

ارزیابی روش‌های تعیین ضرایب هیدرودینامیکی آبخوان بر اساس آزمون پمپاژ در استان فارس

علیرضا نسیمی*^۱، زرغام محمدی^۲

تاریخ دریافت: ۹۳/۰۲/۰۳ تاریخ پذیرش: ۹۴/۰۴/۱۶

^۱- دانشجوی دکترای زمین‌شناسی - آب‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه شیراز

^۲- دانشیار بخش علوم زمین، دانشکده علوم، دانشگاه شیراز

* مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: alirezanassimi@gmail.com

چکیده

ضرایب هیدرودینامیکی آبخوان‌ها در مطالعات منابع آب از قبیل محاسبات بیلان و مدل‌سازی نقش مهمی دارند و هرگونه خطای برآورد در محاسبه این ضرایب، باعث ایجاد اختلاف محسوس در نتایج بیلان و مدل عددی آب‌های زیرزمینی می‌شود. به‌طورمعمول، برای محاسبه این ضرایب از روش‌های مرسوم تاپس و کوپر-ژاکوب استفاده می‌شود که می‌تواند باعث خطا شود. همچنین، خطای احتمالی ذخیره چاه و اثر پوسته‌ای معمولاً بررسی نمی‌شوند. در پژوهش حاضر، آزمون‌های پمپاژ انجام‌شده در برخی از آبخوان‌های آبرفتی و کارستی استان فارس مورد استفاده قرار گرفتند. ابتدا ۵۲ چاه پمپاژ و مشاهده‌ای صرفاً با توجه به کامل بودن داده‌های آزمون پمپاژ در نظر گرفته شد و در نهایت بعد از بررسی دقت و کارایی آن‌ها با استفاده از نمودارهای تشخیصی، ۲۰ چاه پمپاژ و مشاهده‌ای جهت ارزیابی روش‌های تعیین ضرایب هیدرودینامیکی آبخوان انتخاب شد. جهت حذف خطای ذخیره چاه و اثر پوسته‌ای، بازه زمانی نظیر این اثرات از داده‌های افت-زمان حذف شد. این بازه زمانی با استفاده از نمودارهای تشخیصی تعیین شد. نتایج این تحقیق نشان داد که خطای استفاده از مدل‌های تحلیلی مرسوم برای محاسبه هدایت هیدرولیکی آبخوان‌های کارستی و آزاد آبرفتی به ترتیب تا ۸۸/۲۲ و ۷۶/۰۹ درصد است و این مدل‌ها صرفاً برای آبخوان‌های محبوس آبرفتی مناسب می‌باشند. همچنین ذخیره چاه و اثر پوسته‌ای در چاه‌های دهانه‌گشاد و چاه‌هایی که تحت تأثیر شکست هیدرولیکی قرار گرفته‌اند، قابل توجه بود و در سایر چاه‌ها قابل چشم‌پوشی بود.

واژه‌های کلیدی: اثر پوسته‌ای، ذخیره چاه، قابلیت انتقال، مدل تحلیلی، هدایت هیدرولیکی

Evaluation of Methods for Determining the Aquifer Hydrodynamic Coefficients based on Pumping Test in Fars Province

A Nassimi^{*1}, Z Mohammadi²

Received: 23 April 2014

Accepted: 07 July 2015

¹- Ph.D. Student of Hydrogeology, Dept. of Earth Science, Faculty of Science, Univ. of Shiraz, Iran

²- Assoc. Prof. of Hydrogeology, Dept. of Earth Science, Faculty of Science, Univ. of Shiraz, Iran

* Corresponding Author, Email: alirezanassimi@gmail.com

Abstract

Hydrodynamic coefficients of aquifer are essential parameters in water resources studies such as water budget calculations and groundwater modeling. A small error in calculation of these coefficients causes large errors in water resources studies. The conventional methods such as Theis and Cooper - Jacob are generally used to estimate the hydrodynamic coefficients while theoretically, application of these methods produce considerable errors. In addition, wellbore storage and skin effect are usually ignored. In this research, pumping tests conducted in some of karst and alluvial aquifers in Fars Province were used. Although 52 pumping and observation wells were available only with respect to the completeness of the pumping test data, 20 pumping and observation wells were selected after checking accuracy of the data using diagnostic plots for evaluation of the methods for determining the aquifer hydrodynamic coefficients. In order to eliminate the error of wellbore storage and skin effect, the corresponding time interval was removed from the original drawdown-time data. This time intervals were identified using diagnostic plots. The results revealed that the errors of traditional analytical models in calculation of the hydraulic conductivity in the karst and unconfined alluvial aquifers were 88.22% and 76.09%, respectively. These models were only suitable for confined alluvial aquifers. Also wellbore storage and skin effect were identifiable in the large diameter pumping wells and in the other wells were ignorable.

Keywords: Analytical model, Hydraulic conductivity, Skin effect, Transmissivity, Wellbore storage

مقدمه

به‌کمک مدل‌های تحلیلی و عددی، ضرایب هیدرودینامیکی آبخوان شامل قابلیت انتقال (T)، هدایت هیدرولیکی (K)، ضریب ذخیره (S) و آبدهی ویژه (S_y) برآورد می‌گردند (رنارد و همکاران ۲۰۰۹). قابلیت انتقال آبخوان، مقدار آبی است که از واحد سطح مقطع آبخوان تحت شیب هیدرولیکی واحد عبور می‌کند. هدایت هیدرولیکی توانایی یک محیط در عبور سیالات

از میان روش‌های مختلف تعیین خصوصیات هیدرودینامیکی آبخوان‌ها، آزمون پمپاژ یکی از کاربردی‌ترین آن‌هاست. در این روش یک آشفستگی تحمیلی مانند پمپاژ بر چاه اعمال و واکنش آبخوان اندازه‌گیری می‌گردد. بر اساس داده‌های به‌دست‌آمده و

¹ Pumping test

که r_{eff} شعاع مؤثر چاه، r_w شعاع چاه، e عدد اولیر یا عدد نپر و s اثر پوسته‌ای است. اثر پوسته‌ای از معادله ۲ به دست می‌آید:

$$s = \left[\left(\frac{K}{K_s} \right) - 1 \right] \cdot \ln \left(\frac{r_s}{r_w} \right) \quad [۲]$$

که K هدایت هیدرولیکی آبخوان، K_s هدایت هیدرولیکی پوسته اطراف چاه و r_s شعاع پوسته اطراف چاه است.

رسم هم‌زمان افت و مشتق لگاریتمی $(\partial s / \partial \ln t = t \partial s / \partial t)$ آن به عنوان تابع زمان، نمودار تشخیصی^۴ (شکل‌های ۱، ۲ و ۳) است. این رسم برای تسهیل شناسایی مناسب‌ترین مدل مفهومی برای تفسیر داده‌ها استفاده می‌شود (برودت و همکاران ۱۹۸۳). ایده استفاده از مشتق لگاریتمی در تفسیر آزمون پمپاژ به چائو (۱۹۵۲) نسبت داده می‌شود. او با مشتق لگاریتمی افت در زمان‌های انتهایی پمپاژ نشان داد که قابلیت انتقال آبخوان محبوس آبرفتی ایده‌آل، متناسب با دبی پمپاژ است. او سپس تکنیک‌های گرافیکی را برای اجرای این اصول توسعه داد، ولی این یافته‌ها تا وقتی که برودت و همکاران (۱۹۸۳ و ۱۹۸۹) روی این موضوع کار کردند، تأثیر محدودی داشته است. آن‌ها این ایده و تحلیل رفتار مشتق لگاریتمی را برای تعداد زیادی از مدل‌های کلاسیک جریان پیرامون چاه پمپاژ تعمیم دادند. این کار همچنین نشان داد که استفاده هم‌زمان از افت و مشتق لگاریتمی آن مزایای زیادی به شرح زیر دارد (رنارد و همکاران ۲۰۰۹):

- مشتق لگاریتمی به شدت نسبت به تغییرات در شکل منحنی افت حساس است. این باعث می‌شود رفتارهایی که به سختی در منحنی افت تنها، قابل مشاهده بودند، آشکار شوند.

- تحلیل نمودار تشخیصی داده‌ها، انتخاب مدل مفهومی را تسهیل می‌کند.

- برای مدل‌های معین، مقادیر مشتق می‌تواند به طور مستقیم برای تخمین سریع پارامترهای مدل استفاده شود.

است. ضریب ذخیره، حجم آبی است که بر اثر پایین یا بالا رفتن سطح فشار به اندازه یک واحد، از هر واحد سطح آبخوان خارج یا به ذخیره آن افزوده می‌شود. آبدهی ویژه، نسبت حجم آب زهکشی شده از خاک یا سنگ اشباع بر اثر نیروی ثقل به حجم کل خاک یا سنگ است (فریز و چری ۱۹۷۹). ضرایب هیدرودینامیکی آبخوان در مطالعات منابع آب از قبیل بیلان و مدل نقش مهمی دارند و خطای اندک در محاسبه این ضرایب، باعث بروز خطای زیادی در بیلان و مدل عددی آب‌های زیرزمینی می‌شود که خطا در مدیریت منابع آب و نحوه بهره‌برداری از این منابع را به همراه خواهد داشت. در نتیجه، برآورد دقیق و صحیح ضرایب هیدرودینامیکی آبخوان با استفاده از جدیدترین و دقیق‌ترین مدل‌های تحلیلی موجود که فرضیات آن‌ها بیشترین تطابق با شرایط آزمون پمپاژ انجام شده را داشته باشند، برای مدیریت منابع آب لازم است. به طور نمونه با استفاده از جدیدترین و دقیق‌ترین مدل‌های تحلیلی موجود برای آبخوان آزاد آبرفتی (نیومن ۱۹۷۲، تارتاکوفسکی و نیومن ۲۰۰۷) می‌توان علاوه بر مقادیر قابلیت انتقال (T)، هدایت هیدرولیکی افقی (K_r) و ضریب ذخیره (S)، مقادیر آبدهی ویژه (S_y) و هدایت هیدرولیکی عمودی (K_z) را نیز محاسبه نمود که با استفاده از مدل‌های تحلیلی مرسوم (تایس ۱۹۳۵، کوپر و ژاکوب ۱۹۴۶) قابل محاسبه نیستند و هنگام استفاده از مدل‌های تحلیلی مرسوم، برای مقدار K_z در مدل عددی آب‌های زیرزمینی، یک‌دهم مقدار K_r استفاده می‌شود که می‌تواند با مقدار واقعی K_z اختلاف زیادی داشته باشد.

هنگام آزمون پمپاژ، اثر پوسته‌ای^۲ مانند ذخیره چاه^۳ باعث تغییر افت در چاه می‌شود. تأثیر ذخیره چاه متناسب با شعاع آن است. بر اساس تحقیقات آگاروال و همکاران (۱۹۷۰) تأثیر اثر پوسته‌ای روی شعاع مؤثر چاه با استفاده از معادله ۱ حاصل می‌شود:

$$r_{eff} = r_w \cdot e^{-s} \quad [۱]$$

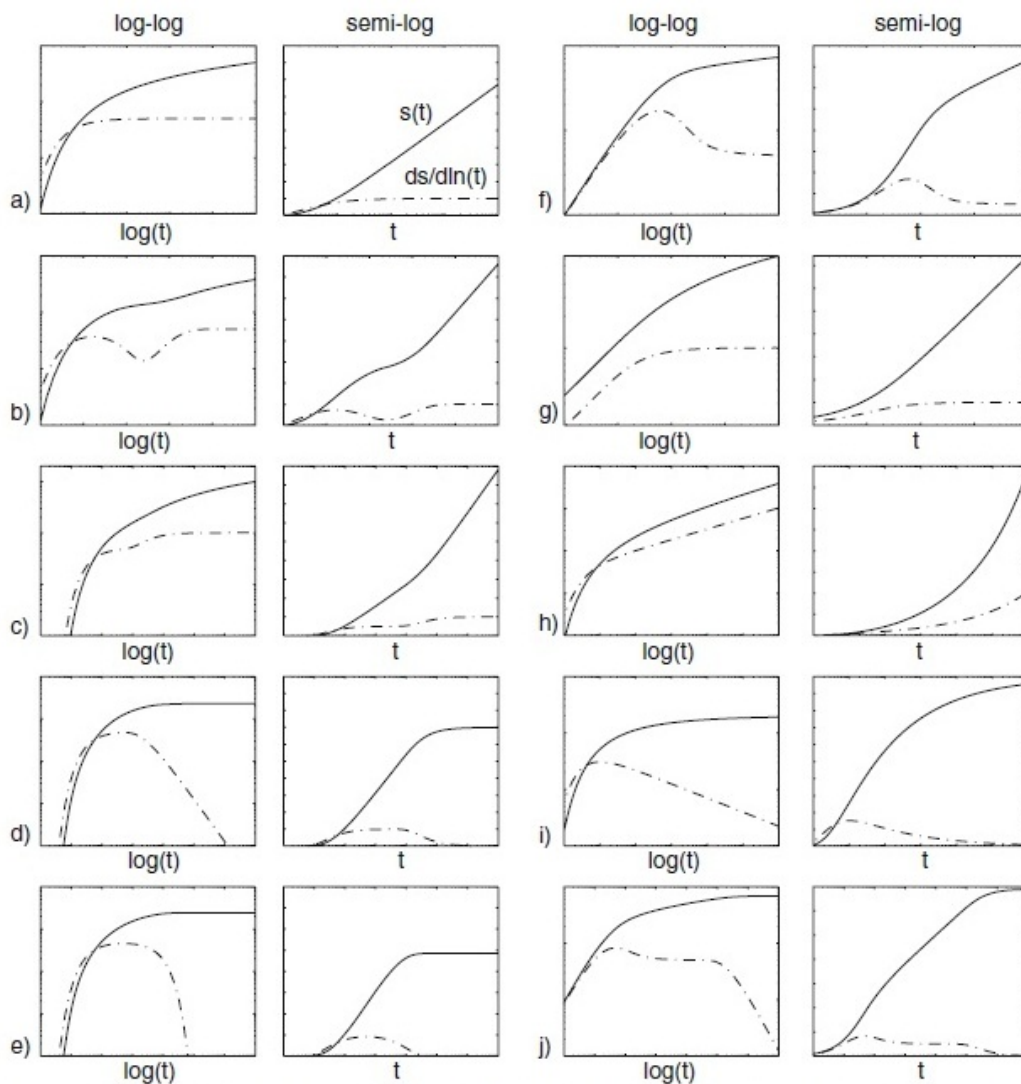
^۲ Skin effect

^۳ Wellbore storage

^۴ Diagnostic plot

است (آبخوان‌های مرزدار، تخلخل دوگانه، شکستگی افقی، شکستگی قائم، آبخوان آزاد و ...). تعداد زیادی از این مدل‌ها به نمودار و روش تفسیری ویژه‌ای نیاز دارند (کروزمن و ریدر ۲۰۰۰).

به‌طورکلی، یکی از مهم‌ترین مزایای نمودارهای تشخیصی این هست که متدولوژی یکنواخت شده‌ای برای تفسیر داده‌های آزمون پمپاژ ارائه می‌نمایند. در واقع، بین کار تایس (۱۹۳۵) و کار تارتاکوفسکی و نیومن (۲۰۰۷)، محدوده وسیعی از مدل‌ها توسعه یافته



شکل ۱- نمودارهای تشخیصی نمونه در هیدروژئولوژی: a مدل تایس؛ b تخلخل دوگانه یا آبخوان آزاد؛ c مرز بدون جریان نامحدود خطی؛ d مرز بارهیدرولیکی ثابت نامحدود خطی؛ e آبخوان نشستی؛ f ذخیره چاه و اثر پوسته‌ای؛ g شکستگی قائم با هدایت هیدرولیکی نامحدود؛ h جریان شعاعی با بعد کوچکتر از ۲؛ i جریان شعاعی با بعد بزرگتر از ۲؛ z ترکیب اثر ذخیره چاه و مرز بار هیدرولیکی ثابت نامحدود خطی (رنارد و همکاران ۲۰۰۹).

به‌کار رود. چنانچه برای مثال توسط هام و بیدوکس (۱۹۹۶)، دلی و همکاران (۲۰۰۴) یا بیوهیم و همکاران (۲۰۰۴) به‌کاربرده شده است. امروزه بیشتر کارهای

استفاده از نمودار تشخیصی اجازه جایگزینی تمام این روش‌های ویژه را با یک روش ساده و منحصربه‌فرد می‌دهد که می‌تواند برای حل‌های جدید

سربالش کازرون در ایران و بی‌نام (۱۳۷۳ب) در آبخوان کارستی مرودشت در ایران بدون توجه به نوع و جنس آبخوان، برای آبخوان‌های کارستی یا آزاد آبرفتی از مدل‌های تحلیلی مرسوم که برای آبخوان محبوس آبرفتی ارائه شدند، استفاده شده است. عدم استفاده از مدل تحلیلی مناسب برای تحلیل آزمون پمپاژ می‌تواند تا ۱۱۶۹ درصد در برآورد ضرایب هیدرودینامیکی آبخوان خطا ایجاد کند (محمدی و نسیمی ۱۳۹۰). حذف خطای فرض تخلخل یگانه (که در روش‌های مرسوم تایس (۱۹۳۵) و کوپر و ژاکوب (۱۹۴۶) وجود دارد) برای آبخوان کارستی با استفاده از مدل‌های تحلیلی بر اساس تخلخل دوگانه (برنبلات و همکاران ۱۹۶۰)، حذف خطای فرض آبخوان محبوس آبرفتی (که در روش‌های مرسوم تایس (۱۹۳۵) و کوپر و ژاکوب (۱۹۴۶) وجود دارد) برای آبخوان آزاد آبرفتی، در کنار حذف خطای ذخیره چاه و اثر پوسته‌ای (آگاروال و همکاران ۱۹۷۰) و نیز تفکیک چاه‌های مختلف هر دشت به آزاد و محبوس با توجه به لاگ حفاری و نمودار تشخیصی آن‌ها از نوآوری‌های این تحقیق به حساب می‌آید.

در استان فارس حدود ۹۰ درصد از مجموع استحصال آب از آبخوان‌هاست (روستا و همکاران ۱۳۸۸). لذا با توجه به اهمیت آبخوان‌ها در مطالعات منابع آب، هدف از این تحقیق، محاسبه ضرایب هیدرودینامیکی آبخوان‌های کارستی و آبرفتی معرف استان فارس با استفاده از مدل یا مدل‌های تحلیلی مناسب هر یک از آزمون‌های پمپاژ انجام شده و مقایسه نتایج به دست آمده با محاسبات و تحلیل‌های قبل و تحلیل اختلاف بین نتایج با ذکر منابع خطاست. همچنین در این تحقیق جهت حذف خطای ذخیره چاه و اثر پوسته‌ای از بازه زمانی مناسب در هر یک از آزمون‌های پمپاژ استفاده شده که با استفاده از منحنی مشتق افت-زمان در نمودار تشخیصی حاصل شد.

مواد و روش‌ها

به منظور جمع‌آوری آمار، اطلاعات و داده‌های آزمون‌های پمپاژ انجام شده در آبخوان‌های کارستی و

تئوری مرتبط با آزمون پمپاژ در هر دو زمینه هیدروژئولوژی و صنعت نفت نمودارهای تشخیصی را شامل می‌شوند. بدین ترتیب برای شناسایی این‌که کدام مدل می‌تواند برای تفسیر داده‌های ما استفاده شود، نیاز به مقایسه نمودار تشخیصی داده‌های ما با مجموعه تیبیک نمودارهای تشخیصی از قبیل آنچه در شکل ۱ نشان داده شده است، هست.

معمولاً نمودار تشخیصی داده‌های آزمون پمپاژ، با بیش از یک نمودار تشخیصی نمونه توصیف می‌شود. برای حل این مشکل نیاز به جمع‌آوری دقیق اطلاعات زمین‌شناسی و هیدروژئولوژی در محدوده مورد بررسی است. به طور کلی، زمانی که چند تفسیر ممکن است، ارزیابی معقول بودن تفاسیر مختلف یا قضاوت درباره معقول بودن پارامترهای حاصل از آن تفسیر، یک راه ممکن برای رد کردن بعضی از مدل‌هاست. همچنین ترکیب مشاهدات حاصل از چاه‌های مختلف راه خوبی است برای محدود کردن بعضی از مدل‌ها که نمی‌توانند ارتباط منطقی با تمام اطلاعات در دسترس داشته باشند (رنارد و همکاران ۲۰۰۹).

برای ارزیابی ضرایب هیدرودینامیکی آبخوان در مناطق مختلف، معمولاً از مدل‌های تحلیلی مرسوم (تایس ۱۹۳۵، کوپر و ژاکوب ۱۹۴۶) استفاده می‌شود. چنانچه در منابع علمی و کاربردی مختلف از قبیل یتبارک بای و همکاران (۲۰۱۳) در آبخوان حوضه آبخیز آواش در اتیوپی، چسناوکس و همکاران (۲۰۱۲) در آبخوانی در کانادا، الشیخ و همکاران (۲۰۰۹) در آبخوان خور ارباب در سودان، اصغری مقدم و الاف نجیب (۲۰۰۶) در آبخوان آبرفتی توفی شمال کوه‌های سهند ایران، جالودین و رازک (۲۰۰۴) در آبخوان جمهوری جیبوتی، اکبرپور و همکاران (۱۳۸۹) در آبخوان دشت مختاران در استان خراسان جنوبی ایران، امیری و یعقوبی (۱۳۸۵) در آبخوان دشت ملایر در ایران، بی‌نام (۱۳۸۱) در آبخوان دشت میمند و شبانکاره و آبخوان دشت شوراب در ایران، بی‌نام (۱۳۷۶) در آبخوان کارستی ساختگاه سد قیر در ایران، بی‌نام (۱۳۷۴) در آبخوان کارستی سربالش کازرون و اقلید فارس در ایران، بی‌نام (الف ۱۳۷۳) در آبخوان کارستی

شبانکاره، آبخوان دشت شوراب، آبخوان دشت‌های درز و سایبان و باشدو- کرمستج، آبخوان محبوس آبرفتی نیریز و آبخوان کارستی ساختگاه سد قیر هستند. بررسی اولیه گزارش‌های مذکور نشان داد که در گزارش خدمات مهندسی حفاری‌های اکتشافی و آزمایش‌های پمپاژ چاه‌های مرودشت (بی‌نام ۱۳۶۴) چاه‌های پمپاژ ناقص‌اند که به دلیل برخی ملاحظات و نواقص امکان استفاده از اطلاعات آن‌ها وجود نداشت، اما امکان استفاده از سایر گزارش‌ها وجود داشت.

آبرفتی استان فارس، کلیه گزارش‌های موجود بررسی شد که هشت گزارش (بی‌نام ۱۳۶۴، بی‌نام ۱۳۷۳ الف، بی‌نام ۱۳۷۳ ب، بی‌نام ۱۳۷۴، بی‌نام ۱۳۷۶، بی‌نام ۱۳۸۱، بی‌نام ۱۳۸۳ و بی‌نام ۱۳۸۸) از آزمون‌های پمپاژ انجام‌شده در این استان به‌دست‌آمده است. این گزارش‌ها مربوط به آبخوان آزاد آبرفتی مرودشت، آبخوان کارستی سربالش کازرون، آبخوان کارستی مرودشت، آبخوان محبوس آبرفتی وزیرآباد شیراز، آبخوان کارستی اقلید فارس، آبخوان دشت میمند و

جدول ۱- مشخصات چاه‌ها، نوع و جنس آبخوان در پیرامون آن‌ها و زمان ابتدایی برای حذف از داده‌ها.

شماره چاه	نام چاه	نوع و جنس آبخوان	دبی چاه پمپاژ ($L s^{-1}$)	ضخامت آبخوان (m)	فاصله تا چاه پمپاژ (m)	زمان ابتدایی که باید حذف شود (min)	مدت‌زمان آزمون (hour)
۱	مشاهده‌ای ۴۹ سد قیر	کارستی	۴۰/۳	۳۵	۲۰/۶۰	۲۰	۱۸/۱۷
۲	مشاهده‌ای ۴۷ سد قیر	کارستی	۴۰/۳	۳۵	۵۱	۱۰	۲۱/۵۵
۳	مشاهده‌ای ۲۲ سد قیر	کارستی	۴۰/۳	۶۵	۱۳۱/۱۲	۱	۲۱/۵۵
۴	پمپاژ ۴ کازرون	کارستی	۳۳/۳	۲۹۴/۳	.	۱	۲۴
۵	پمپاژ ۲۷ کازرون	کارستی	۳۷/۸	۲۰۴/۴۸	.	۱	۲۴
۶	پمپاژ ۲۵ کازرون	کارستی	۳۷/۸	۲۰۶/۰۴	.	۱	۲۴
۷	پمپاژ ۲۴ کازرون	کارستی	۱۶/۴	۷۹/۱	.	۱	۲۶
۸	پمپاژ ۲۸ کازرون	کارستی	۲۹/۷	۲۵۶/۵۱	.	۱	۲۷
۹	پمپاژ ۱ مرودشت	کارستی	۸۵/۸	-	.	۱	۲۴
۱۰	پمپاژ ۲ مرودشت	کارستی	۸۴/۷	-	.	۱	۲۴
۱۱	پمپاژ ۳ مرودشت	کارستی	۸۳/۳	-	.	۱	۲۴
۱۲	پمپاژ ۴ مرودشت	کارستی	۶۸/۰۵	-	.	۱	۲۴
۱۳	مشاهده‌ای وزیرآباد	محبوس آبرفتی	۴۵	۱۶۵/۴۸	۵۱	۱	۲۷
۱۴	مشاهده‌ای سه‌راهی گنک	محبوس آبرفتی	۲/۵	۲۶	۱۲	۱	۱۰
۱۵	مشاهده‌ای پارک میمند	آزاد آبرفتی	۳۵/۵	۳۲	۱۴/۳	۱	۱۱
۱۶	مشاهده‌ای خیرآباد	آزاد آبرفتی	۱۴/۳۲۵	۵۴	۱۲	۱	۸
۱۷	مشاهده‌ای آخر شوراب	محبوس آبرفتی	۱۱/۴۰۷	۴۸	۲۲	۱	۲۱
۱۸	مشاهده‌ای وحدت آباد	محبوس آبرفتی	۵/۸۱۳	۷۰	۱۴/۶	۳ دقیقه ابتدایی (افت صفر) و بعد از ۱۲۰ دقیقه (جریان پایدار)	۱۴
۱۹	مشاهده‌ای پلنگان	محبوس آبرفتی	۶	۶۱/۴	۷/۵	۱	۴
۲۰	مشاهده‌ای حسین‌آباد	محبوس آبرفتی	۱۷/۵	۱۷۵	۷/۵	۱	۵

قدیم

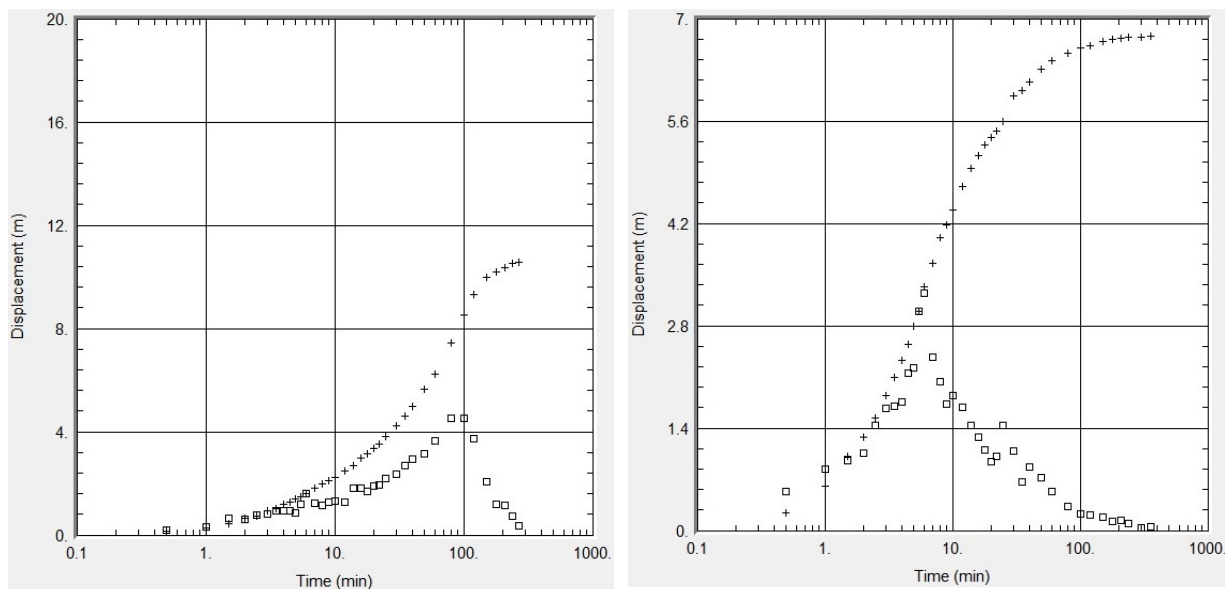
مشاهده‌ای با استفاده از نمودار تشخیصی بررسی‌شده و داده‌های ۲۰ چاه پمپاژ و مشاهده‌ای برای این هدف مناسب تشخیص داده شدند (جدول ۱). همچنین پس از

در این تحقیق، برای محاسبه ضرایب هیدرودینامیکی آبخوان، دقت و کارایی داده‌های آزمون‌های پمپاژ انجام‌شده در ۵۲ چاه پمپاژ و

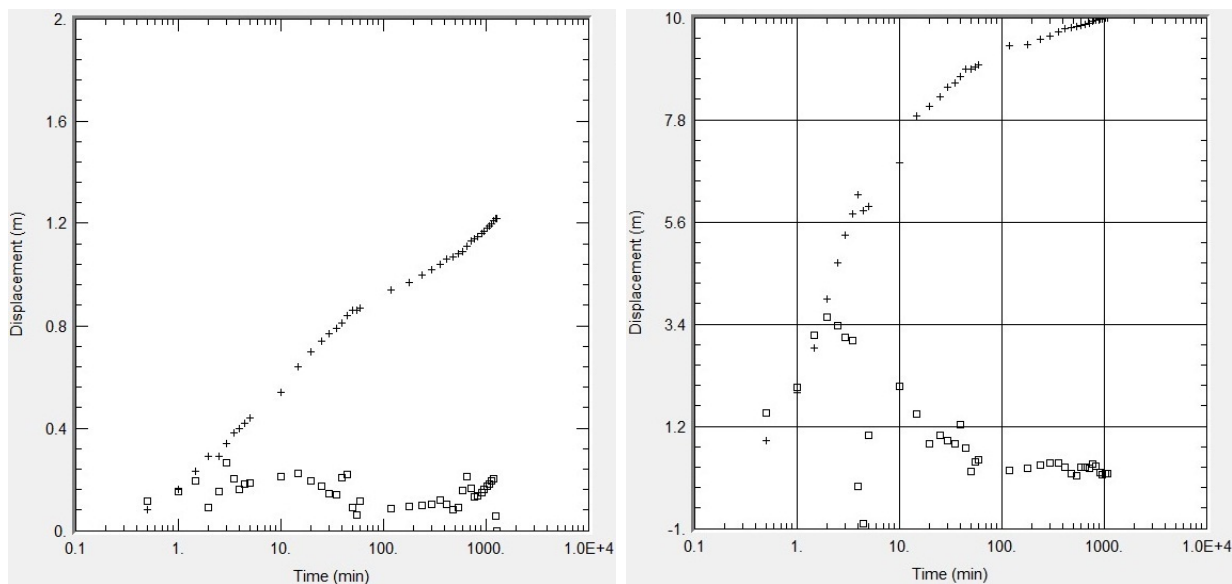
پمپاژ، افت مشاهده می‌شود، در بیشتر موارد انتظار می‌رود. ضرایب هیدرودینامیکی آبخوان را فقط با استفاده از قسمتی از منحنی افت- زمان که مشتق لگاریتمی آن ثابت شده است، می‌توان محاسبه نمود. همچنین تأثیر اثر پوسته‌ای روی نمودار تشخیصی نیز مشابه تأثیر ذخیره چاه است (رنارد و همکاران ۲۰۰۹). این دو خط را می‌توان با حذف زمان متأثر از آن‌ها که در ابتدای آزمون پمپاژ قرار دارد، حذف نمود. بدین منظور به رسم نمودارهای تشخیصی ۵۲ چاه پمپاژ و مشاهده‌های هفت گزارش از آزمون‌های پمپاژ انجام شده در استان فارس پرداخته شد که نشان می‌دهد ذخیره چاه و اثر پوسته‌ای در کلیه چاه‌های پمپاژ در دشت‌های درز و سایبان و باشدو- کرمستج (شکل ۲) و نیز چاه‌های مشاهده‌ای کارستی ۴۹ و ۴۷ ساختگاه سد قیر (شکل ۳) قابل توجه است و در سایر چاه‌های پمپاژ و مشاهده‌ای قابل تشخیص نیست.

انتخاب بازه زمانی مناسب داده‌های آزمون پمپاژ (جدول ۱) با استفاده از نمودار تشخیصی، به بررسی و تعیین نوع آبخوان در محل چاه‌های آبرفتی با استفاده از لاگ حفاری و نمودار تشخیصی آن‌ها پرداخته شد که صرفاً چاه‌های مشاهده‌ای ۱۵ و ۱۶، مربوط به بخش‌های آزاد آبخوان دشت میمند و شبانکاره و آبخوان دشت شوراب هستند و سایر چاه‌های آبرفتی دارای شرایط محبوس می‌باشند.

رفتار هیدرولیکی آبخوان در پیرامون چاه در نمودار تشخیصی آزمون پمپاژ آن بروز می‌کند. در این نمودار، ذخیره چاه در طی زمان‌های ابتدای آزمون پمپاژ باعث می‌شود افت و مشتق لگاریتمی آن، تقریباً از یک خط مستقیم با شیب واحد در مقیاس لوگ- لوگ پیروی کنند که نشان می‌دهد در تمام این مدت ذخیره چاه غالب است. در طی این مدت، تخمین قابلیت انتقال آبخوان امکان‌پذیر نیست. این رفتار وقتی که در چاه



شکل ۲- نمودار تشخیصی چاه‌های پمپاژ کهنه نعمت ناجی (سمت راست) و زاهد محمود (سمت چپ) در دشت‌های درز و سایبان و باشدو- کرمستج (+ علامت افت و □ علامت مشتق افت).



شکل ۳- نمودار تشخیصی چاه‌های مشاهده‌ای کارستی ۴۹ (سمت راست) و ۴۷ (سمت چپ) در ساختگاه سد قیر (+ علامت افت و □ علامت مشتق افت).

ایجاد شده که از شش چاه مشاهده‌ای پیرامون آن، در چاه‌های مشاهده‌ای ۴۹ و ۴۷ به ترتیب با فاصله ۲۰/۶۰ و ۵۱ متر قابل تشخیص است و در چهار چاه مشاهده‌ای دورتر که در فواصل ۱۳۱/۱۲ تا ۲۲۱/۴۱ متری قرار دارند، ثبت نشده است. شایان ذکر است یکی از مشکلات اصلی روش مشتق افت برای تحلیل آزمون پمپاژ تغییر سرعت افت و اندازه‌گیری آن به صورت منقطع (غیرپیوسته) است (سامانی و همکاران ۲۰۰۶) که در تطابق نمودار تشخیصی آزمون‌های پمپاژ انجام شده با نمودارهای تشخیصی نمونه باید به روند کلی آن توجه شود.

در این تحقیق، از مدل‌های تحلیلی که از نظر منطقه‌ای (نوع و جنس آبخوان) برای ارزیابی ضرایب هیدرودینامیکی آبخوان مناسب باشند، استفاده شد. بدین منظور، نمودار تشخیصی داده‌های آزمون‌های پمپاژ موجود با نمودار تشخیصی مدل‌های تحلیلی مختلف مقایسه شده و با توجه به تحقیقات انجام شده (دواندل و همکاران ۲۰۰۵، محمدی و نسیمی ۱۳۹۰ و نسیمی و محمدی ۱۳۹۱) برای آبخوان کارستی از مدل‌های تحلیلی مونچ (۱۹۸۴) و بارکر (۱۹۸۸)، برای آبخوان آزاد آبرفتی از مدل‌های تحلیلی نیومن (۱۹۷۲) و تارتاکوفسکی و نیومن (۲۰۰۷) و برای آبخوان محبوس

شکل ۲ نمودار تشخیصی دو نمونه از چاه‌های پمپاژ در دشت‌های درز و سایبان و باشدو- کرمستج را نشان می‌دهد. در این دشت‌ها ۲۵ چاه پمپاژ آبرفتی وجود دارد که نمودار تشخیصی آن‌ها مشابه نمودارهای تشخیصی ارائه شده در شکل ۲ است. همان‌طور که از شکل ۲ برمی‌آید، کل زمان آزمون پمپاژ انجام شده در این دشت‌ها متأثر از ذخیره چاه و اثر پوسته‌ای است که به دلیل کوتاه بودن زمان آزمون پمپاژ انجام شده (۴ تا ۶ ساعت) و دهانه‌گشاد بودن چاه‌های مذکور (قطر ۱/۳۶ تا ۲/۳۷ متر) است. با توجه به متأثر بودن کل زمان آزمون پمپاژ انجام شده در این دشت‌ها از ذخیره چاه و اثر پوسته‌ای، امکان محاسبه ضرایب هیدرودینامیکی آبخوان با استفاده از آن‌ها وجود ندارد. همچنین نمودار تشخیصی چاه‌های مشاهده‌ای کارستی ۴۹ و ۴۷ ساختگاه سد قیر در شکل ۳ ارائه شد. همان‌طور که از شکل ۳ برمی‌آید، ۲۰ دقیقه ابتدایی داده‌های ثبت شده در چاه مشاهده‌ای ۴۹ و ۱۰ دقیقه ابتدایی داده‌های ثبت شده در چاه مشاهده‌ای ۴۷ متأثر از ذخیره چاه و اثر پوسته‌ای است. به نظر می‌رسد برای افزایش آبدهی چاه پمپاژ کارستی مربوط به چاه‌های مشاهده‌ای کارستی ۴۹، ۴۷، ۲۲، ۲۸، ۲۵ و ۵۵، یک منطقه محدود با نفوذپذیری بالا در اطراف آن

هیدرودینامیکی آبخوان در پیرامون چاه‌های معرفی شده در جدول ۱، با استفاده از بازه زمانی مناسب (جدول ۱) و مدل تحلیلی مناسب (جدول ۲) پرداخته شد که نتایج و پارامترهای به دست آمده در جدول ۲ مشاهده می‌شود.

همان‌طور که اشاره شد، ضرایب هیدرودینامیکی آبخوان که در گزارش‌های قبلی حاصل شده‌اند، دارای خطا (E) می‌باشند. این خطا از مقایسه میانگین هدایت هیدرولیکی (و یا قابلیت انتقال) حاصل شده با استفاده از روش‌های مرسوم (تایس ۱۹۳۵، کوپر و ژاکوب ۱۹۴۶) و بدون توجه به خطای ذخیره چاه و اثر پوسته‌ای (A)، با میانگین هدایت هیدرولیکی (و یا قابلیت انتقال) به دست آمده بر اساس روش‌های مختص آبخوان کارستی (مونچ ۱۹۸۴، بارکر ۱۹۸۸) یا آبخوان آزاد آبرفتی (نیومن ۱۹۷۲، تارتاکوفسکی و نیومن ۲۰۰۷) که در صورت وجود خطای ذخیره چاه و اثر پوسته‌ای در داده‌های آن‌ها، این خطا نیز حذف شده است (B)، حاصل می‌شود (معادله ۳).

$$E = |(A/B) - 1| \times 100 \quad [3]$$

نتایج عددی این تدقیق در جدول ۲ مشاهده می‌شود.

مقدار آبدهی ویژه برای آبخوان آزاد آبرفتی که با استفاده از مدل‌های تحلیلی مرسوم قابل محاسبه نیست، برای چاه‌های ۱۵ و ۱۶ با استفاده از مدل تحلیلی نیومن (۱۹۷۲) به ترتیب برابر ۰/۱۰۹۳ و ۰/۲۱۳۵ و با استفاده از مدل تحلیلی تارتاکوفسکی و نیومن (۲۰۰۷) به ترتیب برابر ۰/۱۰۹۳ و ۰/۲۰۷۳ حاصل شد. همچنین مقدار هدایت هیدرولیکی عمودی برای آبخوان آزاد آبرفتی که با استفاده از مدل‌های تحلیلی مرسوم قابل محاسبه نیست، برای این چاه‌ها با استفاده از مدل تحلیلی نیومن (۱۹۷۲) به ترتیب برابر ۷۵/۹۹۴ و ۱۲/۹۲۷ متر بر روز و با استفاده از مدل تحلیلی تارتاکوفسکی و نیومن (۲۰۰۷) به ترتیب برابر ۷۵/۹۸۶ و ۱۲/۹۲۸ متر بر روز به دست آمده است.

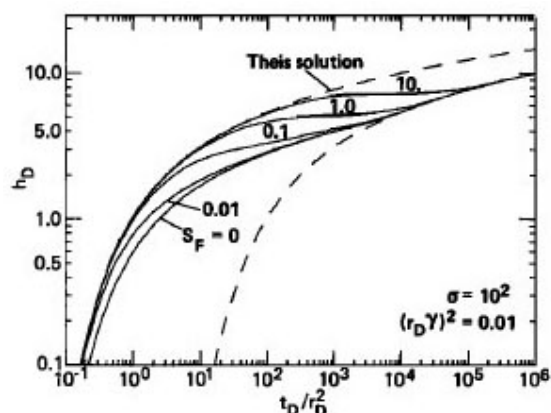
با توجه به این‌که مدل‌های تحلیلی مونچ (۱۹۸۴) و بارکر (۱۹۸۸) بر اساس تخلخل دوگانه (برنبلات و

آبرفتی از مدل‌های تحلیلی تایس (۱۹۳۵) و کوپر و ژاکوب (۱۹۴۶) استفاده شد.

نتایج و بحث

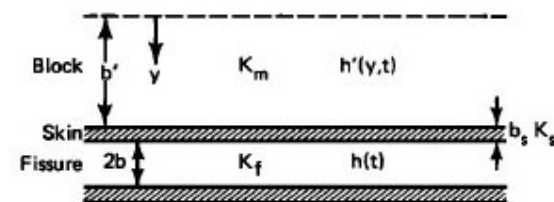
آبخوان‌های مورد مطالعه در مناطق مربوط به چاه‌های ۱ تا ۱۲ (جدول ۱) از نوع کارستی هستند که با توجه به تحقیق دواندل و همکاران (۲۰۰۵) با مدل‌های تحلیلی بر اساس تخلخل دوگانه (برنبلات و همکاران ۱۹۶۰) سازگارند. از این‌رو، مدل‌های تحلیلی مونچ (۱۹۸۴) و بارکر (۱۹۸۸) برای محاسبه ضرایب هیدرودینامیکی آبخوان در پیرامون این چاه‌ها مناسب تشخیص داده شدند. علاوه بر عدم تطابق مدل‌های تحلیلی مرسوم (تایس ۱۹۳۵، کوپر و ژاکوب ۱۹۴۶) با شرایط آبخوان و آزمون پمپاژ که باعث خطا می‌شود و با انتخاب مدل تحلیلی مناسب سعی بر حذف این خطا شد، ذخیره چاه و اثر پوسته‌ای (آگاروال و همکاران ۱۹۷۰) نیز باعث خطا می‌شود و بایستی با حذف زمان‌های ابتدایی از آزمون پمپاژ که تحت تأثیر ذخیره چاه و اثر پوسته‌ای (آگاروال و همکاران ۱۹۷۰) است، به حذف خطای آن‌ها مبادرت شود. بدین منظور بازه زمانی از هر آزمون پمپاژ که بر اساس نمودار تشخیصی باید حذف شود، در جدول ۱ ارائه شد.

با توجه به این‌که آبخوان‌های مورد مطالعه در مناطق مربوط به چاه‌های ۱۵ و ۱۶ (جدول ۱) از نوع آزاد آبرفتی هستند، از نظر اصولی داده‌های آزمون پمپاژ چاه‌های مذکور بایستی به کمک مدل‌های تحلیلی آبخوان آزاد آبرفتی مورد بررسی قرار گیرد (محمدی و نسیمی ۱۳۹۰). زیرا در مدل‌های تحلیلی مرسوم، زهکشی ثقیل آبخوان آزاد آبرفتی در نظر گرفته نمی‌شود. لذا در این راستا، مدل‌های تحلیلی نیومن (۱۹۷۲) و تارتاکوفسکی و نیومن (۲۰۰۷) برای محاسبه ضرایب هیدرودینامیکی آبخوان در پیرامون این چاه‌ها مناسب تشخیص داده شدند. برای حذف خطای ذخیره چاه و اثر پوسته‌ای در این چاه‌ها نیز مشابه چاه‌های کارستی به انتخاب بازه زمانی مناسب بر اساس نمودار تشخیصی پرداخته شد. در ادامه به محاسبه ضرایب



شکل ۵- منحنی‌های تیپ برای جریان ناپایدار با منبع خطی و در نظر گرفتن اثر پوشش درزه (مونچ ۱۹۸۴).

منحنی تیپ تایس (۱۹۳۵) فاصله بگیرد (شکل ۵). مطابق شکل ۵ با تغییر اثر پوشش درزه و ثابت در نظر گرفتن سایر عوامل، شکل منحنی‌های تیپ مونچ (۱۹۸۴) متفاوت می‌شود. چنانچه با افزایش اثر پوشش درزه (S_F) شکل منحنی‌های تیپ مونچ (۱۹۸۸) به شکل منحنی تیپ تایس (۱۹۳۵) نزدیک می‌شود. در واقع با بزرگ شدن S_F جریان کمتری از زمینه سنگ وارد درزه‌ها شده و جریان بیشتری از زمینه سنگ به‌طور مستقیم وارد چاه پمپاژ می‌شود. به‌عبارت‌دیگر، در S_F ‌های بسیار بزرگ جریان کمی از زمینه سنگ وارد درزه‌ها شده و الگوی جریان به فرضیات تایس بسیار نزدیک است. با توجه به منحنی‌های تیپ مونچ (۱۹۸۴) که در شکل ۵ مشاهده می‌شود، به‌نظر می‌رسد خطای استفاده از مدل‌های تحلیلی مرسوم، برای S_F ‌های بزرگ‌تر از ۱۰۰۰ قابل‌توجه باشد. اثر پوشش درزه در آبخوان‌های دارای درزه و شکستگی می‌تواند به‌طور طبیعی در نتیجه دگرسانی کانی‌ها و رسوبگذاری ایجاد شود (مونچ ۱۹۸۴). مقادیر هدایت هیدرولیکی و قابلیت انتقال محاسبه‌شده برای چاه‌های ۱ تا ۱۲ (جدول ۲) بر اساس روش‌های مونچ (۱۹۸۴) و بارکر (۱۹۸۸) و مقادیر هدایت هیدرولیکی و قابلیت انتقال گزارش‌های قبلی برای این چاه‌ها (جدول ۲) بر اساس روش‌های مرسوم تایس (۱۹۳۵) و کوپر و ژاکوب (۱۹۴۶) است. مقایسه این مقادیر بیانگر خطای ۱/۹۵ تا ۸۸/۲۲ درصدی روش‌های مرسوم نسبت به روش‌های ارائه‌شده بر اساس تخلخل دوگانه است.



شکل ۴- نمایش نمودار گونه قطعه‌سنگ و درزه با پوشش درزه (مونچ ۱۹۸۴).

همکاران (۱۹۶۰) ارائه شدند، برای آبخوان در سنگ‌های دارای درزه و شکستگی مانند آبخوان کارستی مناسب هستند. علاوه بر این، دواندل و همکاران (۲۰۰۵) نیز با به‌کارگیری مدل‌های تایس (۱۹۳۵) و مونچ (۱۹۸۴) برای آبخوان در سنگ‌های دارای درزه و شکستگی، مدل تحلیلی مونچ (۱۹۸۴) را به‌عنوان مدل سازگار با این محیط‌ها تشخیص داد. در این محیط‌ها، به‌طورمعمول بخش عمده جریان از زمینه سنگ وارد درزه‌ها شده و از طریق درزه‌ها وارد چاه پمپاژ می‌شود. همچنین معمولاً جریان کمی از زمینه سنگ وارد چاه پمپاژ می‌شود. نمایش نمودارگونه زمینه سنگ، درزه و پوشش درزه^۶ در شکل ۴ مشاهده می‌شود. اثر پوشش درزه با S_F نشان داده‌شده و از معادله ۴ حاصل می‌شود (مونچ ۱۹۸۴):

$$S_F = K_m b_s / K_s b' \quad [4]$$

که K_m هدایت هیدرولیکی زمینه سنگ با بعد طول به زمان، b_s ضخامت پوشش درزه با بعد طول، K_s هدایت هیدرولیکی پوشش درزه با بعد طول به زمان و b' ضخامت قطعه^۷ زمینه سنگ با بعد طول است (شکل ۴).

در این آبخوان‌ها که بخش عمده جریان از طریق درزه‌ها وارد چاه پمپاژ می‌شود، الگوی جریان از مدل‌های تحلیلی مرسوم پیروی نمی‌کند و متفاوت است. این الگوی متفاوت باعث می‌شود منحنی‌های تیپ آن از

⁵ Matrix

⁶ Fracture Skin

⁷ Block

جدول ۲- مقادیر ضرایب هیدرودینامیکی محاسبه‌شده در پیرامون هر چاه و مقادیر آن‌ها در گزارش‌های قبلی.

شماره چاه	نام چاه	مدل تحلیلی مناسب	محاسبه‌شده			گزارش‌های قبلی		
			S	T (m ² d ⁻¹)	K (m d ⁻¹)	S	T (m ² d ⁻¹)	K (m d ⁻¹)
۱	مشاهده‌ای سد قیر	مونچ (۱۹۸۴) بارکر (۱۹۸۸)	۱.۱۱۴E-۱۲	۵۳۶/۵۵	۱۵/۳۳	-	۸۵۰/۵	۲۴/۳۰
			۱.۱۱۴E-۱۲	۵۳۵/۵	۱۵/۳۰	-	-	-
۲	مشاهده‌ای سد قیر	مونچ (۱۹۸۴) بارکر (۱۹۸۸)	۴.۱۵۱E-۵	۲۴۷۵/۹	۷۰/۷۴	-	۷۳۹/۵۵	۲۱/۱۳
			۴.۷۶E-۵	۲۴۰۶/۶	۶۸/۷۶	-	-	-
۳	مشاهده‌ای سد قیر	مونچ (۱۹۸۴) بارکر (۱۹۸۸)	۵.۰۳۶E-۶	۳۰۸۵/۵	۴۷/۴۷	-	۳۱۵/۲۵	۴/۸۵
			۵.۰۳۶E-۶	۲۲۶۸/۵	۳۴/۹	-	-	-
۴	پمپاژ کازرون	مونچ (۱۹۸۴) بارکر (۱۹۸۸)	۴.۷۱۸E-۵	۶۰۹۲	۲۰/۷	-	۳۸۴۵	۱۳/۰۶۵
			۴.۷۱۸E-۵	۶۰۹۲	۲۰/۷	-	-	-
۵	پمپاژ کازرون	مونچ (۱۹۸۴) بارکر (۱۹۸۸)	۲.۰۳۳E-۴	۸۳۹۴	۴۱/۰۵	-	۳۷۷۶	۱۸/۴۷
			۲.۰۳۳E-۴	۸۳۹۴	۴۱/۰۵	-	-	-
۶	پمپاژ کازرون	مونچ (۱۹۸۴) بارکر (۱۹۸۸)	۲.۸۷۲E-۴	۷۳۵۱/۵	۳۵/۶۸	-	۳۸۸۸	۱۸/۸۷
			۲.۸۷۲E-۴	۷۳۵۱/۵	۳۵/۶۸	-	-	-
۷	پمپاژ کازرون	مونچ (۱۹۸۴) بارکر (۱۹۸۸)	۱.۲۱۴E-۶	۱۷۴۱	۲۲/۰۱	-	۲۲۸۰	۲۸/۸۴
			۱.۲۱۴E-۶	۱۷۴۱	۲۲/۰۱	-	-	-
۸	پمپاژ کازرون	مونچ (۱۹۸۴) بارکر (۱۹۸۸)	۱.۴۵۱E-۱۲	۳۱۲۹/۴	۱۲/۲۰	-	۱۷۱۹	۶/۷۰
			۱.۴۵۱E-۱۲	۳۱۶۰/۲	۱۲/۳۲	-	-	-
۹	پمپاژ مرودشت	مونچ (۱۹۸۴) بارکر (۱۹۸۸)	۰/۰۳۶۴۳	۱۳۲۸۰	-	-	۱۰۸۰۰	-
			۰/۰۳۶۴۳	۱۳۲۸۰	-	-	-	-
۱۰	پمپاژ مرودشت	مونچ (۱۹۸۴) بارکر (۱۹۸۸)	۵.۳۹۲E-۷	۲۶۳۶۰	-	-	۱۵۷۲۵	-
			۵.۳۸۹E-۷	۲۶۳۶۰	-	-	-	-
۱۱	پمپاژ مرودشت	مونچ (۱۹۸۴) بارکر (۱۹۸۸)	۲.۶۵۵E-۹	۱۶۰۶۰	-	-	۱۵۵۵۲	-
			۲.۶۵۵E-۹	۱۶۰۶۰	-	-	-	-
۱۲	پمپاژ مرودشت	مونچ (۱۹۸۴) بارکر (۱۹۸۸)	۵.۱۷۶E-۲۴	۱۱۵۲۰	-	-	۱۱۷۵۰	-
			۵.۱۷۶E-۲۰	۱۱۵۳۰	-	-	-	-
۱۳	مشاهده‌ای وزیرآباد	تایس (۱۹۳۵) کوپر و ژاکوب (۱۹۴۶)	۰/۰۰۰۱۸۴	۳۰۳/۴	۱/۸۳	-	۲۹۹	۱/۸۱
			۰/۰۰۰۱۴۹	۳۲۱/۵	۱/۹۴	-	-	-
۱۴	مشاهده‌ای راهی گنک	تایس (۱۹۳۵) کوپر و ژاکوب (۱۹۴۶)	۰/۰۲۵۰۹	۲۶۷/۳	۱۰/۲۸	-	۳۸۵	۱۴/۸۱
			۰/۰۲۲۸۲	۲۶۸/۵	۱۰/۳۳	-	-	-
۱۵	مشاهده‌ای پارک میمند	نیومن (۱۹۷۲) تارتاکوفسکی و نیومن (۲۰۰۷)	۰/۰۱۳۱۲	۷۶۲/۱	۲۳/۸۲	۱۰۳۲ و	۳۲/۲۵ و	
			۰/۰۱۳۱۴	۷۶۲/۱	۲۳/۸۲	۱۴۸۶ و	۴۶/۴۴ و	
۱۶	مشاهده‌ای خیرآباد	نیومن (۱۹۷۲) تارتاکوفسکی و نیومن (۲۰۰۷)	۰/۰۱۹۵۹	۲۸۰/۴	۵/۱۹	-	۴۹۷	۹/۲۰
			۰/۰۱۹۶۴	۲۸۴/۱	۵/۲۶	-	-	-
۱۷	مشاهده‌ای شوراب	تایس (۱۹۳۵) کوپر و ژاکوب (۱۹۴۶)	۰/۰۰۰۳۳۹	۱۳۸۸	۲۸/۹	-	۱۳۸۲	۲۸/۸
			۰/۰۰۰۳۳۵	۱۳۸۹/۸	۲۸/۹۵	-	۱۴۰۹	۲۹/۳۵
۱۸	مشاهده‌ای وحدت آباد	تایس (۱۹۳۵) کوپر و ژاکوب (۱۹۴۶)	۰/۰۴۹۵۱	۲۳۲۱/۹	۳۳/۲	-	۳۷۰۲	۵۲/۸۹
			۰/۰۳۹۸۶	۲۵۰۴/۶	۳۵/۷۸	-	-	-
۱۹	مشاهده‌ای پلنگان	تایس (۱۹۳۵) کوپر و ژاکوب (۱۹۴۶)	۰/۰۰۲۱۷۷	۸۹۵/۴	۱۴/۶	-	۸۳۹	۱۳/۷
			۰/۰۰۲۱۱۷	۸۹۹/۵	۱۴/۶۵	-	۸۳۸	۱۳/۶۵
۲۰	مشاهده‌ای	تایس (۱۹۳۵)	۰/۰۰۳۶۶۱	۴۴۱/۸	۲/۵۲	-	۱۹۳	۱/۱۰

حسین آباد
کوپر و ژاکوب (۱۹۴۶) ۲/۵۷ ۴۴۹/۴ ۰/۰۰۲۳۵۹ ۱/۲۸ ۲۲۴ ۰/۰۱۴۷۴۹
قدیم

خطا ایجاد نماید. زیرا در روش‌های مرسوم، زهکشی ثقلی آبخوان آزاد آبرفتی در نظر گرفته نمی‌شود. محمدی و نسیمی (۱۳۹۰) بر اساس منحنی‌های تیپ ارائه‌شده توسط نیومن (۱۹۷۵) پیشنهاد کردند که تنها در حالتی محاسبه هدایت هیدرولیکی آبخوان آزاد آبرفتی با استفاده از مدل‌های تحلیلی آبخوان محبوس آبرفتی خطای کمی دارد که مقدار η ($\eta = \frac{r^2 K_z}{b^2 K_r}$)، پارامتر ارائه‌شده توسط نیومن، که تابعی از مجموعه مقادیر نسبت ناهمسویی هدایت هیدرولیکی عمودی به افقی (K_z/K_r)، فاصله چاه مشاهده‌ای از چاه پمپاژ (r) و ضخامت اشباع آبخوان (b) است، کمتر از ۰/۰۰۱ شود.

به دلیل مناسب بودن مدل‌های تحلیلی مرسوم برای آبخوان محبوس آبرفتی، مدل‌های تحلیلی استفاده‌شده در گزارش‌های قبلی و مدل‌های تحلیلی استفاده‌شده برای مقادیر محاسبه‌شده برای چاه‌های ۱۳، ۱۴، ۱۷، ۱۸، ۱۹ و ۲۰ (جدول ۲) یکسان هستند و مقادیر هدایت هیدرولیکی و قابلیت انتقال محاسبه‌شده برای چاه‌های مناطق محبوس آبرفتی آبخوان با مقادیر ارائه‌شده در گزارش‌های قبلی تفاوت اندکی را نشان می‌دهد. چنانچه مقادیر محاسبه‌شده (جدول ۲) و گزارش‌های قبلی (جدول ۲) برای چاه‌های ۱۳، ۱۷ و ۱۹ مشابه بوده و تفاوت این مقادیر در چاه‌های ۱۴، ۱۸ و ۲۰ به خطا در برازش نامناسب منحنی‌ها در گزارش‌های قبلی مربوط می‌شود.

مدل‌های تحلیلی مونچ (۱۹۸۴) و بارکر (۱۹۸۸) برای آبخوان کارستی، مدل‌های تحلیلی نیومن (۱۹۷۲) و تارتاکوفسکی و نیومن (۲۰۰۷) برای آبخوان آزاد آبرفتی و مدل‌های تحلیلی تیس (۱۹۳۵) و کوپر و ژاکوب (۱۹۴۶) برای آبخوان محبوس آبرفتی نتایج تقریباً مشابهی ارائه داده‌اند و یکدیگر را تأیید می‌کنند.

بر اساس این تحقیق، ذخیره چاه و اثر پوسته‌ای بیشتر مربوط به چاه‌های دهانه‌گشاد و چاه‌های کارستی که در آن‌ها از تکنولوژی شکست هیدرولیکی برای افزایش آبدی چاه استفاده‌شده است، هست. در

مقادیر ارائه‌شده از گزارش‌های قبلی در جدول ۲، نشان‌دهنده هدایت هیدرولیکی و قابلیت انتقال حاصل‌شده با استفاده از روش‌های مرسوم تیس (۱۹۳۵) و کوپر و ژاکوب (۱۹۴۶) هست. این روش‌ها برای آبخوان محبوس آبرفتی ارائه شدند. مقایسه این مقادیر با مقادیر محاسبه‌شده (جدول ۲) با استفاده از روش‌های نیومن (۱۹۷۲) و تارتاکوفسکی و نیومن (۲۰۰۷) که برای آبخوان آزاد آبرفتی ارائه شدند، نشان می‌دهد که به‌طور کلی برآورد هدایت هیدرولیکی و قابلیت انتقال آبخوان آزاد آبرفتی با استفاده از روش‌های مربوط به آبخوان محبوس آبرفتی، باعث می‌شود هدایت هیدرولیکی و قابلیت انتقال بزرگ‌تر از مقدار واقعی نشان داده شوند. این خطا در چاه‌های ۱۵ و ۱۶ به ترتیب برابر ۶۵/۲۰ و ۷۶/۰۹ درصد است. تحلیل و محاسبه ضرایب هیدرودینامیکی آبخوان آزاد آبرفتی با استفاده از مدل‌های تحلیلی مربوط به آبخوان محبوس آبرفتی (تیس ۱۹۳۵، کوپر و ژاکوب ۱۹۴۶ و پاپادوپولوس و کوپر ۱۹۶۷) در منابع علمی و کاربردی مختلف (یتبارک بای و همکاران ۲۰۱۳، الشیخ و همکاران ۲۰۰۹، اصغری مقدم و الاف نجیب ۲۰۰۶، جالودین و رازک ۲۰۰۴، اکبرپور و همکاران ۱۳۸۹، حسین‌زاده و همکاران ۱۳۸۸، امیری و یعقوبی ۱۳۸۵، بی‌نام ۱۳۸۳، بی‌نام ۱۳۸۱ و بی‌نام ۱۳۷۳) بر اساس نظرات استالمن (۱۹۶۵) و ژاکوب (۱۹۴۷) است. استالمن (۱۹۶۵) و ژاکوب (۱۹۴۷) معتقد بودند در صورتی که افت سطح ایستابی نسبت به ضخامت اشباع اولیه آبخوان کم باشد، می‌توان از جریان عمودی آب در آبخوان آزاد آبرفتی صرف‌نظر نمود و از مدل‌های تحلیلی آبخوان محبوس آبرفتی برای آن استفاده نمود. اما محمدی و نسیمی (۱۳۹۰) و نسیمی و محمدی (۱۳۹۱) نشان دادند که با وجود افت ناچیز سطح ایستابی نسبت به ضخامت اشباع اولیه آبخوان، استفاده از مدل‌های تحلیلی آبخوان محبوس برای آبخوان آزاد می‌تواند تا ۱۱۶۹ درصد در محاسبه ضرایب هیدرودینامیکی آبخوان آزاد آبرفتی

بر این اساس مدل‌های تحلیلی مونچ (۱۹۸۴) و بارکر (۱۹۸۸) برای آبخوان کارستی و مدل‌های تحلیلی نیومن (۱۹۷۲) و تارتاکوفسکی و نیومن (۲۰۰۷) برای آبخوان آزاد آبرفتی پیشنهاد می‌شود و صرفاً در شرایطی می‌توان از مدل‌های تحلیلی مرسوم برای آن‌ها استفاده نمود که S_f در آبخوان کارستی بزرگ‌تر از ۱۰۰۰ و ۷ (پارامتر ارائه‌شده توسط نیومن) در آبخوان آزاد آبرفتی کوچک‌تر از ۰/۰۰۱ باشد. همچنین در این تحقیق ذخیره چاه و اثر پوسته‌ای نیز با استفاده از نمودار تشخیصی بررسی شدند که در چاه‌های دهانه‌گشاد و چاه‌هایی که تحت تأثیر شکست هیدرولیکی قرار گرفته‌اند، تشخیص داده شدند. خطای ذخیره چاه و اثر پوسته‌ای با حذف زمان متأثر از آن‌ها حذف شد. پیشنهاد می‌شود برای محاسبه ضرایب هیدرودینامیک آبخوان در مناطق دیگر، با استفاده از روش‌های مطرح‌شده در این مقاله، به حذف خطاهای استفاده از مدل تحلیلی نامناسب و ذخیره چاه و اثر پوسته‌ای پرداخته شود تا نتایج (ضرایب هیدرودینامیک) دقیق‌تر و قابل‌اعتمادتری حاصل شود.

سپاسگزاری

از بنیاد نخبگان نیروهای مسلح و شرکت سهامی آب منطقه‌ای فارس که شرایط انجام این تحقیق را فراهم نمودند، قدردانی می‌گردد. همچنین از سردبیر محترم و داوران محترم مجله دانش آب‌و‌خاک که با ارائه نظراتشان به افزایش سطح علمی و کیفیت این مقاله کمک نمودند، سپاسگزارم.

این تحقیق با توجه به کوتاه بودن زمان آزمایش پمپاژ چاه‌های آبرفتی دهانه‌گشاد، پس از حذف خطای ذخیره چاه و اثر پوسته‌ای محاسبه ضرایب هیدرودینامیکی آبخوان در پیرامون آن‌ها امکان‌پذیر نبود. اما محاسبه هدایت هیدرولیکی در پیرامون چاه‌های مشاهده‌ای کارستی ۴۹ و ۴۷ ساختگاه سد قیر به‌ترتیب بیان‌گر خطای ۲۱/۱۹ و ۳/۸۶ درصدی ذخیره چاه و اثر پوسته‌ای در این چاه‌هاست. چنانچه هدایت هیدرولیکی پیرامون چاه مشاهده‌ای ۴۹ با استفاده از مدل‌های تحلیلی مونچ (۱۹۸۴) و بارکر (۱۹۸۸) ابتدا به‌ترتیب ۱۲/۲۲ و ۱۱/۹۲ متر بر روز محاسبه شد و پس از حذف زمان مربوط به ذخیره چاه و اثر پوسته‌ای به‌ترتیب ۱۵/۳۳ و ۱۵/۳۰ متر بر روز حاصل شد. همچنین هدایت هیدرولیکی پیرامون چاه مشاهده‌ای ۴۷ با استفاده از مدل‌های تحلیلی مونچ (۱۹۸۴) و بارکر (۱۹۸۸) ابتدا به‌ترتیب ۷۷/۵۳ و ۶۷/۳۵ متر بر روز محاسبه شد و پس از حذف زمان مربوط به ذخیره چاه و اثر پوسته‌ای به‌ترتیب ۷۰/۷۴ و ۶۸/۷۶ متر بر روز حاصل شد.

نتیجه‌گیری کلی

این تحقیق نشان داد که استفاده از مدل‌های تحلیلی مرسوم تاپس (۱۹۲۵) و کوپر و ژاکوب (۱۹۴۶) برای آبخوان‌های کارستی و آزاد آبرفتی می‌تواند به‌ترتیب تا ۸۸/۲۲ و ۷۶/۰۹ درصد خطا در برآورد هدایت هیدرولیکی و قابلیت انتقال آبخوان ایجاد نماید.

منابع مورداستفاده

- اکبرپور ا، آقاحسینعلی شیرازی م، عزیزی م و اعتباری ب، ۱۳۸۹. مقایسه روش‌های تاپس، ژاکوب، برگشت تاپس و هانتوش در تعیین ضرایب هیدرودینامیکی آبخوان‌های آزاد (مطالعه موردی دشت مختاران در استان خراسان جنوبی). صفحه‌های ۱ تا ۶. مجموعه مقالات نهمین کنفرانس هیدرولیک ایران. ۲۰-۱۸ آبان ماه، دانشگاه تربیت مدرس، تهران.
- امیری م و یعقوبی ب، ۱۳۸۵. ارزیابی عرصه پیشنهادی پخش سیلاب در علی آباد دمق - ملایر. مجله زمین‌شناسی ایران، شماره ۴، صفحه‌های ۸۹ تا ۹۹.
- بی‌نام، ۱۳۶۴. گزارش خدمات مهندسی حفاری‌های اکتشافی و آزمایشات پمپاژ چاه‌های مرودشت. پی‌کاو مهندسی مشاور مکانیک خاک- مصالح و محیط. شرکت سهامی آب منطقه‌ای فارس. شیراز.

- بی‌نام، ۱۳۷۳ الف. گزارش آزمایش پمپاژ چهار حلقه چاه آهکی - بهره‌برداری سربالشی کازرون. شرکت مهندسی منابع آب. شرکت سهامی آب منطقه‌ای فارس. شیراز.
- بی‌نام، ۱۳۷۳ ب. گزارش آزمایش پمپاژ پنج حلقه چاه آهکی مرودشت و یک حلقه چاه آبرفتی وزیرآباد شیراز. شرکت مهندسی منابع آب. شرکت سهامی آب منطقه‌ای فارس. شیراز.
- بی‌نام، ۱۳۷۴. گزارش آزمایش پمپاژ پنج حلقه چاه بهره‌برداری سربالشی کازرون و اقلید فارس. شرکت مهندسی منابع آب. شرکت سهامی آب منطقه‌ای فارس. شیراز.
- بی‌نام، ۱۳۷۶. گزارش آزمایش‌های پمپاژ چاه‌های کارستی در ساختگاه طرح سد قیر. شرکت مهندسی مشاور مه‌اب قدس. شرکت سهامی آب منطقه‌ای فارس. شیراز.
- بی‌نام، ۱۳۸۱. گزارش مشخصات فنی، لوگ حفاری و نتایج آزمایش پمپاژ چاه‌های اکتشافی محدوده‌های مطالعاتی میمند و شبانکاره (کد ۲۶۳۶) و شوراب (کد ۲۶۱۴). شرکت سهامی آب منطقه‌ای فارس. شیراز.
- بی‌نام، ۱۳۸۳. گزارش پمپاژ چاه‌های بهره‌برداری و محاسبه ضرایب هیدروپدینامیکی آبخوان آبرفتی دشت‌های درز و سایبان و باشدو - کرمستج. مهندسی مشاور فارساب صنعت. شرکت سهامی آب منطقه‌ای فارس. شیراز.
- بی‌نام، ۱۳۸۸. گزارش مشخصات فنی و لوگ حفاری چاه‌های مشاهده‌ای - اکتشافی و نتایج آزمایش پمپاژ محدوده مطالعاتی نیریز کد ۴۳۰۹. شرکت سهامی آب منطقه‌ای فارس. شیراز.
- حسین‌زاده م، آزادی‌جو ا، آل‌بهبهانی م و مشیری م، ۱۳۸۸. محاسبه و برآورد ضریب قابلیت انتقال با استفاده از روش پاپادوپولوس - کوپر و دانه‌سنجی (مطالعه موردی دشت بوشکان). صفحه‌های ۱ تا ۱۳. مجموعه مقالات نخستین کنفرانس سراسری آب‌های زیرزمینی. ۲۸ آبان ماه، دانشگاه آزاد اسلامی واحد بهبهان، بهبهان.
- روستا، کشاورزی س و مبصری م، ۱۳۸۸. اهمیت بهره‌وری آب کشاورزی در بحران خشکسالی استان فارس (مطالعه موردی شهرستان‌های مرودشت و اقلید). صفحه‌های ۱ تا ۲۱. مجموعه مقالات همایش ملی مدیریت بحران آب. ۱۷-۱۶ اسفند ماه، دانشگاه آزاد اسلامی واحد مرودشت، مرودشت.
- محمدی ض و نسیمی ع، ۱۳۹۰. بررسی اختلاف روش‌های مختلف تحلیل آزمون پمپاژ در برآورد ضرایب هیدروپدینامیک آبخوان آزاد. مجله زمین‌شناسی کاربردی پیشرفته (علوم سابق)، شماره ۲، صفحه‌های ۸ تا ۲۱.
- نسیمی ع و محمدی ض، ۱۳۹۱. ارزیابی دقت روش‌های مختلف محاسبه هدایت هیدرولیکی آبخوان آزاد بر اساس مرحله برگشت آزمون پمپاژ. صفحه‌های ۱ تا ۸. مجموعه مقالات نهمین کنگره بین‌المللی مهندسی عمران. ۲۱-۱۹ اردیبهشت ماه، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان.
- Agarwal RG, Al-Hussainy R and Ramey HJJ, 1970. An investigation of wellbore storage and skin effect in unsteady liquid flow. I. Analytical treatment. SPE Journal 10(3): 279-290.
- Asghari Moghaddam A and Allaf Najib M, 2006. Hydrogeologic characteristics of the alluvial tuff aquifer of northern Sahand Mountain slopes, Tabriz, Iran. Hydrogeology Journal 14(7): 1319-1329.
- Barenblatt GI, Zheltov IuP and Kocina IN, 1960. Basic concepts in the theory of seepage of homogeneous liquids in fissured rocks (strata). Journal of Applied Mathematics and Mechanics 24(5): 1286-1303.
- Barker JA, 1988. A Generalized radial flow model for hydraulic tests in fractured rock. Water Resources Research 24(10): 1796-1804.
- Beauheim RL, Roberts RM and Avis JD, 2004. Well testing in fractured media: flow dimensions and diagnostic plots. Journal of Hydraulic Research 42: 69-76.
- Bourdet D, Whittle TM, Douglas AA and Pirard YM, 1983. A new set of type curves simplifies well test analysis. World Oil 196: 95-106.
- Bourdet D, Ayoub JA and Pirard YM, 1989. Use of pressure derivative in well-test interpretation. SPE Formation Evaluation 4(2): 293-302.
- Chesnaux R, Rafini S and Elliott A-P, 2012. A numerical investigation to illustrate the consequences of hydraulic connections between granular and fractured-rock aquifers. Hydrogeology Journal 20(8): 1669-1680.
- Chow VT, 1952. On the determination of transmissibility and storage coefficients from pumping test data. American Geophysical Union Transactions 33: 397-404.

- Cooper HH and Jacob CE, 1946. A generalized graphical method for evaluating formation constants and summarizing well field history. *American Geophysical Union Transactions* 27: 526-534.
- Delay F, Porel G and Bernard S, 2004. Analytical 2D model to invert hydraulic pumping tests in fractured rocks with fractal behavior. *Water Resources Research* 31: L16501.
- Dewandel B, Lachassagne P, Boudier F, Al-Hattali S, Ladouche B, Pinault J and Al-Suleimani Z, 2005. A conceptual hydrogeological model of ophiolite hard-rock aquifers in Oman based on a multiscale and a multidisciplinary approach. *Hydrogeology Journal* 13(5-6): 708–726.
- Elsheikh AEM, Elsayed Zeielabdein KA and Babikir IAA, 2009. Groundwater balance in the Khor Arbaat basin, Red Sea State, eastern Sudan. *Hydrogeology Journal* 17(8): 2075–2082.
- Freeze RA and Cherry JA, 1979. *Groundwater*. Prentice-Hall, Englewood Cliffs. 604 pp.
- Hamm S-Y and Bidaux P, 1996. Dual-porosity fractal models for transient flow analysis in fractured rocks. *Water Resources Research* 32(9): 2733–2745.
- Jacob CE, 1947. Drawdown test to determine effective radius of artesian well. *Transactions of the American Society of Civil Engineers* 112:1047–1070.
- Jalludin M and Razack M, 2004. Assessment of hydraulic properties of sedimentary and volcanic aquifer systems under arid conditions in the Republic of Djibouti (Horn of Africa). *Hydrogeology Journal* 12(2): 159–170.
- Kruseman GP and de Ridder NA, 2000. *Analysis and Evaluation of Pumping Test Data*. ILRI, Nairobi, Kenya.
- Moench AF, 1984. Double-porosity models for a fissured groundwater reservoir with fracture skin. *Water Resources Research* 20(7): 831-846.
- Neuman SP, 1972. Theory of flow in unconfined aquifers considering delayed gravity response of the water table. *Water Resources Research* 8(4): 1031-1045.
- Neuman SP, 1975. Analysis of Pumping Test Data from Anisotropic Unconfined Aquifers Considering Delayed Gravity Response. *Water Resources Research* 11(2): 329-342.
- Papadopoulos IS and Cooper HH, 1967. Drawdown in a well of large diameter. *Water Resources Research* 3(1): 241-244.
- Renard P, Glenz D and Mejias M, 2009. Understanding diagnostic plots for well-test interpretation. *Hydrogeology Journal* 17(3): 589–600.
- Samani N, Pasandi M and Barry DA, 2006. Characterizing a heterogeneous aquifer by derivative analysis of pumping and recovery test data. *Journal of Geological Society of Iran* 1: 29–41.
- Stallman RW, 1965. Effects of water table conditions on water level changes near pumping wells. *Water Resources Research* 1(2): 295–312.
- Tartakovsky GD and Neuman SP, 2007. Three-dimensional saturated-unsaturated flow with axial symmetry to a partially penetrating well in a compressible unconfined aquifer. *Water Resources Research* 43: W01410.
- Theis CV, 1935. The relation between the lowering of the piezometric surface and the rate and duration of discharge of a well using groundwater storage. *American Geophysical Union Transactions* 16:519-524.
- Yitbarek Baye A, Razack M, Ayenew T and Zemedagegnehu E, 2013. Estimating transmissivity using empirical and geostatistical methods in the volcanic aquifers of Upper Awash Basin central Ethiopia. *Environmental Earth Sciences* 69(6): 1791–1802.