مجله پژوهش آب ایران
سال ششم/ شماره یازدهم/ پاییز و زمستان ۱۳۹۱ (۳۵-۴۵)

مقایسه اثرات خشکسالی بر هیدروژئولوژی کارست سازندهای آسماری و ایلام- سروک در جنوب غرب ایذه

حمیدرضا ناصری[۱*]، فرشاد علیجانی[۲] و محمد نخعی[۳]

چکیده

خشکسالی‌های مداوم از سال ۱۳۸۶ باعث افت سطح آب در منابع آب زیرزمینی کارستی شده است. در این تحقیق پاسخ متفاوت آبخوان‌های کارستی جنوب غرب ایذه در سازند ایلام- سروک (تاقدیس‌های شاویش و تنوش) و سازند آسماری (تاقدیس‌های چال‌خشک و کمردراز) نسبت به کاهش تغذیه از بارش بررسی شده است. داده‌های بارش و سطح آب آبخوان‌های کارستی، آزمایش پمپاژ هفت حلقه چاه آهکی در تاقدیس‌های مورد مطالعه، و تحلیل خودهمبستگی سری زمانی هیدروژئولوژی برای شناخت ماهیت رفتار هیدرودینامیکی آبخوان‌ها استفاده شده است. بررسی هیدروگراف معرف سطح آب آبخوان‌های آسماری و ایلام- سروک نشان می‌دهد که از سال ۱۳۸۶ تا ۱۳۸۸ افت سطح آب در آبخوان کارستی آسماری حدود ۱ متر و در آبخوان کارستی ایلام- سروک حدود ۱۴۰ متر است. نتایج حاصل از تفسیر خودهمبستگی و آزمایش پمپاژ تأیید کننده عملکرد تخلخل دوگانه سازند ایلام- سروک و جریان پایه در سازند آسماری است.

واژه‌های کلیدی: آبخوان کارستی، آزمایش پمپاژ، ایذه، خودهمبستگی، قابلیت ذخیره.

ارجاع: ناصری ح. ر. علیجانی ف. و نخعی م. ۱۳۹۱. مقایسه اثرات خشکسالی بر هیدروژئولوژی کارست سازندهای آسماری و ایلام- سروک در جنوب غرب ایذه. مجله پژوهش آب ایران. ۶(۱۱):۳۵-۴۵.

۱- دانشیار گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران.
۲- استادیار گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران.
۳- دانشیار گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه خوارزمی، کرج.
*** نویسنده مسئول: hamidrezanassery@yahoo.com**
تاریخ دریافت:۱۳۸۹/۱۱/۲۳ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۱/۰۶/۰۸

Archive of SID
www.SID.ir

مقدمه

کارست زاگرس در استان خوزستان معمولاً در سنگ آهک‌های آسماری و ایلام- سروک و سازند گچساران رخ داده است. تنها منبع تأمین آب شرب شهر ایذه، آبخوان‌های کارستی اطراف آن است. با رخداد خشکسالی مداوم از سال ۱۳۸۶ و افت منابع آب زیرزمینی، شناخت رفتار هیدروژئولوژی آبخوان‌های کارستی جنوب غرب ایذه به عنوان منبع اصلی تأمین آب شرب شهر اهمیتی اساسی دارد. تحلیل صحیح داده‌های هیدروژئولوژی از قبیل بارش، آبدهی چشمه، و سطح آب زیرزمینی می‌تواند شناخت مطلوبی از رفتار هیدرودینامیک آبخوان‌های کارستی نشان دهد (علیجانی، ۱۳۹۰). در این تحقیق دو سیستم کارستی شاخص زاگرس، یعنی آهک آسماری با سن الیگو- میوسن و آهک ایلام- سروک با سن کرتاسه فوقانی، در تاقدیس‌های جنوب غرب ایذه، که در معرض شرایط تکتونیکی و اقلیمی مشابهی بوده‌اند ولی رفتار هیدروژئولوژی متفاوتی به واسطه تنوع فرآیندهای کارست شدگی در طی رخداد خشکسالی از سال ۱۳۸۷ را نشان می‌دهند، بررسی شده‌اند.

فنون کلاسیک از قبیل آزمایش‌های پمپاژ یا ردیابی برای توصیف سیستم‌های کارستی ضروری هستند، هر چند آن‌ها اطلاعاتی درباره نوع جریان و تغییرات زمانی آن نشان نمی‌دهند (لاروک و همکاران، ۱۹۹۸). بنابراین، در مطالعات عملکرد رفتار هیدرودینامیکی آبخوان‌های کارستی، برروی تحلیل هیدروگراف سطح آب در چاه‌های آهکی (بوناچی، ۱۹۹۳) یا منحنی‌های فرود (پادیلا و همکاران، ۱۹۹۴) تأکید می‌شود. روش دیگر، تحلیل سری زمانی است که بارش را به عنوان ورودی و دبی چشمه و یا بار پیزومتریک را به عنوان خروجی در نظر می‌گیرد. این روش در مطالعات به طور گسترده‌ای استفاده می‌شود زیرا جمع‌آوری داده‌های مورد نیاز آن آسان و کم هزینه بوده و نتایج قابل قبولی به دست می‌آید. مطالعاتی که از تحلیل سری‌های زمانی در هیدروژئولوژی کارست استفاده کرده‌اند در مقالات مختلف ارایه شده است (لامبراکیس و همکاران، ۲۰۰۰؛ پاناگوپولوس و لامبراکیس، ۲۰۰۵ و ۲۰۰۶). مدل‌های ریاضی ابزارهای دقیقی برای توصیف کمی رفتار سیستم‌های هیدروژئولوژیک کارست می‌باشند. دو نوع مدل اصلی، شامل کلی و توزیعی، برای توصیف هیدرودینامیک کارست وجود دارد. تغییرات زمانی آبدهی چشمه‌ها، خصوصیات هیدروژئولوژیک کلی آبخوان‌های کارستی را منعکس می‌نماید. مدل‌های کلی شامل تحلیل ریاضی سری‌های زمانی آبدهی چشمه‌ها (هیدروگراف) می‌باشند. بر اساس این نگرش، سیستم‌های کارستی می‌توانند به عنوان مبدل‌هایی در نظر گرفته شوند که پیام‌های ورودی (تغذیه) را به پیام‌های خروجی (تخلیه) تبدیل می‌نمایند. مدل‌های کلی تغییرات مکانی درون آبخوان را در نظر نمی‌گیرند. در نتیجه آن‌ها نمی‌توانند اطلاعات مستقیمی درباره تغییرات مکانی پارامترهای هیدرولیکی آبخوان به دست دهند. یکی از کاربردی‌ترین مدل‌های کلی، تحلیل سری‌های زمانی می باشد که به پاسخ کلی هیدرولیک سیستم‌های کارستی نسبت به رویدادهای بارش متوالی می‌پردازند. روش‌های تحلیل زمانی تک متغیره می‌توانند تغییرات چرخه‌ای را مشخص سازند. تحلیل سری‌های زمانی دو متغیره برای تحلیل رابطه بین پارامترهای ورودی (تغذیه) و خروجی (تخلیه) سیستم‌های کارستی بسیار مناسب می‌باشد (جیانین و ساتر، ۱۹۹۸). یکی از تحلیل‌های سری زمانی تحلیل خودهمبستگی می‌باشد. تحلیل خودهمبستگی ابزاری برای تشخیص بعضی از مشخصات سری زمانی آبدهی و یا سطح پیزومتریک، به ویژه تغییرات چرخه‌ای، می‌باشد. این تغییرات می‌تواند به بعضی از مشخصات ساختاری آبخوان‌های کارستی ارتباط داده شود. روش خودهمبستگی، سری زمانی دبی چشمه را با خودش مقایسه می‌کند. نمودار نمایش دهنده خودهمبستگی، کورلوگرام نامیده می‌شود. زمان مورد نیاز برای کاهش تابع خودهمبستگی تا مقادیر معین (معمولاً بین ۰/۱ تا ۰/۲) به نام اثر حافظه نامیده می‌شود. سیستم کارستی با توسعه ضعیف و ذخیره زیاد آب زیرزمینی دارای اثر حافظه زیاد است و کورلوگرام شیب کاهشی ملایمی را نشان می‌دهد. بر خلاف این، شبکه کارستی فعال، بدون ذخیره آب زیرزمینی قابل توجه، منطبق با سیستم حافظه کم می‌باشد، کورلوگرام آن دارای شیب بیشتر، و در نتیجه زمان تأخیر کوتاه می‌باشد (پاناگوپولوس و لامبراکیس، ۲۰۰۶).

شبیه‌سازی با استفاده از روش مدل تخلخل دوگانه برای تغییر افت در شکستگی‌ها و زمینه سنگ انجام شده است. این روش به عنوان روش مرسوم در مطالعات کلاسیک هیدرولوژی کارست به کارگرفته می‌شود. فاصله بین چاه‌های مشاهده‌ای و چاه پمپاژ نه بر اساس حجم عنصری

Archive of SID

www.SID.ir

مرجع[1] بلکه بر اساس قرارگیری دو چاه در یک سیستم کارستی بین ۲۰ تا ۳۰ متر است. به دلیل ناهمگنی شدید سیستم‌های کارستی، چاه‌های مشاهده‌ای، اطلاعات محلی سطح آب را نشان می‌دهند و اغلب نشان دهنده عملکرد کل آبخوان کارستی نیستند. با این حال، با مقایسه نتایج حاصل از پمپاژ چاه‌های حفاری شده در منطقه مورد مطالعه که در هر سازند مجاور یکدیگر حفر شده‌اند می‌توان تفاوت‌های هیدرودینامیک کارست و نحوه پاسخ آبخوان‌ها به پمپاژ را مشخص کرد. برای مدل‌سازی پمپاژ در آبخوان‌های کارستی ایذه، از روش‌های مبتنی بر مدل تخلخل دوگانه (وارن و روت، ۱۹۶۳) استفاده شده است. در این دیدگاه هیدروژئولوژی، داده‌های آزمایش پمپاژ نمایانگر ترکیبی از پاسخ تخلخل زمینه و شکستگی می‌باشند (استرلتسوا، ۱۹۸۸). بنابراین برای توصیف خصوصیات هیدرولیکی آبخوان‌های کارستی و تفسیر آزمایش‌های پمپاژ، باید نرخ تبادل جریان بین زمینه و شکستگی‌های انحلالی، مشابه با دیگر پارامترهای هیدرودینامیکی تعیین شود. با توجه به اینکه روش مستقیمی برای تعیین نسبت تبادل وجود ندارد، تفسیر مدل تخلخل دوگانه با چالش جدی روبرو است.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه بر اساس تقسیم‌بندی واحدهای ساختمانی- رسوبی ایران در منطقه زاگرس چین خورده واقع شده است. سازندهای آهکی در منطقه مورد مطالعه شامل آهک‌های ایلام- سروک و آسماری هستند. سازند سروک شامل آهک‌های نازک لایه رسی و میکریتی و آهک‌های مارنی به رنگ خاکستری تیره است. روی سازند سروک، سازند ایلام متشکل از آهک‌های رسی خاکستری دانه ریز، نازک لایه همراه با لایه‌های نازک شیل سیاه رنگ قرار دارد که معمولاً در نواحی بیرون‌زده فرسایش آن بیشتر از سروک است. در منطقه ایذه تفکیک این دو سازند مشکل است و به همین دلیل با نام مشترک ایلام- سروک معرفی می‌شوند. سازند ایلام- سروک در شمال شرق، جنوب شرق و جنوب منطقه ایذه، در هسته تاقدیس‌های پیون، شاویش و تنوش رخنمون دارد. سازند آسماری شامل سنگ‌های آهکی با لایه‌های آهک فسیل‌دار کرم رنگ تا قهوه‌ای، هوازده و درز و ترک‌دار است. ارتفاعات تاقدیس‌های کمردراز و چال‌خشک از سازند آسماری پوشیده شده است (شکل ۱). حفرات انحلالی، کارن، و درزه‌های انحلالی در سازند ایلام- سروک در منطقه مورد مطالعه تا حدودی دیده می‌شوند ولی چشمه‌ای با دبی قابل توجه در منطقه وجود ندارد. در سال ۱۳۸۵ و پس از دو سال، با بارش زیاد، سطح آب در آبخوان کارستی تنوش بالا آمد به طوری که چشمه‌ای با آبدهی حدود ۳۰ لیتر بر ثانیه از دماغه تاقدیس جاری شد (شکل ۲). این چشمه از آبرفت پای دماغه تاقدیس تنوش و در یک سطح نشت وسیع نشأت می‌گرفت و دهانه متمرکز خاصی نداشت. پس از آن از سال ۱۳۸۶ به واسطه خشکسالی، چشمه کاملاً خشک شد. حفر یک حلقه گمانه اکتشافی در بخش جنوبی ایذه و در حاشیه تاقدیس شاویش (روستای چهارتنگ) در سازند ایلام- سروک که در سال ۱۳۶۸ صورت گرفت، نتیجه مطلوبی نداشته و به دلیل ناچیز بودن آبدهی ازگشاد کردن گمانه و تبدیل آن به چاه اکتشافی صرف نظر شده است. در سال ۱۳۸۲ یک حلقه چاه اکتشافی در مجاورت دماغه تاقدیس تنوش در آهک ایلام- سروک حفر شد. نتایج آزمایش پمپاژ آن نشان‌گر وجود آبخوان با آبدهی مطلوب در این سازند بوده است. ارتباط هیدروژئولوژی این سازند با سازند آهکی آسماری توسط سازندهای پابده و گورپی قطع است اما عملکرد زون‌های گسلی در بعضی مناطق باعث شده که این سازند در کنار سازند آسماری دیده شود. سطح زیرین این سازند با سازند کژدمی به صورت هم شیب و تدریجی می‌باشد، ولی سطح تماس آن با سازند گورپی با یک دگرشیبی زاویه‌دار همراه است.

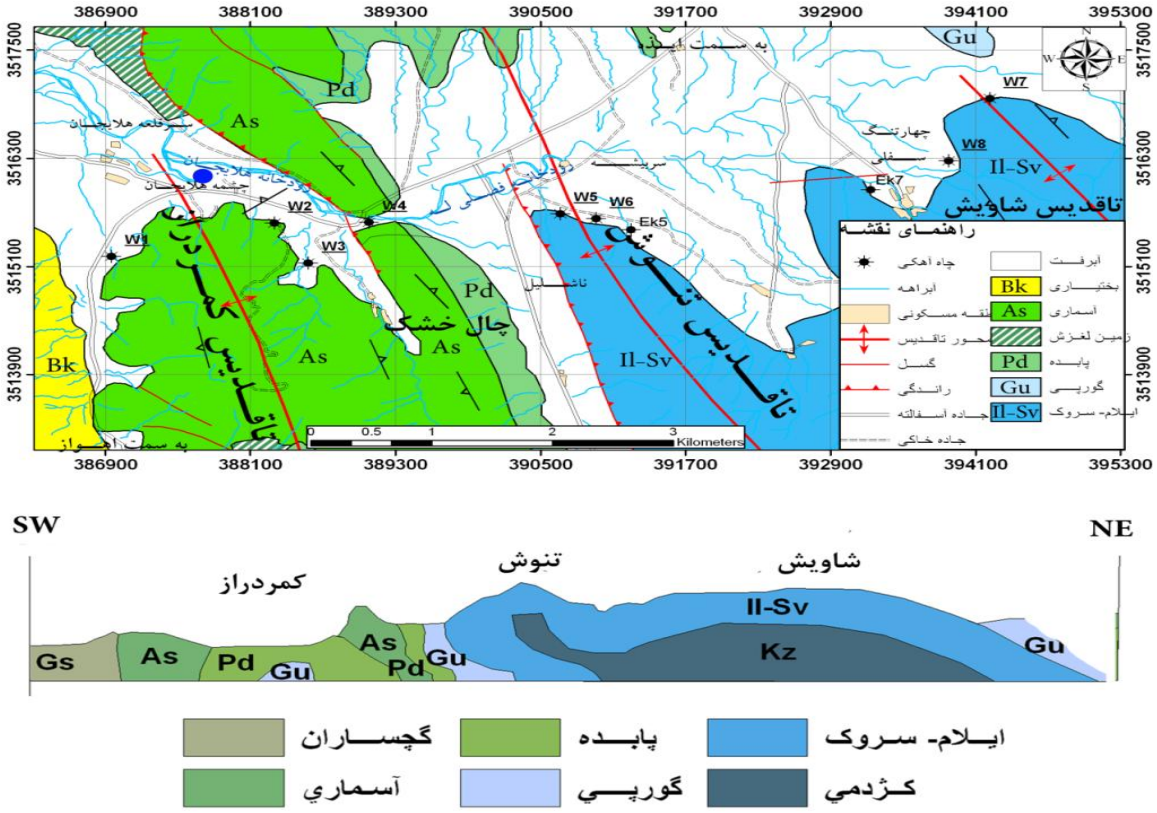
لایه‌های ضخیم تا توده‌ای آهک آسماری دارای حفرات انحلالی فراوان کوچک و بزرگ در نواحی مختلف تاقدیس مطالعه می‌شوند. فشار حاصل از حرکات تکتونیکی، موجب ایجاد درز و شکاف‌های فراوان و متقاطع در این سازند شده است که عرض بازشدگی‌ها متجاوز از چندین سانتی‌متر است. پدیده‌های جوان‌تر شکستگی و گسل‌ها باعث ارتباط عمودی درز و شکاف‌های انحلالی شده که موجب جریان آب زیرزمینی بین لایه‌های آهکی شده است. گسترش پدیده‌های انحلالی در اعماق لایه‌های آهکی تاقدیس آسماری ممکن است باعث ایجاد حفرات و مجاری وسیع شده و مخزن عظیم آب کارستی را به وجود آورده است. شکاف‌ها و حفرات انحلالی مختلفی در

1- Represntative element volume

Archive of SID

www.SID.ir

قسمت‌های بیرون‌زده این سازند دیده می‌شود (شکل ۳) که به نام‌های محلی اشکفت سلمان، اشکفت جاموشی و اشکفت گاو نام‌گذاری شده‌اند. چشمه هلایجان که در پنج کیلومتری جنوب غرب ایذه قرار دارد از سازند آسماری سرچشمه می‌گیرد.



شکل ۱- موقعیت منابع آب منطقه مورد مطالعه بر روی نقشه زمین شناسی (بالا) و مقطع زمین شناسی (پایین) (تصحیح شده بر اساس شرکت ملی نفت ایران ۱۳۴۵)

شکل ۲- سطح نشت خروجی از سازند آهکی ایلام- سروک در دماغه تاقدیس تنوش (الف) و آبدهی تجمعی آن (ب)

شکل ۳- توسعه حفرات در سازند آسماری (یال جنوب غربی تاقدیس کمردراز)

بیشتر چین‌ها در منطقه ایذه از نوع نامتقارن هستند و یال‌های پر شیب‌تر تاقدیس‌ها بیشتر در پهلوی جنوب غربی قرار دارند (شکل ۱). در یال جنوب غربی تاقدیس‌های تنوش و چال‌خشک، راندگی‌ها باعث برگشتگی شیب لایه‌ها شده است. تاقدیس‌های ایذه به شدت خرد شده‌اند و دارای رخنمون سنگی از سازندهای ایلام- سروک و آسماری هستند. شیب صفحه محوری این تاقدیس‌ها به

www.SID.ir

سمت شمال شرق و راستای آن‌ها شمال غربی- جنوب شرقی است.

در یک منطقه چین خورده صرف نظر از کارستی شدن، حرکت آب در امتداد عمود به لایه‌ها محدود و به موازات لایه‌ها افزایش می‌یابد. پدیده انحلال در هسته چین‌ها که تحت شرایط فشاری هستند به ندرت شکل می‌گیرد و چنین ساختارهایی به موازات محور چین و در دامنه‌های آن تشکیل می‌شود. بر این اساس انتظار می‌رود ورودی‌ها و خروجی‌های زیرزمینی از روند لایه‌بندی پیروی کنند، مگر آنکه خلاف آن ثابت شود. تاقدیس‌های شاویش و تنوش در جنوب غرب ایذه اگرچه مرتفع‌تر از دشت ایذه هستند ولی از آنجایی که ما بین آن‌ها و دشت سازندهای غیر قابل نفوذ پابده و گورپی قرار گرفته است، در حالت کلی انتظار می‌رود ارتباط هیدرولیکی با دشت نداشته باشند. تاقدیس چال‌خشک، عملاً توسط سازند نفوذناپذیر پابده در بر گرفته شده است و ارتباط مشخصی با دشت چهارتنگ ندارد ولی احتمالاً در دوره‌های پربارش و با بالا آمدن سطح آب کارست آبراهه روخانه له را در محل تنگ هلایجان تغذیه می‌کند. تاقدیس کمردراز در یال جنوب غربی و در مجاورت دماغه تاقدیس، در ارتباط با آبرفت دشت هلایجان است و داده‌های پیزومتری نیز نمایان‌گر تغذیه آبخوان آبرفتی از کارست می‌باشند. تاقدیس کمردراز در غرب تاقدیس تنوش با روندی مشابه آن قرار دارد و دارای رخنمون سنگی متعلق به سازندهای پابده و آسماری است. این تاقدیس در قسمت‌های جنوبی‌تر به کلی فرسایش یافته و توسط آبرفت پوشیده شده است. دماغه پلانژدار تاقدیس کمردراز در محل روستای هلایجان در زیر آبرفت مدفون شده است. در ادامه به سمت شمال غرب، تاقدیس چال‌خشک وجود دارد که شیب لایه‌های آن در امتداد یک راندگی حالت برگشته دارد. یال شمال شرقی تاقدیس کمردراز به سمت جنوب شرق به یال جنوب غربی تاقدیس چال‌خشک متصل شده و حالت ناودیس مانند به خود گرفته است. در واقع می‌توان تاقدیس چال‌خشک را امتداد تاقدیس تنوش در نظر گرفت. به واسطه عملکرد گسل هلایجان، محور تاقدیس چال‌خشک تا حدودی به روند شمالی انحراف پیدا کرده است. در محل تنگ هلایجان آهک آسماری در تاقدیس چال‌خشک شیبی نزدیک به قائم دارد.

با استفاده از داده‌های سطح آب اندازه‌گیری شده به وسیله داده‌بردار خودکار در چاه‌های مشاهده‌ای، داده‌های بارش، داده‌های روزانه آبدهی چشمه هلایجان، هیدروژئولوژی آبخوان‌های کارستی جنوب غرب ایذه در اثر رخداد خشکسالی‌های مداوم از سال ۱۳۸۶ تا ۱۳۸۸ بررسی شد. با استفاده از داده‌های سطح آب اندازه‌گیری شده در چاه‌های مشاهده‌ای آهکی، افت سطح آب در آبخوان‌های کارستی جنوب غرب ایذه مقایسه شد. همچنین در آهک ایلام- سروک با تفسیر هیدروگراف سطح آب چاه‌ها، تغییرات عمقی ظرفیت ذخیره برآورد شده است. تحلیل خودهمبستگی[1] سری‌های زمانی بر روی داده‌های دو آبخوان کارستی آسماری و ایلام- سروک با استفاده از نرم‌افزار SPSS 16 انجام شده است. در این تحقیق، داده‌های روزانه عمق آب زیرزمینی در پیزومتر W1 و آبدهی چشمه هلایجان (شاخص سازند آسماری در تاقدیس کمردراز)، چاه اکتشافی Ek7 (شاخص سازند ایلام- سروک در تاقدیس شاویش)، و چاه اکتشافی Ek5 (شاخص سازند ایلام- سروک در تاقدیس تنوش) برای تحلیل خود همبستگی استفاده شده است. طول دوره سری زمانی حدود ۲/۷ سال، از اردیبهشت ۱۳۸۶ تا دی ماه ۱۳۸۸ و شامل ۹۹۹ اندازه‌گیری بوده است. طی این تحقیق، الکترودهای پروب تک پارامتری (سطح آب) در داده‌بردارهای خودکار نصب شد که عمق سطح آب زیرزمینی را روزانه اندازه‌گیری کنند.

آزمایش پمپاژ هفت حلقه چاه آهکی در تاقدیس‌های مورد مطالعه (شکل ۱) در سال ۱۳۸۶ انجام شده است. هدف اصلی آزمایش پمپاژ انجام شده ارزیابی پارامترهای هیدرودینامیک آبخوان و مقایسه نحوه افت آبخوان‌های مذکور است. در طی آزمایش پمپاژ افت در بازه‌های متناسب با زمان پمپاژ اندازه‌گیری شده است. آزمایش پمپاژ دور ثابت در چاه‌های آهکی مورد مطالعه در چاه‌های ۱، ۴، ۵ و ۶ به مدت ۷۲ ساعت، در چاه ۲ به مدت ۳۰ ساعت، در چاه ۳ به مدت ۹۴ ساعت، و در چاه ۷ به مدت ۴۸ ساعت انجام شد. سپس داده‌های برگشت سطح آب چاه‌ها در مدت زمان ۶ تا ۱۲ ساعت اندازه‌گیری شد. تحلیل آزمایش پمپاژ چاه‌ها با استفاده از نرم‌افزار Aquifertestpro انجام شده است. جهت مدل‌سازی پمپاژ در آبخوان‌های کارستی ایذه، از روش‌های مبتنی بر مدل

1- Autocorrelation

Archive of SID

www.SID.ir

تخلخل دوگانه (کروزمن و دریدر، ۱۹۹۱) استفاده شده پمپاژ نمایانگر اندازه پاسخ ترکیبی از تخلخل زمینه و شکستگی در نظر گرفته شد. بنابراین برای توصیف خصوصیات هیدرولیکی آبخوان‌های کارستی و تفسیر آزمایش‌های پمپاژ، نرخ تبادل جریان بین زمینه و شکستگی‌های انحلالی باید مشابه دیگر پارامترهای هیدرودینامیکی تعیین شود.

نتایج و بحث

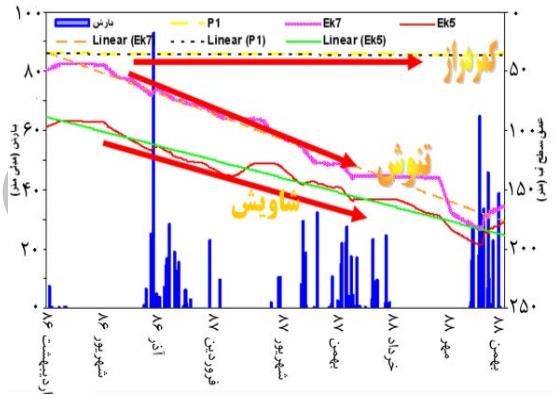
آبخوان کارستی کمردراز در سنگ آهک سازند آسماری (الیگومیوسن) تشکیل و از زیر توسط سازند نفوذناپذیر پابده محدود شده است. آبخوان کارستی کمردراز یک محل تخلیه اصلی در دماغه شمال غربی تاقدیس است که چشمه هلایجان را شامل می‌شود. آب چشمه هلایجان کیفیتی مطلوب با هدایت الکتریکی بین ۴۵۰ تا ۵۰۰ میکروموس بر سانتی‌متر است. آبدهی چشمه هلایجان در سال‌هایی با بارش میانگین بین ۲۰۰ تا ۱۲۰۰ لیتر بر ثانیه متغیر بوده است ولی رخداد دو سال خشکسالی مداوم در سال‌های ۱۳۸۶ و ۱۳۸۷ باعث خشک شدن چشمه برای اولین بار در سالیان اخیر در مرداد ۱۳۸۷ شده است. در طی بارش‌های پاییزه و زمستانه سال‌های ۱۳۸۷ و ۱۳۸۸ چشمه هلایجان مجدد آبدار شده ولی دوباره در خرداد ماه خشک شده است. آبخوان کارستی چال‌خشک در مجاورت بلافصل شمال شرق آبخوان کمردراز قرار دارد. با توجه به تأثیر گسل هلایجان، لایه‌های آهک آسماری در تاقدیس چال‌خشک برگشتگی پیدا کرده‌اند. همچنین خرد شدگی آهک در امتداد راندگی باعث ایجاد محیط مناسبی برای عبور جریان آب شود و این موضوع، سبب توسعه کارست در کوه چال‌خشک را شده است. دو حلقه چاه آهکی (یکی در تنگ هلایجان و دیگر در مجاور روستای گم‌یک) در این آبخوان حفاری شده که آبدهی بسیار زیاد با افت ناچیزی دارند. در سال‌های ۱۳۸۵ و ۱۳۸۶ سه حلقه چاه در آبخوان کارستی کمردراز و یک حلقه چاه در تاقدیس چال‌خشک و چهار حلقه چاه آهکی در سازند ایلام- سروک در تاقدیس‌های شاویش و تنوش برای تأمین آب شرب شهر ایذه حفر شده‌اند (چاه‌های W1 تا W8 در شکل ۱). آبخوان‌های کارستی تنوش و شاویش در آهک ایلام- سروک بر خلاف آبخوان‌های کارستی کمردراز و چال‌خشک دارای ظرفیت ذخیره مناسبی نیستند. موقعیت است. در این دیدگاه هیدروژئولوژی، داده‌های آزمایش چاه‌های حفاری شده در این آبخوان‌ها در شکل ۱ نشان داده شده است. دو حلقه چاه اکتشافی در دو تاقدیس تنوش و شاویش در سال ۱۳۸۱ حفاری شده است (چاه‌های Ek5 و Ek7) که با توجه به دوره بارش مناسب در منطقه و بالا بودن سطح آب در آن‌ها، آبدهی متوسطی در طی آزمایش پمپاژ چاه‌ها حاصل شده است. چهار حلقه چاه بهره‌برداری (چاه های W5 و W6 در تاقدیس تنوش و چاه‌های W7 و W8 در تاقدیس شاویش در طی سال‌های ۱۳۸۵ و ۱۳۸۶ حفاری شده است. آزمایش پمپاژ انجام شده در چاه‌های مذکور نمایان‌گر آن است که در طی دوره‌های با بارش زیاد سطح آب در این آبخوان‌ها بالا آمده و آبدهی چاه‌ها نیز مطلوب است ولی در دوره‌های خشکسالی با پایین رفتن سریع آب (به طور مثال حدود ۱۴۰ متر در طی دو سال خشکسالی مداوم در سال‌های ۱۳۸۶ و ۱۳۸۷) آبدهی چاه‌ها نیز افت فاحشی می‌یابد. با استفاده از داده‌های سطح آب اندازه‌گیری شده در چاه‌های مشاهده‌ای آهکی، افت سطح آب در آبخوان‌های کارستی جنوب غرب ایذه در اثر خشکسالی‌های مداوم بررسی شد.

شکل ۴ هیدروگراف عمق آب چاه‌های آهکی منطقه مورد مطالعه و اثرات بارش بر سطح آب در چاه‌ها را نشان می‌دهد. بارش میانگین سالانه منطقه ایذه برابر ۶۲۰ میلی‌متر است. میزان بارش ایستگاه ایذه در سال آبی ۸۶-۸۵ برابر ۶۳۶ میلی‌متر (تقریباً معادل میانگین)، در سال آبی ۸۷-۸۶ برابر ۳۵۱ میلی‌متر (کاهش ۴۳ درصد نسبت به میانگین)، در سال آبی ۸۸-۸۷ برابر ۳۸۸ میلی‌متر (کاهش ۳۸ درصد نسبت به میانگین) بوده است. در سه ماهه پاییز ۱۳۸۸ برابر ۳۵۱ میلی‌متر (برابر ۵۷ درصد میانگین سالانه) بوده است. هیدروگراف چاه‌های آهکی منطقه مورد مطالعه بر اساس داده‌های موجود از زمان نصب داده‌بردار خودکارها در سال ۱۳۸۶ تا آذر ماه ۱۳۸۸ تهیه شده است. هیدروگراف سطح آب سه پیزومتر معرف آبخوان‌های کارستی جنوب غرب ایذه بیانگر افت شدید سطح آب زیرزمینی در کارست سازند ایلام- سروک و روند نسبتاً ثابت سطح ایستابی در آهک آسماری پس از دو سال خشکسالی مداوم می‌باشد. مقایسه هیدروگراف سطح آب آبخوان‌های آسماری و ایلام- سروک در منطقه مورد مطالعه نمایان‌گر آن است که آبخوان کارستی آسماری قابلیت ذخیره بسیار زیادی را دارد، در حالی که آبخوان

Archive of SID

www.SID.ir

کارستی ایلام- سروک ظرفیت ذخیره قابل توجهی در توده آهک ندارد. عمق آب زیرزمینی در آبخوان ایلام- سروک به سرعت با خشکسالی افزایش می‌یابد و با رخداد بارش نیز سطح آب در آبخوان با سرعت بیشتری بالا می‌آید. مقایسه روندیابی خطی افت در آبخوان‌های سازند آسماری و ایلام- سروک نشان می‌دهد که ذخیره آب زیرزمینی در سازند ایلام- سروک پس از رخداد دو سال خشکسالی، شدیداً کاهش یافته است، در حالی که سطح آب کارست آسماری نسبتاً ثابت باقی مانده است. با آغاز بهره‌برداری از آبخوان‌های کارستی از اواخر تابستان ۱۳۸۸ افت شدید سطح آب در سازند ایلام- سروک رخ داده است در حالی که افت آبخوان آسماری ناچیز می‌باشد. با رخداد بارش پاییز ۱۳۸۸ سطح آب در آهک ایلام- سروک به سرعت بالا آمده است.



شکل ۴- نمودار عمق سطح آب چاه‌های معرف آبخوان‌های کارستی جنوب غرب ایذه (P1: آسماری تاقدیس کمردراز، Ek5: ایلام- سروک تاقدیس تنوش، و Ek7: ایلام- سروک تاقدیس شاویش)

تابع خود همبستگی (شکل ۵) در پیزومترهای آهک ایلام- سروک در دو تاقدیس شاویش و تنوش مشابه است. کاهش تابع خود همبستگی غیریکسان و شیب کورلوگرام زیاد است. زمان تأخیر کوتاه و حدود ۳۵ روز است. مقادیر خودهمبستگی در دو مورد دیگر به بیش از ۰/۲ می‌رسد. این نمایانگر دوگانگی رفتار آبخوان کارستی ایلام- سروک است. تأثیر جریان سریع در مجاری کارستی و جریان نیمه‌سریع موجود در شکستگی‌ها را می‌توان برای آبخوان کارستی ایلام- سروک متصور بود. کورلوگرام پیزومتر P1 که در آبخوان آهک آسماری (مجاور W1) حفر شده است نیز در زمان اولیه پر شیب بوده است و منطبق با سیستم حافظه کم در مجاری کارستی قسمت بالایی آبخوان می‌باشد ولی در زمان حدود ۴۵ روز تابع خودهمبستگی به کمتر از ۰/۲ می‌رسد که نمایانگر قابلیت ذخیره زیاد آبخوان است. تابع خودهمبستگی چشمه کارستی هلایجان اینرسی زیادی نشان می‌دهد، یعنی سیستم بارش ورودی را به خوبی فیلتر می‌نماید. شیب کورلوگرام چشمه هلایجان نسبت به پیزومترهای آهک ایلام- سروک ملایم‌تر و شکل آن یکنواخت و بدون تغییرات قابل ملاحظه می‌باشد. تفسیر کورلوگرام چشمه هلایجان مبین درجه کارست‌شدگی کمتر (نبود مجاری با هدایت زیاد) و ظرفیت ذخیره بیشتر زمینه آهکی است.

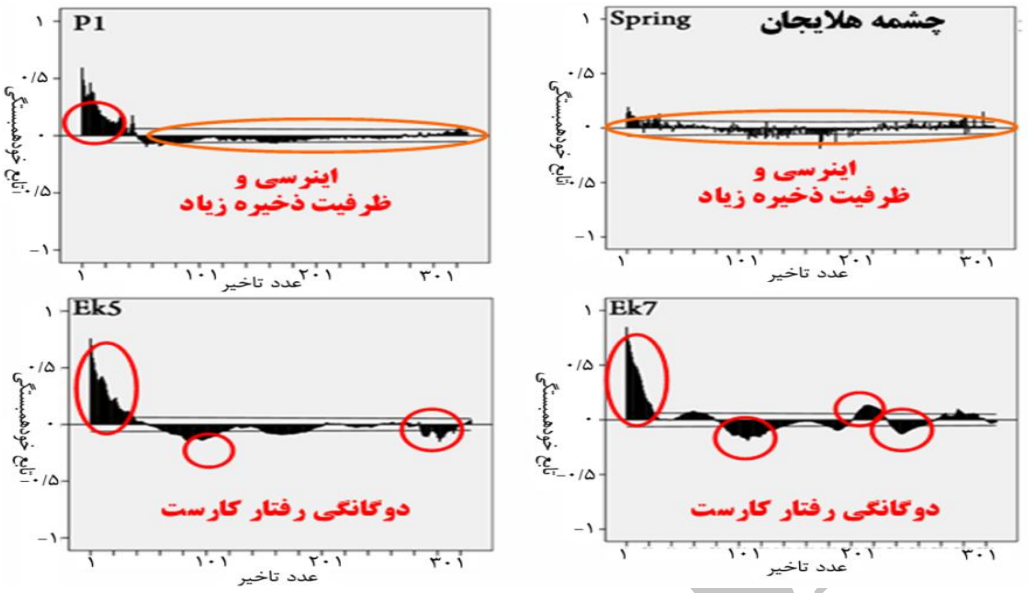
نتایج آزمایش پمپاژ در هفت حلقه چاه آهکی در سازند آسماری (تاقدیس‌های کمردراز و چال‌خشک) و سازند ایلام- سروک (تاقدیس‌های تنوش و شاویش) در پنج کیلومتری جنوب غرب ایذه توصیف شده و پاسخ سیستم در مجاری انحلالی و سنگ کربناته پوشاننده آن (زمینه سنگ) نسبت به پمپاژ طولانی مدت با دبی ثابت تحلیل شده است. نمودارهای افت- زمان چاه‌های ۱ تا ۷ ایذه در شکل ۶ نشان داده شده است. شکل منحنی افت در چاه‌های آهکی بیانگر سیستم جریان متفاوت با منحنی‌های معمول آبخوان‌های آبرفتی است. با توجه به نمودارهای زمان- افت چاه‌های آهکی ایذه، مقدار افت در چاه‌های ۱ و ۳ ناچیز بوده است. بنابراین نمی‌تواند با روش‌های معمول تفسیر شود و اختلاف منحنی‌های تیپیک روش‌های مرسوم تخلخل دوگانه با منحنی افت واقعی زیاد است. بنابر یافته ناصری و همکاران (۱۳۸۹) داده‌های افت در چاه‌های ۱ و ۳ در تاقدیس کمردراز به دلیل قابلیت انتقال و ذخیره بسیار زیاد، زمینه چاه‌های مذکور بوده است به طوری که با آبکشی حدود ۶۰ لیتر بر ثانیه از چاه ۱ و حدود ۴۵ لیتر بر ثانیه از چاه ۳، سطح آب در چاه‌ها افت ناچیزی داشته است. بنابراین داده‌های افت این دو چاه در تفسیر آزمایش پمپاژ با مدل تخلخل دوگانه استفاده نشده است.

نتایج به دست آمده از تفسیر داده‌های پمپاژ برای پنج حلقه چاه آهکی در جدول ۱ آمده است. حداکثر و حداقل قابلیت انتقال به ترتیب در چاه ۲ (۲۱۲۰۰ مترمربع بر روز) و چاه ۷ (۶۴ مترمربع بر روز) به دست آمده است. نمودارهای برازش منحنی‌های تیپیک با داده‌های آزمایش پمپاژ در شکل‌های ۷ و ۸ نشان داده شده است. عدد قابلیت انتقال ۲۱۲۰۰ مترمربع بر روز برای چاه ۲ در نگاه اول اغراق آمیز به نظر می‌رسد، پس عملاً استفاده از مدل

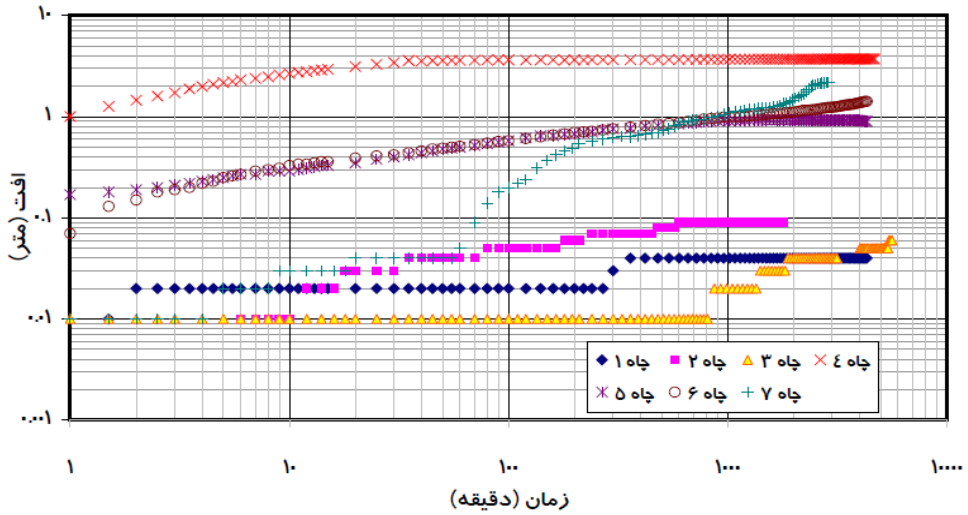
Archive of SID

www.SID.ir

تخلخل دوگانه برای تفسیر آزمایش پمپاژ در آبخوان کارستی آسماری (تاقدیس کمردراز) مشابه با چاه‌های ۱ و ۲ با عدم قطعیت همراه است.



شکل ۵- کورلوگرام چاه‌های معرف آبخوان‌های کارستی جنوب غرب ایذه (چاه مشاهده‌ای P1 و چشمه هلایجان معرف سازند آسماری و چاه‌های مشاهده‌ای Ek5 و Ek7 معرف سازند ایلام- سروک می‌باشند)



شکل ۶- نمودارهای افت- زمان مربوط به آزمایش پمپاژ چاه‌های آهکی منطقه مورد مطالعه

جدول ۱- نتایج حاصل از تفسیر آزمایش پمپاژ چاه‌های آهکی ایذه بر اساس روش تخلخل دوگانه

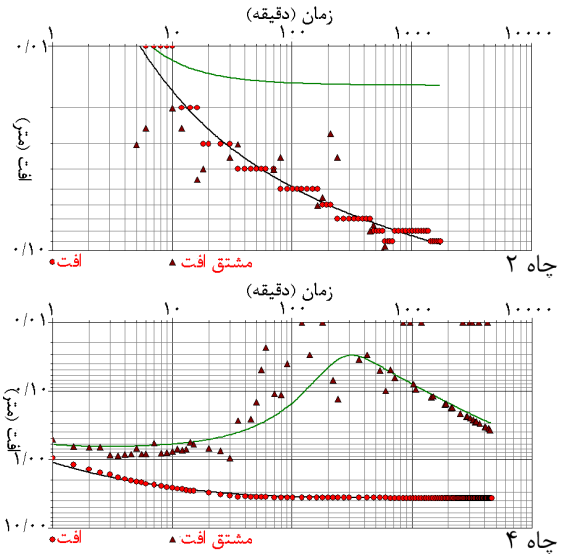
شماره چاه	قابلیت انتقال (متر بر روز)	ذخیره ویژه توده سنگ	ذخیره ویژه آهک خرد شده
۲	۲۱۲۰۰	۰/۰۰۲۵	۰/۰۰۷۵۷
۴	۸۲۰	۰/۰۰۰۶	۰/۰۰۰۰۰۵
۵	۳۶۹۰	۰/۰۰۰۳	۰/۰۰۰۰۱۶
۶	۸۴۳	۰/۰۰۴۶	۰/۰۰۰۴۳
۷	۶۴/۴	۰/۰۳۶۷۰	۰/۰۰۳۵۲

چاه شماره ۲ ایذه در آهک آسماری واقع در یال شمال شرقی تاقدیس کمردراز با دبی ۴۸ لیتر بر ثانیه به مدت ۱۸۰۰ دقیقه پمپاژ شد که افت حداکثر منطبق با آن ۹ سانتی‌متر بوده است. چاه شماره ۴ ایذه در آهک آسماری در تاقدیس چال‌خشک حفاری شده است که با دبی ۸۵ لیتر بر ثانیه به مدت ۴۶۸۰ دقیقه پمپاژ شد و افت حداکثر منطبق با آن ۳/۷۳ متر بوده است. چاه شماره ۵ ایذه در آهک ایلام- سروک در تاقدیس تنوش حفاری شده است. این چاه با دبی ۶۰ لیتر بر ثانیه به مدت ۴۳۲۰

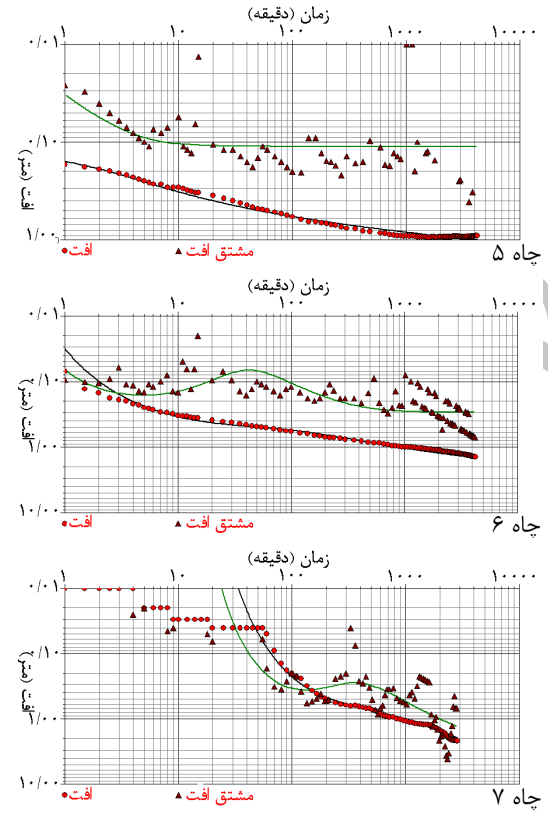
www.SID.ir

دقیقه پمپاژ شد که افت حداکثر منطبق با آن ۰/۹ متر بوده است. چاه شماره ۶ ایذه در آهک ایلام- سروک واقع در تاقدیس تنوش است که با دبی ۳۶ لیتر بر ثانیه به مدت ۴۳۲۰ دقیقه پمپاژ شد و افت حداکثر منطبق با آن ۱/۴۲ متر بوده است. چاه شماره ۷ ایذه در آهک ایلام- سروک در تاقدیس شاویش حفاری شده است. چاه با دبی ۲۷ لیتر بر ثانیه به مدت ۲۸۸۰ دقیقه پمپاژ شد که افت حداکثر منطبق با آن ۲/۱۹ متر بوده است. در شکل‌های ۷ و ۸، نمودار تشخیصی[1] زمان- مشتق افت (بوردت و همکاران، ۱۹۸۳) نیز ارایه شده است.

منحنی برازش زمان- مشتق افت در چاه‌های ۴، ۶ و ۷ نشان دهنده رفتار تخلخل دوگانه مشابه با سیستم کارستی است. در چاه ۲ رفتار مشخصی در منحنی زمان- مشتق افت تشخیص داده نمی‌شود و منحنی انطباق، برازش مناسبی با داده‌های مشتق افت ندارد ولی در چاه ۵ دو بخش خط مستقیم قابل تشخیص است. در زمان‌های آغازین آزمایش پمپاژ چاه‌های آهکی ایذه (شکل‌های ۷ و ۸)، به استثناء چاه ۴ مشتق افت از خط مستقیم با شیب نزدیک به واحد تبعیت می‌نماید، که نمایانگر دوره‌ای است که طی آن اثرات ذخیره‌ای در شکستگی‌ها و مجاری کارستی غالب است. زمان تخلیه از ذخیره سیستم شکستگی و مجرایی برای چاه ۷ حدود ۱۰۰ دقیقه و برای بقیه چاه‌ها حدود ۱۰ دقیقه می‌باشد. تفسیرها نشان می‌دهند که در چاه ۴ ذخیره شکستگی بسیار ناچیز است. در چاه‌های ۶ و ۷ ذخیره زمینه حدود ۱۰ برابر ذخیره شکستگی‌ها می‌باشد. قابلیت انتقال چاه ۷ حدود ۶۵ مترمربع بر روز به دست آمده است که نمایانگر آبدهی ضعیف این چاه است. قابلیت انتقال چاه‌های ۵ و ۶، در آهک ایلام- سروک که به فاصله ۵۰۰ متری از یکدیگر حفر شده‌اند، به ترتیب برابر ۳۶۹۰ و ۸۴۳ مترمربع بر روز محاسبه شده است. ذخیره ویژه زمینه در چاه ۶، برابر ۰/۰۰۴۶ و در چاه ۵، ۰/۰۰۰۳ به دست آمده است. این آمار نشان دهنده تغییرات و ناهمگنی شدید سیستم جریان در این دو چاه است.



شکل ۷- نمودارهای لگاریتمی زمان- افت و زمان- مشتق افت در چاه‌های ۲ و ۴ در آبخوان کارستی سازند آسماری ایذه

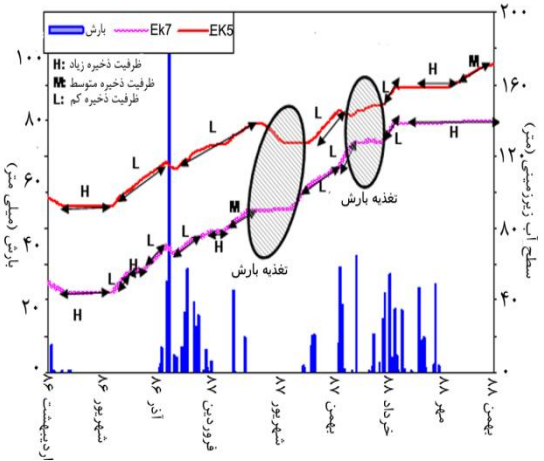


شکل ۸- نمودارهای لگاریتمی زمان- افت و زمان- مشتق افت در چاه‌های ۵، ۶ و ۷ در آبخوان‌های سازند ایلام- سروک ایذه

1- Diagnostic plot

www.SID.ir

کارست ایلام- سروک در منطقه ایذه در حالت میانه بین دو سیستم شدیداً کارستی و تا حدی کارستی قرار دارد. از اینرو مؤلفه جریان سریع همراه با جریان پایه بر سیستم آب زیرزمینی در آن غالب می‌باشد. با تحلیل افت سطح آب در چاه‌های آهکی سازند ایلام- سروک به واسطه خشکسالی مداوم از سال ۱۳۸۶ تا سال ۱۳۸۸ و تعیین تغییرات عمقی ظرفیت ذخیره سیستم کارستی در این سازند (شکل ۹) مشخص شد که قابلیت ذخیره در بعضی لایه‌ها به طور موضعی زیاد می‌شود ولی در بیشتر بخش‌های آبخوان ظرفیت ذخیره ناچیز است. بر اساس هیدروگراف سطح آب چاه Ek7، تاقدیس تنوش بازه‌های ۴۵-۴۴ متری، ۵۹-۵۵ متری، ۸۰-۷۸ متری، و ۱۴۴-۱۴۰ متری، ظرفیت ذخیره زیادی دارند و روند افزایش عمق سطح آب کارست با زمان در این بازه‌ها بسیار کم و شیب هیدروگراف ناچیز می‌باشد. هیدروگراف چاه Ek5 نشان دهنده ظرفیت ذخیره کمتر در تاقدیس شاویش نسبت به تاقدیس تنوش است. در دو بازه تغذیه مشخص شده در شکل ۹، قابلیت بالا آمدن سطح آب زیرزمینی در اثر تغذیه از بارش، نشان دهنده شیب بیشتر صعود منحنی سطح آب (منطبق با ظرفیت ذخیره کمتر) در تاقدیس شاویش نسبت به تنوش است.



شکل ۹- نمودار مفهومی تغییرات ظرفیت ذخیره در چاه‌های آهکی ایلام- سروک منطقه ایذه (چاه Ek7 معرف تاقدیس تنوش و چاه Ek5 معرف تاقدیس شاویش هستند)

نتیجه‌گیری

مقایسه روندیابی خطی افت سطح آب در آبخوان‌های سازند آسماری و ایلام- سروک نشان می‌دهد که ذخیره آب زیرزمینی در سازند ایلام- سروک پس از رخداد دو سال خشکسالی به شدت کاهش داشته است، در حالی که سطح آب کارست آسماری نسبتاً ثابت باقی مانده است. بر اساس نتایج حاصل از تحلیل خودهمبستگی دو سیستم کارستی ایذه، کارست آسماری به عنوان سیستم با ظرفیت ذخیره زیاد و جریان پایه غالب و کارست ایلام- سروک به عنوان سیستم با جریان سریع مجرایی غالب و ظرفیت ذخیره کم تشخیص داده شده است. نتایج نشان می‌دهد که در سازند آسماری تاقدیس کمردراز رفتار تخلخل دوگانه رخ نمی‌دهد ولی در طی آزمایش پمپاژ در چاه‌های آهکی سازند ایلام- سروک و چاه آهکی شماره چهار در سازند آسماری، افت از مدل تخلخل دوگانه تبعیت می‌کند. منحنی برازش مشتق افت در چاه‌های ۴، ۶ و ۷ نشان دهنده رفتار تخلخل دوگانه مشابه با سیستم‌های کارستی است. در چاه ۲ رفتار مشخصی در منحنی زمان- مشتق افت قابل تشخیص نیست و منحنی انطباق، برازش مناسبی با داده‌های مشتق افت ندارد ولی در چاه ۵ دو بخش خط مستقیم قابل تشخیص است. پارامترهای هیدرودینامیک در چاه‌های ۵ و ۶ در آهک ایلام- سروک تاقدیس تنوش که به فاصله ۵۰۰ متری از یکدیگر حفر شده‌اند، بسیار متفاوت است و نشان دهنده تغییرات و ناهمگنی شدید سیستم جریان در این دو چاه می‌باشد. قابلیت ذخیره در بعضی لایه‌های آهک ایلام- سروک به طور موضعی زیاد می‌شود ولی در بیشتر بخش‌های آبخوان ظرفیت ذخیره ناچیز است. ظرفیت ذخیره در تاقدیس شاویش نسبت به تاقدیس تنوش کمتر است.

منابع

۱. شرکت ملی نفت ایران. ۱۳۴۵. نقشه زمین‌شناسی کوه آسماری. مدیریت اکتشاف شرکت ملی نفت ایران.

۲. علیجانی ف. ۱۳۹۰. مقایسه کارست شدگی سازندهای آسماری و ایلام- سروک با تاکید بر توموگرافی ژئوالکتریک (مطالعه موردی: ایذه). رساله دکتری هیدروژئولوژی. دانشکده علوم زمین. دانشگاه شهید بهشتی. ۱۵۵ ص.

۳. ناصری ح. ر. علیجانی ف. و نخعی م. ۱۳۸۹. مقایسه خصوصیات هیدرودینامیک سیستم کارست سازندهای آسماری و ایلام- سروک در تاقدیس‌های جنوب غرب ایذه نخستین کنفرانس ملی پژوهش‌های کاربردی منابع آب ایران، کرمانشاه.

4. Faghihian H. Mostafavi A. and Mohammadi A. 2001. Surface modification of analcime for

Archive of SID

www.SID.ir

removal of nitrite and nitrate from aqueous solutions. J. Sci. I. R. Iran. 12(4):327-332.
5. Bonacci O. 1993. Karst springs hydrographs as indicators of karst aquifers. Hydrol. Sci. J. 38:51-62.
6. Bourdet D. Whittle T. M. Douglas A. A. and Pirard Y. M. 1983. A new set of type curves simplifies well test analysis. World Oil. 196(6):95-106.
7. Jeannin P. Y. Sauter M. 1998. Analysis of karst hydrodynamic behaviour using global approach: a review. Bulletin d'Hydrogeologie, Centre d'Hydrogeologie, Universite de Neuchetel 16:31-48.
8. Jenkins G. M. and Watts D. G. 1968. Spectral Analysis and its Applications. Holden Days, San Francisco. 525 pp.
9. Kruseman G. P. and de Ridder N. A. 1991. Analysis and Evaluation of Pumping Test Data. Publ. 47, ILRI, Wageningen. 377 pp.
10. Lambrakis N. Andreou A. S. Polydoropoulos P. Georgopoulos E. and Bountis T. 2000. Non-linear analysis and forecasting of a brackish karstic spring. Water Resour. Res. 36:4:875-884.
11. Larocque M. Mangin A. Razack M. and Banton O. 1998. Contribution of correlation and spectral analyses to the regional study of a large karst aquifer (Charente, France). Journal of Hydrology. 205:217-231.
12. Padilla A. Pulido-Bosch A. and Mangin A. 1994. Relative importance of baseflow and quickflow from hydrographs of karst spring. Ground Water. 32:2:267-277.
13. Panagopoulos G. and Lambrakis N. 2005. Groundwater responses to recharge and human-induced stresses in the Trifilia karst aquifer Greece. In: Krasny Hrkal J. and Bruthans Z. (Eds.), Proceedings of International Conference on Groundwater in Fractured Rocks, IHP-VI, Series on Groundwater. 7:167-168.
14. Panagopoulos G. and Lambrakis N. 2006. The contribution of time series analysis to the study of the hydrodynamic characteristics of the karst systems: Application on two typical karst aquifers of Greece (Trifilia, Almyros Crete). Journal of Hydrology. 329:368-376.
15. Streltsova T. D. 1988. Well Testing in Heterogeneous Formations. John Wiley & Sons, New York. 413 pp.
16. Warren J. E. and Root P. J. 1963. The behavior of naturally fractured reservoirs. Soc. of Petrol. Engrs. J. 3:245-255.

Archive of SID

www.SID.ir