود سیلاب (فصل بهار)	۷/۵۳	۰/۳۱			

*: معنادار در سطح ۰/۰۰۱، ns: عدم معناداری

بحث و نتیجه‌گیری

در مطالعۀ حاضر برای نخستین‌بار اثر سیلاب‌های ورودی از کشور افغانستان بر تغییرات کمی و کیفی آب زیرزمینی دشت سیستان بررسی شد. در بررسی تغییرات کمی منابع آب زیرزمینی، یافته‌ها بیانگر افزایش سطح ایستابی آب در چاهک‌ها پس از جاری شدن سیلاب بود. به طوری که با جاری شدن سیلاب به طور متوسط سطح ایستابی در چاهک‌ها ۰/۳۹ متر افزایش و روند تغییرات آن رابطۀ مستقیمی با حجم سیلاب جاری‌شده طی دورۀ مطالعه شده داشته و با افزایش حجم سیلاب در منطقه، سطح ایستابی در چاهک‌ها نیز افزایش یافته است. به طوری که با جاری شدن سیلاب با حجم ۱۳/۲ میلیون مترمکعب در سال اول، سطح ایستابی به طور متوسط ۰/۳۱ متر افزایش و با جاری شدن سیلاب با حجم ۲۹/۴ میلیون مترمکعب در سال چهارم، سطح ایستابی ۰/۵ متر افزایش یافته که این فرایند بنا به نظر فاضل‌پور و همکاران [۳۰] متأثر از افزایش حجم سیل‌گیری و به تبع آن، افزایش میزان نفوذ و تغذیۀ آبخوان صورت گرفته است. با افزایش سطح ایستابی آب، حجم تخلیۀ چاهک نیز تغییرات چشم‌گیری داشته است. به‌طوری که میزان برداشت آب از چاهک‌ها قبل از ورود سیلاب (هم‌زمان با کشت پاییزه) برابر با ۵۵۹۱/۱۹ مترمکعب بوده که با جاری شدن سیلاب به ۷۳۵۱/۶۵ مترمکعب افزایش یافته که مقایسۀ آماری میانگین حجم تخلیۀ چاهک‌ها، بیانگر تفاوت معنادار در میزان برداشت آب در قبل و بعد از ورود سیلاب است. در بررسی هیدروگراف واحد دشت نیز یافته‌ها بیانگر تغییرات محسوس سطح آب در قبل و بعد از ورود سیلاب در منطقۀ مطالعه شده است. به طوری که طی این دوره ۴ ساله سطح آب نسبت به قبل از ورود سیلاب به طور متوسط ۲/۱۶ متر افزایش یافته و تغییرات حجم ذخیرۀ آبخوان با جاری شدن سیلاب نیز مؤید اضافه شدن ۲۰/۶۶۲۰۲ میلیون مترمکعب به حجم ذخیرۀ آبخوان است که تأثیر مثبت سیلاب‌های جاری‌شده بر تغذیۀ آبخوان را بیان می‌کند. به بیان دیگر، با عبور سیلاب از بستر نهرهای انتقال آب و با نفوذ عمقی آن به آبخوان منطقه تزریق و سبب افزایش سطح سفرۀ آب زیرزمینی‌شده که با نتایج تحقیق حسین‌پور و همکاران مبنی بر نفوذ سیلاب از بستر نهرهای غلام گردشی و تزریق آن به آبخوان مطابقت دارد [۳۱]. مقایسۀ تغییرات سطح آب زیرزمینی در زمان بارندگی با وقایع سیلاب نیز بیانگر افزایش ارتفاع سطح آب در چاهک‌ها با جاری شدن سیلاب نسبت به زمان بارندگی است. منطقۀ سیستان با بارندگی سالیانه ۴۵ میلی‌متر، طی چهار سال اخیر با کاهش شدید نزولات جوی همراه بوده، به‌طوری که در سال آبی ۱۳۹۷ـ ۱۳۹۸ میزان بارندگی آن کمتر از ۸ میلی‌متر گزارش شده است. چنین شرایطی با توجه به دمای با میانگین بیش از ۴۱ درجه و تبخیر ۵ متر در سال، ضمن وجود مشکلات ثانویه مانند موانع فیزیکی مانند لایه‌های سخت متراکم در بخش فوقانی نیمرخ خاک که در مطالعات جهان‌تیغ [۲۲] میزان نفوذپذیری آن کمتر از ۲ میلی‌متر بر ساعت گزارش شده است، بیانگر عدم تغذیۀ سفره‌های آب زیرزمینی تحت تأثیر نزولات جوی است. این در حالی است که در نهرهای سنتی انتقال آب با توجه به عملیات خاک‌ورزی صورت‌گرفته، لایه‌های سخت متراکم در بخش فوقانی نیمرخ خاک از بین رفته و با جاری شدن سیلاب در این مسیل‌ها ضمن افزایش مدت زمان تماس آب با خاک به دلیل تدام زمانی چندروزۀ جریان سیلاب در منطقۀ سیستان، سبب نفوذ عمقی و تغذیۀ منابع آب زیرزمینی می‌شود که افزایش ۰/۴۲ متری تراز سطح آب با جاری شدن سیلاب نسبت به وقایع بارندگی دال بر این مهم است. در بررسی منحنی‌های هم‌افت سطح دشت، بیشترین افزایش تراز آب

www.SID.ir

Archive of SID

زیرزمینی به‌ترتیب مربوط به چاهک‌های P۱۶، P۱۳، P۷ و P۱۰ و در مقابل کمترین افزایش تراز آب زیرزمینی نیز به‌ترتیب در چاهک‌های P۱ و P۳، P۲ و P۴ مشاهده شد. از آنجا که حجم سیل‌گیری و فاصله از منبع تغذیه‌کننده (نهرهای سنتی) آبخوان تأثیر زیادی بر تغییرات تراز آب در چاهک‌ها دارد، چاهک‌هایی که در مجاورت نهرهای اصلی انتقال آب (به طور متوسط ۷ متر فاصله از نهرهای انتقال آب) حفر شده و حجم سیل‌گیری بیشتر (با سطح مقطع ۳۹/۲۵ مترمربع) نسبت به نهرهای فرعی (با سطح مقطع ۳/۸۱ مترمربع) انتقال آب دارند، تأثیر تغذیه بر آنها بیشتر و به تبع آن، تراز آب زیرزمینی در آنها افزایش می‌یابد [۱۳]. در مقابل، چاهک‌هایی که در مجاورت نهرهای فرعی انتقال آب احداث شده، اثر تغذیه در آنها کمتر است که با نتایج تحقیق ویسکرمی و همکاران [۱۲] و قهاری و گندمکار [۲۷] در تغییرات سطح آب چاه‌ها و فاصله از سطح اثر سیلاب بر تغذیهٔ آبخوان مطابقت دارد. نتایج بررسی تغییرات کیفی منابع آب زیرزمینی، بیانگر کاهش چشم‌گیر شاخص هدایت الکتریکی (EC) در چاهک‌های مشاهداتی بود. به طوری که با جاری شدن سیلاب میانگین این شاخص از ۳۷۱۳/۸۷ میکروزیمنس بر سانتی‌متر به ۱۸۲۷/۲۵ کاهش یافته که نشان دهندهٔ اختلاف معنادار در سطح ۰/۰۱ بین میانگین هدایت الکتریکی در قبل و بعد از ورود سیلاب است. با توجه به بالا بودن سطح آب زیرزمینی و وجود سفره‌های نیمه‌سطحی آب شور در منطقهٔ مطالعه شده، برداشت آب از چاهک‌ها و عدم تغذیهٔ سفره‌های آب زیرزمینی، سبب بالا آمدن آب این سفره‌ها و در نتیجه، افزایش هدایت الکتریکی در قبل از ورود سیلاب شده است که با جاری شدن سیلاب و تغذیهٔ آبخوان، میزان هدایت الکتریکی در چاهک‌ها متأثر از تغذیهٔ طبیعی آبخوان از طریق نفوذ آب از بستر نهرهای انتقالی به سفره‌های آب زیرزمینی کاهش یافته است که با نتایج مطالعات صورت‌گرفته همچون مسلمی و همکاران [۱۶] مبنی بر تأثیر زیاد سیلاب بر کاهش میزان شوری آب زیرزمینی و ارتباط آن با فاصله از سیستم پخش سیلاب همخوانی دارد. در بررسی تغییرات مقادیر اسیدیتهٔ آب زیرزمینی، یافته‌ها نشان داد به رغم روند کاهشی این شاخص با جاری شدن سیلاب، تفاوت معنادار در مقایسهٔ میانگین این پارامتر در قبل و بعد از ورود سیلاب وجود ندارد. در مجموع، با توجه به روند کاهشی متغیرهای مطالعه شده، کیفیت آب زیرزمینی دشت سیستان طی دورهٔ آماری با جاری شدن سیلاب بهبود یافته که این امر بیانگر تأثیر مثبت سیلاب‌های ورودی بر تغییرات کیفی آب زیرزمینی منطقهٔ سیستان است که با نتایج مطالعات ورکشی و فصیحی [۳۲] در پایش تغییرات کیفی آب‌های زیرزمینی استان گیلان مطابقت دارد.

بر این اساس، با توجه به نتایج به‌دست‌آمده در تحقیق حاضر، ورود جریان‌های سیلابی سبب بهبود وضعیت کیفی و کمی آب زیرزمینی دشت سیستان شده که نتایج به‌دست‌آمده با مطالعات صورت‌گرفته همچون بوری و بن‌دهیا [۳۳]؛ مقدس [۳۴] و مسلمی [۳۵] مبنی بر تأثیر زیاد سیلاب بر تغییرات کمی و کیفی منابع آب زیرزمینی همخوانی دارد. از آنجا که وقوع خشکسالی‌های پی‌درپی ضمن متلاشی کردن محیط زیست، چالش‌های عدیده‌ای را در منطقهٔ سیستان به همراه داشته، پیشنهاد می‌شود طرح‌های آبخیزداری و تغذیهٔ مصنوعی آبخوان به منظور حداکثر بهره‌برداری از این پتانسیل آبی و توسعهٔ منابع آب زیرزمینی در این منطقه اجرا شود.

منابع

[1]. Alizadeh A. Principles of Applied Hydrology. 15td. Mashhad:ImamReza press; 2010. [Persian]

[2]. Kardvani P. The desert (salt) of central Iran and its neighboring areas. 1nd ed. Tehran: Tehran University Press; 2007. [Persian]

[3]. Elmore, A. Kaste, J. Okin, G. Fantle, M. Groundwater influences on atmospheric dust generation in deserts. Journal of Arid Environments. 2008; 72(1): 1753–1765.

[4]. Zhu Y, Wu Y, Drake S. A Survey: Obstacles and Strategies for the Development of Ground-Water Resources in Arid Inland River Basins of Western China. Journal of Arid Environments. 2004; 59(2): 351- 367.

[5]. Bouwer H, Maddock T. Making sense of the interaction between groundwater and streamflow: lessons for water masters and adjudicators. Rivers. 1997; 6(1): 19–31.

[6]. Custodio E. Intensive use of ground water and sustainability. Ground Water. 2005; 43(3): 292.293.

[7]. Hancock PJ, Boulton AJ, Humphreys WF. Aquifers and hyporheic zones: towards an ecological understanding of groundwater. Hydrogeol Journal. 2005; 13: 98–111.

www.SID.ir

Archive of SID

[8]. Sayana VBM, Arunbabu E, Arunbabu L, Mahesh Kumar S, Ravichandran J, Karunakaran K. Groundwater responses to artificial recharge of rainwater in Chennai, India: a case study in an educational institution campus. Indian Journal of Science and Technology. 2010; 3 (2):124-130.

[9]. Yuejun Z, Haitao L, Wenpeng L, Xinguang D, Wolfgang K. Water resources management using artificial groundwater recharge to replace shallow surface water reservoirs: an example from Xinjiang China. Water Research. 2011; 55: 31-45.

[10]. Abraham M, Mohan S. Efectiveness of Artiicial Recharge Structures in Enhancing Groundwater Storage (A Case Study: Cuddalore watershed). Indian Journal of Science and Technology.2015; 8(20):1-10.

[11]. Mousavi SJ, Rezaei A. The effects of water spreading on groundwater resources in Soharin Plain (Zanjan). The 2nd National Conference on Applied Research of Water Resources. 2011. [Persian]

[12]. Viskarami K, Payamani A, Shahkarami A, Sepahvand AR. The effects of water spreading on groundwater resources in Kohdasht Plain. Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources. Water and Soil Science. 2013; 17(65): 19-29. [Persian]

[13]. Moslemi H, Abkar A, Chopani S. Evaluation of the Impacts of Dandarand water spreding on Water Resources of Hashtbandi Plain, Hormozgan Province. Journal of Watershed Engineering and Management. 2017; 7(4): 377-388. [Persian]

[14]. Ghahary GM, Hosseini Marandi, H. Aquaculture, an Appropriate Solution for Qualitative and Quantitative Reinforcement of Groundwater (Case Study: Kosar Research Station). First Regional Conference on Agricultural Sciences and Food Technology, Islamic Azad University of Fasa, IRAN. 2008; 1-9. [Persian]

[15]. Ghazavi R, Vali AB, Eslamian S. Impact of Flood Spreading on Groundwater Level Variation and Groundwater Quality in an Arid Environment. Water Resources Management. 2012; 26(6): 1651–1663. [Persian]

[16]. Moslemi H, Choopani S, Abkar A. Impact of Floodwater Spreading on Salinity Groundwater (Case Study: Dhenedar Floodwater Spreading - Hormozgan Province). Iran-Watershed Management Science & Engineering. 2018; 12(41): 13-22. [Persian]

[17]. Vaezipour HS. Simulated changes in Sistan River morphology. M.Sc. Thesis. Faculty of Geology. Sistan and Blochestan University. 2011; 137. [Persian]

[18]. Barimani F, Asghari Lafmejani S. Determine the Severity of Environmental Instability Sistan Rural Settlements with Using Multiple Criteria Evaluation Model. Journal of Geography and Development. 2010; 19:127-144. [Persian]

[19]. Jahantigh M, Jahantigh M. The effect of 120 days winds on flood deposits in Sistan region by sediment characteristics analyze. Quarterly journal of Environmental Erosion Research. 2019;33(9:1) 85-102. [Persian]

[20].Tehran Sahab Consulting Engineers. Sistan flood control sediment studies in the Sistan River comprehensive plan. Special Report on hydrology, Ministry of Power, Sistan and Baluchestan Regional Water Joint Stock,.1991. [Persian]

[21]. Report of first phase water supply studies in Sistan Plain (Sistan Subsoil Water Resources. Regional water company in Sistan and Baluchestan province.2013. [Persian]

[22]. Jahantigh M. Studying and Recognition of Characteristics of Erosion Rivers in Sistan region. Soil conservation and watershed management institute. 2013; 51. [Persian]

[23]. Alimohammadi R. Regeneration of plain by Execution of Artificial Recharge Project (case study of Sefieddasht-Faradonbeh Plain). Iran-Watershed Management Science & Engineering. 2015; 9(31): 31-40. [Persian]

[24]. Caccioli M, Eslamii H. Investigation quantity and quality changes in shostar aquifer after Construction of irrigation and drainage network. Water engineering. 2017; (24): 46-60. [Persian]

[25]. Mohammadi Z, Nasimi AR. Investigation the Different Methods of Pumping Test Analysis in Estimation of Aquifer Hydrodynamic Coefficients. Advanced Applied Geology. 2010; 1(2):8-21. [Persian]

[26]. Abbas novinpoor A, Sadeghi egdam F. Evaluation of hydrogeological characteristics and sustainable development of groundwater. Geography and Development. 2018; 51:219-240. [Persian]

[27].Ghahari GR, Gandomkar A. Effect of aquifer management on groundwater changes in Gareh Bygone Plain. Watershed Engineering and Management. 2015; 2:172-183. [Persian]

[28]. Badee Nezhad A, Farzadkia M, Gholami M, Jonidi Jafari A. Chemical quality assessment of

www.SID.ir

Archive of SID

Shiraz plain's groundwater as a drinking water resource using Geographical Information System (GIS). Two Months of Southern Medicine. 2014;17(3): 358-367. [Persian]

[29]. Hosseini A, Poor-mohammad P, Yarmohamadi E. Investigation of Groundwater Quality in the Area of Irrigation and Drainage Networks for Agricultural and Drinking Purposes (Case Study: DASHTEABAS). Iran-Watershed Management Science & Engineering. 2018; 12(40): 51-58. [Persian]

[30]. Fazel Pouri MR, Malekinezhad H, Ekhtesasi MR, Barkhordari J. Effect of water spreading on aquifer recharge using GRI, SDI and SPI indicators (Case study: Herat aquifer, Yazd), Journal of Arid Biome Scientific and Research. 2017;7(1): 95-107. [Persian]

[31]. Hosseinpour A, Akhond-Ali A, rafie M. Assessment of flood management in the watershed management (Case study: Tasuj watershed).Rainwater catchment systems. 2015; (3): 37-44. [Persian]

[32]. Bayatvarkeshi M, Fasihi R. Monitoring of groundwater quality changes trend in four plains of Gilan province during a 12-year period. Journal of Health & Environ. 2017; 10(4):547-558. [Persian]

[33]. Bouri S, Ben Dhia H. A Thirty- Year artificial recharge experiment in acoastal aquifer in an arid zone The Teboulba aquifer system (Tunisian Sahel) CR Geosience. 2010; 342(1):60-74.

[34]. Moqadas H. The effect of Artificial Recharge of Groundwater Quantity and Quality of Sabzevar Plain. Master thesis Geology, Faculty of Earth Sciences, University shahrod. 2008. [Persian]

[35]. Moslemi H. The Effect of Flood Spreading on Groundwater Resources in the Hashtbandi Plain of Hormozgan Province. Master of Science in Natural Resources Engineering - Watershed Management Islamic Azad University of Sirjan. 2015. [Persian]

www.SID.ir