

تحلیل سیستم های کارست سازندهای آسماری و ایلام - سروک در جنوب غرب ایذه

حمیدرضا ناصری

دکتری هیدروژئولوژی، عضو هیئت علمی دانشگاه شهید بهشتی

فرشاد علیجانی

دانشجوی دکتری هیدروژئولوژی، دانشگاه شهید بهشتی

تاریخ دریافت: ۹۰/۳/۱۶ تاریخ پذیرش: ۹۱/۴/۲۷

hamidrezanassery@yahoo.com

چکیده

نتایج آزمایشات پمپاژ طولانی مدت در هفت حلقه چاه آهکی در سازند آسماری (تاقدیس‌های کمردراز و چال خشک) و سازند ایلام-سروک (تاقدیس‌های تنوش و شاپوش) در پنج کیلومتری جنوب غرب ایذه توصیف شده است. شبیه سازی با استفاده از مدل تخلخل دوگانه برای تفسیر افت در شکستگی ها و زمینه سنگ انجام شده است. سپس با استفاده از نتایج حاصل از تفسیر آزمایشات پمپاژ، کارست سازند آسماری در تاقدیس کمردراز با یک مدل دو مخزنی شبیه سازی شده است. حداکثر و حداقل قابلیت انتقال به ترتیب در چاه ۲ (۲۱۲۰۰ متر مربع بر روز) و چاه ۷ (۶۴ متر مربع بر روز) به دست آمده است. منحنی برازش مشتق افت در چاه های ۶، ۴ و ۷ (آبخوان های کارستی ایلام - سروک) نشان دهنده رفتار تخلخل دوگانه مشابه با سیستم های سازند سخت می باشد. در شرایط طبیعی، سیستم کارست آسماری افزایش یکنواخت سطح آب در چاه های ۱ و ۲ (آبخوان کارستی آسماری) را نشان می دهد که منطبق با تغذیه افشان و سیستم جریان زمینه غالب با قابلیت ذخیره زیاد می باشد. نتایج نشان می دهد که مدل مخزن دوگانه، نمی تواند به خوبی اثرات تاخیر تغذیه در سیستم افشان و جریان غالب در زمینه آهک با نفوذپذیری کم و قابلیت ذخیره بسیار زیاد را شبیه سازی نماید.

واژه‌های کلیدی: آزمایش پمپاژ، آبخوان کارستی، آسماری، تخلخل دوگانه، ایذه

مقدمه

این سیستم نامعلوم می باشد. در سالیان اخیر تعداد زیادی مدل تحلیل آزمایش پمپاژ و شبیه سازی سیستم جریان ارایه شده است. در همه آنها سیستم شکستگی به صورت منظم در نظر گرفته شده است که سنگ را به بلوک‌های با ابعاد مساوی تقسیم می کنند. این مدل ها معمولاً روش های انطباق با منحنی- های تیپیک را مورد استفاده قرار می دهند ولی در قیاس با دیگر مدل ها، عملاً تعداد کمتری از منحنی های تیپیک بر اساس تابع چاه (Well function) را می توان برای آنها حساب نمود. بدین لحاظ این گونه مدل ها اهمیت کمتری در تحلیل آزمایشات پمپاژ در سازندهای خردشده دارند (Kruseman and Ridder, 1991). یکی از روش های مدل سازی در محیط درز و شکاف دار، روش تخلخل دوگانه می باشد که در آن آبخوان به صورت مجموعه ای از بلوک های زمینه متخلخل با نفوذ پذیری کم که توسط شکستگی های متصل به هم با نفوذ پذیری زیاد، مجزا شده اند در نظر گرفته می شوند. در این حالت، جریان از بلوک ها به شکستگی ها می تواند به دو صورت شرایط شبه ماندگار یا

روش های مختلفی برای تفسیر آزمایشات پمپاژ و تعیین الگوهای جریان آب زیرزمینی در سیستم های کارستی ارائه شده است. بر اساس طبقه بندی کوینلن و ایورس (Quinlan & Ewers, 1985) برای سیستم های کارستی با توسعه ضعیف یا سیستم های کارستی جریان انتشاری، روش های تفسیر آزمایش پمپاژ در محیط خرد شده را می توان در نبود جریان متمرکز مورد استفاده قرار داد. شکستگی های موجود در سازندها به شدت بر روی جریان سیال در آن سازندها تاثیر گذارند. بنابراین معادلات جریان چاه که عمدتاً برای آبخوان های همگن ارایه شده اند، نمی توانند به خوبی جریان در سنگ های خردشده و کارستی را توصیف نمایند. عامل پیچیده کننده در تحلیل آزمایشات پمپاژ در سنگ های خردشده، الگوی شکستگی ها می باشد، که به ندرت به درستی مشخص است. بنابراین یکی از مشکلات در تحلیل نتایج آزمایش پمپاژ، تعیین

تغییرات σ باعث تغییر مدت زمان بخش هموار منحنی می شود (منحنی تاپس در زمان انتهایی به صورت افقی در می آید). مقادیر زیاد Λ نشان می دهد که آب از شکستگی ها به سرعت زهکشی می شود، سپس تخلیه آب از بلوک ها رخ می دهد. مقادیر کم Λ نشان دهنده کند بودن حالت انتقالی است (Kruseman and Ridder, 1991). جهت مدل سازی پمپاژ در آبخوان های کارستی ایذه، از روش های مبتنی بر مدل تخلخل دوگانه استفاده شده است. در این دیدگاه، داده های آزمایش پمپاژ نمایانگر اندازه پاسخ ترکیبی از تخلخل زمینه و شکستگی می باشند. بنابراین جهت توصیف خصوصیات هیدرولیکی آبخوان های کارستی و تفسیر آزمایشات پمپاژ، نرخ تبادل جریان بین زمینه و شکستگی های انحلالی می بایست مشابه با دیگر پارامترهای هیدرودینامیکی تعیین شود. با توجه به آنکه شیوه معینی برای تعیین نسبت تبادل وجود ندارد، بدین لحاظ تفسیرهای مدل تخلخل دوگانه با چالش های اساسی روبرو می باشند. در توصیف سیستم های جریان بر اساس مدل تخلخل دوگانه، سیستم کارستی به صورت دو مخزن آب آزاد در ارتباط با یکدیگر در نظر گرفته می شود. بر این اساس مدل کارست منطقه مورد مطالعه به صورت دوتایی با مخزن شبکه مجرای و شکستگی و مخزن زمینه ای تعریف می شود (شکل ۲). در شکل ۲، سیستم مجرای (مخزن ۱) با سرعت جریان نسبتا زیاد و ظرفیت ذخیره کم در مقیاس حوضه ای مشخص می شود. بسته به بزرگی سرعت جریان، جریان آشفته یا خطی می تواند در مجاری یا شکستگی ها رخ دهد. مخزن ۱ در شکل ۲ توسط نفوذ از بارش تغذیه می شود و توسط پمپاژ مورد تخلیه قرار می گیرد. تبادل با مخزن ۲ (β) به بار هیدرولیکی در دو مخزن بستگی دارد. بار هیدرولیکی در مخزن ۱ در سرتاسر شبکه کارستی یکسان در نظر گرفته می شود و این بار توسط مقدار آستانه ای (Th_c) که منطبق با تراز چشمه (که به عنوان سرریز مخزن عمل می نماید) می باشد، محدود می شود. با فرض تخلخل مجرای برابر یک ($\phi_f = 1$)، معادله بقاء حجم در این مخزن به صورت زیر در می آید (Marechal et al., 2008):

$$\frac{dh_f}{dt} = \frac{\beta + P - Exp - Q_{SP}}{S_f} \quad (4)$$

که S_f مساحت سطح آزاد آب در شبکه مجرای زهکشی شونده می باشد. مخزن ۲ منطبق با زمینه سنگ آهک می باشد که توسط مجاری و شکستگی ها (مخزن ۱) زهکشی می شود. این مخزن توسط نفوذ تراوشی از بارش و / یا نفوذ از طریق شکستگی ها و شکاف های درون توده کارستی تغذیه می شود. جریان تراوشی (β) تبدالی بین مخزن ۱ و ۲ با فرض جریان داری در زمینه ای که به صورت محیط متخلخل در نظر گرفته می شود، محاسبه شده که تابعی از اختلاف بار هیدرولیکی بین دو مخزن می باشد. بار هیدرولیکی در مخزن ۲ (h_m) در کل حوضه کارستی یکسان فرض می شود. معادله بقاء جرم در این مخزن عبارت است از (Marechal et al., 2008):

ناماندگار باشد. در جایی که جریان از بلوک ها به سمت شکستگی ها رخ می دهد، توده سنگ خرد شده متشکل از دو محیط، یکی محیط بلوک های متخلخل با نفوذ پذیری کم و دیگری محیط متخلخل با نفوذ پذیری زیاد و تخلخل ثانویه شکافی (یا شکستگی) می باشد (شکل ۱). دو مدل تخلخل دوگانه که به طور گسترده ای در مطالعات مختلف مورد استفاده قرار می گیرند شامل جریان حالت شبه پایدار (Warren and Root, 1963) و جریان ناپایدار بلوک به شکستگی (Kazemi, 1969) می باشند. در روش جریان شبه پایدار، فرض می شود که توزیع بار هیدرولیکی در بلوک ها نامعلوم است. در این روش همچنین فرض می شود که در یک حجم عنصری مرجع (REV) بار هیدرولیکی شکستگی ها و بلوک ها با یکدیگر متفاوت است و بزرگی جریان ایجاد شده متناسب با اختلاف بار هیدرولیکی می باشد (Moench, 1984). در حل وارن و روت (Warren and Root, 1963)، آبخوان درز و شکاف دار شامل بلوک ها و شکاف های مجزا می باشد. هدایت هیدرولیکی، ضریب ذخیره ویژه، و ارتفاع تراز آب در دو بخش آبخوان به طور جداگانه تعریف می شود. فرض اصلی مدل تخلخل دوگانه آن است که نرخ جریان بین زمینه و شکستگی ها (q_α) متناسب با هدایت هیدرولیکی زمینه و اختلاف بار هیدرولیکی بین دو سیستم می باشد:

$$q_\alpha = \alpha k_m (h_m - h_f) \quad (1)$$

که k_m هدایت هیدرولیکی زمینه، h_f بار هیدرولیکی درز و شکاف، h_m بار هیدرولیکی زمینه، و α پارامتری می باشد که به هندسه بلوک های زمینه بستگی دارد و دارای بعد L^{-2} می باشد. در تحلیل آزمایش پمپاژ با مدل تخلخل دوگانه دو پارامتر بدون بعد جهت توصیف جریان از زمینه به شکستگی ها به صورت زیر تعریف می شوند:

$$\sigma = \frac{S_s^m}{S_s^f} \quad (2)$$

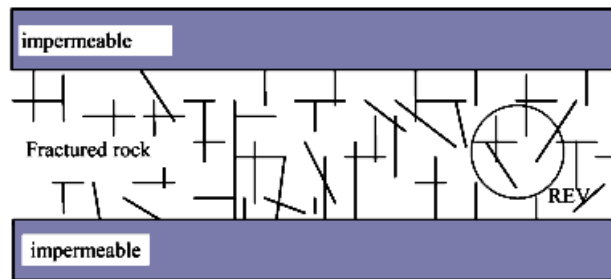
$$\Lambda = \frac{\alpha r^2 k_m}{k_f} \quad (3)$$

که σ نسبت بدون بعد ضریب ذخیره می بایست بیشتر از ۱ باشد، Λ ضریب جریان بین تخلخلی در دامنه ۰/۰۰۱ تا ۵ می باشد، S_s ضریب ذخیره ویژه، و نمایه های m و f معرف محیط زمینه و محیط مجرای - شکستگی می باشند. برای یک σ معین، مقادیر Λ متفاوت باعث تغییر زمان آغاز بخش هموار منحنی افت می شود، مقادیر Λ زیادتر باعث طولانی تر شدن زمان آغاز کاهش افت در بخش میانی هموار منحنی می شوند. برای یک Λ معین،

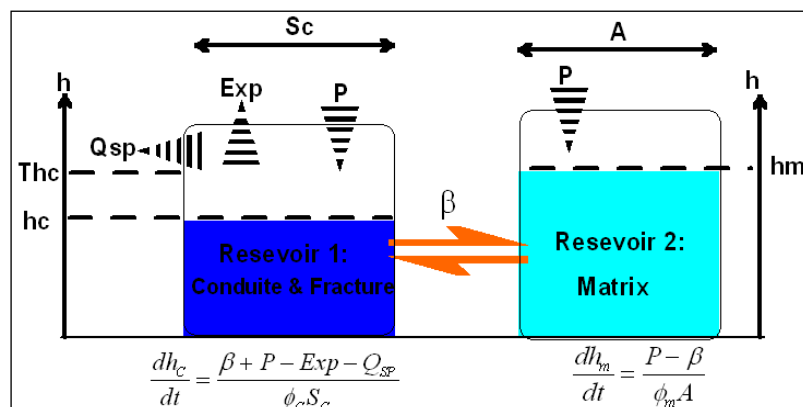
(زمینه سنگ) نسبت به پمپاژ طولانی مدت با دبی ثابت مورد تحلیل قرار گرفته است. شبیه سازی با استفاده از روش مدل تخلخل دوگانه برای تغییر افت در شکستگی ها و زمینه سنگ انجام شده است. سپس با استفاده از نتایج حاصل از تفسیر آزمایشات پمپاژ، کارست سازند آسماری در تاقدیس کمردراز با یک مدل دو مخزن (شامل یک مخزن جریان در شکستگی های کارستی و یک مخزن جریان افشان در زمینه که تبادل جریان بین دو مخزن منحصراً با استفاده از روش با مبنای فیزیکی (اختلاف متغیر در بار هیدرولیکی) مدل می شود، شبیه سازی شده است.

$$\frac{dh_m}{dt} = \frac{P - \beta}{\phi_m A} \quad (5)$$

که A مساحت حوضه کارستی و ϕ_m آبدهی ویژه (تخلخل زهکشی) زمینه آهک می باشد. در این مقاله آزمایشات پمپاژ طولانی مدت در هفت حلقه چاه آهکی در سازند آسماری (تاقدیس های کمردراز و چال خشک) و سازند ایلام-سروک (تاقدیس های تنوش و شاویش) در پنج کیلومتری جنوب غرب ایذه توصیف شده است. پاسخ سیستم در مجاری انجالی و سنگ کربناته پوشاننده آن



شکل ۱. مدل تفهیمی تخلخل دوگانه متشکل از بلوک های با نفوذپذیری کم و شکستگی های با نفوذپذیری زیاد (Warren and Root, 1963)



شکل ۲. نمودار شماتیک مدل مخزن دوگانه کارست و معادلات بقاء حجم

(تصحیح شده بر اساس Marechal et al., 2008)

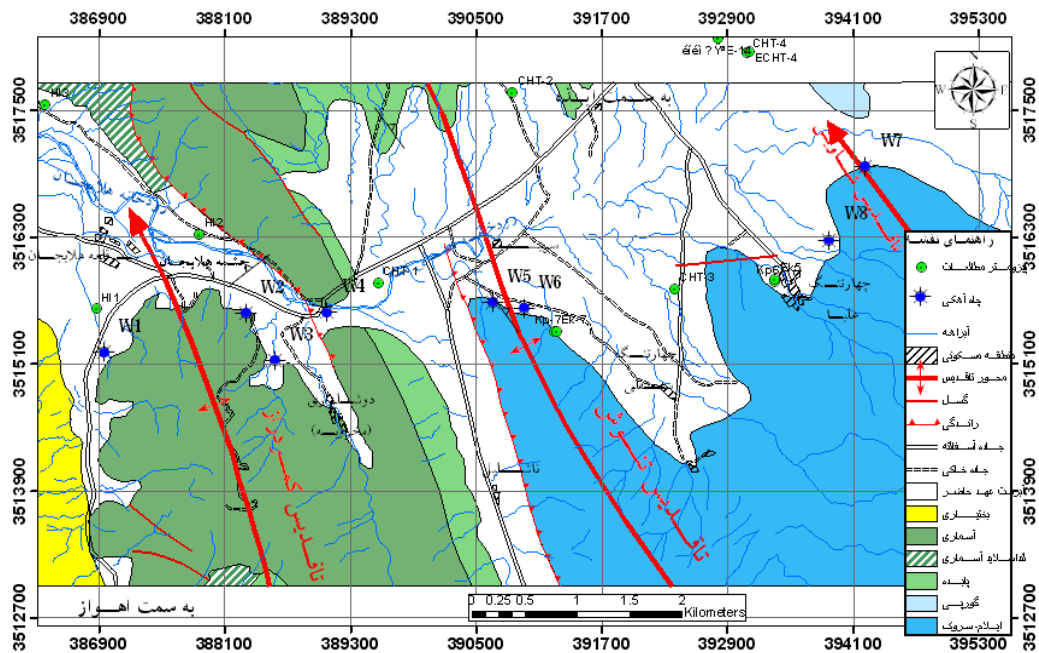
زمین شناسی و هیدروژئولوژی

ذخیره زیاد و جریان پایه غالب و کارست ایلام - سروک به عنوان سیستم با جریان سریع مجرای غالب و ظرفیت ذخیره کم تشخیص داده شده است. مدل های تفهیمی سیستم های کارستی مذکور در منطقه ایزه در شکل (۴) نشان داده شده است. فرآیند کارست شدگی باعث ایجاد آبخوان تخلخل دو گانه در سازند آسماری شده است به طوری که تخلخل شکستگی و مجرای با یکدیگر وجود دارند ولی بر خلاف کارست مزوزوئیک (آهک ایلام - سروک)، زمینه آهکی نیز به راحتی جریان افقی را هدایت می کند. بر این اساس، کارست سازند آسماری در منطقه ایزه با جریان پایه غالب در منطقه اشباع (که احتمالاً نزدیک به شرایط داری می باشد) مشخص می شود، در حالی که انحرافات موضعی از این حالت نیز وجود دارد. هر چند که رخدادهای و حفرات در بخش غیر اشباع کارست سازند آسماری در منطقه ایزه در سطح، اکتشافات ژئوالکتریک (ناصری و همکاران، ۱۳۸۸) و در حفاری های اکتشافی محرز شده است ولی توسعه شبکه مجرای در بخش پایینی آبخوان کارستی ضعیف می باشد. ظرفیت ذخیره کارست آسماری زیاد و مخزن عظیم آب زیرزمینی را در خود جای داده است. کارست ایلام - سروک در منطقه ایزه در حالت میانه بین دو سیستم شدیداً کارست و تا حدی کارستی قرار دارد. از این رو مولفه جریان سریع همراه با جریان پایه می باشد.

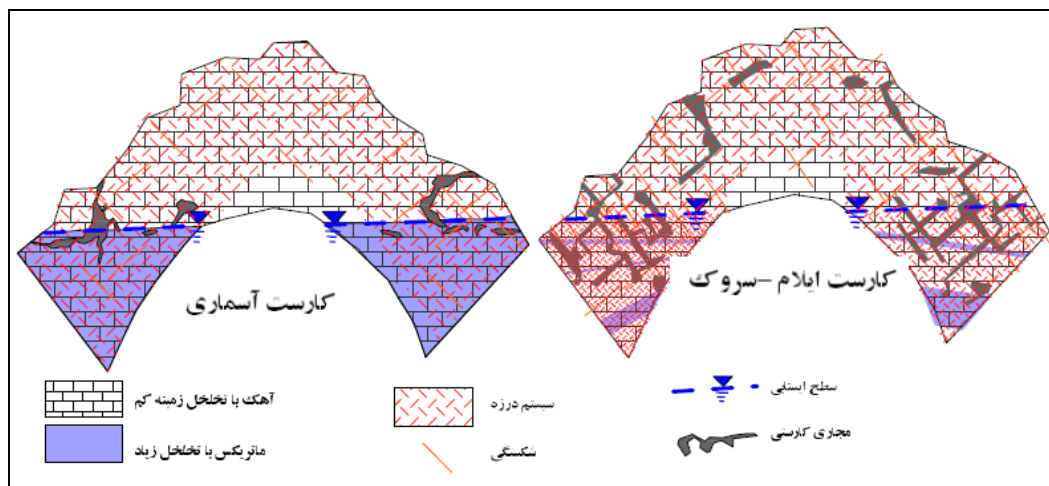
مواد و روش تحقیق

آبخوان های کارستی جنوب غرب ایزه در دو سازند آهکی اصلی آسماری و ایلام - سروک تشکیل شده اند. در این تحقیق سعی شده است تا با تفسیر آزمایش پمپاژ در چاه های آهکی منطقه مورد مطالعه و استفاده از نتایج آنها در تهیه مدل های تخلخل دو گانه، سیستم کارست سازندهای آسماری و ایلام - سروک مورد شبیه سازی قرار گیرد. آزمایش پمپاژ چاه های آهکی منطقه ایزه در سال ۱۳۸۶ انجام شده است. هدف اصلی آزمایشات پمپاژ انجام شده ارزیابی ضرایب هیدرودینامیک آبخوان و تعیین توان بهره برداری متمرکز از آبخوان های مذکور است. در طی آزمایش پمپاژ، افت در بازه های متناسب با زمان پمپاژ اندازه گیری شده است. به منظور تعیین برداشت مجاز، ظرفیت ویژه و دبی بحرانی، چاه ها در چهار پله ۱۲ ساعته پمپاژ شده اند. آزمایش پمپاژ دور ثابت در چاه های آهکی مورد مطالعه در چاه های 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 داده های برگشت سطح آب چاه ها در مدت زمان ۶ تا ۱۲ ساعت اندازه گیری گردید.

سازندهای آهکی در منطقه مورد مطالعه شامل آهک های ایلام - سروک و آسماری می باشند. سازند سروک شامل آهک های نازک لایه رسی و میکریتی و آهک های مارنی به رنگ خاکستری تیره می باشد. بر روی سازند سروک، سازند ایلام متشکل از آهک های رسی خاکستری دانه ریز نازک لایه همراه با لایه های نازک شیل سیاه رنگ قرار دارد که معمولاً در نواحی بیرون زده فرسایش آن بیشتر از سروک است. از نظر هیدروژئولوژی اهمیت سازند سروک به دلیل دارا بودن پدیده های کارست و تشکیل آبخوان بیشتر از سازند ایلام است. در منطقه ایزه تفکیک این دو سازند مشکل می باشد. بدین لحاظ با نام مشترک ایلام - سروک معرفی شده است. سازند ایلام - سروک در شمال شرق، جنوب شرق و جنوب منطقه ایزه، در هسته تاقدیس های پیون، شاپوش و تنوش رخنمون دارد (شکل ۳). بر روی سازند ایلام - سروک، سازند گورپی متشکل از آهک مارنی سفید رنگ، شیل های تیره آبی رنگ و مارن های دریایی قرار دارد. سازند پایده با رخساره شیل، مارن های آبی و ارغوانی و به طور متناوب با میان لایه های آهک رس دار، همراه با سازند گورپی در منطقه رخنمون دارد. سازند آسماری شامل سنگ های آهکی با بین لایه های آهک فسیل دار کرم رنگ تا قهوه ای، هوازده و کاملاً درز و ترک دار می باشد. ارتفاعات تاقدیس های کمردراز و چال خشک از سازند آسماری پوشیده شده است (شکل ۳). آبخوان کارستی کمردراز در سنگ آهک سازند آسماری در پنج کیلومتری جنوب غرب ایزه واقع شده است. در یال شمال شرقی تاقدیس رخنمون سازند گچساران وجود ندارد ولی در یال جنوب غربی در بعضی نقاط سازند گچساران رخنمون دارد. در سال های ۱۳۸۵ و ۱۳۸۶ سه حلقه چاه در آبخوان کارستی کمردراز و یک حلقه چاه در تاقدیس چال خشک و چهار حلقه چاه آهکی در سازند ایلام - سروک در تاقدیس های شاپوش و تنوش جهت تامین آب شرب شهر ایزه حفر شده اند (چاه های W5 تا W8 در شکل ۲). آبخوان کارستی کمردراز دارای یک سیستم تخلیه اصلی (چشمه هلايجان) در دماغه شمال غربی تاقدیس می باشد. آب چشمه هلايجان دارای کیفیت خوب با هدایت الکتریکی بین ۴۵۰ تا ۵۰۰ میکرو موهس بر سانتی متر می باشد. دبی مجموع سه دهنه چشمه هلايجان در سال های با بارش میانگین بین ۲۰۰ تا ۱۲۰۰ لیتر در ثانیه متغیر بوده است، ولی رخدادهای دو سال خشکسالی مداوم در سال های ۱۳۸۶ و ۱۳۸۷ باعث خشک شدن چشمه برای اولین بار در سالیان اخیر در مرداد ۸۷ شده است. بر اساس نتایج حاصل از تحلیل سری های زمانی دو سیستم کارستی ایزه (ناصری و همکاران، ۱۳۸۹)، کارست آسماری به عنوان سیستم با ظرفیت



شکل ۳. نقشه زمین شناسی منطقه مورد مطالعه



شکل ۴. مدل های تفهیمی سیستم های کارستی آسماری (جریان پایه غالب با ظرفیت ذخیره زیاد) و آهک ایلام - سروک

(جریان سریع غالب و ظرفیت ذخیره کم) (ناصری و همکاران، ۱۳۸۰)

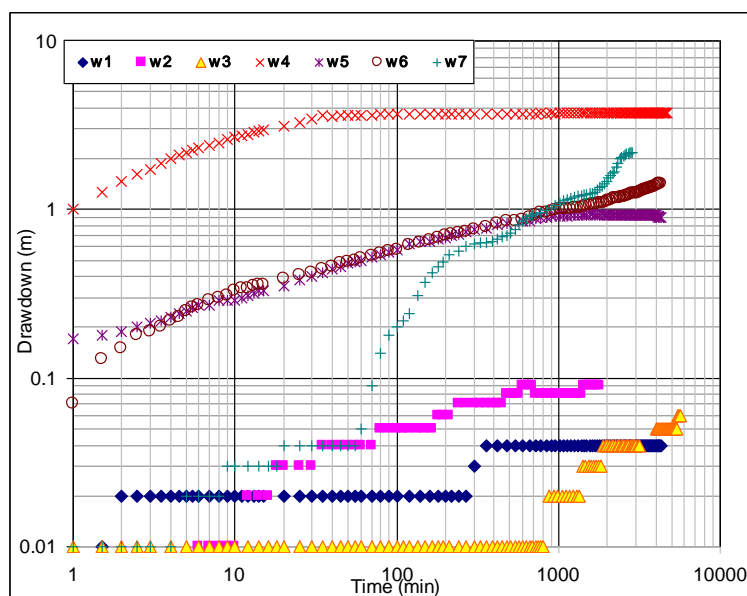
بحث

با توجه به نمودار زمان - افت آزمایش پمپاژ چاه های مورد مطالعه (شکل ۵)، افت در سیستم زمینه آهکی در چاه های ۱ تا ۳ کم می باشد. افت ناچیز در چاه های ۱ و ۳ نمی تواند با روش های معمول مورد تفسیر قرار گیرد و اختلاف منحنی های تیپیک روش های مرسوم تخلخل دو گانه با منحنی افت واقعی زیاد است. منطبق با یافته ناصری و همکاران (۱۳۸۹) داده های افت در چاه های مشاهده ای ۱ و ۳ در تاقدیس کمردراز به دلیل قابلیت انتقال و ذخیره بسیار زیاد زمینه چاه های مذکور بوده است به طوری که با آبکشی حدود ۶۰ لیتر در ثانیه از چاه ۱ و حدود ۴۵ لیتر در ثانیه از چاه ۳، سطح آب در چاه های مشاهده ای افت ناچیزی نموده است. بر این اساس عملا منحنی های زمان - افت و زمان - مشتق افت در این دو چاه الگوی تخلخل دوگانه را نشان نمی دهند. علیرغم آنکه چاه های مذکور در آهک آسماری حفر شده اند ولی رفتار افت در آنها مشابه با آبخوان های محیط متخلخل می باشد. بدین لحاظ داده های افت این دو چاه در تفسیر آزمایش پمپاژ با مدل تخلخل دوگانه مورد استفاده قرار نگرفته است. نمودارهای لگاریتمی زمان - افت داده های حاصل از پمپاژ چاه های آهکی توسط مدل تخلخل دو گانه مورد تفسیر و مقایسه قرار گرفتند. نتایج حاصل از تفسیر داده های پمپاژ برای پنج حلقه چاه آهکی در جدول (۱) آورده شده است. جهت تفسیر آزمایش پمپاژ چاه ها از روش تخلخل دوگانه وارن و روت (Warren and Root, 1963) استفاده شده است. حداقل قابلیت انتقال به ترتیب در چاه ۲ (۲۱۲۰۰ متر مربع بر روز) و چاه ۷ (۶۴ متر مربع بر روز) به دست آمده است. نمودارهای برازش منحنی های تیپیک با داده های آزمایش پمپاژ برای چاه ها در شکل های (۶ و ۷) نشان داده شده است. در طی آزمایش پمپاژ چاه های مذکور، سیستم شکستگی با نفوذپذیری زیاد به عنوان منبع اولیه آب پمپاژ عمل می نماید. در نتیجه، بار هیدرولیکی در شکستگی ها و مجاری کاهش می یابد (افت زیاد در شبکه شکستگی)، در نتیجه گرادیان هیدرولیکی بین زمینه و مجاری کارستی افزایش می یابد. این حالت باعث می شود که جریان از زمینه به سمت مجاری انحلالی بزرگ تر با نرخ بیشتری نسبت به قبل از پمپاژ رخ دهد. چاه شماره ۲ ایزه در آهک آسماری واقع در یال شمال شرقی تاقدیس کمردراز حفاری شده است (شکل ۳). چاه با دبی ۴۸ لیتر در ثانیه به مدت ۱۸۰۰ دقیقه مورد پمپاژ واقع گردید که افت حداکثر منطبق با آن ۹ سانتی متر بوده است. چاه شماره ۴ ایزه در آهک آسماری واقع در تاقدیس چال خشک حفاری شده است. چاه با دبی ۸۵ لیتر در ثانیه به مدت ۴۶۸۰ دقیقه پمپاژ شد که افت حداکثر منطبق با آن ۳/۷۳ متر بوده است. چاه شماره ۵ ایزه در آهک ایلام - سروک واقع در تاقدیس تنوش حفاری شده است. چاه با دبی ۶۰ لیتر در ثانیه به مدت ۴۳۲۰ دقیقه مورد پمپاژ واقع گردید که افت حداکثر منطبق با آن ۰/۹ متر بوده است. چاه شماره ۶ ایزه در آهک ایلام - سروک واقع در تاقدیس تنوش حفاری شده است. چاه با دبی ۳۶ لیتر در ثانیه به مدت ۴۳۲۰ دقیقه پمپاژ شد که افت

حداکثر منطبق با آن ۱/۴۲ متر بوده است. چاه شماره ۷ ایزه در آهک ایلام - سروک واقع در تاقدیس شلویش حفاری شده است. چاه با دبی ۲۷ لیتر در ثانیه به مدت ۲۸۸۰ دقیقه مورد پمپاژ واقع گردید که افت حداکثر منطبق با آن ۲/۱۹ متر بوده است. در شکل های ۶ و ۷ نمودار تشخیصی (Diagnostic plot) زمان - مشتق افت نیز ارائه شده است. منحنی برازش زمان - مشتق افت در چاه های ۴، ۶ و ۷ نشان دهنده رفتار تخلخل دوگانه مشابه با سیستم های کارستی می باشد. در چاه ۲ رفتار مشخصی در منحنی زمان - مشتق افت قابل تشخیص نمی باشد و منحنی انطباق، برازش مناسبی با داده های مشتق افت ندارد ولی در چاه ۵ دو بخش خط مستقیم قابل تشخیص می باشد. قابلیت انتقال چاه شماره ۷ حدود ۶۵ متر مربع بر روز به دست آمده است که نمایانگر آبدی ضعیف چاه مذکور است. پارامترهای هیدرودینامیک در چاه های شماره ۵ و ۶ در آهک ایلام - سروک تاقدیس تنوش که به فاصله ۵۰۰ متری از یکدیگر حفر شده اند، بسیار متفاوت است. قابلیت انتقال چاه های ۵ و ۶ به ترتیب برابر ۳۶۹۰ و ۸۴۳ متر مربع بر روز محاسبه شده است. ذخیره ویژه زمینه در چاه ۶ برابر ۰/۰۴۶ و در چاه ۵ برابر ۰/۰۰۳ به دست آمده است. این نشان دهنده تغییرات و ناهمگنی شدید سیستم جریان در این دو چاه می باشد. علاوه بر این زمان متفاوت آزمایش پمپاژ (چاه شماره ۵ در انتهای فصل مرطوب و چاه شماره ۶ در انتهای فصل خشک و با افت ۱۶ متری سطح آب نسبت به دوره مرطوب) می تواند تا حدودی در اختلاف پارامترهای هیدرودینامیکی دو چاه مذکور موثر بوده باشد. به منظور ارائه مدل دو مخزنی برای آبخوان های آهکی مورد مطالعه، دو چاه نمونه در سازند های آسماری و ایلام - سروک انتخاب شدند (چاه شماره ۲ در تاقدیس کمردراز و چاه شماره ۶ در تاقدیس تنوش). پارامترهای حاصل از تفسیر آزمایش پمپاژ در چاه های مذکور و پارامترهای لازم جهت مدل دو مخزنی برای آبخوان های کارستی در دوره چهار ماهه از اول مهر ماه تا پایان دی ماه ۱۳۸۸ در جدول (۲) آورده شده است. مساحت حوضه کارستی (A)، تخلیه از چاه ها (Exp)، و تخلیه از چشمه (Qsp) اندازه گیری شده و به عنوان پارامتر معلوم به مدل داده شده است. مقدار تغذیه از بارش بر اساس نفوذ متوسط آهک های منطقه حاصل از بیلان محاسبه شده (سازمان آب و برق خوزستان، ۱۳۸۹) برآورد شده است. جهت حصول روند تغییرات مولفه تبادل جریان (β) با مساحت سطح آزاد آب در روزهایی که نفوذ از بارش رخ داده است، با مقادیر مختلف β از صفر تا ۰/۱ میلیون متر مکعب در روز، مقادیر معادل Sc به دست آمده است. نمودار تغییرات Sc با تغذیه از بارش برای مقادیر مختلف β (شکل ۸) نمایانگر آن است که تا مقادیر تغذیه از بارش حدود ۰/۲۳ میلیون متر مکعب مقادیر Sc با تغییر β افزایش کمی می یابند و حداکثر Sc به حدود ۲۰ کیلومتر مربع می رسد. در مقادیر β ۰/۰۱ و ۰/۰۰۵ مقدار Sc خیلی نزدیک به هم می باشد ولی با افزایش β تا ۰/۰۱ مقدار Sc سریعاً افزایش می یابد. همچنین با در نظر گرفتن سیستم بدون تبادل جریان در کارستی (یعنی $\beta = 0$) مقدار Sc بدون تغییر قابل ملاحظه با تغذیه از بارش بین ۰/۶ تا ۰/۷ کیلومتر مربع در

جریان زمینه غالب با قابلیت ذخیره زیاد می باشد که این با نتایج حاصل از تحلیل آماری سطح آب چاه های آهکی سازند آسماری در طی چند سال گذشته (ناصری و همکاران، ۱۳۸۹) در انطباق است. تغذیه از بارش در مدل مخزن دوگانه کارست سازند آسماری منطقه ایذه به صورت ناگهانی و روزانه بوده و نتایج سطح آب حاصل از مخزن شکستگی و کارستی نمی تواند جواب منطقی به دست دهد. در مدل مخزن دوگانه، اثرات تاخیر تغذیه در سیستم افشان و جریان غالب در زمینه آهک با نفوذپذیری کم و قابلیت ذخیره بسیار زیاد نمی تواند به خوبی مورد شبیه سازی واقع شود. از این رو می توان از مدل های محیط متخلخل برای شبیه سازی سیستم کارست آسماری در تاقدیس کمردراز ایذه استفاده نمود.

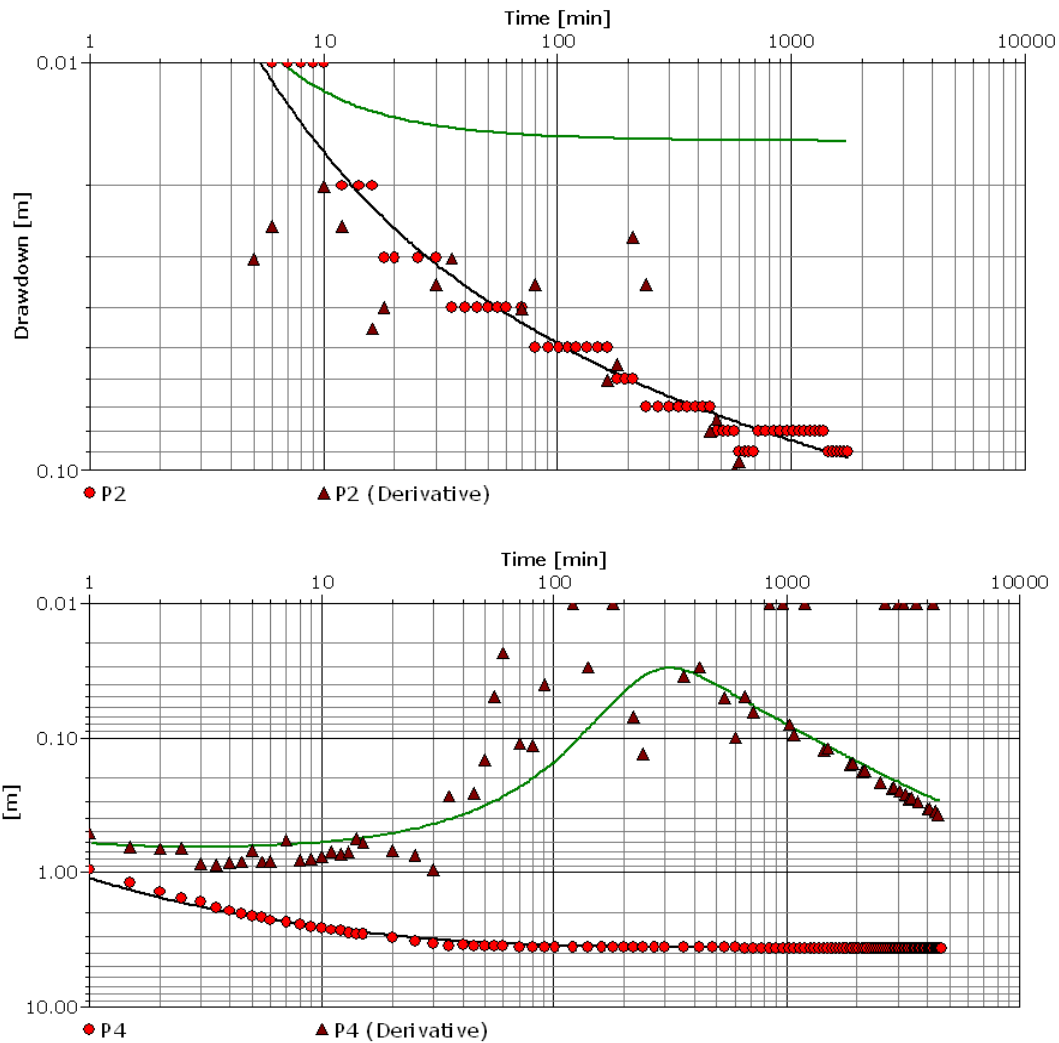
نوسان است. بر این اساس جهت مدل نمودن سطح آب در سیستم کارست آسماری، مدل دو مخزنی با تبادل جریان برابر 0.005 میلیون متر مکعب بین دو مخزن در نظر گرفته شد. با در نظر گرفتن مقادیر Sc منطبق با $\beta = 0.005$ و دیگر پارامترهای معادله ۴، تغییرات سطح آب روزانه در چاه های آب ۱ و ۲ مدل سازی شد. نتایج محاسبات سطح آب کارست با اندازه گیری روزانه سطح آب در چاه ها مورد مقایسه قرار گرفت (شکل ۹). به طور کلی مدل مخزن دو گانه تا اوایل شروع دوره بارش تا حدی توانسته سطح آب کارست را در چاه های آهکی تاقدیس کمردراز شبیه سازی نماید ولی با رخداد بارش ها، اختلافات سطح آب مشاهده ای و اندازه گیری شده جهت دار می شوند. در شرایط طبیعی سیستم کارست آسماری افزایش یکنواخت سطح آب در چاه های ۱ و ۲ را نشان می دهد که منطبق با تغذیه افشان و سیستم



شکل ۵. نمودارهای افت-زمان مربوط به آزمایش پمپاژ چاه های آهکی منطقه مورد مطالعه

جدول ۱. نتایج حاصل از تفسیر آزمایش پمپاژ چاه های آهکی ایذه بر اساس روش تخلخل دو گانه

Observation Well	RMS [m]	T [m ² /d]	Ss (matrix)	Sigma	Ss (fracture)	Lambda
P2	۰/۰۴۰	۲۱۲۰۰	۰/۰۲۵۶	۳/۳۸	۰/۰۰۷۵۷۴۰	۴/۶۷
P4	۰/۴۱	۸۲۰	۰/۰۰۰۶۳	۱۳۴	۰/۰۰۰۰۰۴۷	۰/۰۲۳۴
P5	۰/۴۷	۳۶۹۰	۰/۰۰۰۳	۱۷	۰/۰۰۰۰۱۵۹	۰/۶۲
P6	۰/۶۱	۸۴۳	۰/۰۰۴۶	۱۰/۷	۰/۰۰۰۴۲۷۱	۰/۳۵۳
P7	۰/۳۰	۶۴/۴	۰/۰۳۶۷	۱۰/۴	۰/۰۰۳۵۲۸۸	۴/۴۴



شکل ۶. نمودارهای لگاریتمی زمان - افت و زمان مشتق افت در چاه های مشاهده ای ۲ و ۴ در آبخوان کارستی سازند آسماری ایذه

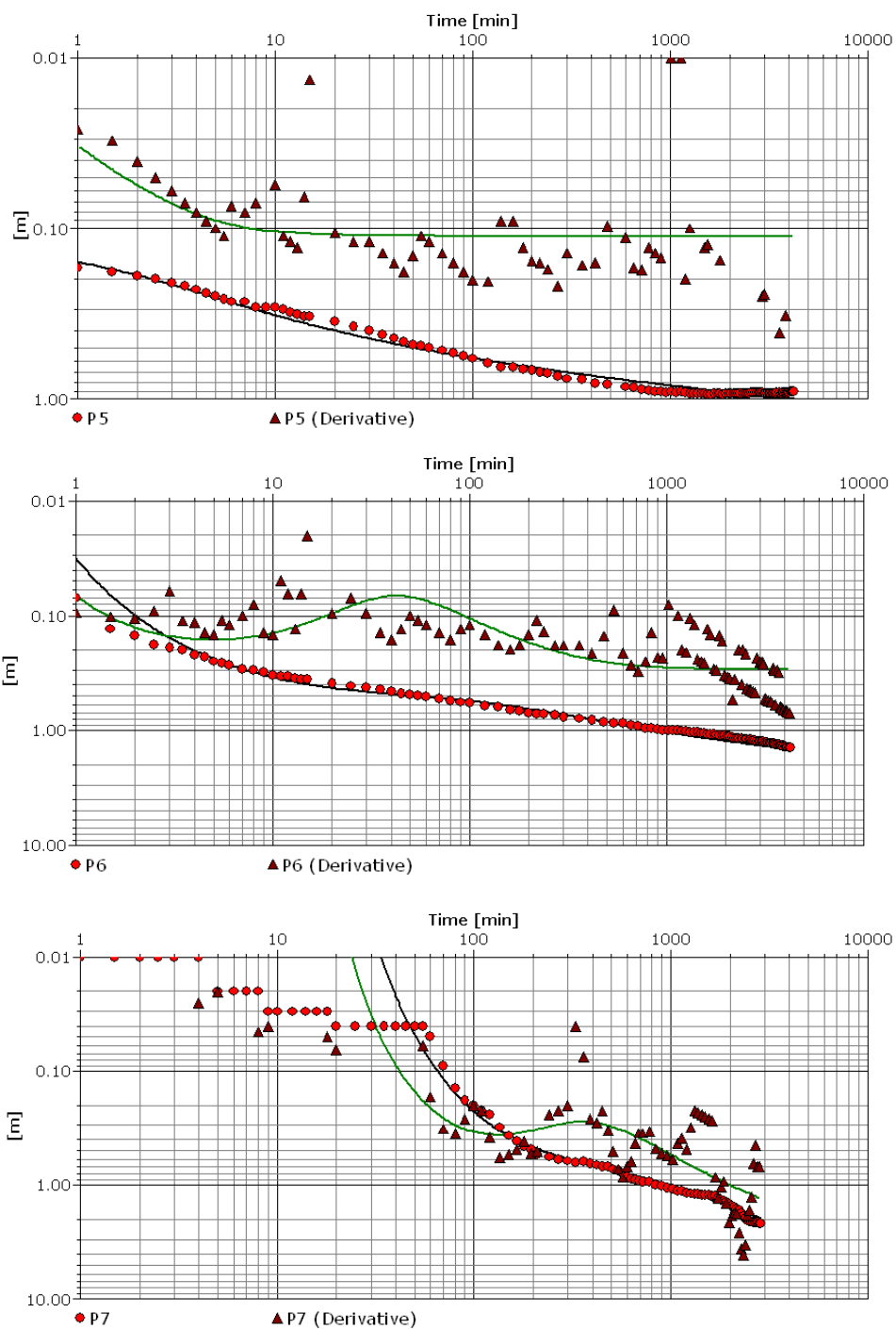
جدول ۲. مقادیر پارامترهای اولیه جهت تعیین مدل دو مخزنی در آبخوان های کارستی آسماری و ایلام - سروک ایذه (A مساحت حوضه آبخیز کارست بر حسب متر مربع و Exp برداشت از

چاه ها، Qsp تخلیه از چشمه، و P تغذیه از بارش بر حسب میلیون متر مکعب)

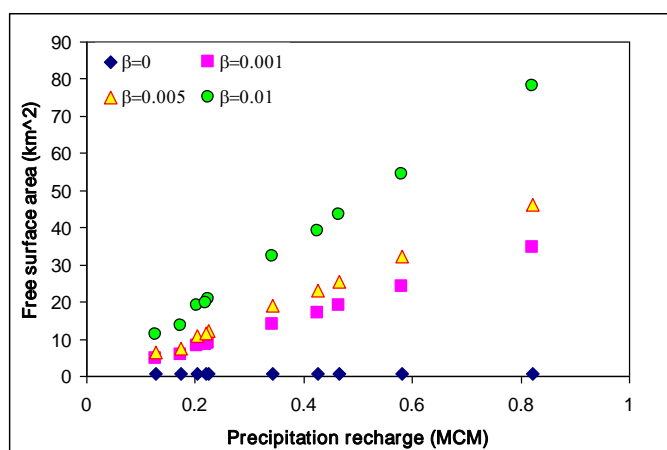
Karst system	φ_m	A	Exp	Qsp	P	β	Sc
Asmari	۰/۰۲۵۶	۲۷/۶	۱/۴۵	۰/۳۹	۴/۳۱	Unknown	Unknown
Ilam-Sarvak	۰/۰۰۰۳	۲۱/۱	۰/۳۱	۰	۳/۲۹	Unknown	Unknown

مقادیر مختلف β از ۰ تا ۳ میلیون متر مکعب به مدل وارد شده و بر اساس رابطه تعادلی مدل دو مخزنی $S_c = \frac{\varphi_m A (\beta + P - Exp - Qsp)}{P - \beta}$ ، مساحت

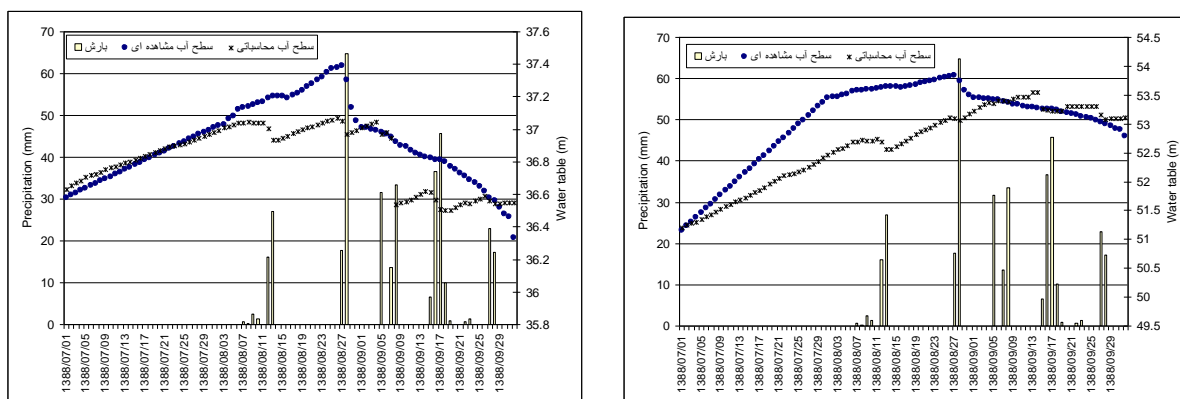
سطح آزاد آب در سیستم مجرای محاسبه می شود.



شکل ۷. نمودارهای لگاریتمی زمان - افت و زمان - مشتق افت در چاه های مشاهده ای ۵، ۶ و ۷ در آبخوان های کارستی سازند ایلام - سروک ایذه



شکل ۸. نمودار تغییرات سطح آب آزاد در مجاری با تغذیه از بارش برای مقادیر تبادل جریان مختلف بین دو سیستم مجرای و زمینه کارست



شکل ۹. هیدروگراف عمق سطح آب محاسباتی و مشاهداتی چاه های ۱ (سمت چپ) و ۲ (سمت راست) واقع در سازند آسماری تاقدیس کمردراز

هیدرودینامیک در چاه های ۵ و ۶ در آهک ایلام - سروک تاقدیس تنوش که به فاصله ۵۰۰ متری از یکدیگر حفر شده اند، بسیار متفاوت است که نشان دهنده تغییرات و ناهمگنی شدید سیستم جریان در این دو چاه می باشد. مدل مخزن دوگانه به منظور صحت سنجی نتایج قبلی در مورد سیستم جریان در آهک آسماری تاقدیس کمردراز به کار گرفته شد. به طور کلی مدل مخزن دو گانه تا اوایل شروع دوره بارش تا حدی توانسته سطح آب را در چاه های آهکی تاقدیس کمردراز شبیه سازی نماید ولی با رخداد بارش ها، اختلافات سطح آب مشاهده ای و اندازه گیری شده جهت دار می شوند. در شرایط طبیعی، سیستم کارست آسماری افزایش یکنواخت سطح آب در چاه های ۱ و ۲ را نشان می دهد که منطبق با تغذیه افشان و سیستم جریان زمینه غالب با قابلیت ذخیره زیاد می باشد. در مدل مخزن دوگانه، اثرات تاخیر تغذیه در سیستم افشان و جریان غالب در زمینه آهک با نفوذپذیری کم و قابلیت ذخیره بسیار زیاد نمی تواند به خوبی شبیه سازی شود.

نتیجه گیری

نتایج نشان می دهد که در سازند آسماری تاقدیس کمردراز رفتار تخلخل دوگانه رخ نمی دهد ولی افت در طی آزمایش پمپاژ در چاه های آهکی سازند ایلام - سروک و چاه آهکی شماره چهار در سازند آسماری تاقدیس چال خشک از مدل تخلخل دو گانه تبعیت می نماید. منحنی برازش مشتق افت در چاه های ۴، ۶ و ۷ نشان دهنده رفتار تخلخل دوگانه مشابه با سیستم های کارستی می باشد. در چاه ۲ رفتار مشخصی در منحنی زمان - مشتق افت قابل تشخیص نمی باشد و منحنی انطباق، برازش مناسبی با داده های مشتق افت ندارد ولی در چاه ۵ دو بخش خط مستقیم قابل تشخیص می باشد. مقادیر نسبت بدون بعد ذخیره حاصل از تفسیر ها نشان دهنده آنست که در چاه شماره ۴ ذخیره شکستگی بسیار ناچیز است. در چاه های ۶ و ۷ ذخیره زمینه حدود ۱۰ برابر ذخیره شکستگی ها می باشد ولی هدایت هیدرولیکی زمینه نسبت به شکستگی در چاه ۷ زیاد می باشد که نشان دهنده ارتباط کامل و یا کم بودن شکستگی ها در سیستم تاقدیس شلویش می باشد. پارامترهای

منابع

- سازمان آب و برق خوزستان، ۱۳۸۹. مطالعات شناخت منابع آب کارست تاقدیس های بنگستان، چال خشک، و شیرگون. مهندسين مشاور افراز پيمایش.
- ناصری، ح.ر.، علیجانی، ف.، نخعی، م.، ۱۳۸۹. مقایسه خصوصیات هیدرودینامیک سیستم کارست سازندهای آسماری و ایلام – سروک در تاقدیس های جنوب غرب ایذه. نخستین کنفرانس ملی پژوهش های کاربردی منابع آب ایران، کرمانشاه.
- ناصری، ح.ر.، نخعی، م.، علیجانی، ف. ۱۳۸۸. توموگرافی ژئوالکتریک سازندهای آهکی آسماری و ایلام – سروک در تاقدیس های جنوب غرب ایذه. بیست و هفتمین گردهمایی علوم زمین و سیزدهمین همایش انجمن زمین شناسی ایران، تهران.
- Kazemi, H., (1969), Pressure transient analysis of naturally fractured reservoirs with uniform fracture distribution. Soc. Pet. Eng. ., (1969). 451-62. Trans., AIME, 246.
- Kruseman, G. P., and N. A. de Ridder (1991), Analysis and Evaluation of Pumping Test Data. Publ 47, ILRI, Wageningen.
- Marechal, J. C., B. Ladouche, N. Dorfliger, and P. Lachassagne (2008), Interpretation of pumping tests in a mixed flow karst system, Water Resour. Res., 44, W05401, doi:10.1029/2007WR006288.
- Moench, A. F., (1984), Double-porosity models for a fissured groundwater reservoir with fracture skin, Water Resources Research, vol. 20, no. 7, pp. 831-846.
- Quinlan, J. F., and R. O. Ewers (1985), Ground water flow in limestone terranes: Strategy rationale and procedure for reliable, efficient monitoring of ground water quality in karst areas, in Proceedings of the National Symposium and Exposition on Aquifer Restoration and Ground Water Monitoring (5th, Columbus, Ohio), pp. 197-234, National Water Well Association, Worthington, Ohio.
- Warren, J. E. and P. J. Root. (1963), The behavior of naturally fractured reservoirs. Soc. of Petrol. Engrs. J., Vol. 3, 245-255.