



دانشگاه صنعتی فaisalabad

دانشکده علوم زمین
پایان نامه کارشناسی ارشد
گرایش آبشناسی

عنوان:

بررسی خصوصیات هیدروژئولوژیکی سفره آب زیرزمینی در معدن گل گهر، سیرجان

نگارش:

سید محمد حسینی سبزواری

استاد راهنما:

دکتر غلامحسین کرمی

اساتید مشاور:

دکتر محمد زارع

دکتر سعید کریمی نسب

بهار ۱۳۸۶

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

«افرایتم الماء الذی تشربون ءانتم انزلتموه من المزن ام نحن المنزلون لو نشاء
جعلناه اجاجا فلولا تشکرون».

(سوره واقعه آیات ۶۸-۷۰)

آیا به آبی که می نوشید توجه نمی کنید؟ آیا شما آن آب را از ابرها فرو ریختید یا ما آن را
فرو فرستادیم؟ اگر می خواستیم آن آب را شور می گردانیم آیا شکر گذاری نمی کنید؟

تقدیم به

پدر

و

مادر

عزیز و بزرگوارم،

که همواره در سایه مهر و محبتشان به سر برده‌ام.

قدردانی

اکنون که به لطف و عنایت خداوند منان یکی دیگر از مقاطع تحصیلی خود را به پایان رسانده‌ام، بر خود لازم می‌دانم از استاد راهنمای گرانقدرم جناب آقای دکتر غلامحسین کرمی به سبب راهنمایی‌های خردمندانه و ارزنده‌شان در به ثمر رسیدن این تحقیق صمیمانه تشکر نمایم. از اساتید مشاور خود، جناب آقای دکتر محمد زارع (استادیار بخش علوم زمین دانشگاه شیراز) و جناب آقای دکتر سعید کریمی نسب (استادیار دانشکده مهندسی معدن دانشگاه شهید باهنر کرمان) به سبب کمک‌های ارزشمند و گوهربارشان صمیمانه سپاسگذارم. از جناب آقای دکتر طاهری ریاست محترم دانشکده علوم زمین و اساتید بزرگووارم جناب آقای دکتر کاظمی، جناب آقای دکتر حافظی، جناب آقای دکتر دولتی و کلیه اساتید محترم دانشکده علوم زمین دانشگاه صنعتی شاهرود که از محضرشان استفاده برده‌ام، متشکرم. از جناب آقای شاه حسینی مسئول محترم آموزش دانشکده و سرکار خانم سعیدی کارشناس محترم زمین شناسی که در امور مختلف آموزشی بنده را یاری نموده‌اند، سپاسگذارم.

از مدیریت محترم مرکز تحقیق و توسعه معدن سنگ آهن گل‌گهر جناب آقای مهندس زمانی، مدیریت محترم امور معدن جناب آقای مهندس عسگری، سرپرست محترم واحد آبشناسی جناب آقای مهندس مکنونی و از مسئولین محترم شرکت مهندسی کوشا معدن جناب آقای مهندس معین الدینی و جناب آقای مهندس آزادیخواه و هم چنین جناب آقای مهندس سیاووش حقیقی و جناب آقای مهندس محمدی و دیگر عزیزانی که به هر نحو در معدن سنگ آهن گل‌گهر کمال همکاری را با اینجانب داشته‌اند، نهایت سپاس و امتنان را دارم.

با تشکر

سید محمد حسینی سبزواری

بهار ۱۳۸۶

چکیده

یکی از مسائل مهمی که اغلب معادن با آن مواجه هستند، ورود آب زیرزمینی به گودال معدنی (Pit) می‌باشد، که باعث ایجاد مشکلات عدیده‌ای در رابطه با استخراج مواد معدنی و هزینه‌های مربوط به آن می‌شود. معدن شماره (۱) سنگ آهن گل‌گهر سیرجان که در حال حاضر در عمق حدود ۶۵ متری زیر سطح ایستابی استخراج می‌شود، با مشکل فوق مواجه شده است. به منظور بررسی خصوصیات هیدروژئولوژیکی سفره آب زیرزمینی در محدوده این معدن، ۸۲ حلقه چاه پمپاژ، پیزومتری و مشاهده‌ای از اواخر سال ۱۳۸۳ در داخل و محدوده مجاور آن حفر شد. داده‌های افت - زمان مربوط به چاه‌های پمپاژ و چاه‌های اطراف آن با استفاده از نرم افزار تخصصی *Aquifer win32* مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته و خصوصیات هیدرودینامیکی سفره آب زیرزمینی هم در بخش آبرفتی و هم در بخش سنگی برآورد شدند. با توجه به نتایج حاصله می‌توان اظهار نظر نمود که قابلیت انتقال در بخش آبرفتی در مقایسه با بخش سنگی (به استثنای مناطقی که چاه در داخل توده آهنی حفر شده است) به مراتب بیشتر بوده است. براساس تغییرات مقادیر قابلیت انتقال با زمان، درجه ناهمگنی برای نقاط مختلف برآورد شده است و نتایج بدست آمده حاکی از این است که سفره آب زیرزمینی هم در بخش آبرفتی و هم در بخش سنگی دارای ناهمگنی قابل توجهی می‌باشد. اگر چه تعداد بسیار زیادی چاه پیزومتری و مشاهده‌ای در منطقه حفر شده و لاگ حفاری تمام این چاهها با دقت تهیه شده است و لیکن فقط در ۱۶ حلقه از این چاهها آزمایش پمپاژ انجام شده است. در این تحقیق سعی شده که رابطه‌ای بین قابلیت انتقال محاسبه شده از آنالیز داده‌های آزمایش پمپاژ و ضخامت لایه‌های تشکیل دهنده لایه آبدار در محدوده چاه پمپاژ تهیه شود و سپس معادله مذکور برای برآورد قابلیت انتقال در چاه‌های پیزومتری و مشاهده‌ای که لاگ حفاری آنها موجود است، مورد استفاده قرار گرفته است. در بعضی از چاه‌های پمپاژ، در حین عملیات پمپاژ، مقادیر هدایت الکتریکی، pH و درجه حرارت آب اندازه‌گیری شده است. نتایج حاصله بیانگر این است که مقادیر هدایت الکتریکی با گذشت زمان در تمام چاهها به طور قابل توجهی افزایش پیدا کرده است، که دلیل آن از این قرار است که با گذشت زمان قسمت‌های عمیق‌تر که دارای املاح بیشتری می‌باشند، مشارکت بیشتری در آبدهی چاه پیدا می‌کنند. تغییرات زمانی pH در طول مدت آزمایش پمپاژ کم و بیش ثابت می‌باشد که این تغییرات اندک آن در اثر خروج گاز، خطای حاصل از اندازه‌گیری توسط افراد مختلف و اندازه‌گیری در ساعات مختلف شبانه روز باشند. تغییرات زمانی درجه حرارت آب هم روند خاصی را نشان نمی‌دهد و تابع درجه حرارت محیط و دقت اندازه‌گیری می‌باشد.

کلمات کلیدی: معدن سنگ آهن گل‌گهر، آزمایش پمپاژ، سفره آب زیرزمینی، درجه ناهمگنی، لاگ حفاری.

فهرست مطالب

نه یازده	فهرست اشکال فهرست جداول
۱	فصل اول: مقدمه
۱	۱-۱- موقعیت جغرافیایی منطقه و راه‌های ارتباطی
۳	۲-۱- آب و هوای منطقه
۴	۳-۱- پوشش گیاهی منطقه
۵	۴-۱- ژئومورفولوژی منطقه
۶	۵-۱- زمین شناسی عمومی منطقه
۷	۱-۵-۱- چینه شناسی منطقه
۸	۱-۱-۵-۱- سنگ‌های پالئوزوئیک منطقه
۸	۲-۱-۵-۱- سنگ‌های مزوزوئیک منطقه
۸	۳-۱-۵-۱- سنگ‌ها و تشکیلات رسوبی، سنوزوئیک منطقه
۱۰	۲-۵-۱- سنگ کف منطقه
۱۰	۳-۵-۱- آبرفت‌های منطقه
۱۲	۴-۵-۱- زمین شناسی ساختمانی منطقه
۱۵	۶-۱- هدف از انجام مطالعه
	فصل دوم: مروری بر تحقیقات انجام شده در خصوص آزمایش پمپاژ در سفره‌های
۱۷	سنگی درزه و شکافدار
۱۷	۱-۲- مقدمه
۱۸	۲-۲- سفره‌های آبرفتی
۱۸	۳-۲- سفره‌های سنگی درزه و شکافدار
۲۰	۴-۲- جریان آب زیرزمینی در سازندهای سخت
۲۲	۱-۴-۲- سیستم تخلخل دوگانه
۲۴	۵-۲- ارزیابی خصوصیات هیدرودینامیکی سفره‌های آب زیرزمینی در سازندهای سخت، با استفاده از آزمایش پمپاژ
۳۰	۱-۵-۲- ضرائب هیدرودینامیکی سفره‌های آب زیرزمینی در سازندهای سخت
۳۳	۱-۱-۵-۲- ناچیز بودن مقادیر هدایت هیدرولیکی در توده‌های سنگی
۳۴	۲-۵-۲- ناهمگنی در سفره‌های سنگی درزه و شکافدار
۳۵	۶-۲- کیفیت آب در سازندهای سخت
۳۸	۱-۶-۲- اجزا شیمیایی موجود در آب‌های زیرزمینی سازندهای سخت

فصل سوّم: داده‌ها و روش‌های مورد استفاده

- ۴۰
۴۰-۱-۳ مقدمه
- ۴۲-۲-۳ داده‌های آزمایش پمپاژ مورد استفاده
- ۴۲-۱-۲-۳ داده‌های آزمایش پمپاژ با دبی ثابت
- ۴۳-۲-۲-۳ داده‌های آزمایش افت پله‌ای
- ۴۵-۳-۳ آماده سازی داده‌های آزمایش پمپاژ
- ۴۵-۱-۳-۳ تبدیل داده‌ها
- ۴۵-۲-۳-۳ حذف داده‌های غیر واقعی
- ۴۶-۳-۳-۳ حذف اثر ذخیره داخل چاه
- ۴۶-۴-۳-۳ تصحیح داده‌های آزمایش پمپاژ
- ۴۶-۱-۴-۳-۳ تصحیح اثر افت چاه
- ۴۸-۲-۴-۳-۳ تصحیح دبی مربوطه
- ۵۰-۴-۳ روش‌های مورد استفاده برای تخمین پارامترهای هیدرودینامیکی
- ۵۰-۵-۳ نرم افزار مورد استفاده
- ۵۱-۶-۳ روش‌های آنالیز آزمایشات پمپاژ
- ۵۱-۱-۶-۳ روش تائیس
- ۵۲-۲-۶-۳ روش کوپر - ژاکوب
- ۵۴-۳-۶-۳ روش ایدن - هیزل
- ۵۸-۷-۳ محاسبه درجه ناهمگنی
- ۶۰-۸-۳ داده‌های کیفی آب در طول انجام آزمایش پمپاژ

فصل چهارم: ارزیابی داده‌های آزمایش پمپاژ در محدوده معدن شماره (۱) گل‌گهر

- ۶۱-۱-۴ خصوصیات هیدرودینامیکی سفره آب زیرزمینی
- ۶۱-۱-۱-۴ آنالیز داده‌های آزمایش پمپاژ با دبی ثابت
- ۶۱-۱-۱-۴-۱ بخش آبرفتی معدن
- ۶۲ روش تائیس
- ۶۴ روش کوپر - ژاکوب
- ۶۷-۱-۱-۴-۲ بخش سنگی معدن
- ۶۸ روش تائیس
- ۶۹ روش کوپر - ژاکوب
- ۷۲-۱-۴-۲ آزمون برگشت
- ۷۲-۱-۲-۴-۱ بخش آبرفتی معدن
- ۷۴-۱-۲-۴-۲ بخش سنگی معدن
- ۷۶-۳-۱-۴ آنالیز داده‌های آزمایش افت پله‌ای
- ۷۷-۴-۱-۴ تعیین قابلیت انتقال با استفاده از داده‌های آزمایش پمپاژ و لاگ چاه‌ها
- ۸۲-۵-۱-۴ بررسی تغییرات ضرایب هیدرودینامیکی
- ۸۳-۲-۴ تأثیر مدت زمان آزمایش پمپاژ بر روی ضرائب هیدرودینامیکی
- ۸۵-۳-۴ ارزیابی ناهمگنی سفره آب زیرزمینی

۸۶	۱-۳-۴- ناهمگنی در بخش ابرفتی معدن
۸۷	۲-۳-۴- ناهمگنی در بخش سنگی معدن
۸۸	۳-۳-۴- رابطه بین درجه ناهمگنی و ضریب تغییرات
۸۹	۴-۴- محاسبه مؤلفه‌های افت
۸۹	۱-۴-۴- محاسبه مؤلفه‌های افت مربوط به آزمایش پمپاژ با دبی ثابت
۹۰	۲-۴-۴- محاسبه مؤلفه‌های افت مربوط به آزمایش افت پله‌ای
۹۱	۵-۴- محاسبه دبی ویژه و افت ویژه
۹۳	۶-۴- آنالیز داده‌های کیفی آب در طول انجام آزمایش پمپاژ
۹۳	۱-۶-۴- چاه پمپاژ PW35
۹۴	۲-۶-۴- چاه پمپاژ PW36
۹۶	۳-۶-۴- چاه پمپاژ PW37
۹۷	۴-۶-۴- چاه پمپاژ PW42
۹۹	۵-۶-۴- چاه پمپاژ A4
۱۰۰	۶-۶-۴- چاه پمپاژ A15
۱۰۱	۷-۶-۴- چاه پمپاژ A21
۱۰۳	۸-۶-۴- چاه پمپاژ A29
۱۰۴	۹-۶-۴- چاه پمپاژ B11
۱۰۶	۱۰-۶-۴- ارزیابی تغییرات هدایت الکتریکی، pH و درجه حرارت آب در حین پمپاژ

۱۰۸ فصل پنجم: نتیجه‌گیری و پیشنهادات

۱۰۸	۱-۵- نتیجه‌گیری
۱۰۹	۱-۱-۵- برآورد خصوصیات هیدرودینامیکی سفره آب زیرزمینی
۱۱۰	۲-۱-۵- برآورد قابلیت انتقال در چاههای فاقد آزمایش پمپاژ
۱۱۲	۳-۱-۵- بررسی اثر مدت زمان آزمایش پمپاژ بر خصوصیات هیدرودینامیکی
۱۱۲	۴-۱-۵- بررسی درجه ناهمگنی سفره آب زیرزمینی
۱۱۳	۵-۱-۵- نتایج حاصل از آنالیز داده‌های کیفی در حین آزمایش پمپاژ
۱۱۴	۲-۵- پیشنهادات

۱۱۶ منابع مورد استفاده

۱۲۳ پیوست ۱

فهرست اشکال

- شکل ۱-۱- موقعیت جغرافیایی و راه‌های ارتباطی معدن گل‌گهر ۲
- شکل ۲-۱- نمایی از گودال معدنی معدن شماره (۱) گل‌گهر (دید به سمت جنوب) ۲
- شکل ۳-۱- میزان بارندگی سالیانه در ناحیه معدن گل‌گهر از سال‌های ۱۳۶۳ الی ۱۳۸۴ ۳
- شکل ۴-۱- طبقه‌بندی اقلیمی منطقه گل‌گهر به روش دمارتن (گزارش داخلی معدن ۱۳۸۴) ۴
- شکل ۵-۱- پوشش گیاهی اطراف معدن گل‌گهر ۴
- شکل ۶-۱- تقسیمات زمین‌شناسی ایران و موقعیت معدن گل‌گهر بر روی آن (پورخاک ۱۳۸۲ به نقل از اشتوکلین ۱۹۶۸) ۶
- شکل ۷-۱- مراحل تکاملی منطقه سنندج - سیرجان (پورخاک ۱۳۸۲) ۷
- شکل ۸-۱- نقشه زمین‌شناسی منطقه گل‌گهر (اقتباس از نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ گل‌گهر، سازمان زمین‌شناسی کشور، ۱۳۷۶) ۹
- شکل ۹-۱- وضعیت سنگ کف منطقه (گزارش داخلی معدن ۱۳۸۴) ۱۰
- شکل ۱۰-۱- خطوط هم‌ضخامت آبرفت منطقه گل‌گهر (گزارش داخلی معدن ۱۳۸۴) ۱۱
- شکل ۱۱-۱- وضعیت توپوگرافی و سنگ کف دشت (گزارش داخلی معدن ۱۳۸۴) ۱۱
- شکل ۱۲-۱- موقعیت گسل‌های ایران و منطقه مورد مطالعه (حلاجی ۱۳۸۴) ۱۲
- شکل ۱۳-۱- گسل‌های موجود در داخل معدن شماره (۱) (حلاجی ۱۳۸۴) ۱۳
- شکل ۱۴-۱- نمودار گل‌سرخ‌ی بر مبنای پارامتر امتداد کل گسل‌ها (حلاجی ۱۳۸۴) ۱۴
- شکل ۱۵-۱- نمودار گل‌سرخ‌ی بر مبنای پارامتر امتداد درزه‌های برداشت شده در منطقه (حلاجی ۱۳۸۴) ۱۴
- شکل ۱۶-۱- گسل F17 و تراوش آب از میان آن (دید به سمت جنوب) ۱۵
- شکل ۱۷-۱- نمایی از داخل گودال معدنی معدن شماره (۱) و جمع شدن آب در آن (دید به سمت شمال شرق) ۱۶
- شکل ۱-۲- طرح‌های شماتیک از (a) محیط کاملاً درزه و شکاف‌دار، (b) محیط تخلخل دوگانه و (c) محیط ناهمگن (Singhal and Gupta 1999) ۲۲
- شکل ۲-۲- منحنی افت - زمان که شامل سه بخش می‌شود ۲۴
- شکل ۳-۲- رابطه بین قابلیت انتقال و ظرفیت ویژه سفره آب زیرزمینی در منطقه مان‌دانان (Man-Danane) ۲۹
- شکل ۱-۳- موقعیت چاه‌های پمپاژ، پیژومتری و مشاهده‌ای در محدوده معدن شماره (۱) گل‌گهر ۴۱
- شکل ۲-۳- داده‌های غیر واقعی مربوط به چاه پمپاژ A15 ۴۶
- شکل ۳-۳- روش پیشنهادی برای جدا کردن افت چاه از افت سفره در آزمایشات پمپاژ با دبی ثابت (Karami and Youngr 2002) ۴۷
- شکل ۴-۳- روش ارائه شده جهت جدا کردن افت چاه از افت سفره در آزمایش افت پله‌ای (Karami and Youngr 2002) ۴۸
- شکل ۵-۳- پارامترهای کلیدی بکار برده شده در معادله ۱-۳ (Karami and Youngr 2002) ۴۹
- شکل ۶-۳- روش آیدن - هیزل، داده‌های $(S_{W(m)})$ در برابر مقادیر H_n (Kruseman and de Ridder 1994) ۵۷
- شکل ۷-۳- روش آیدن - هیزل، داده‌های A_n/Q_n در برابر میزان Q_n (Kruseman and de Ridder 1994) ۵۸
- شکل ۱-۴- کاربرد روش تاپس برای آنالیز داده‌های آزمایش پمپاژ در بخش آبرفتی معدن ۶۲

- شکل ۴-۲- کاربرد روش کوپر - ژاکوب برای آنالیز داده‌های آزمایش پمپاژ در بخش آبرفتی معدن ۶۴
- شکل ۴-۳- کاربرد روش تاپس برای آنالیز داده‌های آزمایش پمپاژ در بخش سنگی معدن ۶۸
- شکل ۴-۴- کاربرد روش کوپر - ژاکوب برای آنالیز داده‌های آزمایش پمپاژ در بخش سنگی معدن ۷۰
- شکل ۴-۵- نمودارهای حاصل از آنالیز مرحله برگشت آزمایشات پمپاژ با استفاده از آزمون برگشت تاپس در بخش آبرفتی ۷۳
- شکل ۴-۶- نمودارهای حاصل از آنالیز مرحله برگشت آزمایشات پمپاژ با استفاده از آزمون برگشت تاپس در بخش سنگی ۷۵
- شکل ۴-۷- کاربرد روش ایدن - هیزل برای آنالیز داده‌های آزمایش افت پله‌ای ۷۶
- شکل ۴-۸- تغییرات مقادیر قابلیت انتقال در طول مدت زمان آزمایش پمپاژ در چند چاه پمپاژ، پیژومتری و مشاهده‌ای ۸۴
- شکل ۴-۹- تغییرات مقادیر ضریب ذخیره در طول مدت زمان آزمایش پمپاژ در چند چاه پیژومتری و مشاهده‌ای ۸۴
- شکل ۴-۱۰- رابطه بین درجه ناهمگنی و ضریب تغییرات ۸۸
- شکل ۴-۱۱- تغییرات افت چاه و افت سفره در برابر مقدار دبی پمپاژ به قابلیت انتقال ۹۰
- شکل ۴-۱۲- تغییرات مقادیر افت‌های چاه و سفره در برابر دبی پمپاژ به قابلیت انتقال ۹۱
- شکل ۴-۱۳- روابط بین قابلیت انتقال با دبی ویژه و افت ویژه ۹۳
- شکل ۴-۱۴- تغییرات pH و درجه حرارت آب برای زمان‌های مختلف آزمایش پمپاژ در چاه PW35 ۹۴
- شکل ۴-۱۵- تغییرات زمانی هدایت الکتریکی، pH و درجه حرارت آب در چاه PW36 ۹۵
- شکل ۴-۱۶- تغییرات هدایت الکتریکی، pH و درجه حرارت آب برای زمان‌های مختلف آزمایش پمپاژ در چاه PW37 ۹۶
- شکل ۴-۱۷- تغییرات هدایت الکتریکی، pH و درجه حرارت آب برای زمان‌های مختلف آزمایش پمپاژ در چاه PW42 ۹۸
- شکل ۴-۱۸- تغییرات زمانی هدایت الکتریکی و pH آب در چاه پمپاژ A4 ۹۹
- شکل ۴-۱۹- تغییرات هدایت الکتریکی، pH و درجه حرارت آب برای زمان‌های مختلف آزمایش پمپاژ در چاه پمپاژ A15 ۱۰۱
- شکل ۴-۲۰- تغییرات زمانی هدایت الکتریکی، pH و درجه حرارت آب در چاه پمپاژ A21 ۱۰۲
- شکل ۴-۲۱- تغییرات هدایت الکتریکی و pH آب برای زمان‌های مختلف در چاه پمپاژ A29 ۱۰۴
- شکل ۴-۲۲- تغییرات زمانی هدایت الکتریکی، pH و درجه حرارت آب در چاه پمپاژ B11 ۱۰۵

فهرست جداول

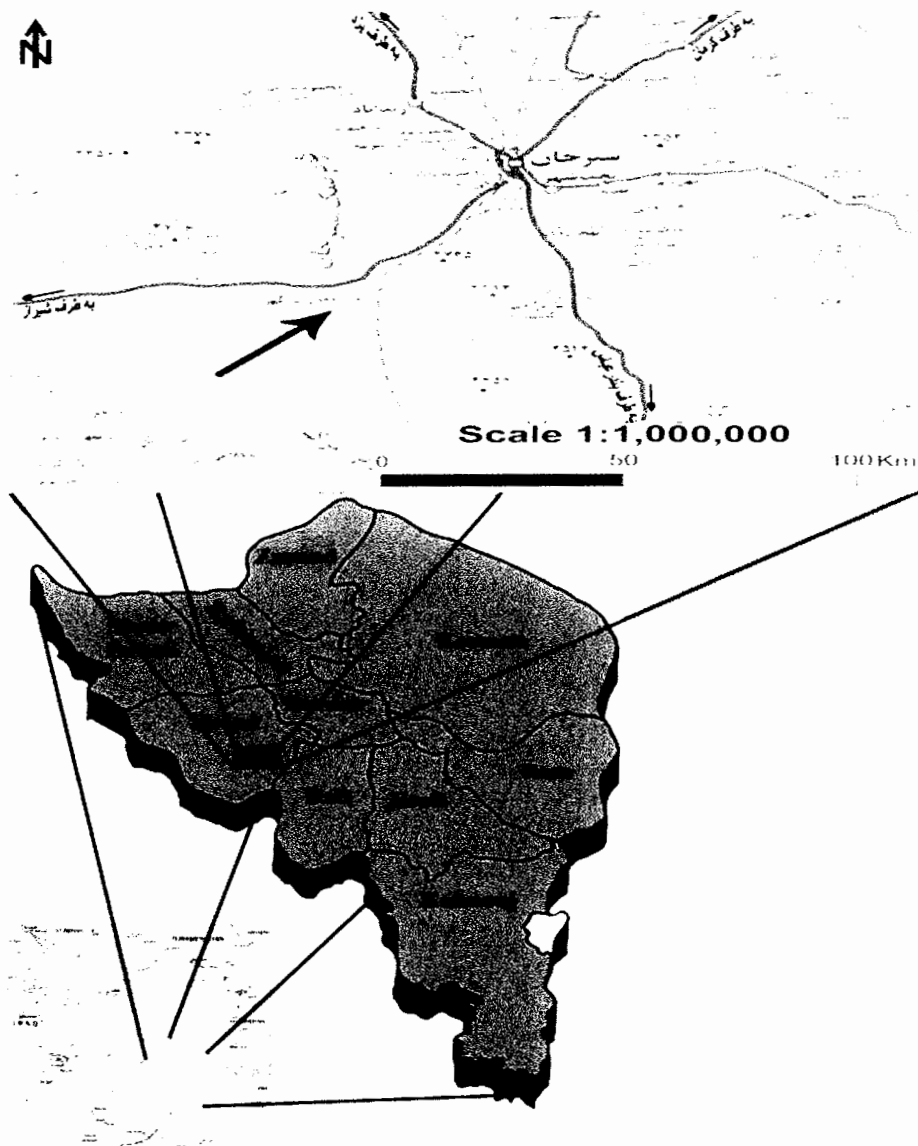
- جدول ۱-۲- اطلاعات حاصل از نتایج آزمایشات پمپاژ در چند سفره درزه و شکافدار ۲۷
- جدول ۲-۲- محدوده پارامترهای هیدرولیکی در انواع سنگهای مختلف (Singhal and Gupta 1999) ۳۱
- جدول ۳-۲- خواص هیدرولیکی سنگهای بلورین حاصل از آزمایشات پمپاژ و پکر (Singhal and Gupta 1999) ۳۱
- جدول ۴-۲- محدوده پارامترهای هیدرولیکی در تشکیلات مختلف سنگی ۳۲
- جدول ۵-۲- مقایسه میان نفوذپذیری بلوکهای سنگی و سنگهای درزه و شکافدار براساس میزان بازشدگی شکافها (Castany 1984) ۳۳
- جدول ۶-۲- غلظت کاتیونها و آنیونهای غالب در انواع مختلف سازندهای سخت بر حسب میلی-گرم بر لیتر (Singhal and Gupta 1999) ۳۸
- جدول ۱-۳- اطلاعات مربوط به چاههای تحت تأثیر آزمایش پمپاژ با دبی ثابت ۴۲
- جدول ۲-۳- اطلاعات مربوط به چاههای تحت تأثیر آزمایش افت پله‌ای ۴۴
- جدول ۱-۴- مقادیر قابلیت انتقال و ضریب ذخیره بدست آمده از بخش آبرفتی معدن ۶۶
- جدول ۲-۴- مقادیر قابلیت انتقال و ضریب ذخیره بدست آمده از بخش سنگی معدن ۷۱
- جدول ۳-۴- نتایج حاصل از آنالیز داده‌های مرحله برگشت با استفاده از آزمون برگشت تاپس در بخش آبرفتی ۷۴
- جدول ۴-۴- نتایج حاصل از آنالیز داده‌های مرحله برگشت با استفاده از آزمون برگشت تاپس در بخش سنگی ۷۵
- جدول ۵-۴- مقادیر قابلیت انتقال محاسبه شده با استفاده از داده‌های آزمایش افت پله‌ای ۷۷
- جدول ۶-۴- اطلاعات مربوط به لاگ چاه‌ها و مقدار قابلیت انتقال در چاههای پمپاژ ۷۸
- جدول ۷-۴- محاسبه مقدار قابلیت انتقال در چند چاه پمپاژی ۸۰
- جدول ۸-۴- مقادیر قابلیت انتقال چاههای مشاهده‌ای و پیژومتری با استفاده از معادله ۴-۴ ۸۱
- جدول ۹-۴- مقادیر درصد ضریب تغییرات قابلیت انتقال و ضریب ذخیره در دو بخش آبرفتی و سنگی ۸۳
- جدول ۱۰-۴- مقادیر درجه ناهمگنی در بخش آبرفتی معدن ۸۶
- جدول ۱۱-۴- مقادیر درجه ناهمگنی در بخش سنگی معدن ۸۸
- جدول ۱۲-۴- مقادیر مؤلفه‌های افت با استفاده از آزمایش پمپاژ با دبی ثابت ۸۹
- جدول ۱۳-۴- محاسبه مقدار مؤلفه‌های افت با استفاده از آزمایش افت پله‌ای ۹۰
- جدول ۱۴-۴- مقادیر دبی ویژه و افت ویژه در چاههای تحت آزمایش پمپاژ ۹۲

فصل اوّل: مقدمه

۱-۱- موقعیت جغرافیایی منطقه و راه‌های ارتباطی

ناحیه معدنی سنگ آهن گل‌گهر در حدود ۵۰ کیلومتری جنوب غرب سیرجان و در محدوده طول‌های جغرافیایی $۱۵^{\circ} ۵۵'$ تا $۲۴^{\circ} ۵۵'$ شرقی و عرض‌های جغرافیایی $۲۹^{\circ} ۰۳'$ تا $۲۹^{\circ} ۰۷'$ شمالی واقع شده است. راه ارتباطی این منطقه جاده آسفالتی سیرجان - شیراز است، که بعد از طی حدود ۴۲ کیلومتر جاده آسفالتی یک راه فرعی آسفالتی به طرف جنوب تا معدن امتداد می‌یابد. راه آهن بافق - بندرعباس از ۸ کیلومتری شرق معدن عبور می‌کند که یک انشعاب به طول حدود ۱۰ کیلومتر معدن را به شبکه راه آهن سراسری متصل می‌سازد و محصول آن از طریق راه آهن به کارخانه‌های فولاد مبارکه و مجتمع فولاد اهواز حمل می‌شود.

نقشه‌های توپوگرافی منطقه شامل نقشه قطروئیه با مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ با شماره IV ۷۰۴۸ توسط سازمان جغرافیایی ارتش و دیگری با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰ در ۱۳ برگ از ناحیه معدنی گل‌گهر توسط سازمان نقشه برداری کشور تهیه شده‌اند. عکس‌های هوایی با مقیاس ۱:۲۰۰۰۰ نیز با شماره بلوک ۳۷۵ و شماره ردیف‌های ۱۶، ۱۷، ۱۸ و ۱۹ که عکس‌های هر ردیف حدوداً از شماره ۹ تا ۲۵ تمام منطقه مورد مطالعه را می‌پوشانند، وجود دارند (حلاجی ۱۳۷۰). شکل ۱-۱ موقعیت جغرافیایی و راه‌های ارتباطی معدن گل‌گهر و شکل ۱-۲ نمایی از گودال معدنی، معدن شماره (۱) گل‌گهر را نشان می‌دهند.



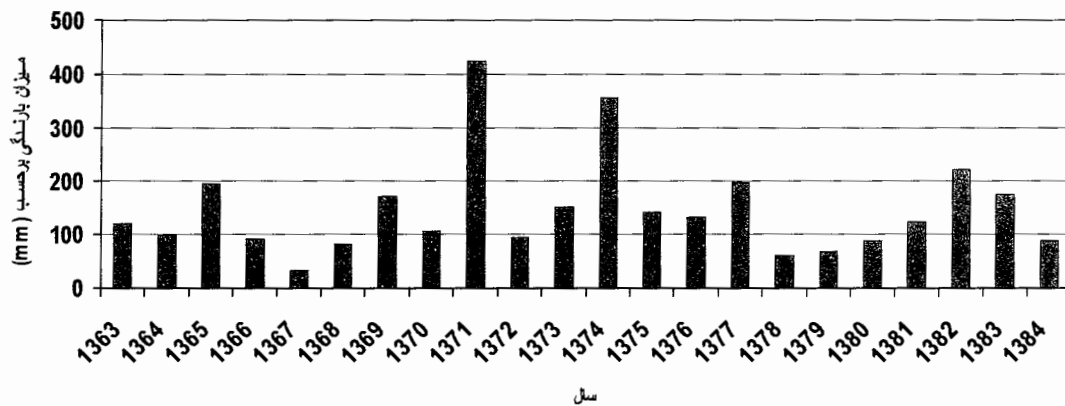
شکل ۱-۱- موقعیت جغرافیایی و راه‌های ارتباطی معدن گل گهر



شکل ۲-۱- نمایی از گودال معدنی، معدن شماره (۱) گل گهر (دید به سمت جنوب)

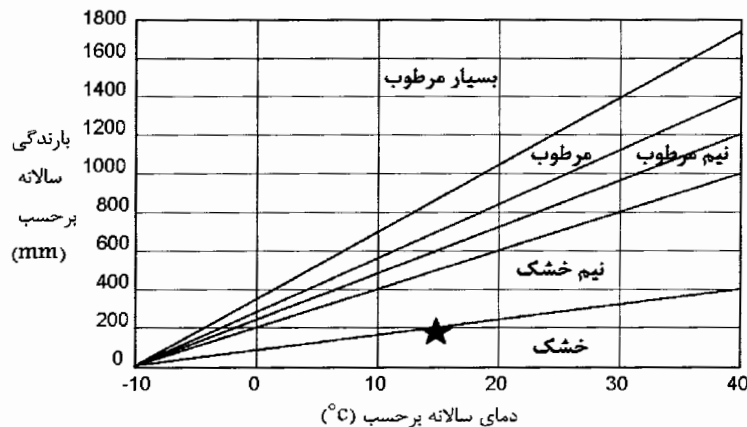
۲-۱- آب و هوای منطقه

آب و هوای منطقه خشک و کویری است، که موجب بالا و پائین رفتن شدید دما در طول شبانه روز (تفاوتی بالغ بر ۳۵ درجه سانتی‌گراد) می‌شود. این منطقه دارای بهاری معتدل، تابستان‌های بسیار گرم، پائیز و زمستان‌های سرد می‌باشد. حداکثر درجه حرارت ۴۲ درجه مربوط به مرداد ماه و حداقل آن ۱۶- درجه سانتی‌گراد مربوط به دی ماه است. متوسط درجه حرارت سالیانه $16/9^{\circ}\text{C}$ است. با توجه به شکل ۱-۳ میزان بارندگی سالیانه در طی سال‌های اخیر (از سال ۱۳۶۳ الی ۱۳۸۴) بین ۳۲/۱ تا ۴۲۳/۷ میلی‌متر متغیر بوده است که میانگین آن حدوداً ۱۴۸ میلی‌متر می‌باشد. به طور کلی بارندگی در این منطقه در زمستان، بهار و گاهی در میانه‌ی مرداد ماه صورت می‌گیرد ولی مقدار آن چندان چشمگیر نمی‌باشد، به طوری که رودخانه دائمی در منطقه وجود ندارد. معمولاً پر باران‌ترین و کم باران‌ترین ماه‌های سال به ترتیب آذر ماه و شهریور ماه هستند و متوسط رطوبت ۳۳/۹٪ می‌باشد.



شکل ۱-۳- میزان بارندگی سالیانه در ناحیه معدن گل‌گهر از سال‌های ۱۳۶۳ الی ۱۳۸۴

براساس روش دمارتن ضریب خشکی منطقه ۶/۳۹ می‌باشد و براساس این طبقه‌بندی، منطقه گل‌گهر دارای اقلیم خشک است. شکل ۱-۴ وضعیت اقلیم منطقه گل‌گهر (با علامت ★) را براساس طبقه‌بندی دمارتن نشان می‌دهد.



شکل ۱-۴- طبقه‌بندی اقلیمی منطقه گل‌گهر به روش دمارتن (گزارش داخلی معدن ۱۳۸۴)

۱-۳- پوشش گیاهی منطقه

به علت کمی باران، گرمای زیاد و تبخیر شدید پوشش گیاهی منطقه ناچیز است و تنها منحصر به مواقعی است که بوته‌های کوتاه بیابانی در دشتهای آبرفتی اطراف کانسار گسترده شده‌اند، به طوری که ارتفاعات منطقه تقریباً فاقد هر گونه پوشش گیاهی می‌باشند، فقط در بخش جنوبی معدن و جنوب ارتفاعات چاه سفید می‌توان درختهای بنه (پسته وحشی)، زروک و بادام کوهی را با تراکم‌های مختلف مشاهده نمود (پورخاک ۱۳۸۲). شکل ۱-۵ پوشش گیاهی اطراف معدن گل‌گهر را نشان می‌دهد.



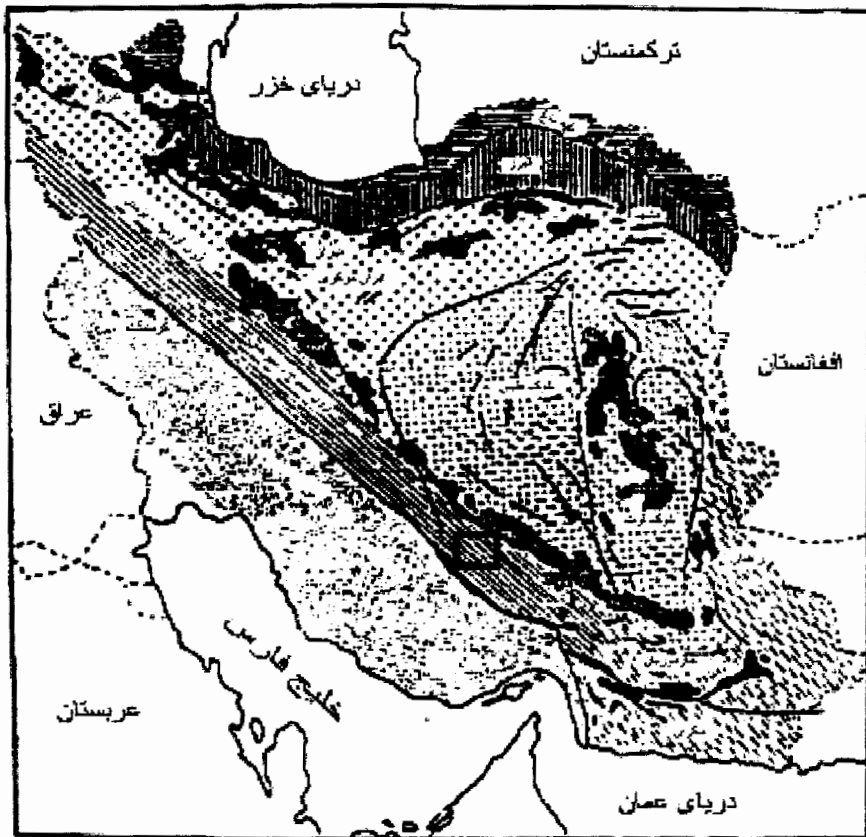
شکل ۱-۵- پوشش گیاهی اطراف معدن گل‌گهر

۱-۴- ژئومورفولوژی منطقه

مورفولوژی کلی ناحیه معدنی گل‌گهر شامل یک دشت وسیع هموار تا ناهموار است، که تک رشته‌هایی از تشکیلات کربناته از آن سر برآورده است که این ارتفاعات دارای دامنه نامنظم، آبراهه‌های فرسایشی و کارستی نامنظم می‌باشند. اختلاف سطح بخش‌های مختلف دشت به علت عملکرد هورست و گرابنی گسل‌های نرمال و جوان است، به طوری که سنگ کف دچار بالا آمدگی و فروافتادگی شده که این فروافتادگی‌ها بعداً توسط رسوبات سیلابی پر شده‌اند (پورخاک ۱۳۸۲). این ناحیه در دامنه جنوبی یک طاق‌دیس قرار داشته و آبرفت‌های عهد حاضر به جز چند رخنمون روی معدن را پوشانده‌اند. در این ناحیه سه واحد ریخت‌شناسی وجود دارد، که شامل کوه‌های ستیغ‌دار، دشت‌های آبرفتی و نمکزارهای وسیع می‌شوند. امتداد عمومی ارتفاعات منطقه (کوه‌های ستیغ‌دار) NW-SE بوده است، که شامل دو رشته کوه موازی به نام چاه بره با ارتفاع ۱۹۸۶ متر در غرب و کوه‌های چاه سفید با ارتفاع حداکثر ۲۰۰۰ متر و رشته کوه بی‌بی‌مکو با ارتفاع ۱۸۱۵ متر به ترتیب در جنوب شرق و شرق ناحیه می‌باشند. رشته کوه کم ارتفاع بی‌بی‌مکو که دارای ریزش‌های بلوکی است از آهک‌های ائوسن تشکیل شده است. در قسمت جنوب، رشته کوه عین‌البقر با ارتفاع ۲۰۳۷ متر با امتداد تقریباً E-W وجود دارد، که در نهایت به نواحی پست ختم می‌شود. ارتفاع متوسط دشت‌های آبرفتی ناحیه معدنی نیز در حدود ۱۷۴۰ متر است (کلیه ارتفاعات از سطح دریاست). نمکزارهای کویر نمک سیرجان (کفه خیرآباد) و کویر مرگ (کفه مور) به ترتیب در شمال و جنوب معدن با مخلوطی از رس، نمک و گچ (رسوبات کولابی تبخیری) که در فصول بارندگی محیطی باتلاقی و در فصول خشک زمین صاف و مسطحی را تشکیل می‌دهند، وجود دارند. قشری از نمک به صورت چند ضلعی منشوری شکل کوتاه قسمت اعظم کویر نمک سیرجان را می‌پوشاند. در جنوب غرب ناحیه معدنی عوارض توپوگرافی ناهموار (bad land) با فرسایش آبراهه‌ای متعدد (هزار دره) در کنگلومرای نئوژن مشاهده می‌شود (رادفر ۱۳۷۳).

۱-۵- زمین شناسی عمومی منطقه

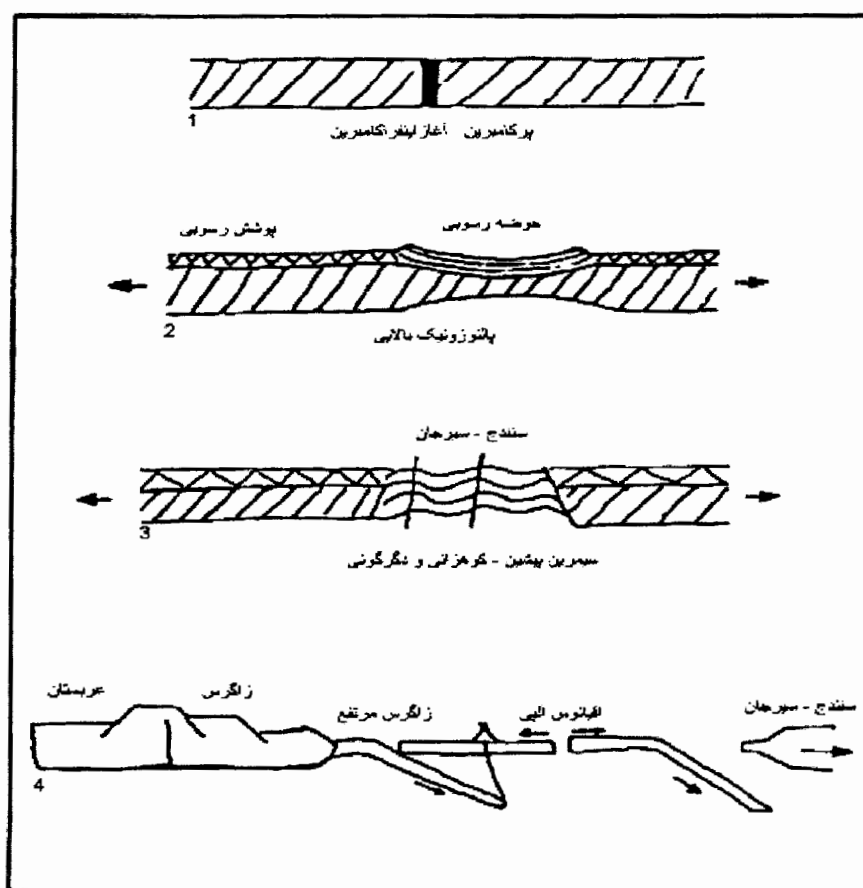
ناحیه معدنی گل گهر در لبه شمال شرقی زون سنندج - سیرجان و لبه فروافتادگی نمکزار کویر نمک (کفه خیرآباد) سیرجان قرار گرفته است. شکل ۱-۶ تقسیمات زمین شناسی ایران و موقعیت معدن را بر روی زون سنندج - سیرجان نشان می دهد.



شکل ۱-۶- تقسیمات زمین شناسی ایران و موقعیت معدن گل گهر بر روی آن (پورخاک ۱۳۸۲ به نقل از اشتوکلین ۱۹۶۸)

در شکل ۱-۷ مرحله های ۱ تا ۳، طرح فرضی از مرحله های مختلف تکامل منطقه سنندج - سیرجان که توسط آلریک و همکاران در سال ۱۹۷۷ و در سال ۱۹۷۵ با تغییر، توسط سبزه های ارائه شده است و

مرحله ۴ طرح فرضی است که توسط بربریان در سال ۱۹۸۳ در مورد بازشدگی کف اقیانوس آلپی مرتفع و زیرراندگی آن در منطقه سنندج - سیرجان در طی تریاس میانی به بعد را نشان می‌دهد (پورخاک ۱۳۸۲).



شکل ۱-۷- مراحل تکاملی منطقه سنندج - سیرجان (پورخاک ۱۳۸۲)

۱-۵-۱- چینه شناسی منطقه

با توجه به اینکه منطقه مورد مطالعه توسط رسوبات آبرفتی پوشیده شده است، ارتفاعات معدودی که رخنمون دارند، شامل سنگ‌های دگرگونی پالئوزوئیک در جنوب و جنوب غرب و سنگ‌های رسوبی مزوزوئیک و سنوزوئیک در شرق ناحیه معدنی می‌باشند (حلاجی ۱۳۷۰).

۱-۵-۱-۱- سنگ‌های پالئوزوئیک منطقه

کمپلکس گل‌گهر: این مجموعه قدیمی‌ترین مجموعه دگرگونی (با سن احتمالی اردوویسین - سیلورین) منطقه را تشکیل می‌دهد. بخش تحتانی آن شامل تناوبی از گنایس، میکاشیست، کوارتزیت، آمفیبولیت و کوارتز شیست می‌باشد، کلیه سنگ‌های دگرگونی تحتانی در اثر دگرگونی بازیک و الترابازیک و دایک‌های دیابازیک و گابرویی بوجود آمده است که مبین فعالیت‌های آتشفشانی زیردریایی است (حلاجی ۱۳۷۰).

کمپلکس گر سفید: با سن احتمالی دونین از تناوب مرمر و شیست در بعضی مناطق مثل ارتفاع شمالی چاه بره و کوه عین البقر به طور محلی به صورت دولومیت توده‌ای با رنگ کرم روشن دیده می‌شود (حلاجی ۱۳۷۰).

۱-۵-۱-۲- سنگ‌های مزوزوئیک منطقه

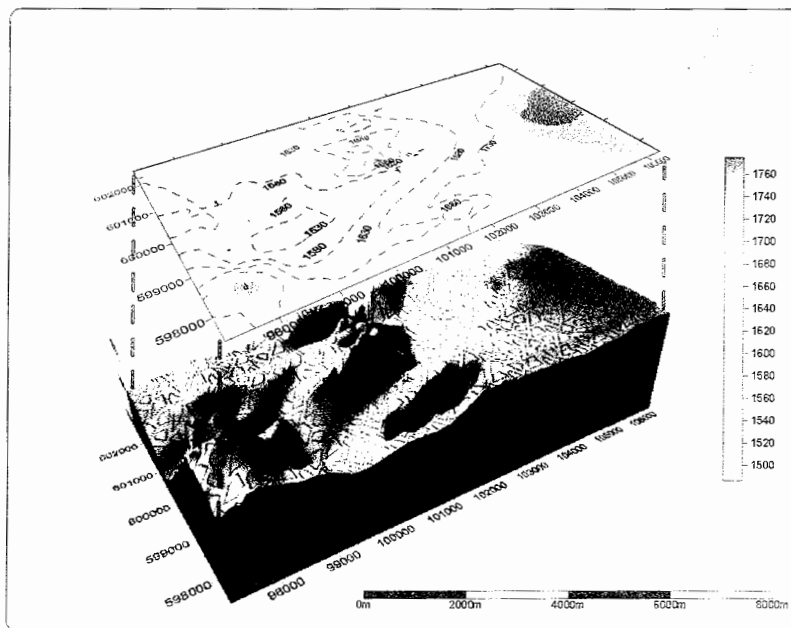
در شمال شرق و شرق معدن بیرون زدگی دارند. رسوبات تریاس به صورت آهک‌های ریفی و دولومیت‌های تریاس فوقانی در ناحیه دوکوهی در شمال شرق معدن و رسوبات ژوراسیک فوقانی به صورت آهک‌های آلیتی قهوه‌ای رنگ، در شرق معدن بیرون زدگی دارند (حلاجی ۱۳۷۰).

۱-۵-۱-۳- سنگ‌ها و تشکیلات رسوبی، سنوزوئیک منطقه

آهک‌های ائوسن میانی این دوران با یک کنگلومرای قاعده‌ای شروع می‌شوند، که دارای قله‌های خوب گرد شده‌ای از آهک‌های خاکستری آربیتولین‌دار کرتاسه فوقانی می‌باشند. روی این کنگلومرای قاعده‌ای آهک‌های کرم رنگ پوشانده که غنی از فسیل‌های مرجان و میکروفسیل‌های فرامینیفر است. در قسمت جنوبی کوه بی‌بی‌مکو فلیش‌های ائوسن - الیگوسن با قطعات نومولیت‌دار به صورت برش‌های ریز تا درشت دانه و حتی قطعات بزرگ آهک‌های نومولیت‌دار دیده می‌شود، که به رنگ سبز قهوه‌ای تا سبز کرم مشاهده می‌شود. روی تشکیلات فلیشی ذکر شده سکansı از رسوبات عهد حاضر از پلیوستوسن تا عهد حاضر قرار گرفته است (حلاجی ۱۳۷۰). شکل ۱-۸ نقشه زمین شناسی منطقه گل‌گهر را نشان می‌دهد.

۱-۵-۲- سنگ کف منطقه

سنگ کف منطقه گل گهر گنبدی شکل است، که قلّه آن در مرکز دشت و در موقعیت گودال معدنی (Pit) قرار داشته است. ارتفاع سنگ کف این منطقه در اطراف ناحیه معدن کاهش می‌یابد و در سایر مناطق سنگ کف دارای ارتفاعات متغیّری می‌باشد. شکل ۱-۹ وضعیت سنگ کف منطقه را نشان می‌دهد. سنگ کف این منطقه در نواحی مرکزی بیشتر از جنس مگنتیت و در سایر نواحی بیشتر از جنس سنگ‌های دگرگونی نظیر کلریت شیست، مگنتیت شیست و گنیس می‌باشد (گزارش داخلی معدن ۱۳۸۴).

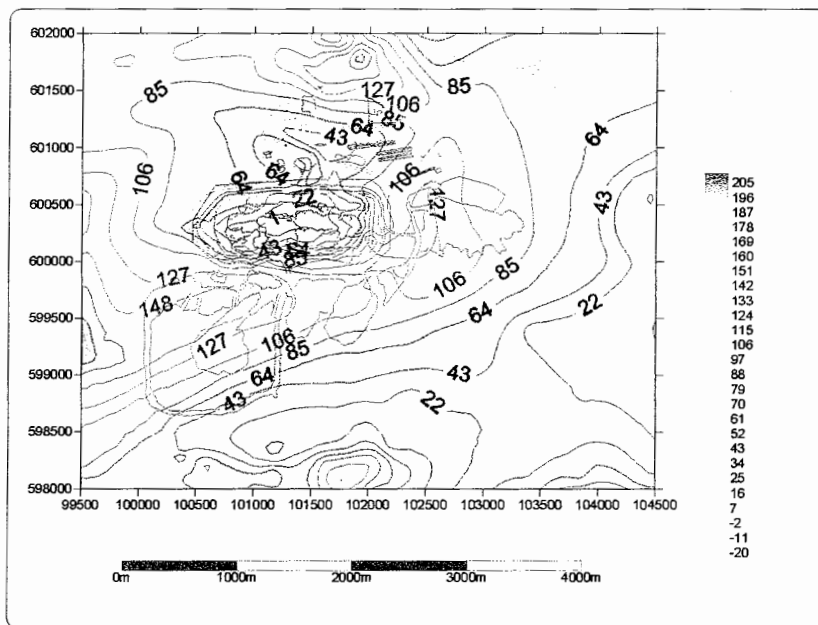


شکل ۱-۹- وضعیت سنگ کف منطقه (گزارش داخلی معدن ۱۳۸۴)

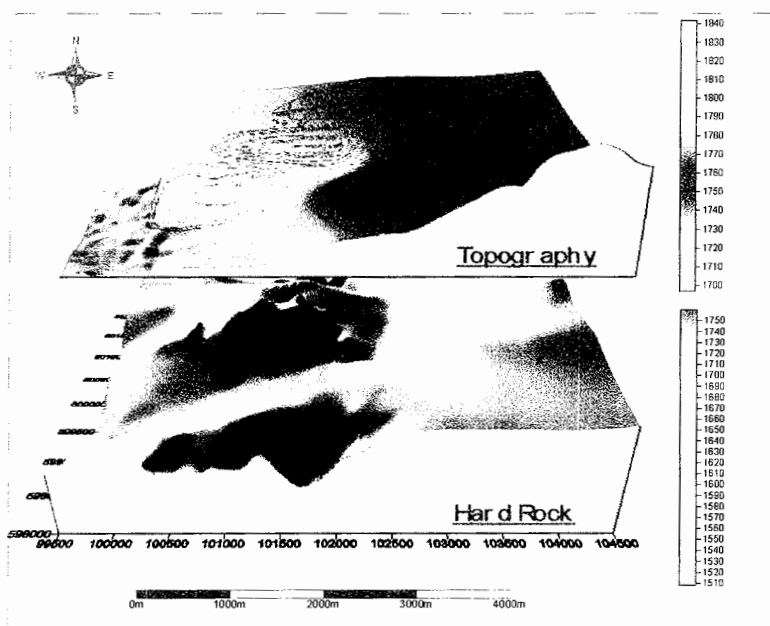
۱-۵-۳- آبرفت‌های منطقه

تغییر ضخامت رسوبات آبرفتی منطقه گل گهر با توجه به وضعیت توپوگرافی و سنگ کف منطقه مورد مطالعه قرار گرفته است. همان طور که در بخش قبلی نیز ذکر شد، سنگ کف منطقه گل گهر گنبدی شکل است، که قلّه آن در مرکز دشت و در موقعیت گودال معدنی قرار داشته است، که توسط رسوباتی با ضخامت ناچیز پوشیده شده است. ضخامت آبرفت به سمت حواشی معدن به حدود ۱۵۰ متر افزایش می‌یابد، که حداکثر ضخامت آبرفت در سمت غرب منطقه قرار دارد. شکل‌های ۱-۱۰ و ۱-۱۱

به ترتیب خطوط هم ضخامت آبرفت منطقه و وضعیت توپوگرافی به همراه سنگ کف دشت گل گهر را برای مقایسه نشان می‌دهند (گزارش داخلی معدن ۱۳۸۴).



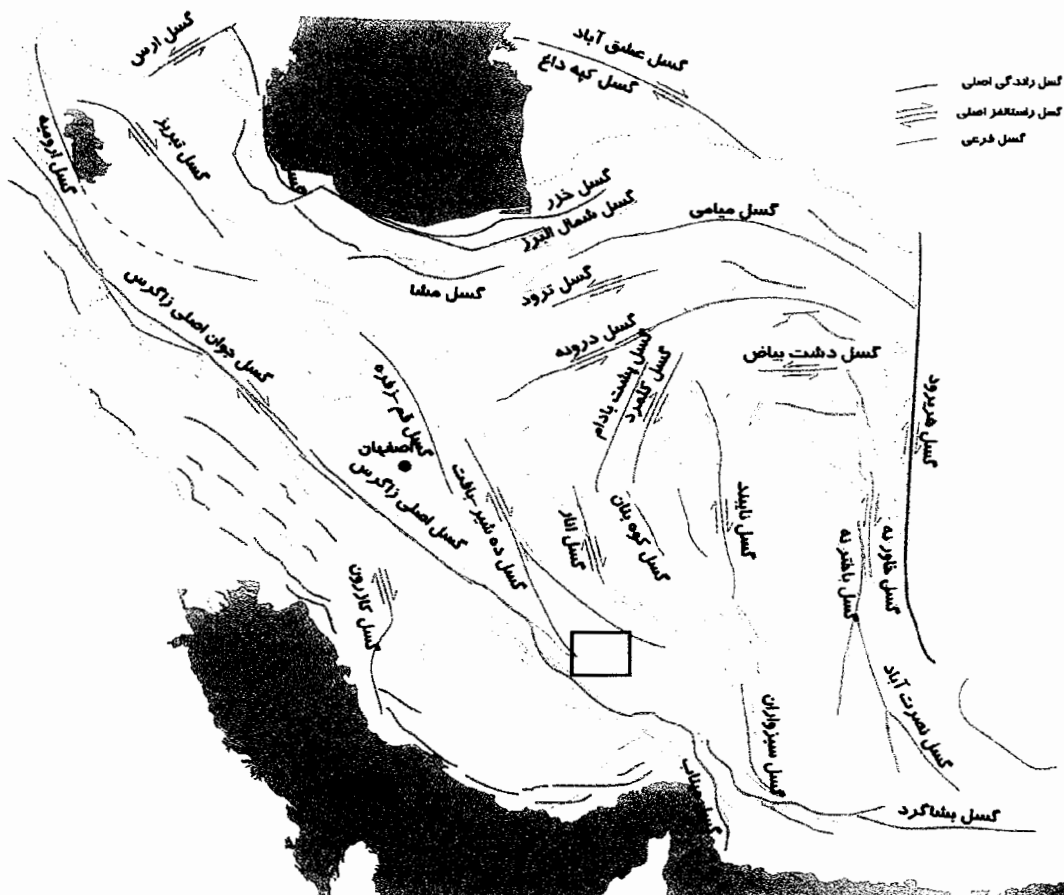
شکل ۱-۱۰- خطوط هم ضخامت آبرفت منطقه گل گهر (گزارش داخلی معدن ۱۳۸۴)



شکل ۱-۱۱- وضعیت توپوگرافی و سنگ کف دشت گل گهر (گزارش داخلی معدن ۱۳۸۴)

۱-۵-۴- زمین شناسی ساختمانی منطقه

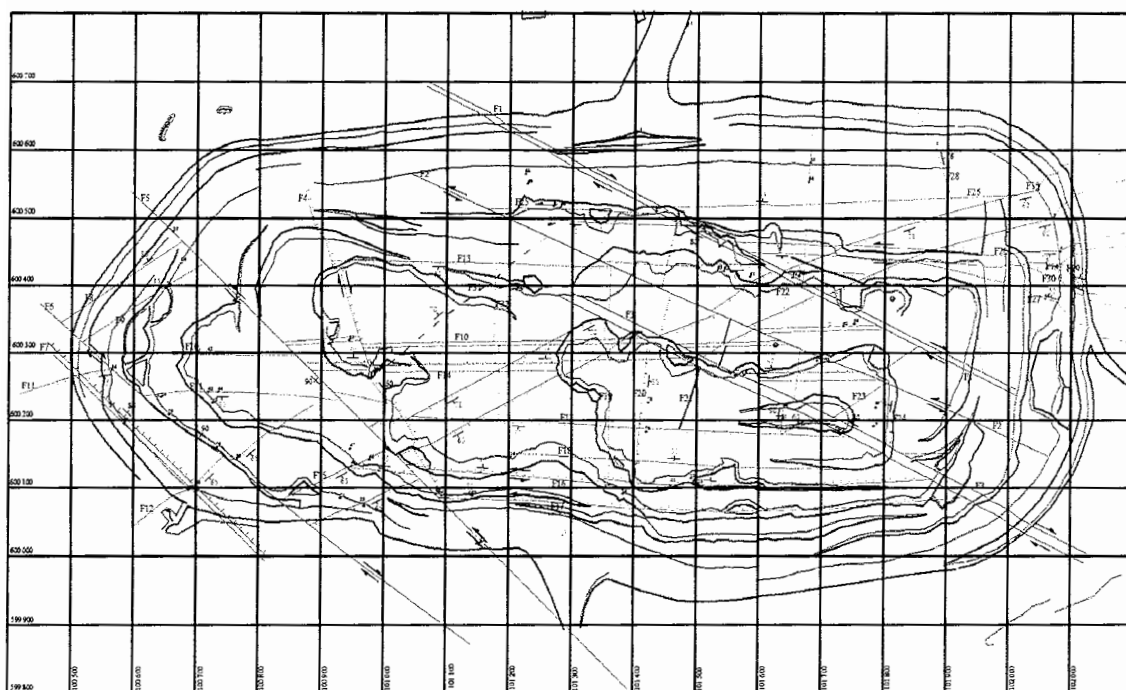
با توجه به قرار گرفتن منطقه در زون سنندج - سیرجان مجموعه‌های سنگ شناسی این زون حوادث زیادی را بر خود دیده‌اند، که مهمترین آنها در نواحی جنوبی آن حوادث کوهزایی سیمیرین آغازی است، ویژگی‌های ساختاری این ناحیه در گزارشات تعدادی از محققین و زمین شناسان آورده شده است. مهمترین ویژگی ساختاری این فاز بوجود آمدن فولیاسیون دگرگونی در سنگهاست که در انواع مختلف لیتولوژی نموده‌های مختلف دارد (رادفر ۱۳۷۳).



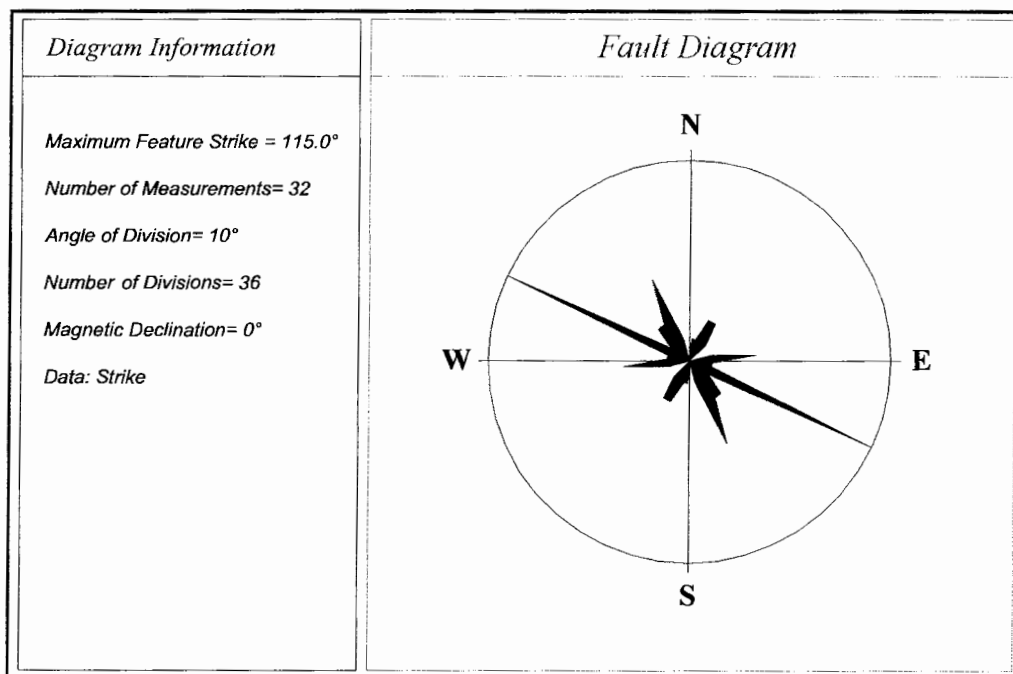
شکل ۱-۱۲- موقعیت گسل‌های ایران و منطقه مورد مطالعه (حلاجی ۱۳۸۴)

همان طور که شکل ۱-۱۲ نشان می‌دهد، ناحیه معدنی گل‌گهر در نزدیکی ناحیه برخورد گسل‌های ده‌بید و ده‌شیر و در کنار گسل تراستی زاگرس قرار دارد. گسل نائین - بافت از ۸۰ کیلومتری شمال شرق معدن و گسل تراستی زاگرس از ۶۰ کیلومتری جنوب غربی معدن می‌گذرد.

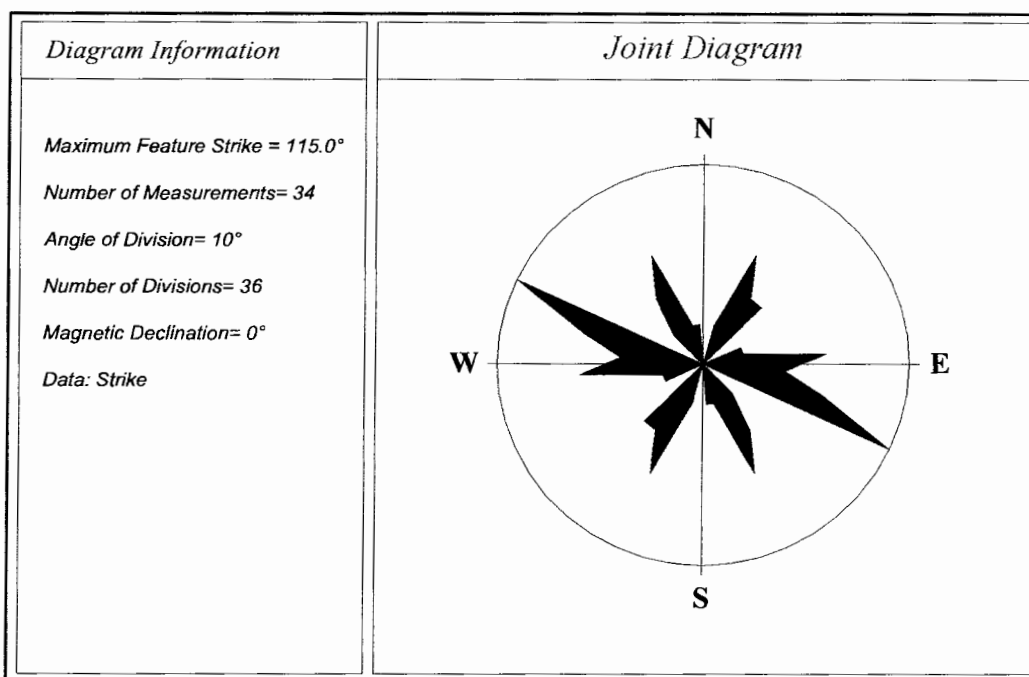
گسل تراستی زاگرس در گذر از جنوب غرب سیرجان دارای پیچیدگی بیشتری نسبت به قسمت‌های دیگر تراست زاگرس است. گسل‌های اصلی ناحیه گل‌گهر عمدتاً معکوس هستند، در حالی که گسل‌های کواترنر همگی نرمال و پویا بوده و دارای امتداد شمال غربی - جنوب شرقی می‌باشند و جابجایی از چند سانتی‌متر تا چندین متر در آنها دیده می‌شود (مشاهده حفره سنگ شکن و رخنمون‌های دیواره‌های پله‌های معدن) و اکثراً پرشیب هستند اما به دلیل پوشیده شدن منطقه از آبرفت‌های عهد حاضر نمی‌توان تفسیر دقیقتری ارائه نمود (رجائیان و حلاجی ۱۳۷۰). براساس اطلاعات جدید گسل‌های برداشت شده معدن سنگ آهن گل‌گهر نشانگر این واقعیت هستند که اغلب قریب به اتفاق گسل‌های موجود کششی و شیب عمومی آنها بین ۶۵ تا ۹۰ درجه می‌باشند (شکل ۱-۱۳). شکل‌های ۱-۱۴ و ۱-۱۵ به ترتیب نمودارهای گل‌سرخ‌ی گسل‌ها و درزه‌های موجود در معدن شماره (۱) را نشان می‌دهند (حلاجی ۱۳۸۴).



شکل ۱-۱۳- گسل‌های موجود در داخل معدن شماره (۱) (حلاجی ۱۳۸۴)



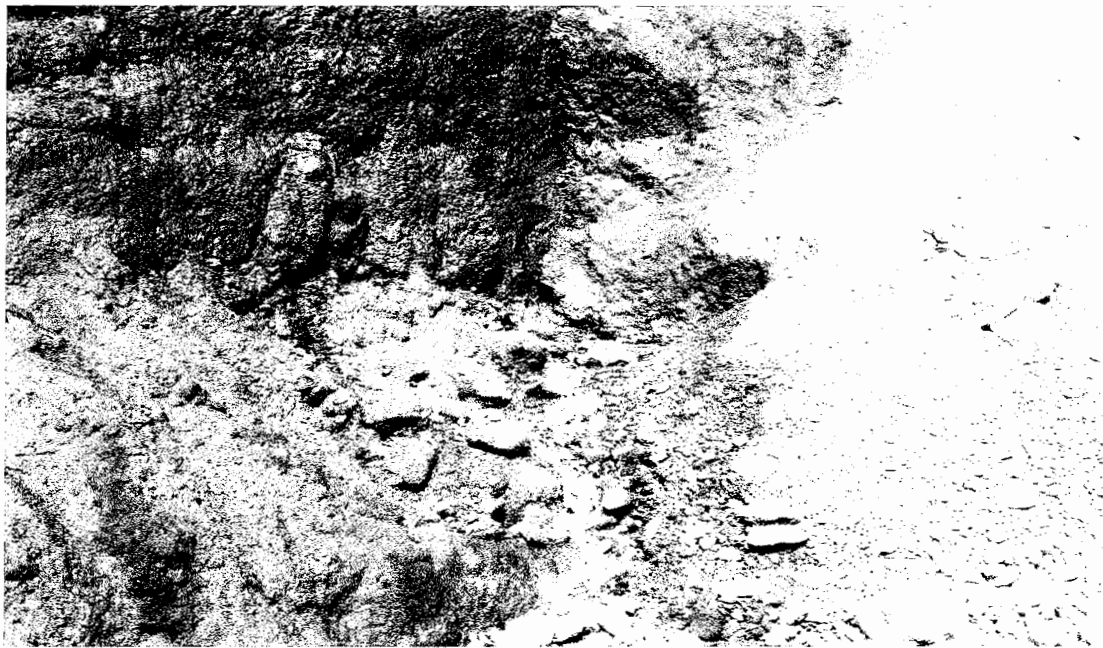
شکل ۱-۱۴- نمودار گل سرخی بر مبنای پارامتر امتداد کل گسل‌ها (حلاجی ۱۳۸۴)



شکل ۱-۱۵- نمودار گل سرخی بر مبنای پارامتر امتداد درزه‌های برداشت شده در منطقه (حلاجی ۱۳۸۴)

۱-۶- هدف از انجام مطالعه

آب همواره به عنوان یک عامل مزاحم در معادن روباز محسوب می‌شود. بنابراین بایستی به نحوی این مشکل را برطرف کرد. مشکلات ناشی از حضور آب در معادن می‌توانند به طور خلاصه شامل تأثیر منفی در خواص ژئومکانیکی سنگ، تأثیر در پایداری، تأثیر بر بارگیری و باربری، تأثیر بر چالزنی و آتشباری، تأثیر بر تجهیزات و تعمیرات و نگهداری آنها، مشکلات ناشی از رطوبت در مواد معدنی و باطله و تأثیرات زیست محیطی باشند، که علاوه بر آن می‌توان هزینه کنترل آب را اضافه نمود. برای اینکه بتوان یک روش مناسب کنترل آب را طراحی کرد باید ابتدا مطالعه جامع و کاملی از آبهای سطحی و زیرزمینی صورت پذیرد و با شناخت کامل رژیم آبهای زیرزمینی و ویژگی‌های سفره آب زیرزمینی و مدل کردن آنها به طراحی یک سیستم کنترل آب مناسب (ورودی به گودال معدنی (Pit)) و اقتصادی دست زد. شکل ۱-۱۶ تراوش آب از میان یکی از گسل‌های موجود در معدن شماره (۱) (گسل F17) و شکل ۱-۱۷ نمایی از داخل گودال معدنی و جمع شدن آب در این معدن را نشان می‌دهند.



شکل ۱-۱۶- گسل F17 و تراوش آب از میان آن (دید به سمت جنوب)



شکل ۱-۱۷- نمایی از داخل گودال معدنی، معدن شماره (۱) و جمع شدن آب در آن (دید به سمت شمال شرق)

به منظور بررسی وضعیت کمی و کیفی سفره آب زیرزمینی در محدوده معدن شماره (۱) جهت مشخص نمودن جریان غالب به گودال و تهیه مدل کامپیوتری مناسب برای آن تعداد ۸۲ حلقه چاه پمپاژ، پیزومتری و مشاهده‌ای از اواخر سال ۱۳۸۳ در داخل و محدوده مجاور آن حفر شده است. تاکنون نزدیک به چند آزمایش پمپاژ (پمپاژ معمولی و افت پله‌ای) در چاه‌های پمپاژ انجام شده و سطح آب در این چاه‌ها و چاه‌های پیزومتری و مشاهده‌ای مجاور آنها اندازه‌گیری شده است. هدف اصلی این مطالعه آنالیز داده‌های آزمایش پمپاژ و برآورد خصوصیات هیدرودینامیکی سفره در بخش‌های آبرفتی و سنگی می‌باشد، تا به عنوان اطلاعات ورودی مدل آب‌های زیرزمینی محدوده معدن بکار گرفته شوند و همچنین تفسیر تغییرات داده‌های کیفی آب در حین انجام آزمایش پمپاژ با زمان جهت بررسی بیشتر سفره آب زیرزمینی منطقه نیز مورد استفاده قرار گرفت.

فصل دوم: مروری بر تحقیقات انجام شده در خصوص

آزمایش پمپاژ در سفره‌های سنگی درزه و شکافدار

۲-۱- مقدمه

مسئله آبکشی در معادن تا آن حد اهمیت دارد که قبل از اختراع پمپ با رسیدن عملیات معدنکاری به سطح آب زیرزمینی، کارهای معدنی متوقف و عملاً معدن غیر قابل استفاده می‌شد. اما امروزه با وجود پمپ‌های مختلف می‌توان عملیات معدنکاری را تا اعماق زیاد انجام داد به گونه‌ای که عمق بعضی از معادن امروزه بیش از سه هزار متر است. با توجه به اینکه منشاء اصلی آب‌های داخل معدن آب‌های زیرزمینی می‌باشند، مطالعه آنها می‌تواند دارای اهمیت زیادی باشد. بنابراین میزان آب موجود در داخل معادن تابع خصوصیات هیدرودینامیکی سنگ‌های منطقه مورد نظر می‌باشد.

معدن سنگ آهن گل‌گهر سیرجان یکی از چند معدن روباز کشور می‌باشد که در اثر استخراج و بهره‌برداری از منابع معدنی به زیر سطح آب زیرزمینی منطقه رسیده است. ورود آب‌های زیرزمینی به داخل این معدن یکی از مشکلات اساسی است که در سال‌های اخیر روز به روز بر شدت آن اضافه می‌شود.

به منظور کنترل آب ورودی به گودال معدنی می‌توان از روش‌های مختلف آبکشی (آبکشی موانع و آب‌بندها) اشاره نمود که در مورد معدن روباز از انواع روش‌های پمپاژ یا آبکشی در پیرامون و داخل معدن استفاده می‌شود (مدنی ۱۳۷۴). همانطور که قبلاً اشاره گردید، معدن سنگ آهن گل‌گهر به جز چند رخنمون توسط آبرفت‌های عهد حاضر پوشیده شده است. جهت مطالعه و بررسی سفره

آب زیرزمینی در منطقه دو بخش آبرفتی و سنگی مورد توجه قرار گرفته است. بخش آبرفتی در قسمت بالا و بخش سنگی (درزه و شکافدار) در پائین نقش مهمی را در انتقال آب زیرزمینی ایفا می‌کنند، با پیشروی معدن به داخل سنگ و افزایش عمق حفاری شیب هیدرولیکی جریان آب زیرزمینی بیشتر شده و این امر می‌تواند مقدار آب‌های ورودی به گودال معدنی را به طور قابل توجهی افزایش دهد. برای این منظور ۸۲ حلقه چاه در منطقه حفاری شده است که با استفاده از اطلاعات آنها خصوصیات هیدرودینامیکی معدن در دو بخش آبرفتی و سنگی برآورد شوند.

۲-۲- سفره‌های آبرفتی

مطالعات زیادی بر روی آبرفت‌های منطقه انجام شده است و براساس نتایج حاصله از این مطالعات، ضخامت و جنس این آبرفت‌ها در نقاط مختلف به طور قابل توجهی متفاوت می‌باشد. تعداد ۱۲ حلقه چاه پمپاژ در نهشته‌های آبرفتی حفر شده است و این چاهها عمدتاً از آبدهی بالایی برخوردارند. از آنجایی که تقریباً در تمام موارد داده‌های آزمایش پمپاژ مربوط به آبرفت‌ها با استفاده از روش‌های مرسوم مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرند (Walton 1987, Kruseman and de-Ridder 1994, Todd and Mays 2005)، در این تحقیق برای آنالیز داده‌های آزمایش پمپاژ در نهشته‌های آبرفتی روش‌های متداول تایس (Theis 1935) و کوپر - ژاکوب (Cooper and Jacob 1964) استفاده شده است. با توجه به اینکه بخش سنگی بسیار ناهمگن می‌باشد، در این فصل به طور نسبتاً مفصلاً به خصوصیات هیدرودینامیکی این بخش از معدن پرداخته می‌شود.

۲-۳- سفره‌های سنگی درزه و شکافدار

اگر چه سفره‌های سنگی درزه و شکافدار (سازندهای سخت) بیش از نیمی از سطح قاره‌ها را پوشانده‌اند، مطالعات و تحقیقات انجام شده در خصوص جریان آب زیرزمینی در آنها بسیار ناچیز

می‌باشد. یکی از عوامل بی‌توجهی به آنها می‌تواند به خاطر ذخیره و آبدهی نسبتاً پائین آنها در مقایسه با سایر منابع آبی (تشکیلات آهکی و آبرفتی) باشد. اما اخیراً به علت افت شدید سطح آب در سفره‌های آبرفتی و در نتیجه اعمال محدودیت در بهره‌برداری از آنها، مطالعه چنین سازندهایی مورد توجه قرار گرفته است (جعفری ۱۳۸۲).

اصطلاح سازند سخت یک واژه عمومی و تا حدودی مبهم در علم هیدروژئولوژی می‌باشد، به طوری که در مورد تعریف سازند سخت بین محققین اتفاق نظر یکسانی وجود ندارد. سازندهای سخت (Hard rock) شامل سنگ‌های آذرین، دگرگونی و رسوبی تحکیم یافته، بیش از ۲۰٪ سطح فعلی خشکی‌های زمین را تشکیل می‌دهند (زارعی ۱۳۸۴). بر طبق نظر لارسن (Larsson 1984) به طور کلی همه آنها دارای دو ویژگی مشترک می‌باشند:

۱- سازندهای سخت بر خلاف سنگ‌های رسوبی کربناته فاقد تخلخل اولیه هستند.

۲- به علت وجود شکستگی و تأثیر فرآیندهای هوازگی، همگی دارای تخلخل ثانویه می‌باشند، در نتیجه آب به راحتی در این سازندها نفوذ کرده و ذخیره می‌گردد.

سفره‌های آب زیرزمینی تشکیل شده در سازندهای سخت دارای اسامی مختلفی همچون:

(Fractured Aquifer, Hard Rock Aquifer, Fissure Aquifer و Crystalline Rock Aquifer)

می‌باشند. از مهمترین ویژگی‌های سازندهای سخت می‌توان به ناهمگنی (Heterogeneity)، ناهمسوئی (Anisotropy) و نفوذپذیری کم آنها اشاره نمود. نفوذپذیری اولیه در سازندهای سخت بسیار ناچیز می‌باشد و لیکن در مراحل بعدی در نتیجه فرآیندهای تکتونیکی و هوازگی دارای درزه و شکاف‌هایی می‌شوند که آب از طریق آنها به داخل سنگ نفوذ نموده و حرکت می‌کند. نفوذپذیری سازندهای سخت خیلی پایین بوده و معمولاً کمتر از 10^{-3} متر بر روز می‌باشد ولی در توده‌های سنگی درزه و شکافدار به مراتب بیشتر می‌شود (جعفری ۱۳۸۲).

لوو و دوگاس (low and Dugas 1999) با مطالعه در منطقه آبتستون (Abbottstown) پنسیلوانیا بیان کردند، چاه‌های حفاری شده در سنگ‌های آهکی، ماسه‌سنگی و کنگلومرایی آبدهی بالاتری را نسبت به متاریولیت و متابازالت منطقه از خود نشان می‌دهند و بعضی از تشکیلات آهکی به دلیل وجود شیل در بین آنها دارای آبدهی پائین می‌باشند. همچنین میزان دبی ویژه (ظرفیت ویژه) در سنگ‌های دگرگونی منطقه پائین‌تر از تشکیلات دیگر (آهکی و کنگلومرایی) می‌باشد.

هامپسون و همکاران (Hampson et al. 2000) با مطالعاتی که در ایالت (Blue Ridge) کارولینای شمالی آمریکا بر روی سنگ‌های آذرین و دگرگونی انجام دادند تخلخل پائین و ضریب ذخیره کم را برای سنگ‌های مذکور بیان کردند. آنها میزان آبدهی چاه‌ها را وابسته به جهت‌یابی سیستم شکاف‌ها دانستند که در حدود ۰/۶۳ الی ۱/۶ لیتر بر ثانیه آبدهی آنهاست. همچنین میزان آبدهی چاه‌های موجود در سنگ‌های دولومیتی و آهکی ۰/۳۲ الی ۱۲/۶۲ لیتر بر ثانیه و در شکاف‌های انحلالی بزرگ منطقه ۱۲۶/۲ لیتر بر ثانیه می‌باشد.

بیگز و پاور (Biggs and Power 2002) اظهار داشتند که میزان ذخیره در سازندهای سخت به تخلخل زمینه، درجه شکستگی‌ها و هوازگی وابسته است. پانابوکی و پررا (Panabokke and Perera 2005) دریافتند که پتانسیل آب زیرزمینی منطقه سریلانکا به دلیل آنکه در زونهای سنگی هوازده یا رگولیت و شکاف‌های عمیق واقع شده‌اند، به خاطر پائین بودن ضرائب هیدرودینامیکی سنگ‌های سخت منطقه، محدود است و سفره‌های آب زیرزمینی مجزایی را بوجود آورده است.

۲-۴- جریان آب زیرزمینی در سازندهای سخت

جریان آب زیرزمینی در سنگ‌های درزه و شکافدار در شبکه‌ای از درزه و شکاف‌های بهم پیوسته (عموماً با منشاء تکتونیکی) و دیگر فضاهای خالی رخ می‌دهد. با توجه به اینکه سنگ‌های درزه و شکافدار عموماً سیستم‌های هیدروژئولوژیکی ناهمگن و ناهمسوئی را تشکیل می‌دهند، خصوصیات هیدرولیکی آنها در نقاط مختلف به طور قابل توجهی متفاوت است. فضاهای خالی موجود در بین ذرات تشکیل دهنده سنگ که قبل از سنگ شدن وجود دارند، به عنوان تخلخل اولیه (Primary porosity) محسوب می‌شوند که اندازه آنها در محدوده‌ای از 10^{-5} الی 10^{-4} متر متغیر می‌باشد. شکاف‌های تکتونیکی (Tectonic fractures)، شکاف‌های ریز (Fissures)، فضاهای بین لایه‌های مجاور (Bedding plane partings) و دیگر بازشدگی‌های بزرگ توسعه یافته در سنگ‌ها به عنوان تخلخل ثانویه (Secondary porosity) به شمار می‌روند (Karami 2002).

از نقطه نظر هیدرولوژیکی یک سنگ درزه و شکافدار شامل دو مؤلفه می‌شود: ۱- پیکره‌های سنگی که معمولاً دست نخورده‌اند. ۲- شبکه‌ای از درزه و شکاف‌ها که در بین پیکره‌های سنگی واقع می‌شوند. پیکره‌های سنگی ممکن است تراوا و یا ناتراوا باشند. وقتی که پیکره‌های سنگی قابل نفوذ هستند این بخش از سیستم نیز در انتقال جریان نقش ایفا می‌کند و معمولاً بین این بخش و بخش درزه و شکاف ارتباط هیدرولیکی وجود دارد در مواردی که پیکره‌های سنگی غیر قابل نفوذ هستند آنها نقشی در انتقال سیال ندارند (کرمی ۱۳۸۴).

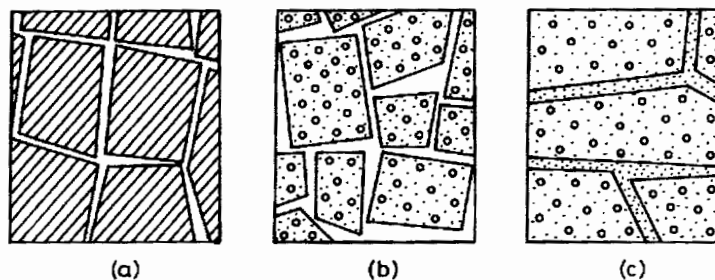
حرکت آب زیرزمینی در سنگ‌های دارای شکستگی اساساً در امتداد ناپیوستگی‌ها نظیر درزه‌ها، شکستگی‌ها و مناطق برشی رخ می‌دهد. ارتباط داخلی بین ناپیوستگی‌های سنگ، فاصله، اندازه و جهت‌یافتگی آنها، تخلخل و نفوذپذیری چنین توده‌های سنگی را تعیین می‌کند. درزه‌ها و شکستگی‌های باز که با مواد سنگی هوازده یا شکسته شده پر نشده‌اند، مسیرهای بالقوه‌ای برای حرکت آب فراهم می‌کنند، ولی وقتی با مواد رسی پر شده باشند نفوذپذیری آنها تا حدّ زیادی کاهش می‌یابد.

تخلخل ثانویه موجود در سازندهای سخت شامل معابر و منافذی است که در نتیجه فرآیندهای مختلف زمین‌شناسی پس از تشکیل سنگ بوجود می‌آید. اغلب سازندهای سخت در اثر فعالیت‌های تکتونیکی دارای درزه و شکاف‌هایی می‌شوند که سنگ‌ها را در چند جهت شکسته و تا اعماق مختلفی گسترش می‌دهند. این منافذ ثانویه بر اثر چین خوردگی، فشار و یا عوامل غیرتکتونیکی نیز در سنگ ایجاد می‌شوند. نکته مهم در مورد سازندهای سخت آذرین و دگرگونی تفاوت در اندازه تخلخل آنهاست، این موضوع عمدتاً به علت تخلخل ناچیز اولیه سنگ‌های مذکور و بوجود آمدن تخلخل‌های بعدی می‌باشد. به طور کلی تخلخل نمونه‌های هوازده شده سنگ‌های آذرین و دگرگونی بین ۲ تا ۱۰ درصد و هدایت هیدرولیکی آنها بین ۳ تا ۱۰ متر بر روز می‌باشند. ظرفیت آبدهی سنگ‌های مذکور تقریباً به طور کامل در ارتباط با شکستگی‌های ایجاد شده و فرآیندهای هوازده‌گی در این سنگ‌هاست. آثار هوازده‌گی معمولاً محدود به اعماق کمتر از ۱۰۰ متر بوده و در اعماق زیاد شکستگی‌ها در اثر وزن سنگ‌های فوقانی تقریباً بسته‌اند، در نتیجه نفوذپذیری این سنگ‌ها بر مبنای عمق کاهش می‌یابد. حالات اصلی جریان یکنواخت آب در طبقات شکافدار - متخلخل که به عنوان یک محیط یکپارچه در نظر گرفته می‌شوند، توسط بارنبلات و همکاران (Barenblatt *et al.* 1960) مورد بررسی قرار گرفته

است. این محققان پیشنهاد کرده‌اند که طبقات شکافدار را می‌توان به صورت دو محیط متخلخل تو در تو با تخلخل متفاوت در نظر گرفت. در این صورت حرکت آب را می‌توان به طور جداگانه در دو سیستم، یکی شکافها (محیط ۱) که بلوک‌های متخلخل را از هم جدا می‌کند و دیگری بلوک‌ها (محیط ۲) مورد مطالعه قرار داد (بارفسکی و همکاران ۱۹۷۹، به نقل از مهدیان ۱۳۷۱).

۲-۴-۱- سیستم تخلخل دوگانه

بعضی از محققین برای آنالیز داده‌های آزمایش پمپاژ در سفره‌های آبدار درزه و شکافدار از روش‌هایی که بر پایه مدل "تخلخل دوگانه" می‌باشند، استفاده می‌کنند. این مدل برای اولین بار توسط بارنبلات و همکاران (Barenblatt *et al.* 1960) ارائه شده است، نفوذپذیری در سفره‌های درزه و شکافدار می‌تواند، ترکیبی از ۱- نفوذپذیری زمینه یا بلوک سنگی (خلل و فرج بین دانه‌ها) ۲- نفوذپذیری مربوط به بازشدگی میان بلوک‌های سنگی (درزه و شکافها) باشد. مورد (۱) دارای ذخیره بالا و نفوذپذیری پائین (قابلیت انتقال پائین)، در حالی که مورد (۲) دارای ذخیره پائین و نفوذپذیری خیلی بالا (قابلیت انتقال بالا) می‌باشد. اما این نفوذپذیری بلوک سنگی (زمینه) در مواردی همچون انتقال آلودگی و کنترل‌شان می‌تواند مهم باشد. بسته به تخلخل و نفوذپذیری شکستگی‌ها و بلوک‌های زمینه، تشکیلات سنگی درزه و شکافدار می‌توانند به محیط‌های مختلفی طبقه‌بندی شوند که شکل ۱-۲ طرح‌های شماتیک از محیط کاملاً درزه و شکافدار، محیط تخلخل دوگانه و محیط ناهمگن را نشان می‌دهد.



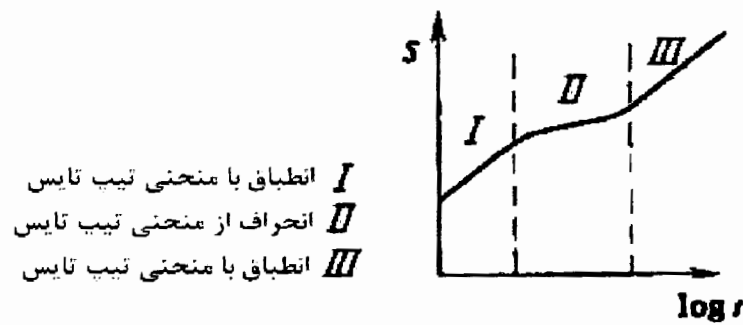
شکل ۱-۲- طرح‌های شماتیک از (a) محیط کاملاً درزه و شکافدار، (b) محیط تخلخل دوگانه و (c) محیط ناهمگن

(Singhal and Gupta 1999)

در مواردی که تخلخل دوگانه حاکم باشد اطلاعات افت - زمان شامل سه قسمت می‌شوند که بخش‌های اول و سوم با منحنی تیس تایس (Theis type curve) انطباق داشته در حالی که بخش دوم یک انحراف از تیس را نشان می‌دهد (شیب منحنی در مقایسه با شیب منحنی تیس کمتر است) که می‌تواند حاصل از اضافه شدن جریان از توده سنگ به داخل درزه‌ها و شکاف‌ها باشد. در حقیقت رفتاری تقریباً مشابه با سفره‌های آزاد را شامل می‌شوند که در منحنی افت - زمان این سفره‌ها نیز سه بخش وجود دارد که بخش دوم به علت آبدی تأخیری (Delayed yield) از منحنی تیس انحراف نشان می‌دهد. در شرایطی که داده‌های آزمایش پمپاژ رفتار سه قسمتی (که بیانگر تأثیرگذاری تخلخل دوگانه است) را نشان می‌دهند، استفاده از روش‌هایی که برای سفره‌های آبرفتی ارائه شده‌اند خطای قابل توجهی را ایجاد خواهد نمود. در چنین شرایطی بایستی از روش‌هایی استفاده شود که بر پایه تخلخل دوگانه استوار می‌باشند. یکی از روش‌هایی که بر پایه مدل تخلخل دوگانه استوار است و برای آنالیز داده‌های آزمایش پمپاژ در سفره‌های درزه و شکافدار مورد استفاده قرار می‌گیرد، روش مانس (Moench 1984) است (Karami 2002).

توصیف سفره‌های درزه و شکافدار به لحاظ ماهیت ناهمگن آنها بسیار مشکل می‌باشد، بنابراین وقتی قرار است این سفره‌ها مورد تجزیه و تحلیل ریاضی قرار بگیرند، بعضی ساده سازی‌ها ضروری است. در مناطقی که نفوذپذیری پیکره سنگ (Rock matrix) خیلی کم است، یکی از ساده سازی‌های معمول از این قرار است که فرض شود جریان فقط در داخل شکاف‌ها رخ می‌دهد، در چنین مواردی یک شکاف معمولاً به صورت یک فضای خالی ورقه‌ای در بین دو پیکره سنگ در نظر گرفته می‌شود (کرمی ۱۳۸۴).

در بعضی سفره‌های درزه و شکافدار نمودارهای نیمه لگاریتمی افت - زمان همانطور که در شکل ۲-۲ مشاهده می‌شود، به سه بخش قابل تفکیک است. بخش‌های I و III منعکس کننده رفتار سفره درزه و شکافدار در شرایطی است که درزه‌ها و شکستگی‌ها در آبدی دخالت دارند. در بخش II که نمودار افت - زمان از نمودار تیس منحرف می‌شود و مقدار افت با زمان کاهش پیدا کرده است. علت این امر تغذیه درزه‌ها و شکستگی‌ها از ذخیره مربوط به بلوک‌ها می‌باشد. در حقیقت این رفتار سفره آب زیرزمینی بیانگر تخلخل دوگانه است (بارفسکی و همکاران ۱۹۷۹، به نقل از مهدیان ۱۳۷۱).



شکل ۲-۲- منحنی افت - زمان که شامل سه بخش می‌شود (بارفسکی و همکاران ۱۹۷۹، به نقل از مهدیان ۱۳۷۱)

۲-۵- ارزیابی خصوصیات هیدرودینامیکی سفره‌های آب زیرزمینی در سازندهای سخت، با استفاده از آزمایش پمپاژ

برای برآورد خصوصیات هیدرودینامیکی، معتبرترین و متداولترین روش، انجام آزمایش پمپاژ می‌باشد، به دلیل آنکه این روش خصوصیات هیدرودینامیکی یک بخش نسبتاً بزرگی از سفره آبدار را منعکس می‌کند (Todd 1980, Walton 1987). در سفره‌های آبدار ناهمگن (سنگی درزه و شکافدار) تعیین میانگین خواص هیدرودینامیکی سفره آبدار براساس داده‌های بدست آمده از مغزه‌های حفاری تعداد محدودی چاهک آزمایشی مشکل و یا غیرممکن است. در چنین مواقعی آزمایش پمپاژ می‌تواند تخمین‌های نسبتاً خوبی از خواص هیدرودینامیکی را مشخص نماید. آزمایش پمپاژ می‌تواند اطلاعات اساسی برای اجرای چاه، پارامترهای سفره (قابلیت انتقال و ضریب ذخیره) و مرزهای هیدرولوژیکی در اختیار ما قرار دهد (Karami 2002).

بیشتر داده‌های آزمایش پمپاژ در سفره‌های درزه و شکافدار با استفاده از روش‌های استاندارد که برای سفره‌های آبرفتی ارائه شده‌اند، آنالیز می‌گردند. علت این امر از این قرار است که رفتار کلی اکثریت سفره‌های آبدار درزه و شکافدار شبیه به سفره‌های آبدار آبرفتی است و استفاده از روش‌های دیگر غالباً به اطلاعات ویژه‌ای (برای مثال فراوانی، ویژگی‌های هندسی و نفوذپذیری شکاف‌های مجزا) نیاز دارند، که معمولاً قابل دسترس نیستند. روش‌های استاندارد که برای آنالیز داده‌های آزمایش پمپاژ در سفره‌های آبدار درزه و شکافدار مورد استفاده قرار می‌گیرند غالباً

روش‌های تایس (Theis 1935) و کوپر - ژاکوب (Cooper and Jacob 1946) می‌باشند (Michalski and Britton 1997, Jones 1999, Dillon *et al.* 2001, Karami 2002).

میچالسکی و بریتون (Michalski and Britton 1997) برای تعیین پارامترهای هیدرولیکی سنگ بستر رسوبی در نیوجرسی از روش تمام لگاریتمی تایس (Theis double-logarithmic plots) استفاده کرده‌اند. آنها بیان نمودند که تمامی فرضیات مربوط به روش تایس (Theis 1935) معقولانه و راضی کننده می‌باشند و بهترین انطباق داده‌های افت - زمان با منحنی تیپ تایس (Theis type curve) برای تمامی چاه‌های مشاهده‌ای بدست آمده است. لازم به ذکر است که پاسخ سریع چاه‌های مشاهده‌ای به آزمایش پمپاژ تأیید کننده ارتباط میان چاه‌های پمپاژی و مشاهده‌ای دارد.

مایر و همکاران (Meier *et al.* 1998) اظهار نموده‌اند که داده‌های آزمایش پمپاژ با دبی ثابت در گذشته، با فرض همگن بودن سفره، توسط روش‌های تایس (Theis 1935) و کوپر - ژاکوب (Cooper and Jacob 1964) تفسیر شده‌اند.

مطالعه منابع مختلف بیانگر این است که روش‌هایی که برای آنالیز داده‌های آزمایش پمپاژ جهت محیط‌های متخلخل ارائه شده‌اند، می‌توانند برای برآورد خصوصیات هیدرولیکی سفره‌های درزه و شکافدار مورد استفاده قرار گیرند (Castany 1984, Ford and Williams 1989).

ویلا و همکاران (Vila *et al.* 1999) یک مطالعه تحلیلی در خصوص افت مربوط به جریان شعاعی به سمت یک نقطه در سفره‌های ناهمگن را انجام داده‌اند. آنها بیان کردند که گرچه روش کوپر - ژاکوب برای سفره‌های همگن ارائه شده است، در عین حال می‌تواند نتایج مفیدی را در سفره‌های ناهمگن ارائه دهد و همچنین میزان تغییرات ضریب ذخیره با زمان بیشتر از تغییرات قابلیت انتقال می‌باشد.

سامانی و پسندی (Samani and Pasandi 2001) اظهار کرده‌اند که پاسخ یک سفره به آزمایشات پمپاژ بلند مدت توسط وضعیت‌های مرزی و ناهمگنی که در یک سفره می‌باشد، کنترل می‌شود. در چنین آزمایشاتی نمودار نیمه لگاریتمی مربوط به روش کوپر - ژاکوب (Cooper and Jacob 1946) به روش تایس (Theis 1935) ترجیح داده می‌شود. دلیل آن به این خاطر است که روش کوپر - ژاکوب که در روی نمودار نیمه لگاریتمی به صورت خط راست ظاهر می‌شود و هر کجا شیب خط تغییر کند در صورتی که دبی پمپاژ ثابت باشد، معرف ناهمگنی می‌باشد.

بعضی از نویسندگان صریحاً یا به طور ضمنی یک یا چند روش برای آنالیز داده‌های آزمایش پمپاژ در سفره‌های درزه و شکافدار بیان نموده‌اند. اما به نظر می‌آید روش مناسب‌تر برای آنالیز داده‌های آزمایش پمپاژ روش کوپر - ژاکوب (Cooper and Jacob 1946) در مقایسه با روش تیس (Theis 1935) باشد، اگرچه در مورد داده‌های مربوط به زمان‌های اولیه آزمایش پمپاژ در چاه‌های مشاهده‌ای، روش کوپر - ژاکوب (Cooper and Jacob 1946) غیر معتبر بوده و در چنین مواردی روش تیس (Theis 1935) به عنوان یک روش مناسب پیشنهاد می‌شود (Karami 2002).

راماسشا و همکاران (Ramasesha et al. 2003) روش دیگری که برای تخمین چنین پارامترهایی مورد استفاده قرار می‌گیرد، را بیان کردند. برای مثال استفاده از مدل عددی برای محاسبات مکرر جهت بهینه سازی پارامترها با کم کردن اختلاف میان افت‌های مشاهده شده و پیش بینی شده است. این مطالعه در چاه حفاری شده روستای میواژیسالای (Meyvazhisalai village) در گستره سنگ‌های درزه و شکافدار (گنیس گرانیتی) از پودوکوتای ناحیه تامیلنادر (Pudukottai district of Tamilnadu) می‌باشد. مقادیر قابلیت انتقال و ضریب ذخیره با استفاده از مدل تحلیلی و داده‌های مشاهده شده به ترتیب $9/99$ متر مربع بر روز و $4/41 \times 10^{-5}$ حاصل گردید، بعداً با استفاده از اطلاعاتی که از لاگ‌های حفاری تشکیلات سنگی حاصل گردید، مدل مفهومی سفره رسم گردید و از داده‌های مدل تحلیلی جهت تخمین داده‌های مدل عددی توسط نرم افزارهای USGS Modflow و Pest استفاده نمودند و در نهایت داده‌های مقادیر قابلیت انتقال و ضریب ذخیره براساس مدل عددی به ترتیب به $8/2$ متر مربع بر روز و $4/3 \times 10^{-4}$ تغییر پیدا کردند.

با استفاده از اطلاعات بدست آمده از مرکز آب زیرزمینی بورد، منطقه جنوب غرب (Central Ground Water Board, South Western Region) و مطالعاتی که در منطقه بلاری واقع در کارناتاکا (Bellary district in Karnataka) با مساحت 8420 کیلومتر مربع که اساساً با تشکیلاتی از شیست (هورنبلند شیست)، گرانیت و گنیس تشکیل شده بود، چندین چاه پمپاژی با دبی بیش از 3 لیتر بر ثانیه با مدت زمان طولانی مورد آزمایش قرار گرفته و همچنین چند چاه مشاهده‌ای در منطقه نیز وجود داشت. کلیه این چاه‌ها توسط اطلاعات ماهواره‌ای با موفقیت حفاری شده بودند. مطالعات مربوط به ژئوفیزیک نیز در منطقه انجام و اطلاعات آن به صورت منحنی سونداژ الکتریکی ترسیم شده بود. به دلیل آنکه طبیعت سیستم جریان آب زیرزمینی در سفره‌های درزه و شکافدار

همگن نمی‌باشد، نتایج داده‌های آزمایش از این رو قابل مقایسه با یکدیگر نبوده است که نتایج آن براساس جدول ۱-۲ می‌باشد، داده‌ها توسط روش نیومن مورد آنالیز قرار گرفته‌اند (Ramasesha et al. 2003).

جدول ۱-۲- اطلاعات حاصل از نتایج آزمایشات پمپاژ در چند سفره درزه و شکافدار (Ramasesha et al. 2003)

شماره منطقه	نوع سفره	عمق حفاری (m)	دبی پمپاژ (lit/s)	افت (m)	دبی ویژه (m ² /day)	قابلیت انتقال (m ² /day)	ضریب ذخیره
۱	گرانیت	۱۴۴ الی ۲۰۰	۴ الی ۴/۲	۱۵ الی ۱۶	۲۲ الی ۲۴	۱۸۸ الی ۳۵۸	$۲/۲۹ \times ۱۰^{-۱۳}$
۲	گنیس	۱۳۵ الی ۲۰۰	۵/۵ الی ۱۲	۳ الی ۹	۸۹ الی ۱۵۱	۷۵۴ الی ۵۵	$۱/۳۲ \times ۱۰^{-۲}$ $۸/۴۴ \times ۱۰^{-۴}$
۳	شیست	۱۴۴ الی ۲۰۰	۴ الی ۱۳	۶ الی ۱۲	۴۱ الی ۱۷۸	۲۲۷ الی ۵۷	$۱/۱۳ \times ۱۰^{-۱}$ ۴×۱۰^{-۴}

مشاهدات صحرایی در محیط‌های درزه و شکافدار، ناهمگنی آن‌ها را در محدوده وسیعی از مقیاس نشان می‌دهد. روش‌های مختلفی برای ارزیابی قابلیت انتقال و ضریب ذخیره وجود دارد که یکی از متداولترین آن‌ها استفاده از روش آزمایش پمپاژ می‌باشد. از مهمترین مشکلات آزمایش پمپاژ کوتاه مدت در سفره‌های عمیق، ذخیره چاه و اثر پوسته‌گذاری می‌باشد. اگر شکاف‌های سفره، کوچک و به طور یکسان (همگن و ناهمسو) توزیع پیدا کرده باشند و جریان خطی وجود داشته باشد، روش‌های سفره‌های متخلخل می‌توانند به کار برده شوند. به هر حال در مورد پارامترهای هیدرودینامیکی مربوط به شکاف‌های منفرد روش‌های مخصوصی برای آن‌ها می‌توان بیان کرد. تشکیلات آب زیرزمینی عمیق اغلب شامل سفره‌های درزه و شکافدار، خلل و فرج و تشکیلات سنگی کارستی شده کربناتی می‌شوند. در اتریش (Austria) برای چاه‌های عمیق با استفاده از اطلاعات آزمایش پمپاژ ویژگی‌های هیدرولیکی از قبیل قابلیت انتقال و ضریب ذخیره به علاوه ضریب پخش هیدرولیکی را برآورد نموده‌اند. همچنین برای ارزیابی آزمایشات پمپاژ، ارزیابی‌های آزمایشگاهی از نمونه مغزه‌ها برای برآورد تخلخل و تراکم‌پذیری اغلب سفره‌ها اجرا گردید. مقادیر ضریب ذخیره براساس تخلخل و تراکم‌پذیری برآورد شده و با داده‌های آزمایش پمپاژ مقایسه شدند. تعدادی از چاه‌های در مناطق زمین شناختی مختلف بعلاوه در انواع سنگی مختلف (بلورین، کربناتی و

آتشفشانی) منجر به ارزیابی منطقه‌ای و تقسیم‌بندی سفره‌ها گردید. برای ارزیابی پارامترهای ویژه سفره از نرم افزار Aqtesolv (روش‌های تایس، کوپر - ژاکوب و پایادوپولوس) استفاده گردید. داده‌ها با استفاده از نمودارهای نیمه لگاریتمی و تمام لگاریتمی تفسیر شدند. با مطالعاتی که در این منطقه انجام شده است، قابلیت انتقال سفره‌های شکافدار عموماً بین ۸۶×۱۰^{-۴} الی ۸۶۴ متر مربع بر روز بوده است. مقادیر ضریب پخش هیدرولیکی از معادله ۱-۲ محاسبه می‌گردد:

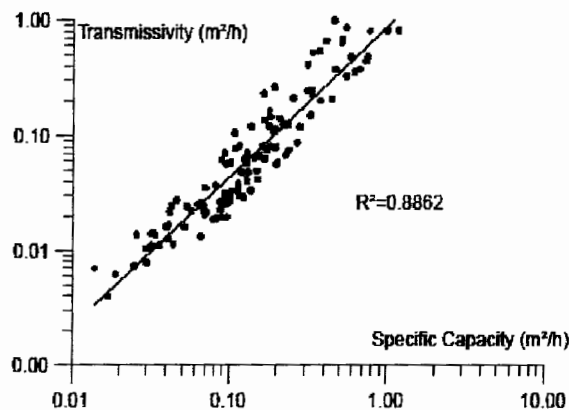
$$\alpha = T/S = K/S_s = k/(\mu \times \beta_{tot}) \quad ۱-۲$$

که در آن: α = ضریب پخش هیدرولیکی (m^2/d)، T = قابلیت انتقال (m^2/d)، S = ضریب ذخیره (واحد)، S_s = ذخیره ویژه (m^{-1})، K = هدایت هیدرولیکی (m/s)، k = نفوذپذیری ذاتی (m^2)، β_{tot} = تراکم کل سفره (Pa^{-1}) و μ = ویسکوزیته مطلق ($kg/m.s$) می‌باشند. در سفره‌های دولومیتی کارستی شده ضریب پخش از ۱۷×۱۰^{-۴} الی ۳۲۸×۱۰^{-۴} متر مربع بر روز، در سفره‌های ماسه سنگی ترشیاری غیر شکافدار $۸/۶ \times ۱۰^{-۳}$ الی ۴۹۲×۱۰^{-۳} متر مربع بر روز و در سفره‌های بلورین ۱۳×۱۰^{-۳} الی ۲۹۴×۱۰^{-۳} متر مربع بر روز بدست آمدند (Vasvari and Kriegl 2003).

رازک و لاسم (Razak and Lasm 2005) با انجام آزمایش پمپاژ در سنگ‌های دگرگونی و بلورین که ۹۷ درصد از رخنمون‌های منطقه مان‌دانان (Man-Danane) واقع در ساحل Ivory، غرب آفریقا، را تشکیل می‌دهند قابلیت انتقال و دبی ویژه سفره آب زیرزمینی را برآورد نموده‌اند. به این ترتیب که در چاه‌های منطقه که عمق متوسط آنها ۸۰ متر می‌باشد، آزمایش افت پله‌ای (Step drawdown test)، که معمولاً دارای سه پله می‌باشد، به همراه مرحله برگشت (Recovery test) اجرا شده است. لازم به ذکر است محدوده تغییرات مقادیر قابلیت انتقال از ۹۶×۱۰^{-۳} الی $۲۳/۷$ متر مربع بر روز و مقادیر دبی ویژه از ۱۹۲×۱۰^{-۳} الی $۲۸/۴$ متر مربع بر روز بدست آمد، که این مقادیر دلیلی بر ناهمگنی منطقه می‌باشند. نتایج بدست آمده، بیانگر این مطلب است که مقادیر بالای قابلیت انتقال با مقادیر بالای دبی ویژه مطابقت خوبی را نشان می‌دهند.

مناسبترین پارامتر برای ارزیابی ویژگی‌های هیدرولیکی سفره آب زیرزمینی، مقادیر قابلیت انتقال می‌باشند. این در حالی است که دبی ویژه دارای اندازه‌گیری ساده‌تری و مقادیرشان نیز معمولاً

فراوان تر از داده‌های قابلیت انتقال می‌باشند. برای سنگ‌های سخت منطقه مان‌دانان (Man-Danane) براساس ۱۱۸ اندازه‌گیری که در شکل ۲-۳ نمایش داده شده است، میان قابلیت انتقال و دبی ویژه معادله تجربی $T = 0.33 (Q/s)^{1.30}$ (مقادیر T و Q/s براساس متر مربع بر روز) بدست آمده است. تغییرات این معادلات در مکان‌های مختلف می‌تواند متأثر از اختلاف در s (افت)، عمق لوله جدار، جنس سفره و میزان نفوذ جزئی چاه‌ها باشد.



شکل ۲-۳- رابطه بین قابلیت انتقال و دبی ویژه سفره آب زیرزمینی در منطقه مان‌دانان (Man-Danane) (Razak and Lasm 2005)

کرمی (۱۳۸۵) در خصوص انتخاب روشی مناسب برای ارزیابی خصوصیات هیدرودینامیکی سفره‌های درزه و شکافدار ذکر کرده است در مواقعی که منحنی داده‌های افت - زمان بدست آمده از آزمایشات پمپاژ شامل سه بخش شود کاربرد روش‌های تایس (Theis 1935) و کوپر - ژاکوب (Cooper and Jacob 1946) برای تحلیل داده‌های آزمایش پمپاژ در سفره‌های درزه و شکافدار خطای قابل توجهی ایجاد خواهد نمود که در این گونه سفره‌ها منحنی افت - زمان از الگوی سه بخشی نظریه تخلخل دوگانه پیروی می‌کند و به همین دلیل داده‌های آزمایش پمپاژ باید با روشهایی که اساس آنها نظریه مذکور می‌باشد، روش مانس (Moench 1984)، تحلیل شوند. در شرایطی که منحنی افت - زمان از الگوی سه بخشی تبعیت نکند، آنالیز داده‌های افت - زمان با همان روش‌های تایس (Theis 1935) و کوپر - ژاکوب (Cooper and Jacob 1946) انجام خواهد شد.

۲-۵-۱- ضرائب هیدرودینامیکی سفره‌های آب زیرزمینی در سازندهای سخت

پارامترهای هیدرولیکی حاصل از آنالیز داده‌های آزمایش پمپاژ ممکن است برای اهداف متنوعی همچون ارزیابی آبدهی سفره، تهیه پارامترهای هیدرولیکی جهت ورودی به مدل سازی، تشخیص ناهمگنی سراسر سفره و ارزیابی تغییرات خصوصیات هیدروشمیایی به کار برده شوند (Karami 2002). در سنگ‌های درزه و شکافدار، وسعت هوازدهی و خواص شکستگی‌ها نقش اساسی و مهمی را در مورد هدایت هیدرولیکی و خواص دیگر آنها ایفا می‌کند. سنگهای بلورین توده‌ای تخلخل و نفوذپذیری بسیار کمی دارند. تخلخل توده سنگی بلورین غیرهوازده معمولاً بین ۰/۱ تا ۱ درصد تغییر می‌کند، در حالی که برای سنگهای هوازده ممکن است مقدار آن به ۴۵ درصد افزایش پیدا کند. عرض شکستگی‌ها می‌تواند تأثیر زیادی در میزان هدایت هیدرولیکی سازندهای سخت داشته باشد. عرض شکستگی‌ها در این سنگها اغلب کمتر از یک میلی‌متر می‌باشد. معادله ۲-۲ ارتباط بین هدایت هیدرولیکی و عرض شکستگی‌ها را نشان می‌دهد (Freeze and Cherry 1979):

$$K = \left(\frac{\rho g}{\mu} \right) \left(\frac{N b^3}{12} \right) \quad 2-2$$

در معادله مذکور، K هدایت هیدرولیکی در سنگهای درزه و شکافدار (m/s)، ρ چگالی سیال (kg/m^3)، g شتاب جاذبه (m/s^2)، μ ویسکوزیته سیال (kg/m.s)، b عرض شکستگی‌ها (m) و N تعداد درزه و شکاف در واحد سطح ($1/m$) می‌باشد. همانطور که مشاهده می‌شود هدایت هیدرولیکی با توان سوم عرض شکستگی‌ها نسبت مستقیم دارد. بنابراین تفاوت در دهم میلی‌متر عرض شکستگی نیز سبب می‌شود که مقدار هدایت هیدرولیکی به طور قابل توجهی تغییر کند. جدول ۲-۲ محدوده پارامترهای هیدرولیکی در انواع سنگ‌های مختلف را نشان می‌دهد.

جدول ۲-۲- محدوده پارامترهای هیدرولیکی در انواع سنگهای مختلف (Singhal and Gupta 1999)

Rock type	Country	T (m ² d ⁻¹)	K (m ^s ⁻¹)	Source
Granite	Portugal	0.2-160	-	Carvalho (1993)
Granite-gneiss (fractured)	Zimbabwe	2-5	-	Chilton and Foster (1993)
Granite-gneiss (regolith)	Malawi	2-10	-	Chilton and Foster (1993)
Granite-gneiss	Sweden	1-2 × 10 ⁻³ to 10 ⁻¹	6 × 10 ⁻⁸ to 9 × 10 ⁻⁷	Carlsson and Carlstedt (1977)
Granite	Sweden	50	2 × 10 ⁻⁴	Wesslen <i>et al.</i> (1977)
Granite-gneiss	Norway	-	10 ⁻³ to 10 ⁻⁶	Banks <i>et al.</i> (1992)
Granite	USA	-	10 ⁻¹³ to 10 ⁻⁹	Sidle and Lee (1995)
Granite-gneiss and charnockites	India	3.65-7.2	-	Perumal (1990)
Granites & gneiss	India	5-50	10 ⁻⁴ to 10 ⁻³	CGWB (1980)
Granodiorite	Canada	-	2 × 10 ⁻⁹ to 5 × 10 ⁻⁸	Gale (1982b)
Chert	USA	-	1.84 × 10 ⁻¹²	DeWiest (1969)
Chert	Australia	0.8-20	-	Pearce (1982)
Quartzite	India	54	-	Kitnu and Mehta (1990)
Slates	USA	-	1 × 10 ⁻¹⁰	UNESCO (1975)
Schist	USA	-	1 × 10 ⁻¹⁰ to 2 × 10 ⁻⁶	UNESCO (1972)
Mica schist	Czech Republic	7 × 10 ⁻³ - 2 × 10 ⁻²	-	Carlsson and Carlstedt (1977)

همانطور که در جدول ۲-۲ ملاحظه می‌شود محدوده مقادیر ضرایب هیدرودینامیکی انواع سنگهای مختلف (سازندهای سخت) بسیار متفاوت می‌باشند، به طوری که مقادیر قابلیت انتقال از 7×10^{-3} تا 160 متر مربع بر روز و هدایت هیدرولیکی از 10^{-13} تا 10^{-3} متر بر ثانیه (10^{-9} تا 10^{-4}) تا 160 متر بر روز) متغیر می‌باشند (Singhal and Gupta 1999). جدول ۲-۳ خواص هیدرولیکی سنگهای بلورین حاصل از آزمایشات پمپاژ و پکر را نشان می‌دهد.

جدول ۲-۳- خواص هیدرولیکی سنگهای بلورین حاصل از آزمایشات پمپاژ و پکر (Singhal and Gupta 1999)

Country	Rock type	Borehole numbers	Mean transmissivity (m ² d ⁻¹)	Transmissivity (m ² d ⁻¹)	Hydraulic conductivity (m ² d ⁻¹)	Testing method
Zimbabwe	Mobile Belt gneiss	228	4.2	0.5-79	0.01-2.3	Pumping test
	Younger granite	209	3.6	0.5-71	0.01-1.9	Pumping test
	Older gneiss	392	-	0.5-101	0.01-2.8	Pumping test
Malawi	Biotite Gneiss	2	-	-	0.1-0.2	Packer test
United States	Granite	58	-	-	0.01-1.7	Injection test
India	Granite & gneiss	-	-	5-50	-	Pumping test

با توجه به جدول ۲-۳ مشاهده می‌شود که سنگهای گرانیتی و گنیسی موجود در مناطق مختلف دارای محدوده تغییرات مشابهی از مقادیر قابلیت انتقال و هدایت هیدرولیکی می‌باشند. جدول ۲-۴ محدوده پارامترهای هیدرولیکی در تشکیلات مختلف سنگی را نشان می‌دهد.

جدول ۲-۴- محدوده پارامترهای هیدرولیکی در تشکیلات مختلف سنگی

منبع	ضریب ذخیره	هدایت هیدرولیکی (m/day)	قابلیت انتقال (m ² /day)	نام منطقه	نوع سنگ
Wehmann et al. 1997	-	۱/۷ الی ۸۶×۱۰ ^{-۶}	-	Fermilab, northern Minnesota	دولومیت
Wehmann et al. 1997	۱/۲×۱۰ ^{-۸} الی ۲/۱×۱۰ ^{-۶}	۳۷/۲ الی ۴/۸	-	Fermilab, northern Minnesota	سنگ‌های آذرین و دگرگونی
Goode et al. 1997	-	-	۵۰۰ الی ۱	North-central Lansdale (Pensilvania)	سنگ‌های درزه و شکافدار بستر
Shapiro 2001	-	۸/۶ الی ۸۶×۱۰ ^{-۷}	۱ الی ۹/۳×۱۰ ^{-۶}	Lake Mirror (Trenton)	سنگ‌های درزه و شکافدار
Senior and Goode 1999	۸×۱۰ ^{-۵}	-	۱/۴	North-central Lansdale (Pensilvania)	سنگ‌های درزه و شکافدار رسوبی
Nasstev et al. 2001	۳×۱۰ ^{-۲} الی ۶×۱۰ ^{-۵}	-	۷ الی ۷۵/۷	South western Quebec	سنگ آهک
Nasstev et al. 2001	۷×۱۰ ^{-۲} الی ۸×۱۰ ^{-۵}	-	۱۹۰۰/۸ الی ۲۰/۷	South western Quebec	دولومیت
Nasstev et al. 2001	۸×۱۰ ^{-۲} الی ۱×۱۰ ^{-۲}	-	۳۶۲/۹ الی ۲۰/۷	South western Quebec	ماسه سنگ
Nasstev et al. 2001	-	-	۵ الی ۲	South western Quebec	سنگ‌های پرکامبرین
lane et al. 2001	-	-	۶/۵ الی ۰/۰۴۷	Norwalk, New Hampshire, Thornton	شیست و گنیس
Stumm et al. 2001	-	-	۳۹ الی ۳۲/۶	Northern Queens county, New York	سنگ‌های درزه و شکافدار
Stumm et al. 2001	-	-	۳۳/۵ الی ۱/۰۲	Western part of Manhattan, New York	سنگ‌های درزه و شکافدار
Karami 2002	۴×۱۰ ^{-۵} الی ۳/۸×۱۰ ^{-۱}	-	۰/۵ الی ۳۳۹۷	lime stone aquifers in U.K.	سنگ‌های درزه و شکافدار کارستی
Ohman 2005	-	-	۸/۶×۱۰ ^{-۹} الی ۸/۶×۱۰ ^{-۸}	-	سنگ‌های درزه و شکافدار (با شکاف‌های کوچک)
Todd and Mays 2005	-	۰/۹۵	-	به طور متوسط در کلیه مناطق	سنگ آهک
Todd and Mays 2005	-	۰/۰۰۱	-	به طور متوسط در کلیه مناطق	دولومیت
Todd and Mays 2005	-	۰/۱۹۹	-	به طور متوسط در کلیه مناطق	شیست
Heilweil and Hsieh 2006	-	-	۱۸۰۰ الی ۷۰	Navajo, south western Utah	ماسه سنگ
Ranjan et al. 2006	-	۸/۶ الی ۰/۱۸۶	-	Southern Africa	سنگ‌های بلورین و رسوبات
Ranjan et al. 2006	-	۸/۶ الی ۰/۱۸۶	-	Mediterranean	ماسه سنگ، آهک، رسوبات غیر جامد شده
Ranjan et al. 2006	-	۸/۶ الی ۰/۱۸۶	-	Southern Asia	سنگ‌های رسوبی و رسوبات غیر جامد شده

همانطور که جدول ۲-۴ نیز نشان می‌دهد محدوده مقادیر ضرایب هیدرودینامیکی برای تشکیلات مختلف سنگی بسیار متفاوت می‌باشد به طوری که مقادیر قابلیت انتقال از $۸/۶ \times 10^{-9}$ تا ۳۳۹۷ متر مربع بر روز، هدایت هیدرولیکی از ۸۶×10^{-7} تا $۳۷/۲$ متر بر روز و ضریب ذخیره از $۱/۲ \times 10^{-۸}$ تا $۰/۳۸$ تغییر می‌کنند.

ممون و همکاران (Memon *et al.* 1999) با مطالعاتی که در سنگ‌های درزه و شکافدار منطقه تگراس (Rolling plain) انجام دادند، میزان تغییرات زیاد ضریب ذخیره ($9/1 \times 10^{-6}$ الی $1/1 \times 10^{-1}$) نسبت به قابلیت انتقال (۱۴۹ الی ۲۱۸۰ متر مربع بر روز) را بیان نمودند. این در حالی است که در آبرفت‌های منطقه میزان تغییرات ضریب ذخیره ($5/2 \times 10^{-3}$ الی $1/1 \times 10^{-1}$) کمتر می‌باشد. با توجه به نتایج آزمایش پمپاژ تراوش آب از آبرفت به سنگ بستر را نشان می‌دهد. لوو و دوگاس (low and Dugas 1999) نیز در مطالعه سنگ‌های درزه و شکافدار منطقه آبوتستون (Abbottstown) پنسیلوانیا به تغییرات زیاد ضریب ذخیره (3×10^{-6} الی 1×10^{-3}) نسبت به قابلیت انتقال (۳۰/۸ الی ۴۴۳ متر مربع بر روز) پی بردند. آنها مقادیر قابلیت انتقال را در چاه‌های پمپاژ و پیزومتری و مقادیر ضریب ذخیره را فقط در پیزومترها محاسبه کردند.

بورگ نی و همکاران (Borgne *et al.* 2006) با آنالیز داده‌های آزمایش پمپاژ در سنگ‌های درزه و شکافدار منطقه پلومئور (Ploemeur) اظهار داشتند که پارامتر قابلیت انتقال تغییرات کمتری را نسبت به ضریب ذخیره نشان می‌دهد.

۲-۵-۱-۱- ناچیز بودن مقادیر هدایت هیدرولیکی در توده‌های سنگی

ویژگی‌های اصلی شکاف‌هایی که در نفوذپذیری سنگ‌ها مؤثر هستند شامل جهت و موقعیت درزه‌ها و شکاف‌ها، فاصله آنها از یکدیگر در هر سیستم، گستردگی و توزیع آنها در هر سیستم، بازشدگی شکاف‌ها، سطح شکاف‌ها (زبری و صاف بودن) و در نهایت پرشدگی شکاف‌ها می‌شوند. جدول ۲-۵ مقایسه میان مقادیر نفوذپذیری بلوک‌های سنگی و سنگ‌های درزه و شکافدار براساس میزان بازشدگی شکاف‌ها را نشان می‌دهد (Castany 1984).

جدول ۲-۵- مقایسه میان نفوذپذیری بلوک‌های سنگی و سنگ‌های درزه و شکافدار براساس میزان بازشدگی شکاف‌ها

(Castany 1984)

نوع سنگ	نفوذ پذیری بلوک سنگی (m/day)	میزان بازشدگی شکافها	نفوذ پذیری سنگ‌های شکافدار (m/day)
سنگ آهک	$3/1 \times 10^{-9}$ الی 2×10^{-7}	۰/۱	6×10^{-2}
	6×10^{-7} الی 1×10^{-4}	۴	۴۳۲۰
دولومیت	4×10^{-6} الی 1×10^{-5}	۶	۱۳۸۲۴
شیست	6×10^{-8} الی $1/4 \times 10^{-7}$	۲	۵۱۸

همانطور که جدول (۲-۵) نشان می‌دهد نفوذپذیری بلوک‌های سنگی ناچیز (کمتر از 10^{-4} متر بر روز) در برابر میزان نفوذپذیری سنگ‌های درزه و شکافدار می‌باشند. در سنگ‌های درزه و شکافدار با افزایش میزان بازشدگی شکافها نفوذپذیری هم بیشتر می‌شود. سوتر (Sauter 1991) اظهار داشت که محدوده تغییرات هدایت هیدرولیکی در بلوک‌های سنگی آهکی بین 10^{-6} و 10^{-5} متر بر روز می‌باشند. این درحالی است که محدوده تغییرات هدایت هیدرولیکی منطقه بین $1/7$ و $17/3$ متر بر روز می‌باشند.

زوبر و موتیکا (Zuber and Motyka 1996) بیان کردند که مقادیر هدایت هیدرولیکی زمینه در مقایسه با شبکه شکافها ناچیز است، علت آن به خاطر این است که مقادیر هدایت هیدرولیکی در حدود ۱۰۰۰ تا ۱۰۰۰۰۰ بار کمتر از داده‌های حاصل از آزمایشات پمپاژ و محاسبه شده برای شبکه‌های شکافدار می‌باشند.

کرمی (Karami 2002) به تقسیم‌بندی نفوذپذیری سفره‌های درزه و شکافدار به دو گروه کلی اشاره نموده است، ۱- نفوذپذیری زمینه یا بلوک سنگی و ۲- نفوذپذیری بازشدگی میان بلوک‌های سنگی. همچنین ایشان اظهار داشتند که نفوذپذیری بلوک‌های سنگی در مقایسه با نفوذپذیری میان بلوک‌های سنگی خیلی کوچک می‌باشد.

۲-۵-۲- ناهمگنی در سفره‌های سنگی درزه و شکافدار

جریان آب زیرزمینی در سفره‌های درزه و شکافدار از طریق خلل و فرج، شکافها و دیگر کانالهای بزرگ انجام می‌شود. از آنجایی که این عوامل مختلف انتقال‌دهنده جریان معمولاً به طور یکنواختی توزیع نشده‌اند، سفره‌های درزه و شکافدار عموماً ناهمگن هستند. ناهمگنی در سفره‌های درزه و شکافدار یک امر بدیهی است که در نهایت یک سیستم ناهمگن را تشکیل می‌دهند (Castany 1984, Worthington 1999, Halihan *et al.* 1999, Gabrovsek 2000).

کراجوووسکی (Krajewsky 1996) جهت مطالعه ویژگی‌های هیدروژئولوژیکی تشکیلات درزه و شکافدار شرق لهستان (Poland) با استفاده از داده‌های آزمایش پمپاژ در این تشکیلات به اهمیت منطقه‌بندی عمودی و افقی در هدایت هیدرولیکی پی برده است. این منطقه‌بندی‌ها ناشی از تغییرات منطقه‌ای در سنگ شناسی و تکتونیک شکافها می‌باشد.

گبورک و همکاران (Gburek *et al.* 1998) با بررسی‌های لرزه‌ای در حوضه پنسیلوانیا سه زون مجزا را در سفره‌های شکافدار با عمق مشاهده نمودند این سه زون شامل ۱- زون با شکاف زیاد، ۲- زون با شکاف متوسط و ۳- زون با شکاف ضعیف. با انجام آزمایشات پکر در این منطقه کاهش میزان هدایت هیدرولیکی با افزایش عمق حاصل گردید، که نشان دهنده این است که هدایت هیدرولیکی بیشتر در زون با شکاف زیاد و کمترین مقدار مربوط به زون با شکاف ضعیف می‌شود.

دایلون و همکاران (Dillon *et al.* 2001) جهت مطالعه ناهمگنی در سفره‌های کربناته با استفاده از مغزه‌های حفاری (به عنوان مقیاس کوچک) برای محاسبه هدایت هیدرولیکی در جهات افقی و عمودی به کار بردند. مطالعات نشان داد که میزان تغییرات هدایت هیدرولیکی از بزرگی ۱۰ در جهت افقی تا بزرگی ۱۰۰ در جهت عمودی می‌باشد.

به طور کلی ناهمگنی در سفره‌های درزه و شکافدار می‌تواند به طور عمودی و یا منطقه‌ای رخ دهد که تابعی از خصوصیات سنگ و عملکرد فرآیندهایی همچون انحلال، نیروهای تکتونیکی و هوازدگی باشند (Karami 2002).

۶-۲- کیفیت آب در سازندهای سخت

میسیمر (Missimer 1994) با مطالعاتی که بر روی سفره آب زیرزمینی لب شور انجام داد، متوجه شد که کیفیت آب زیرزمینی وابستگی پایدار با زمان دارد و بسته به زمین‌شناسی منطقه و هیدرولوژی آن، کیفیت آب زیرزمینی در طول آزمایش پمپاژ تغییر می‌کند و کل مواد جامد محلول (Total dissolve solid) منابع آب زیرزمینی منطقه با گذشت زمان افزایش خواهد یافت. هم چنین او بیان کرد که برای پیش‌بینی مدل تغییرات کیفی آب در یک سیستم سفره محدودیت‌هایی وجود داشته است، مثلاً کل مواد جامد محلول به خاطر یکسری واکنش‌های شیمیایی داخل آن دارای خطا می‌باشند و همچنین pH، قلیائیت و غلظت‌های مطلق از کلسیم و منیزیم می‌توانند خیلی تغییر کنند. در هر حال، یون‌های غیرقابل واکنش مثل کلر با درجه بالایی از دقت جهت مدل‌سازی می‌توانند مورد استفاده قرار گیرند.

آب‌های زیرزمینی موجود در سنگ‌های آذرین و دگرگونی متبلور به علت قابلیت انحلال نسبتاً کم این سنگ‌ها حاوی مواد محلول خیلی کم هستند. گرانیته‌ها، بازالت‌ها، گنیس‌ها و توف‌ها عموماً آب‌هایی با کیفیت عالی دارند و نمک‌های محلول در آنها معمولاً کمتر از ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر و به ندرت بیش از ۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر است. وجود سنگ‌های تبخیری مثل سنگ نمک و سنگ گچ انحلال‌پذیری زیادی دارند و موجب بالا بردن شوری آب‌های زیرزمینی می‌شوند (صداقت ۱۳۷۸).

لوو و دوگاس (low and Dugas 1999) با مطالعه در منطقه آبتستون (Abbottstown) پنسیلوانیا بیان کردند که نمونه‌های آب از شیست، کوارتزیت و متاریولیت منطقه عموماً اسیدی، در حالی که تشکیلات کربناته قلیایی می‌باشند. میزان مواد جامد محلول در سنگ‌های انحلالی و کربناته بالا است، اما در بعضی از چاه‌های منطقه میزان مواد جامد محلول بالایی در سنگ‌های دگرگونی مشاهده شد که دلیل آنها خیلی مشخص نیست و تا حدودی دلیل آن را ساختار ضعیف چاه (تأثیر آلودگی آب سطحی)، وجود آب‌های زیرزمینی غنی در ترکیبات نیتروژن‌دار و غیره بیان نمودند. افزایش pH در سنگ‌های دگرگونی می‌تواند در اثر وجود کلسیت و یا لایه‌های کربناته (مانند دولومیت) باشد. میزان سختی آب سنگ‌های متاریولیت، متابازالت و دگرگونی نسبتاً کم می‌باشد (کمتر از ۶۰ میلی‌گرم بر لیتر). بیشترین مقدار کلسیم و منیزیم در تشکیلات کربناته و کمترین مقدار در دگرگونی‌هاست. همچنین وجود سولفات به خاطر گچ، انیدریت و پیریت است.

بانکز و روبینز (Banks and Robins 2002) با مطالعه بر روی سنگ‌های بستری نروژ (شامل سنگ‌های آذرین و دگرگونی) میزان pH در این سنگ‌ها را از ۶/۵ الی ۸/۵ واحد متغیر دانستند.

مناطق جنوب غرب هاریانا، راجاستان و پنجاب هند که در آب و هوای خشک و نیم‌خشک واقع شده‌اند، براساس مطالعات انجام شده، هدایت الکتریکی آب در آبرفت‌ها (که ۹۷ درصد مناطق را می‌پوشاند) ۸۰۰۰ میکروموس بر سانتی‌متر بدست آمد. دلیل شوری آب این مناطق در اثر وجود تشکیلات دانه ریز (مانند رس و سیلت)، حرکت آرام آب زیرزمینی، تبخیر و تعرق بالا و شاخص خشکی است. این شوری با عمق نیز افزایش می‌یابد. جهت مطالعه تغییرات سطح آب زیرزمینی و کیفیت، دوره پمپاژ ۷۲ ساعته انجام شد. نتایج حاصل از آزمایش پمپاژ به این صورت بود که تغییراتی در میزان هدایت الکتریکی، pH و عناصر سنگین همچون مس، آرسنیک، روی، منگنز و نیکل مشاهده گردید، که این تغییرات شامل افزایش در مقادیر هدایت الکتریکی (EC) (از ۱۰۰۰ الی ۳۰۰۰۰

میکروموس بر سانتی‌متر)، pH (از ۸/۱ الی ۹/۶ واحد) و نسبت جذب سدیم (SAR) (از ۴ الی ۲۰۳) بوده است و میزان تغییرات هدایت الکتریکی در برابر pH نیز زیاد می‌باشد. هم چنین pH خاک اساساً تحت تأثیر فلزات سنگین موجود در سفره آب زیرزمینی در اثر فعالیت‌های صنعتی در منطقه می‌باشد (Kamra et al. 2002).

میلر (Miller 2002) با مطالعه بر روی سنگ‌های نفوذی پروتروزوئیک و ترشیری و سنگ‌های دگرگونی میزان کل مواد جامد محلول در آب، pH و هدایت الکتریکی را به ترتیب ۵۰/۹ میلی گرم در لیتر، ۷/۸۲ واحد و ۸۳ میکروموس بر سانتیمتر اعلام نمود.

در سازندهای سخت جریان آب زیرزمینی اساساً از طریق شکستگی‌ها، درزه و شکاف‌ها صورت می‌گیرد. بنابراین سطح تماس بین آب و ماتریس سنگ در مقایسه با سنگ‌هایی که دارای تخلخل اولیه می‌باشند کم می‌باشد. بنابراین در حالت کلی آب زیرزمینی در سنگ‌های دگرگونی و آذرین نفوذی دارای کل مواد جامد محلول کمی می‌باشند و آب از نوع Ca-HCO_3 است. با وجود این در مناطق خشک و نیمه خشک به علت بارش کم و تبخیر زیاد، آب زیرزمینی ممکن است شوری بالایی داشته باشد (جعفری ۱۳۸۲).

گودکوویتز و همکاران (Gotkowitz et al. 2003) با انجام آزمایش پمپاژ در ماسه سنگ‌های موجود در منطقه شمال شرق ویسکانسین (North Eastern Wisconsin) تغییرات میزان pH را از ۷/۳ الی ۷/۴ واحد و به طور کلی از ۷ الی ۸ واحد بیان کردند.

مست و همکاران (Meast et al. 2004) با مطالعه منشاء رودخانه قرمز (Red River) در منطقه شمال نیومکزیکو (north New Mexico) با آب و هوای نیم‌خشک، دلیل اسیدی بودن آب را پیریت، کالکوپیریت، پیروتیت، کوارتز و رس ایلیت دانستند که به خاطر دولومیت‌های منطقه و وجود انحلال کلسیم، pH آب به سمت حالت خنثی ۷ الی ۸ واحد میل می‌کند.

گو و وانگ (Gue and Wang 2004) با مطالعاتی که در حوضه داتونگ چین (با آب و هوای خشک و نیم‌خشک و مجموعه‌ای از سنگ‌های گنیس، بازالت، آهک و شیل) انجام دادند، براساس هیدروژئوشیمی منطقه سه زون را شناسایی کردند این زون‌ها شامل (۱) زون تغذیه، (۲) زون متوسط و (۳) زون تخلیه. از زون یک به زون سه غلظت Na^+ و مواد جامد محلول و دما روند افزایشی و هدایت الکتریکی و pH تغییرات ناچیز افزایشی را نشان می‌دهند.

۲-۶-۱- اجزای شیمیایی موجود در آب‌های زیرزمینی سازندهای سخت

سنگهای آذرین اسیدی (مثلاً گرانیت‌ها) و معادل دگرگونی آنها (گنیس‌ها) مقادیر قابل ملاحظه‌ای کوارتز و کانی‌های آلومینو سیلیکاته دیگر نظیر فلدسپاتها و میکاها را شامل می‌شوند. تحت شرایط pH و دمای موجود، کوارتز حلالیت بسیار کمی دارد. کانی‌های سیلیکاته دیگر نظیر فلدسپاتها و میکاها در آبهایی که CO₂ در آنها حل شده است به صورت نامتجانس (Incongruent) حل می‌شوند. این فرآیند سبب آزاد سازی کاتیون‌های معمول نظیر K^+ , Na^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} به داخل آب می‌شود و یک باقیمانده رسی، که غنی از آلومینوسیلیکاتها (رس) می‌باشد، بر جای می‌گذارد. این موضوع بیانگر این است که دگرسانی فلدسپاتها و میکاها به رس (کائولینیت) رایج می‌باشد (Freeze and Cherry 1979). این فرآیند با افزایش pH و افزایش غلظت HCO₃ آب همراه است (Singhal and Gupta 1999).

مقدار Na^+ در مقایسه با غلظت K^+ بسیار بیشتر است و علت این امر حلالیت بسیار زیاد سدیم و همچنین سهولت جذب K^+ توسط کانی‌های رسی موجود در زمینه سنگ می‌باشد. همچنین غلظت Ca^{2+} در مقایسه با Mg^{2+} و HCO₃⁻ در مقایسه با Cl⁻ و SO₄²⁻ بیشتر می‌باشد. جدول ۲-۶ غلظت کاتیونها و آنیونها غالب در انواع مختلف سازندهای سخت را نشان می‌دهد.

جدول ۲-۶- غلظت کاتیونها و آنیونها غالب در انواع مختلف سازندهای سخت بر حسب میلی‌گرم بر لیتر

(Singhal and Gupta 1999)

Rock type	TDS	Ca	Mg	Na	K	Cl	SO ₄	HCO ₃	Fe	SiO ₂	Location
Granite	223	27	6.2	9.5	1.4	5.2	32	93	1.6	39	Maryland, USA ¹
Granite gneiss	137	28	1.9	6.8	4.2	1.0	1.4	121	2.7	31	Baltimore, USA ²
Diorite	347	72	4.1	10	2.8	6.5	11.5	114	0.04	22	N. Carolina, USA ¹
Gabbro	359	32	16	25	1.1	13	10	203	0.06	56	N. Carolina, USA ¹
Olivine-tuff (ultramafic)	281	20	42	19	-	7	22	279	-	31	Arizona, USA ²
Quartzite	52	1.6	5.8	2.8	-	9.9	2.0	18	-	8	Transvaal, S. Africa ¹
Schist	221	27	5.7	16	0.7	2.5	9.6	138	0.11	21	Georgia, USA ¹

به طور کلی اجزای اصلی محلول در آب‌های زیرزمینی در سازندهای سخت آذرین و دگرگونی شامل کاتیون‌های سدیم، پتاسیم، منیزیم، کلسیم و آنیون‌های کلر، سولفات، نترات، بی‌کربنات و

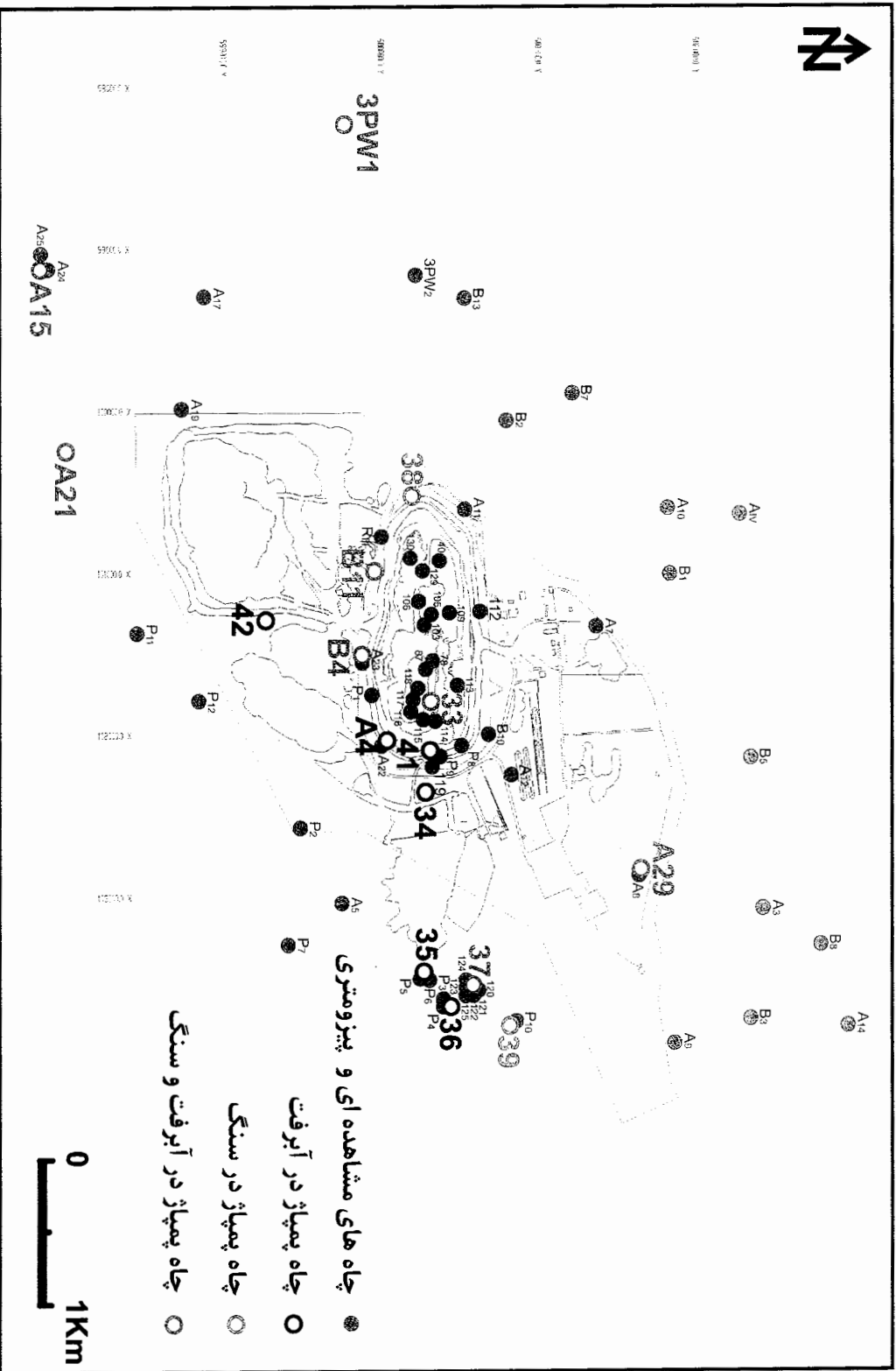
اسید سیلیسیک (H_4SiO_4) می‌باشد. علاوه بر این مقداری یون آمونیوم (NH_4^+) و یون فلوراید (F^-) در این آب‌ها وجود دارد که غلظت آنها در حد ناچیز می‌باشد (جعفری ۱۳۸۲).

در بعضی مناطق به علت حضور کانی‌های فلورایددار نظیر آپاتیت، فلوریت و بیوتیت در سنگ مقدار فلوراید موجود در آب زیرزمینی سنگ‌های آذرین اسیدی (گرانیت‌ها و پگماتیت‌ها) و میکاشیست‌ها ممکن است بزرگتر از محدوده مجاز آب آشامیدنی (بیشتر از ۱/۵ میلی گرم بر لیتر) باشد. آب زیرزمینی موجود در سنگ‌های گرانیتی و دگرگونی ممکن است غلظت بالایی از بعضی عناصر کمیاب (شامل Mn, Fe, Cr, Pb) داشته باشد (جعفری ۱۳۸۲).

فصل سوم: داده‌ها و روش‌های مورد استفاده

۳-۱- مقدمه

به منظور آبکشی معدن سنگ آهن گل‌گهر به ویژه معدن شماره (۱)، که پله یازدهم آن هم اکنون در حدود ۶۵ متری زیر سطح ایستایی منطقه واقع شده است، قرار است یک مدل کامپیوتری آبهای زیرزمینی برای آن تهیه شود (نتایج حاصل از تحقیقات این پایان نامه به عنوان بخشی از داده‌های ورودی به مدل می‌باشند). از مهمترین داده‌های مورد نیاز این مدل، قابلیت انتقال و ضریب ذخیره سفره آب زیرزمینی هم در بخش آبرفتی و هم در بخش سنگی محدوده معدن می‌باشد. بدین منظور با توجه به نتایج بدست آمده از روش‌های ژئوالکتریک و هم چنین توزیع نسبتاً مناسبی که بایستی چاهها در منطقه مورد مطالعه داشته باشند، تعداد ۱۶ چاه پمپاژ و ۶۶ چاه پیزومتری و مشاهده‌ای در داخل و اطراف معدن شماره (۱) گل‌گهر به مساحتی حدود $19/7$ کیلومتر مربع جهت بررسی خصوصیات هیدرودینامیکی سفره آب زیرزمینی در دو بخش آبرفتی و سنگی حفر گردید. شکل ۳-۱ موقعیت چاه‌های پمپاژ، پیزومتری و مشاهده‌ای در محدوده معدن شماره (۱) را نشان می‌دهد. این فصل، خلاصه‌ای از آمار و اطلاعات مربوط به چاه‌های پمپاژ، نرم افزار استفاده شده، روش‌های مورد استفاده جهت آنالیز داده‌های آزمایش پمپاژ و هم چنین اطلاعاتی از چاه‌های تحت آنالیز کیفی آب را ارائه می‌دهد.



شکل ۳-۱- موقعیت جاه های پمپاژ پیزومتری و مشاهده ای در محدوده معدن شماره (۱) گل گهر

۳-۲- داده‌های آزمایش پمپاژ مورد استفاده

به طور کلی در معدن شماره (۱) گل‌گهر و محدوده اطراف آن دو گروه کلی آزمایش پمپاژ انجام شده است که این دو گروه شامل آزمایش پمپاژ با دبی ثابت و آزمایش افت پله‌ای می‌باشند. داده‌های مربوط به این دو گروه به طور جداگانه معرفی می‌شوند.

۳-۲-۱- داده‌های آزمایش پمپاژ با دبی ثابت

به منظور برآورد ضرائب هیدرودینامیکی (قابلیت انتقال و ضریب ذخیره) سفره آب زیرزمینی، محاسبه دبی ویژه و افت ویژه در محدوده معدن شماره (۱) گل‌گهر از ۱۱ حلقه چاه پمپاژ استفاده شده است که اطلاعات مربوط به این چاهها در جدول ۳-۱ ارائه شده است.

جدول ۳-۱- اطلاعات مربوط به چاههای تحت تأثیر آزمایش پمپاژ با دبی ثابت

عمق چاه (m)	فاصله از چاه پمپاژ (m)	چاه‌های مشاهده‌ای و پیزومتر	زمان پمپاژ (min)	دبی پمپاژ (lit/s)	چاه پمپاژ	سفره آب زیرزمینی	موقعیت چاه
۸۰	۰/۲	PW33	۵۷۶۰	۲۲	PW33	بخش سنگی	داخل گودال معدنی
۳۰	۳۱۰	OW78					
۳۰	۲۵۸۵	OW87					
۳۰	۶۶۰	OW103					
۳۰	۷۱۵	OW105	۴۲۰۰	۳۸	PW35	بخش آبرفتی	شرق گودال معدنی
۱۶۸	۰/۲	PW35					
۶۶	۱۵	P5- 66					
۱۱۷	۱۵	P5- 117					
۶۶	۳۰	P6- 66					
۸۰	۳۰	P6- 80	۴۳۲۰	۴۳/۳	PW37	بخش‌های آبرفتی و سنگی	شرق گودال معدنی
۱۸۳	۰/۲	PW37					
۱۲۰	۲۶/۱	OW120					
۱۲۰	۲۶/۹	OW121					
۱۲۰	۲۳/۹	OW122					
۱۲۰	۲۴/۶	OW123					
۱۲۰	۴۰/۵	OW124					
۱۲۰	۵۷/۴	OW125					
۱۸۶	۰/۲	PW38	۲۸۸۰	۱۱	PW38	بخش سنگی	حاشیه غربی گودال معدنی
۱۵۶	۰/۲	PW39	۲۵۰	۱/۴۵	PW39	بخش سنگی	شمال شرق گودال معدنی
۱۰۰	۱۹/۶	P10- 100					
۱۲۲	۱۹/۶	P10- 112					
۸۰	۰/۲	A4	۳۰۰	۳۲/۱۶	A4	بخش آبرفتی	حاشیه جنوب شرقی گودال معدنی
۱۳۵	۵۵	A22					

* شعاع چاه پمپاژ

جدول ۳-۱- ادامه

عمق چاه (m)	فاصله از چاه پمپاژ (m)	چاه‌های مشاهده‌ای و پیژومتری	زمان پمپاژ (min)	دبی پمپاژ (lit/s)	چاه پمپاژ	سفره آب زیرزمینی	موقعیت چاه
۱۴۴	۶۰/۲	A15	۴۲۰۰	۷۰/۵	A15	بخش‌های آبرفتی و سنگی	جنوب غربی
۱۴۷	۱۴	A24					گودال معدنی
۱۴۱	۱۴۸	A25					
۶۶	۶۰/۲	A21	۴۳۲۰	۲۹/۳	A21	بخش‌های آبرفتی و سنگی	جنوب غربی گودال معدنی
۱۵۰	۶۰/۲	A29	۴۳۲۰	۱۷/۰۲	A29	بخش‌های آبرفتی و سنگی	شمال شرقی
۱۲۶	۱۵	A8-126					گودال معدنی
۱۵۰	۱۵	A8-150					
۱۳۲	۶۰/۲	B4	۱۸۰۰	۱۹/۹۱	B4	بخش آبرفتی	حاشیه جنوبی، خارج گودال
۱۳۵	۳۱/۷	A23					معدنی
۱۳۸	۶۰/۲	B11	۴۳۲۰	۹	B11	بخش سنگی	حاشیه جنوب غربی، خارج گودال معدنی

* شعاع چاه پمپاژ

همانطور که جدول ۳-۱ نشان می‌دهد زمان پمپاژ در چاه‌های مذکور از ۲۵۰ تا ۵۷۶۰ دقیقه و دبی پمپاژ از ۱/۴۵ تا ۴۳/۳ لیتر در ثانیه متغیر بوده است. هم چنین ملاحظه می‌شود که چاه‌های مذکور مربوط به بخش آبرفتی، بخش سنگی، و بخش‌های آبرفتی و سنگی می‌باشند.

۳-۲-۲- داده‌های آزمایش افت پله‌ای

علاوه بر آزمایش‌های پمپاژ با دبی ثابت، تعداد ۱۰ آزمایش افت پله‌ای در معدن شماره (۱) گل‌گهر و محدوده اطراف آن انجام شده است. از اطلاعات مربوط به این چاه‌ها برای برآورد ضرائب هیدرودینامیکی سفره، بررسی عمق نصب پمپ، محاسبه دبی ویژه و افت ویژه استفاده می‌شوند. اطلاعات مربوط به آزمایش‌های افت پله‌ای در جدول ۳-۲ ارائه شده است.

جدول ۳-۲- اطلاعات مربوط به چاههای تحت تأثیر آزمایش افت پله‌ای

عمق چاه (m)	فاصله از چاه پمپاژ (m)	چاه‌های مشاهده‌ای و پیزومتري	فاصله زمانی (min)	دبی پمپاژ (lit/s)	تعداد پله	چاه پمپاژ	سفره آب زیرزمینی	موقعیت چاه			
۱۵۰	۰/۲	PW34	۰ - ۱۴۴۰	۱۱/۸۵	۱	PW34	بخش‌های آبرفتی و سنگی	حاشیه شرقی، خارج گودال معدنی			
			۱۴۴۰ - ۲۶۴۰	۱۲/۲۰	۲						
۱۱۴	۱۶۴/۷	OW119	۲۶۴۰ - ۳۹۶۰	۱۳/۳۰	۳	PW34	بخش‌های آبرفتی و سنگی	حاشیه شرقی، خارج گودال معدنی			
			۳۹۶۰ - ۴۲۶۰	۱۴/۶	۴						
۱۷۰	۰/۲	PW36	۰ - ۱۸۰	۴۱	۱	PW36	بخش آبرفتی	شرق گودال معدنی			
۶۶	۳۰	P3-66	۱۸۰ - ۱۱۴۰	۴۴/۵	۲						
۸۰	۳۰	P3-80	۱۱۴۰ - ۲۵۲۰	۴۸/۵	۳						
۶۶	۱۵	P4-66	۲۵۲۰ - ۴۰۲۰	۴۹	۴						
۱۲۰	۱۵	P4-120	۴۰۲۰ - ۴۳۸۰	۵۲/۵	۵						
۱۸۳	۰/۲	PW37	۰ - ۷	۱۰	۱	PW37	بخش‌های آبرفتی و سنگی	شرق گودال معدنی			
			۷ - ۱۹	۱۸	۲						
۱۲۰	۲۶/۱	OW120	۱۹ - ۷۴	۲۴	۳						
۱۲۰	۲۶/۹	OW121	۷۴ - ۱۵۴	۳۰	۴						
۱۲۰	۳۳/۹	OW122	۱۵۴ - ۲۴۴	۳۶	۵						
۱۲۰	۳۴/۶	OW123	۲۴۴ - ۳۰۴	۴۱/۵	۶						
۱۲۰	۴۰/۵	OW124	۳۰۴ - ۳۶۴	۴۷/۵	۷						
۱۲۰	۵۷/۴	OW125	۳۶۴ - ۶۰۴	۵۴	۸						
۱۳۰	۰/۲	PW41	۰ - ۱۴۴۰	۲۳	۱				PW41	بخش آبرفتی	حاشیه شرقی، گودال معدنی
			۱۴۴۰ - ۱۵۶۰	۲۴	۲						
			۱۵۶۰ - ۱۸۳۵	۲۶	۳						
۱۲۰	۰/۲	PW42	۰ - ۱۸۰	۵/۶۳	۱	PW42	بخش آبرفتی	جنوب گودال معدنی			
			۱۸۰ - ۴۲۰	۱۱/۶	۲						
			۴۲۰ - ۱۵۰۰	۱۵/۵	۳						
			۱۵۰۰ - ۱۸۶۰	۱۷/۵	۴						
۱۴۴	۰/۲	A15	۰ - ۱۰۲۰	۳۶	۱	A15	بخش‌های آبرفتی و سنگی	جنوب غربی، گودال معدنی			
			۱۰۲۰ - ۱۱۴۰	۴۹/۹	۲						
۱۴۷	۱۴	A24	۱۱۴۰ - ۲۵۸۰	۵۶/۸۵	۳						
			۲۵۸۰ - ۵۴۰۰	۶۴/۴۰	۴						
۱۴۱	۱۴۸	A25	۵۴۰۰ - ۵۵۸۰	۷۴/۱۴	۵						
			۵۵۸۰ - ۵۶۴۰	۸۵/۵	۶						
۶۶	۰/۲	A21	۰ - ۱۸۰	۱۸	۱	A21	بخش‌های آبرفتی و سنگی	جنوب غربی، گودال معدنی			
			۱۸۰ - ۱۲۶۰	۲۲/۱	۲						
			۱۲۶۰ - ۱۶۲۰	۲۶/۹	۳						
			۱۶۲۰ - ۲۷۶۰	۲۷/۲	۴						
			۲۷۶۰ - ۳۰۳۰	۲۸	۵						
			۳۰۳۰ - ۳۰۶۰	۳۰	۶						
۱۵۰	۰/۲	A29	۰ - ۱۲۲۰	۸/۲	۱	A29	بخش‌های آبرفتی و سنگی	شمال شرقی، گودال معدنی			
			۱۲۲۰ - ۲۷۶۰	۱۴	۲						
۱۲۶	۱۵	A8-126	۲۷۶۰ - ۳۰۰۰	۱۷	۳						
۱۵۰	۱۵	A8-150	۳۰۰۰ - ۴۲۰۰	۱۹	۴						
۱۳۸	۰/۲	B11	۰ - ۱۱۴۰	۷/۱۴	۱	B11	بخش سنگی	حاشیه جنوب غربی، خارج گودال معدنی			
			۱۱۴۰ - ۱۳۸۰	۹/۱	۲						
			۱۳۸۰ - ۲۵۸۰	۱۰/۲	۳						
			۲۵۸۰ - ۴۰۲۰	۱۵	۴						
۱۷۷	۰/۲	3PW1	۰ - ۴۸۰	۳/۴	۱	3PW1	بخش‌های آبرفتی و سنگی	غرب گودال معدنی			
			۴۸۰ - ۱۰۸۰	۶/۴	۲						
			۱۰۸۰ - ۱۶۸۰	۸/۳	۳						
			۱۶۸۰ - ۱۷۰۲	۱۰	۴						

* شعاع چاه پمپاژ

با عنایت به جدول ۲-۳ ملاحظه می‌شود که سه آزمایش افت پله‌ای در بخش آبرفتی، یک آزمایش در بخش سنگی و شش آزمایش در بخش‌های آبرفتی و سنگی معدن انجام شده است و هم چنین تعداد پله‌ها در آزمایش‌های افت پله‌ای از سه تا هشت پله متغیر بوده است.

۳-۳- آماده سازی داده‌های آزمایش پمپاژ

قبل از آنالیز داده‌های آزمایش پمپاژ، بایستی این داده‌ها را برای آنالیزهای مختلف آماده سازی نمود. مهمترین مراحل آماده سازی داده‌ها شامل تبدیل داده‌ها، حذف داده‌های نامناسب (غیر واقعی) و حذف اثر ذخیره داخل چاه می‌باشند.

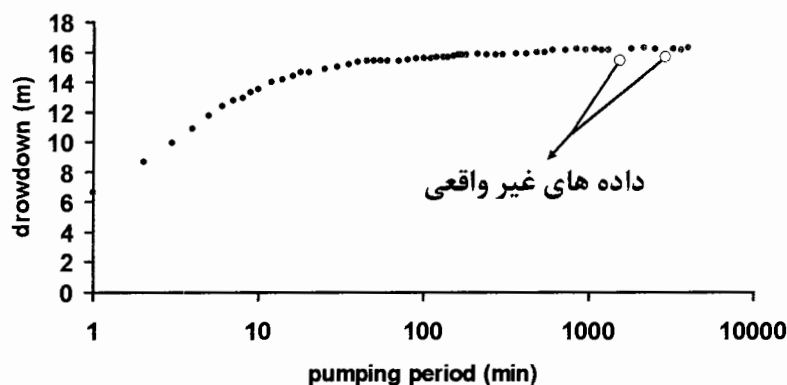
۳-۳-۱- تبدیل داده‌ها

داده‌های سطح آب و دبی پمپاژ که در طول آزمایشات پمپاژ جمع آوری شده‌اند، باید به واحدهای مناسبی تبدیل شوند. باید متذکر شد که برای بکارگیری روش‌های گوناگون برای آنالیز داده‌های آزمایش پمپاژ معمولاً از واحدهای یکسانی استفاده نمی‌شود، بنابراین قبل از استفاده با روش‌های مختلف بایستی داده‌ها را به واحدهای مناسبی تبدیل نمود.

۳-۳-۲- حذف داده‌های غیر واقعی

در نمودارهای افت - زمان مربوط به چاههای پمپاژ، مشاهده‌ای و یا پیرومتری می‌توان نقاط یا دسته داده‌هایی را مشاهده نمود که حالت غیر واقعی دارند (برای مثال شکل ۲-۳). اغلب این داده‌های غیر واقعی یک حالت برگشت در افت، به معنی بالا آمدن سطح آب، را نشان می‌دهند. چنین خطاهایی باعث خطا در تخمین پارامترهای سفره می‌شوند و در صورت انحراف زیادشان نسبت به داده‌های معمولی خطای قابل توجهی را ایجاد می‌کنند. بنابراین چنین نقاط مشکل ساز از داده‌های اصلی حذف می‌شوند. علاوه بر این، بعضی از دسته داده‌های آزمایش بلند مدت می‌توانند تحت تأثیر بارندگی در منطقه و یا حتی به دلیل نفوذ آب پمپاژی به داخل زمین (به خاطر اینکه کانال انتقال آب قبل از

شعاع تأثیر چاه پمپاژی بوده باشد) قرار گیرند و بالا آمدگی قابل توجهی را در سطح آب نشان دهند. در چنین شرایطی این بخش از داده‌ها که تحت تأثیر نفوذ آب به داخل زمین قرار گرفته‌اند بایستی حذف شوند.



شکل ۳-۲- داده‌های غیر واقعی مربوط به چاه پمپاژ A15

۳-۳-۳ حذف اثر ذخیره داخل چاه

روش‌های استاندارد آنالیز داده‌های آزمایش پمپاژ با فرض اینکه ذخیره داخل چاه ناچیز می‌باشد، انجام می‌پذیرد. در مورد چاه‌های با قطر زیاد (دهانه گشاد) مقدار ذخیره داخل چاه حائز اهمیت بوده و بر مقدار افت تأثیر می‌گذارد. قطر چاه‌های پمپاژ در این تحقیق زیاد نبوده، اما برای دوری از اثر ذخیره چاه و احتیاط لازم، داده‌های افت اولیه کنار گذاشته می‌شوند. با توجه به میزان دبی پمپاژ، داده‌های افت مربوط به ۱ الی ۱۰ دقیقه اول آزمایش حذف می‌شوند (هر قدر دبی پمپاژ بیشتر باشد نقش ذخیره داخل چاه کم اهمیت‌تر می‌شود، بنابراین با حذف مدت کوتاه‌تری از داده‌ها می‌توان از اثر ذخیره داخل چاه دوری جست).

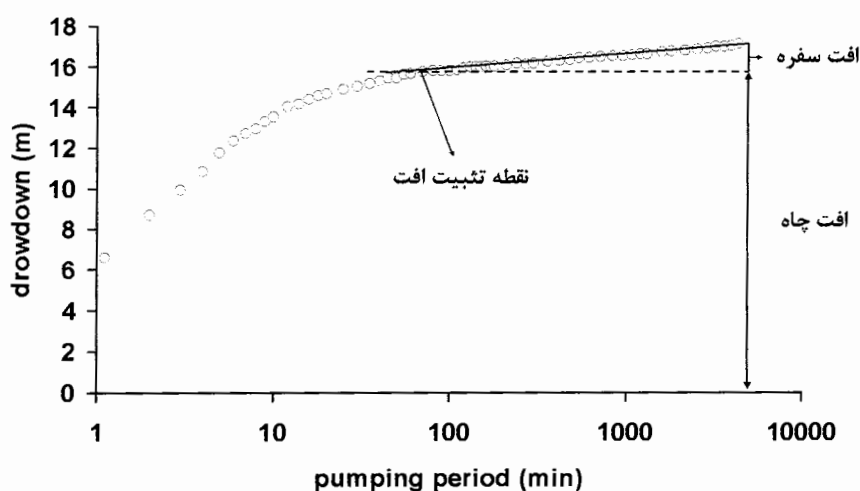
۳-۳-۴ تصحیح داده‌های آزمایش پمپاژ

۳-۳-۴-۱ تصحیح اثر افت چاه

از مجموعه داده‌های آزمایش پمپاژ بدست آمده، می‌توان مشاهده نمود که بخش قابل توجهی از کل افت مربوط به افت چاه می‌باشد. مقدار افت چاه به پارامترهای زیادی وابسته است که مهمترین

آنها شامل افت مربوط به صافی شنی، لوله جدار (افت شبکه)، و هم چنین دبی پمپاژ می‌باشد. از آنجایی که این پارامترها در چاه‌های مختلف متفاوت می‌باشند، مقدار افت چاه در چاه‌های مختلف یکسان نیست.

کرمی و یانگر (Karami and Youngr 2002) روشی را برای مشخص کردن افت چاه از افت سفره هم در آزمایشات پمپاژ با دبی ثابت و هم در آزمایشات افت پله‌ای ارائه نموده‌اند. روش انجام کار به این صورت است که در آزمایشات پمپاژ با دبی ثابت که داده‌های افت در برابر زمان بر روی یک کاغذ نیمه لگاریتمی (زمان بر روی محور لگاریتمی) ترسیم می‌شوند، از نقطه‌ای که میزان افت ثابت می‌شود می‌توان افت چاه را از افت سفره مجزا نمود. شکل ۳-۳ به طور مثال روش پیشنهادی برای جدا کردن افت چاه از افت سفره را در آزمایشات پمپاژ با دبی ثابت نشان می‌دهد.

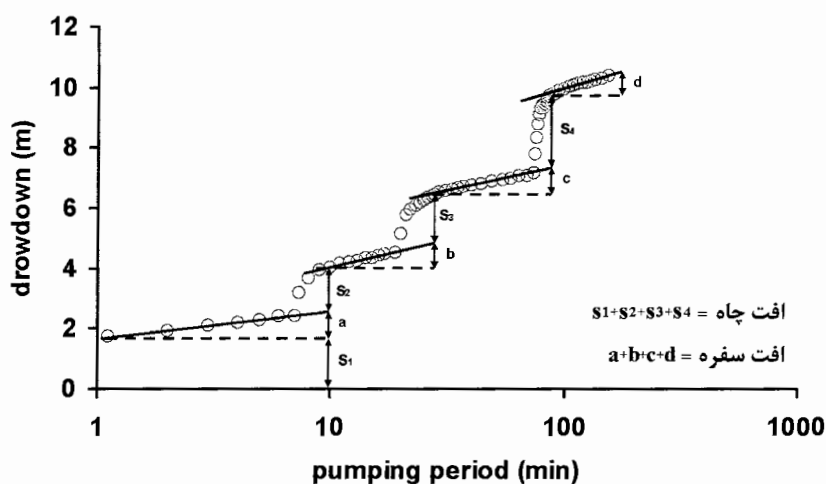


شکل ۳-۳- روش پیشنهادی برای جدا کردن افت چاه از افت سفره در آزمایشات پمپاژ با دبی ثابت

(Karami and Youngr 2002)

با توجه به شکل ۳-۳ مشاهده می‌نمائید از نقطه‌ای که میزان افت ثابت شده یک خط به موازات داده‌ها و یک خط افقی به موازات محور طول‌ها ترسیم می‌شود، زیر خط افقی افت مربوط به چاه و بالای آن افت مربوط به سفره در نظر گرفته می‌شود، که با توجه به شکل بالا این دو بخش کاملاً از هم تفکیک شده‌اند.

در آزمایشات افت پله‌ای نیز روند کار به این صورت است که ابتدا داده‌های افت در برابر زمان بر روی یک کاغذ نیمه لگاریتمی (زمان بر روی محور لگاریتمی) ترسیم می‌شوند، به دلیل آنکه چنین آزمایشاتی چندین پله را شامل می‌شوند، در هر پله نقطه ثابت شدن افت را مشخص نموده و افت چاه و افت سفره را در هر پله جداگانه بدست می‌آوریم. شکل ۳-۴ به طور مثال روش ارائه شده جهت جدا کردن افت چاه از افت سفره را در آزمایش افت پله‌ای نشان می‌دهد.



شکل ۳-۴- روش ارائه شده جهت جدا کردن افت چاه از افت سفره در آزمایش افت پله‌ای (Karami and Youngr 2002)

با توجه به شکل ۳-۴ ملاحظه می‌شود که روش جدا کردن افت چاه از افت سفره در هر پله همانند روش آزمایش پمپاژ با دبی ثابت است، اما با این تفاوت که افت کل چاه از مجموع افت چاه مربوط به هر پله و افت کل سفره نیز از مجموع افت سفره مربوط به هر پله بدست می‌آیند.

۳-۳-۴- تصحیح دبی مربوطه

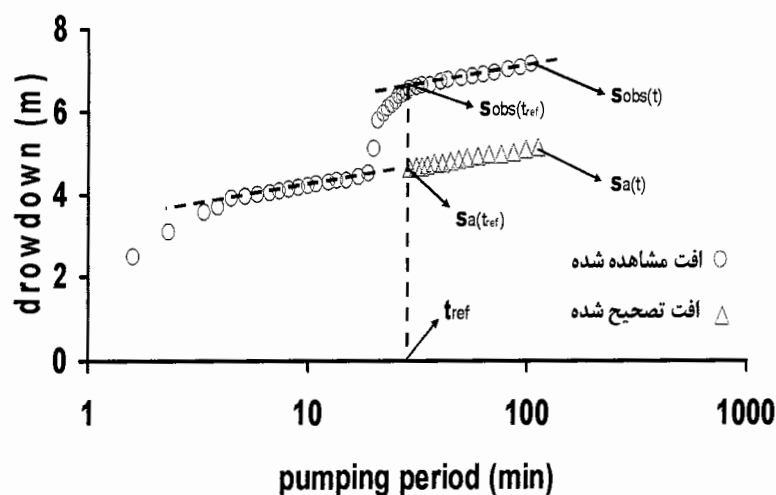
کرمی و یانگر (Karami and Youngr 2002) بیان کردند که در عمل در تعدادی اندک از آزمایشات پمپاژ، دبی پمپاژ با تغییر زمان ثابت می‌ماند. اما در بیشتر آزمایشات پمپاژ، دبی پمپاژ با زمان تغییر می‌کند که عمدتاً ناشی از تغییرات غیر قابل پیش‌بینی در نحوه کار پمپ می‌باشد. اگر اثرات مربوط به دبی متغیر پمپاژ تصحیح نشود، بسته به میزان تغییرات دبی پمپاژ، پارامترهای سفره شامل درصدی از

خطا خواهند شد. یک روش ساده برای جبران این تغییرات، تصحیح داده‌های آزمایش پمپاژ می‌باشد. به منظور تصحیح اثر دبی متغیر پمپاژ از معادله‌ی ۱-۳ که توسط کرمی و یانگر (Karami and Youngr 2002) برای همگن سازی داده‌های آزمایش پمپاژ ارائه کرده‌اند، استفاده شده است. شکل ۳-۵ پارامترهای کلیدی بکار برده شده در این معادله را نشان می‌دهد.

$$S_{obs(t)} = \frac{[S_{obs(t)} - S_{obs(t_{ref})}]}{(Q_{obs} / Q_{ref})} + S_{a(t_{ref})} \quad 1-3$$

که در آن:

- | | |
|--|---|
| $S_{obs(t)}$ = افت مشاهده شده در زمان t | $S_{a(t)}$ = افت تصحیح شده در زمان t |
| $S_{a(t_{ref})}$ = افت تصحیح شده در زمان t_{ref} | $S_{obs(t_{ref})}$ = افت مشاهده شده در زمان t_{ref} |
| Q_{obs} = میزان پمپاژ مشاهده شده | t_{ref} = شروع تثبیت شدن افت در هر پله |
| | Q_{ref} = میزان پمپاژ اولیه |



شکل ۳-۵- پارامترهای کلیدی بکار برده شده در معادله ۱-۳ (Karami and Youngr 2002)

۳-۴- روش‌های مورد استفاده برای تخمین پارامترهای هیدرودینامیکی

همانطور که در فصل دوم هم اشاره گردید، تعدادی از نویسندگان و محققین روش‌های آنالیز آزمایش پمپاژ که در سفره‌های متخلخل (آبرفتی) برای محاسبه ضرائب هیدرودینامیکی (قابلیت انتقال و ضریب ذخیره) بکار می‌روند را در سفره‌های درزه و شکافدار نیز مورد استفاده قرار دادند (برای مثال Michalski and Britton 1997, Jones 1999, Dillon *et al.* 2001). دلایل اصلی برای پذیرش این روش‌ها در سفره‌های درزه و شکافدار نتایج قابل قبول و نسبتاً دقیق حاصل شده از آنهاست که در محدوده خطای قابل قبول اندازه‌گیری‌های صحرایی واقع می‌شود. باید اشاره نمود که اغلب روش‌های آنالیز در سفره‌های متخلخل (روش‌های استاندارد) شامل روش تیس (Theis 1935) و روش خط مستقیم کوپر - ژاکوب (Cooper and Jacob 1946) می‌باشند. به هر حال بعضی از محققین برای سفره‌های درزه و شکافدار روش‌های معینی که به طور ویژه برای این قبیل سفره‌ها تهیه شده است، استفاده می‌کنند.

در این تحقیق برای مجموعه داده‌های آزمایش پمپاژ در بخش آبرفتی معدن از روش‌های تیس (Theis 1935) و کوپر - ژاکوب (Cooper and Jacob 1946) استفاده شده است. از آنجایی که مجموعه داده‌های آزمایش پمپاژ بخش سنگی هیچگونه رفتار تخلخل دوگانه (رفتار سه قسمتی در منحنی افت - زمان) را نشان نداده‌اند، برای آنالیز آنها هم از روش‌های تیس (Theis 1935) و کوپر - ژاکوب (Cooper and Jacob 1946) استفاده شده است (رجوع شود به گرمی ۱۳۸۵).

۳-۵- نرم افزار مورد استفاده

به منظور برآورد قابلیت انتقال و ضریب ذخیره در منطقه مورد مطالعه، از روش‌های مختلف آنالیز داده‌های آزمایش پمپاژ استفاده شده است. مهمترین روش‌های کاربردی شامل روش‌های تیس (Theis 1935) و کوپر - ژاکوب (Cooper and Jacob 1946) می‌باشند و در تفسیر داده‌های افت پله‌ای از روش ایدن - هیزل (Eden and Hazel 1973) استفاده شده است. به منظور کاربرد این روش‌ها از نرم افزار ^{win32} Aquifer استفاده شده است. این نرم افزار به عنوان یک نرم افزار استاندارد،

توسط EA (Environmental Agency) انگلستان تهیه شده است. تعیین خصوصیات هیدرودینامیکی سفره‌های آب زیرزمینی برای شرایط مختلف از جمله سفره‌های با سازندهای درزه و شکافدار (سازند سخت) با استفاده از این نرم افزار به صورت دستی و اتوماتیک به سادگی امکان پذیر است. این نرم افزار به ویژه برای روش‌هایی که دارای یک مجموعه‌ای از منحنی‌های مرجع هستند (برای مثال روش Neuman 1972) کارایی بالایی دارد. به این ترتیب که، می‌توان تعداد نامحدودی منحنی مرجع در این قبیل موارد ایجاد نمود و در نتیجه مناسبترین منحنی مرجع را انتخاب کرد.

۳-۶- روش‌های آنالیز آزمایشات پمپاژ

۳-۶-۱- روش تایس

روش تایس (Theis 1935) به عنوان اولین روش برای راه حل‌های تحلیلی جریان ناپایدار بیان شده است. تایس (Theis 1935) از تشابه میان جریان آب زیرزمینی و هدایت گرمایی استفاده نموده و معادله زیر را بدست آورده است:

$$s = \frac{Q}{4\pi T} \int_u^{\infty} \frac{e^{-u}}{u} du \quad 2-3$$

$$s = \frac{Q}{4\pi T} W_{(u)} \quad 3-3$$

$$W_{(u)} = [-0.5772 - \ln u + u - \frac{u^2}{2 \times 2!} + \frac{u^3}{3 \times 3!} - \dots] \quad 4-3$$

$$u = \frac{r^2 S}{4Tt} \quad 5-3$$

که در آن:

s = افت برحسب متر Q = میزان تخلیه چاه برحسب متر مکعب بر روز

$W_{(u)}$ = تابع چاه S = ضریب ذخیره

T = قابلیت انتقال سفره برحسب متر مربع بر روز t = زمان از شروع پمپاژ برحسب روز

معادله تایس شامل تعدادی فرضیات اصلی از تکنیک‌های آنالیز می‌باشد، این فرضیات شامل موارد زیر می‌شوند:

۱. سفره تحت فشار، همگن و ایزوتروپ با ضخامت یکنواخت و گسترش جانبی نامحدود می‌باشد.
۲. قبل از پمپاژ سطح پیزومتریک افقی یا نزدیک به افق باشد.
۳. میزان نرخ پمپاژ ثابت باشد.
۴. چاه تمام ضخامت سفره را قطع کرده باشد، بنابراین جریان به سمت چاه افقی است.
۵. قطر چاه بینهایت کوچک بوده، بنابراین می‌توان ذخیره چاه را ناچیز در نظر گرفت.
۶. آب برداشت شده از ذخیره، به صورت آنی تخلیه شده با کاهش بار هیدرولیکی باشد.

تایس یک راه حل ترسیمی برای تخمین مقادیر قابلیت انتقال و ضریب ذخیره بر طبق معادلات ۳-۳ و ۳-۵ ارائه کرده است. در این روش نمودار مقدار $W(u)$ در برابر مقدار u بر روی کاغذ تمام لگاریتمی ترسیم می‌شود و به آن منحنی تیپ تایس (Theis type curve) گفته می‌شود. بر روی یک کاغذ شفاف تمام لگاریتمی با مقیاس منحنی تیپ تایس مقادیر افت در برابر r^2/t ترسیم می‌شود. منحنی داده‌ها بر منحنی تیپ تایس انطباق داده تا بهترین انطباق پیدا شود. البته سعی می‌شود که محورهای مختصات دو نمودار مذکور موازی باقی بمانند. یک نقطه انطباقی در نظر گرفته می‌شود که این نقطه دارای چهار مختصات می‌باشد $(W(u), u, r^2/t, s)$ ، در نهایت برای محاسبه قابلیت انتقال و ضریب ذخیره سفره مختصات نقطه انطباقی در معادلات ۳-۳ و ۳-۵ قرار داده می‌شوند (Todd 1980, Kruseman and de Ridder 1994).

۳-۶-۲- روش کوپر - ژاکوب

روش کوپر - ژاکوب (Cooper and Jacob 1946) تقریبی از معادله تایس می‌باشد (معادله ۳-۳). با توجه به معادله ۳-۵ برای مقادیر کوچک r و بزرگ t ، مقدار u کوچک شده و عبارتهای سوم و بعد از آن در معادله ۳-۴ بسیار کوچک شده و می‌توان از آنها صرف نظر نمود. بنابراین، معادله تایس برای مقادیر کوچک u ($u \leq 0.01$) می‌تواند به صورت معادله ۳-۶ بیان شود:

$$s = \frac{Q}{4\pi T} (-0.5772 - \ln u) \quad 6-3$$

بعد از دوباره نوشتن و تغییرات لگاریتم‌های اعشاری، معادله به صورت زیر خلاصه می‌شود:

$$s = \frac{2.3Q}{4\pi T} \log \frac{2.25Tt}{r^2 S} \quad 7-3$$

روش کوپر - ژاکوب (Cooper and Jacob 1946) به دو روش افت - زمان و افت - فاصله، مقادیر قابلیت انتقال و ضریب ذخیره را محاسبه می‌کند. روش افت - فاصله نسبت به روش دیگر، به دلیل نیاز به حداقل سه پیژومتر و در نتیجه پر هزینه بودن آن و هم چنین مشکلات اجرایی آن، به ندرت مورد استفاده قرار می‌گیرد. در روش افت - زمان کوپر - ژاکوب، با ترسیم مقادیر افت در برابر زمان‌های مربوطه بر روی یک کاغذ نیمه لگاریتمی (زمان بر روی محور لگاریتمی) یک خط مستقیم ارائه می‌دهد. با ادامه دادن خط مستقیم تا محور زمان، مقدار t_0 (جایی که مقدار افت برابر صفر می‌باشد) بدست می‌آید.

تخمین میزان قابلیت انتقال: بر طبق معادله ۸-۳ محاسبه تفاضل افت Δs می‌دهد:

$$\Delta s = \frac{2.3Q}{4\pi T} \log \frac{t_2}{t_1} \quad 8-3$$

برای سیکل لگاریتمی، $\log t_2/t_1 = 1$ ، بنابراین معادله ۸-۳ به صورت زیر در می‌آید:

$$\Delta s = \frac{2.3Q}{4\pi T} \quad 9-3$$

در نتیجه قابلیت انتقال از معادله ۱۰-۳ حاصل می‌شود:

$$T = \frac{2.3Q}{4\pi\Delta s} \quad 10-3$$

تخمین ضریب ذخیره: بر طبق معادله ۷-۳ و جایگذاری مقدار صفر برای افت در $t = t_0$ می‌توان نوشت:

$$0 = \frac{2.3Q}{4\pi T} \log \frac{2.25Tt_0}{r^2 S} \quad 11-3$$

از آنجایی که پارامتر $\frac{2.3Q}{4\pi T}$ مخالف صفر است، بنابراین بایستی مقدار $\log \frac{2.25Tt_0}{r^2 S}$ برابر صفر شود و در نتیجه مقدار $\frac{2.25Tt_0}{r^2 S}$ برابر یک می‌شود. به طور خلاصه می‌توان نوشت:

$$S = \frac{2.25Tt_0}{r^2} \quad 12-3$$

که در آن:

t_0 : زمانی است که مقدار افت برابر با صفر است. با داشتن مقدار t_0 و محاسبه T در مرحله قبل، با توجه به معادله فوق مقدار S قابل محاسبه است (Todd 1980, Kruseman and de Ridder 1994).

۳-۶-۳- روش ایدن - هیزل

برای داده‌های بدست آمده از آزمایش‌های افت پله‌ای در سفره‌های تحت فشار روش ایدن - هیزل (Eden and Hazel 1973) برای تخمین میزان قابلیت انتقال و افت چاه در سفره‌های تحت فشار مورد استفاده قرار می‌گیرد. اساس این روش بر مبنای استفاده از معادله کوپر - ژاکوب ۷-۳ می‌باشد. افت در چاه با استفاده از معادله کوپر - ژاکوب به صورت زیر نوشته می‌شود:

$$s_w = \frac{2.3Q}{4\pi T} \log \frac{2.25Tt}{r_{ew}^2 S}$$

r_{ew} = شعاع تأثیر چاه

این معادله می‌تواند به صورت زیر نوشته شود:

$$s_w = (a + b \log t)Q \quad ۱۳-۳$$

که در اینجا:

$$a = \frac{2.3}{4\pi T} \log \frac{2.25T}{r_{ew}^2 S} \quad ۱۴-۳$$

$$b = \frac{2.3}{4\pi T} \quad ۱۵-۳$$

می‌باشند. با استفاده از اصل انطباق و معادله ۱۳-۳ افت در زمان t در طول پله \ln ام به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$s_{w(n)} = \sum_{i=1}^n (\Delta Q_i) \{a + b \log(t - t_i)\} \quad ۱۶-۳$$

یا

$$s_{w(n)} = aQ_n + b \sum_{i=1}^n \Delta Q_i \log(t - t_i) \quad ۱۷-۳$$

که در اینجا:

Q_n = میزان دبی ثابت در طول پله n ام
 Q_i = میزان دبی ثابت در طول پله i ام که جلوتر
 t = زمان شروع آزمایش افت پله‌ای
 $\Delta Q_i = Q_i - Q_{i-1}$ = میزان تغییر دبی از زمان شروع
 از پله n ام است
 تا زمان t_i
 t_i = زمان شروع پله i ام

می‌باشند. معادلات بالا را برای تأثیر افت غیر خطی (آشفته) چاه نمی‌توان استفاده نمود. با وارد کردن این افت‌ها (CQ^2) در معادله ۳-۱۷ می‌دهد:

$$s_{w(n)} = aQ_n + bH_n + CQ_n^2 \quad ۱۸-۳$$

که در اینجا:

$$H_n = \sum_{i=1}^n \Delta Q_i \log(t - t_i) \quad ۱۹-۳$$

است. روش ایدن - هیزل (Eden and Hazel 1973) شامل ویژگی‌ها و فرضیات زیر می‌شود:
 این روش کلیه فرضیات روش تاپس را به جز مورد سوم شامل می‌شود و موارد زیر به آنها اضافه می‌گردد:

۱. سفره تحت تأثیر آزمایش افت پله‌ای و افزایش در میزان دبی همراه است.
۲. جریان آب به طرف چاه یک حالت ناپایدار است.
۳. $u \leq 0.01$
۴. افت‌های غیر خطی (آشفته) چاه قابل ارزیابی بوده و خیلی متغیر بر حسب اصطلاح CQ^2 می‌باشند.

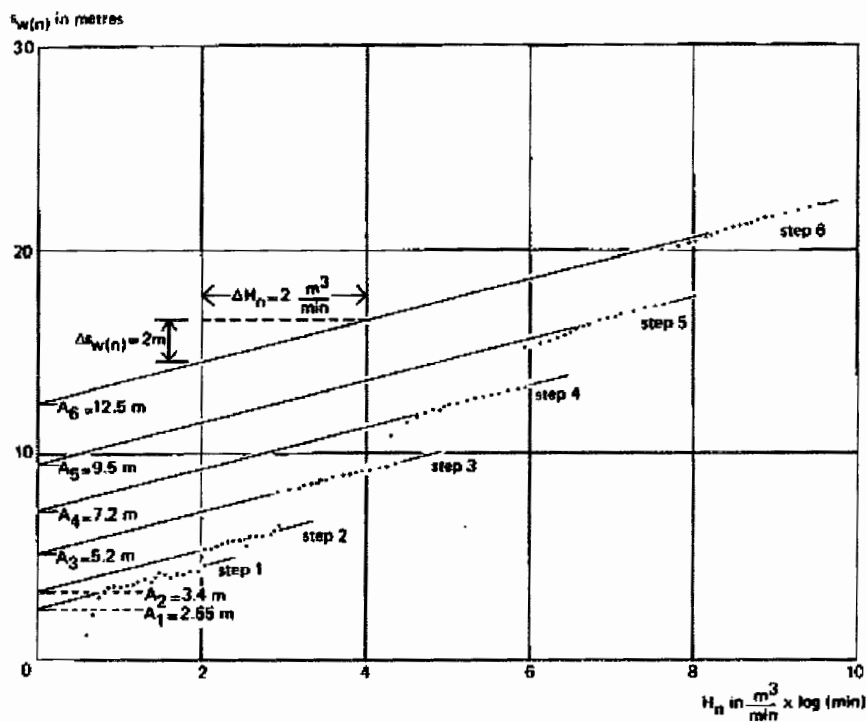
روش انجام کار:

- محاسبه مقادیر H_n از معادله ۳-۱۹ و استفاده از دبی‌ها و زمان‌های اندازه‌گیری شده.

- وارد کردن داده‌های $(S_{w(n)})$ در برابر مقادیر H_n (شکل ۳-۶).
- کشیدن خطوط موازی از بهترین نقاط وارد شده و یک خط مستقیم از میان هر دسته نقطه.
- تخمین شیب خط $\Delta S_{w(n)}/\Delta H_n$ که مقدار b را می‌دهد.
- ادامه دادن خطوط تا جایی که $H_n = 0$ شود، مشخص شدن نقطه A_n برای هر خط توسط معادله ۳-۲۰:

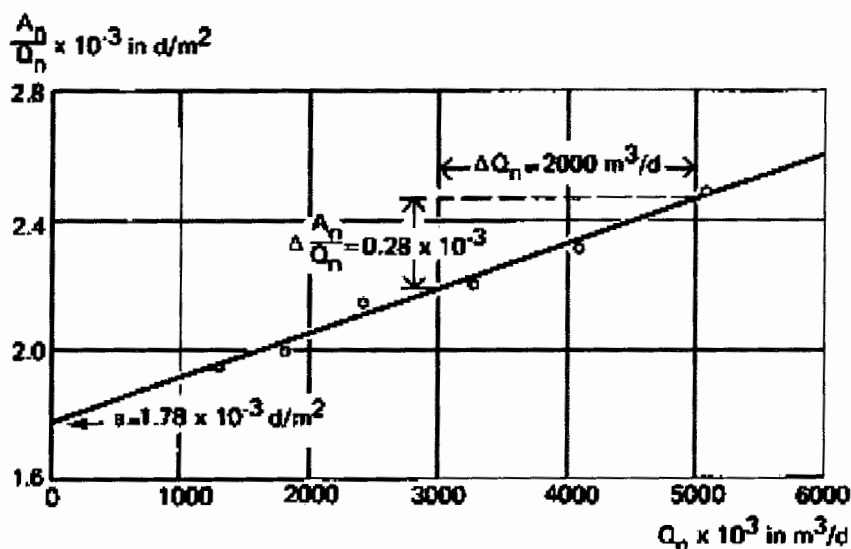
$$A_n = aQ_n = CQ_n^2, \text{ یا } \frac{A_n}{Q_n} = a + CQ_n \quad ۳-۲۰$$

- تعیین مقادیر A_n
- محاسبه مقدار A_n/Q_n برای هر پله
- وارد کردن داده‌های A_n/Q_n در برابر Q_n و کشیدن خطی از میان داده‌ها
- تخمین شیب خط که مقدار C می‌باشد.
- با ادامه دادن خط تا جایی که $Q_n = 0$ شود، مقدار a بدست می‌آید.



شکل ۳-۶ - روش ایدن - هیزل، داده‌های $(S_{w(n)})$ در برابر مقادیر H_n (Kruseman and de Ridder 1994)

اکنون قابلیت انتقال با استفاده از معادله ۳-۱۵ محاسبه می‌شود (شکل ۳-۷) (Kruseman and de Ridder 1994). لازم به ذکر است که در کاربرد روش ایدن - هیزل (Eden and Hazel 1973) از نرم افزار $win32$ Aquifer استفاده شده است و این نرم افزار تمام موارد ذکر شده در روش انجام کار را به طور خودکار انجام می‌دهد.



شکل ۳-۷- روش ایدن - هیزل، داده‌های A_n/Q_n در برابر میزان Q_n (Kruseman and de Ridder 1994)

۳-۷- محاسبه درجه ناهمگنی

کرمی و یانگر (Karami and Youngr 2002) بیان کردند که به منظور ارزیابی درجه ناهمگنی در محدوده یک چاه می‌توان مقادیر قابلیت انتقال را برای داده‌های آزمایش پمپاژ در مدت زمان‌های مختلف، بکار برد. به این ترتیب که در هر آزمایش پمپاژ ابتدا بخش ابتدایی آزمایش (برای مثال یک ساعت ابتدای آزمایش پمپاژ) مد نظر قرار گرفته و مقدار قابلیت انتقال برای این بخش با استفاده از روش‌های فوق الذکر برآورد می‌شود، سپس بخش طولانی‌تری از آزمایش پمپاژ در نظر گرفته می‌شود (برای مثال دو ساعت ابتدای آزمایش پمپاژ) و مقدار قابلیت انتقال برای این بخش طولانی‌تر تعیین می‌شوند به همین ترتیب کار ادامه داده می‌شود و هر بار داده‌های افت - زمان از ابتدای آزمایش پمپاژ تا زمان طولانی‌تری نسبت به مرحله قبل انتخاب شده و در نهایت کل مدت آزمایش پمپاژ در نظر

گرفته می‌شود، در تمام مراحل قابلیت انتقال با استفاده از روش انتخاب شده برای آنالیز داده‌های آزمایش پمپاژ برآورد می‌شوند. با عنایت به این که مقادیر قابلیت انتقال در مدت زمان‌های مختلف آزمایش پمپاژ در سفره‌های ناهمگن تغییراتی را شامل می‌شوند و مقدار تغییرات برای مناطق مختلف یکسان نیست، علت وجود این تغییرات به ناهمگنی سفره آب زیرزمینی مربوط می‌شود و از آنجایی که درجه ناهمگنی سفره در مناطق مختلف یکسان نیست مقدار تغییرات قابلیت انتقال برای چاه‌های مختلف متفاوت می‌باشد. به منظور ارزیابی درجه ناهمگنی سفره درزه و شکافدار مقادیر متوسط، انحراف از معیار و در نهایت ضریب تغییرات برای مقادیر این پارامتر که برای مدت زمان‌های مختلف آزمایش پمپاژ برآورد شده است، محاسبه می‌شود. در چنین سفره‌هایی ابتدا متوسط وزنی قابلیت انتقال با معادله ۳-۲۱ محاسبه می‌شود:

$$\bar{T} = \frac{\sum_{i=1}^n \left(\frac{T_i + T_{i+1}}{2} \times \Delta t_i \right)}{\sum_{i=1}^n \Delta t_i} \quad ۲۱-۳$$

Δt_i = فاصله زمانی بین دو اندازه‌گیری \bar{T} = متوسط وزنی قابلیت انتقال

T_i = قابلیت انتقال محاسبه شده در زمان t_i

آنها برای تعیین درجه ناهمگنی دو نکته را متذکر شدند، اول اینکه برای مقایسه نتایج مربوط به مناطق مختلف بایستی مقادیر قابلیت انتقال به مقادیر قابلیت انتقال متوسط تقسیم شوند. دوم اینکه مقادیر قابلیت انتقال، چه بزرگتر و چه کوچکتر از قابلیت انتقال متوسط، به صورت قدر مطلق در نظر گرفته شوند. سپس براساس معادله ۳-۲۱ ضریبی را معرفی نمودند، که به نام درجه ناهمگنی معروف گردید (به صورت درصد بیان می‌شود)، که از معادله ۳-۲۲ محاسبه می‌شود:

$$H_R = \frac{\sum_{i=1}^n \left(\frac{\Delta_i + \Delta_{i+1}}{2} \times \Delta_i \right)}{\sum_{i=1}^n \Delta_i} \times 100$$

۲۲-۳

$$\Delta_i = \left| 1 - T_i / \bar{T} \right| \quad H_R = \text{درجه ناهمگنی}$$

T_i, \bar{T} و Δ_i در معادله ۳-۲۱ معرفی شده‌اند.

برتری قابلیت انتقال به ضریب ذخیره برای برآورد درجه ناهمگنی به دو دلیل می‌باشد، اول اینکه مقادیر قابلیت انتقال در مقایسه با مقادیر ضریب ذخیره بیشتر قابل دسترس می‌باشند (Younger 1993, Jalludin and Razack 1994)، دوم اینکه مقادیر ضریب ذخیره در مقایسه با مقادیر قابلیت انتقال برای مناطق مجاور هم تغییرپذیری بیشتری را شامل می‌شوند (Meier et al. 1998, Vila et al. 1999). با توجه به چگونگی محاسبه درجه ناهمگنی مشهود است که مقادیر درجه ناهمگنی به بزرگی مقادیر قابلیت انتقال وابسته نمی‌باشند و تنها به تغییرات قابلیت انتقال در مدت زمان‌های مختلف آزمایش پمپاژ بستگی دارند. ارزیابی کمی ناهمگنی‌های موجود در سفره آب زیرزمینی (در دو بخش آبرفتی و سنگی) در محدوده معدن می‌تواند به برآورد دقیق‌تر قابلیت انتقال و ضریب ذخیره سفره آب زیرزمینی کمک نماید.

۳-۸- داده‌های کیفی آب در طول انجام آزمایش پمپاژ

به منظور بررسی تغییرات کیفی آب زیرزمینی در حین پمپاژ در محدوده معدن شماره (۱) گل‌گهر، در نه حلقه چاه پمپاژ مقادیر هدایت الکتریکی، pH و درجه حرارت آب در حین آزمایش پمپاژ اندازه‌گیری شده‌اند. سپس نتایج بدست آمده در برابر زمان در یک دستگاه مختصات خطی ترسیم شده و مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته‌اند.

فصل چهارم: ارزیابی داده‌های آزمایش پمپاژ در

محدوده معدن شماره (۱) گل‌گهر

۴-۱- خصوصیات هیدرودینامیکی سفره آب زیرزمینی

به منظور تعیین خصوصیات هیدرودینامیکی سفره آب زیرزمینی در داخل گودال معدنی و محدوده اطراف آن، این خصوصیات هم در بخش سنگی و هم در بخش آبرفت‌های موجود بر روی توده‌های سنگی، به طور جداگانه محاسبه شده‌اند.

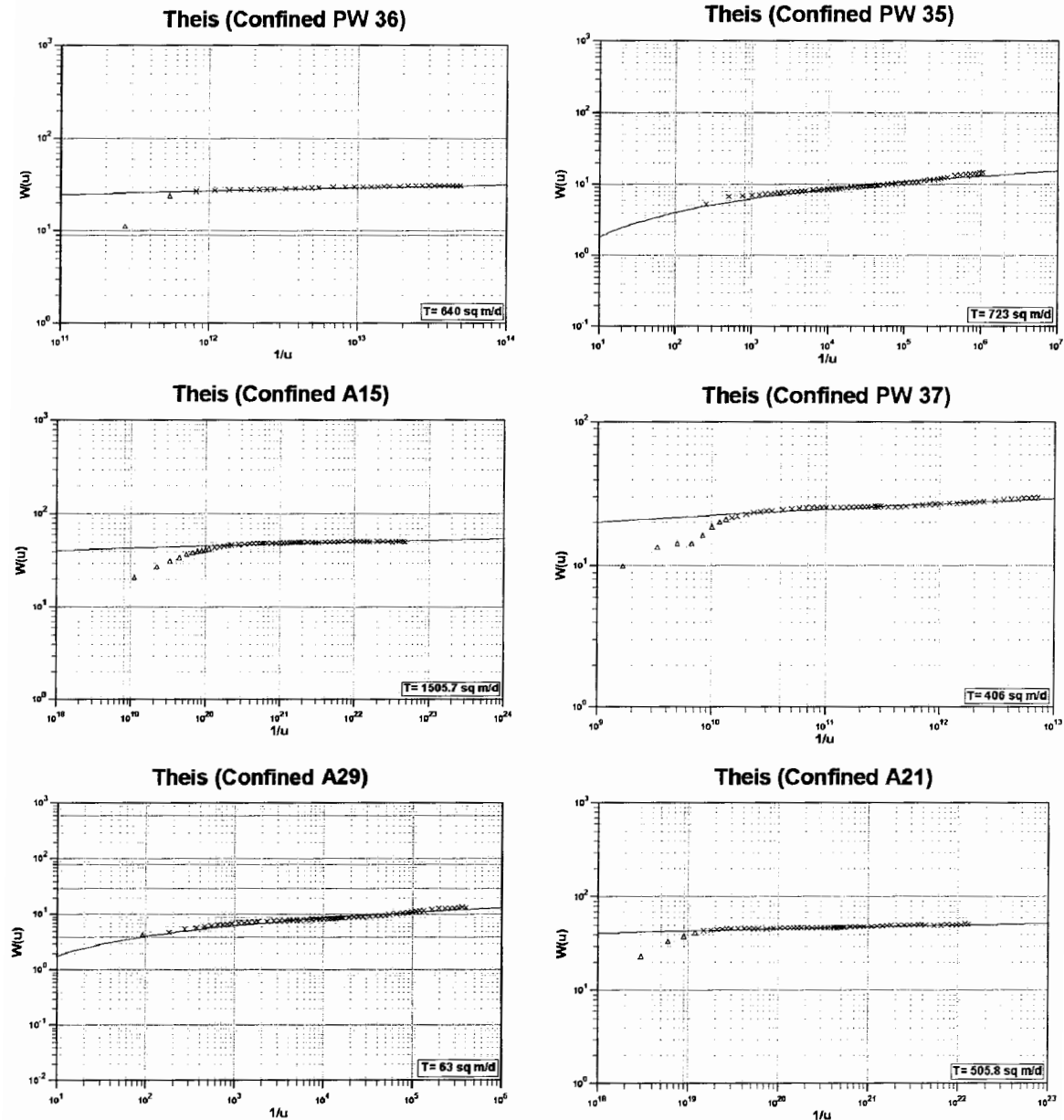
۴-۱-۱- آنالیز داده‌های آزمایش پمپاژ با دبی ثابت

۴-۱-۱-۱- بخش آبرفتی معدن

با توجه به این که بخشی از جریان آب زیرزمینی ورودی به گودال معدنی از طریق آبرفت‌های منطقه انجام می‌شود، تعیین خصوصیات هیدرودینامیکی این بخش ضروری می‌باشد. برای این منظور ۱۱ سری آزمایش پمپاژ در چاه‌های پمپاژ موجود در بخش آبرفتی انجام شدند و در نهایت حدود ۳۴ سری داده افت - زمان در چاه‌های پمپاژ، پیزومتری و مشاهده‌ای بدست آمدند. این داده‌ها با استفاده از نرم افزار $Aquifer^{win32}$ و با بکارگیری روش‌های تایس (Theis 1935) و کوپر - ژاکوب (Cooper and Jacob 1946) مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند. لازم به ذکر است که چاه‌هایی که در بخش آبرفتی و بخش سنگی حفاری شده‌اند، اطلاعات مربوط به آنها در فصل سوم در جداول ۱-۳ و ۲-۳ ارائه شده است.

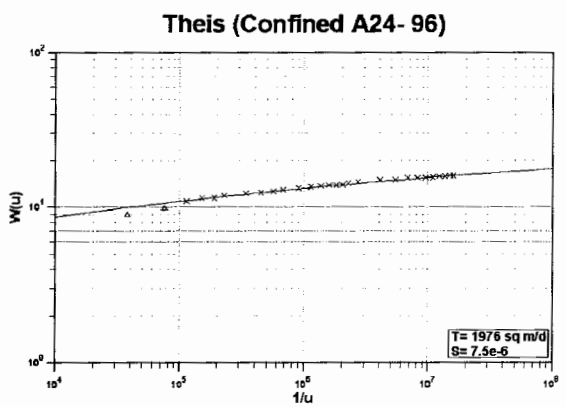
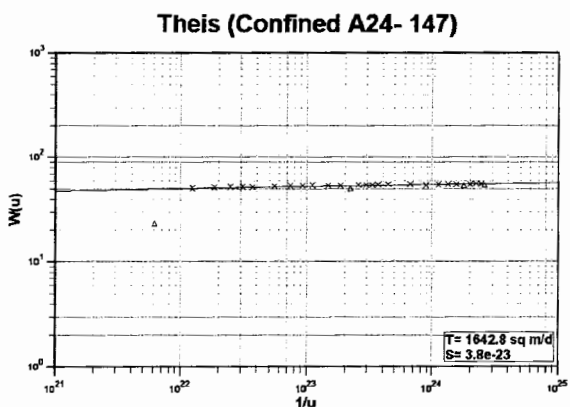
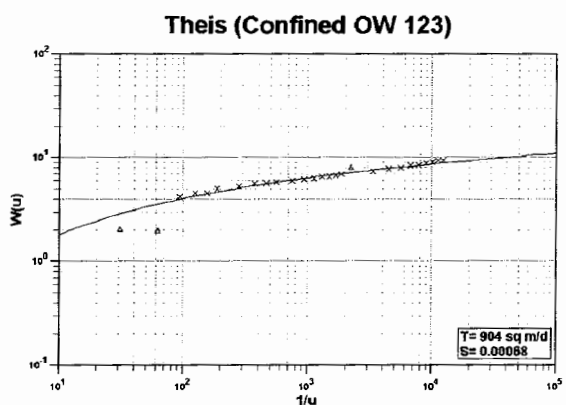
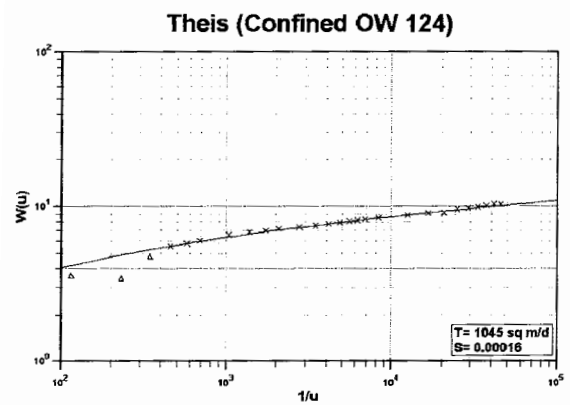
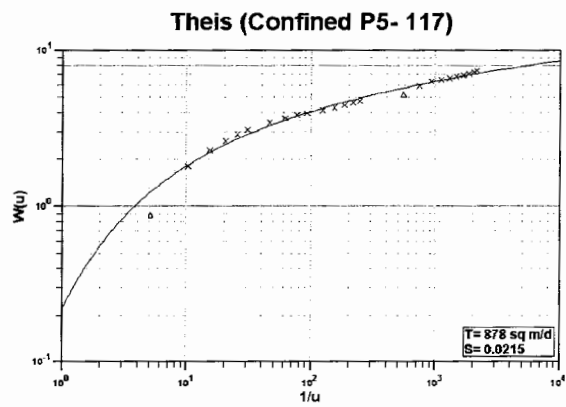
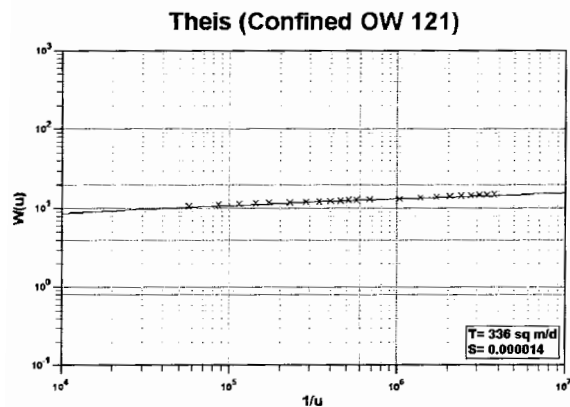
روش تایس

بکارگیری روش تایس (Theis 1935) برای آنالیز داده‌های آزمایش پمپاژ در تعدادی از چاه‌های مربوط به بخش آبرفتی معدن در شکل ۴-۱ نشان داده شده است.



شکل ۴-۱- کاربرد روش تایس برای آنالیز داده‌های آزمایش پمپاژ در بخش آبرفتی معدن

(\times) داده‌های استفاده شده و (Δ) داده‌های صرف نظر شده)

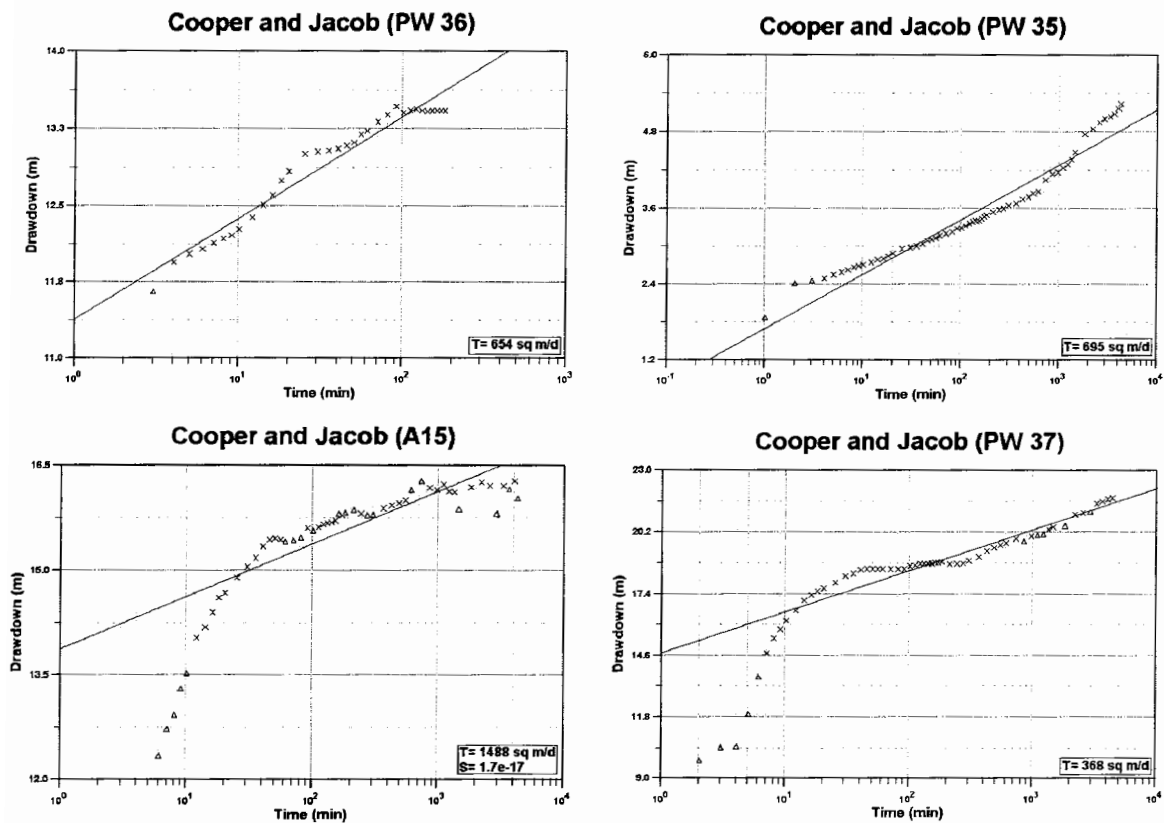


شکل ۴-۱- ادامه

همانطور که شکل ۴-۱ نشان می‌دهد، تقریباً تمام داده‌های مشاهده شده بر منحنی تیس تایس (Theis type curve) منطبق می‌شوند. به هر حال، بخشی از داده‌ها (به ویژه داده‌های کوتاه مدت آزمایش پمپاژ) بر منحنی تیس تایس (Theis type curve) منطبق نمی‌شوند. علت این امر ناهمگنی موجود در لایه آبدار می‌باشد.

روش کوپر - ژاکوب

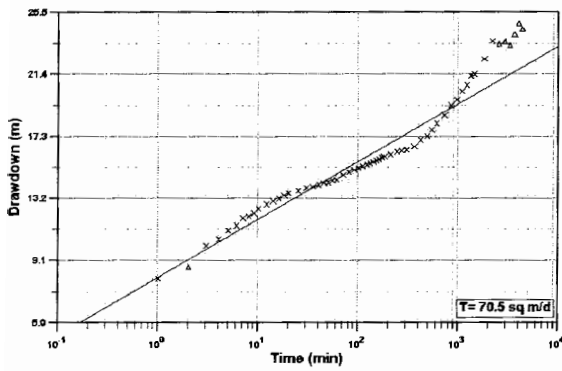
داده‌های حاصله از آزمایش پمپاژ علاوه بر روش تایس با استفاده از روش کوپر - ژاکوب (Cooper and Jacob 1946) مورد آنالیز قرار گرفته‌اند. در این روش نیز به دلیل زیاد بودن تعداد آنالیزها فقط تعدادی از نمودارهای مربوط به آنالیز چاهها به عنوان نمونه انتخاب شدند. شکل ۲-۴ کاربرد روش کوپر - ژاکوب را برای آنالیز تعدادی آزمایش پمپاژ در بخش آبرفتی معدن نشان می‌دهد.



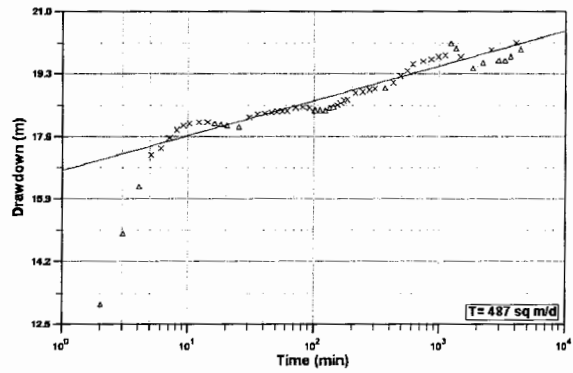
شکل ۲-۴- کاربرد روش کوپر - ژاکوب برای آنالیز داده‌های آزمایش پمپاژ در بخش آبرفتی معدن

(x= داده‌های استفاده شده و Δ= داده‌های صرف نظر شده)

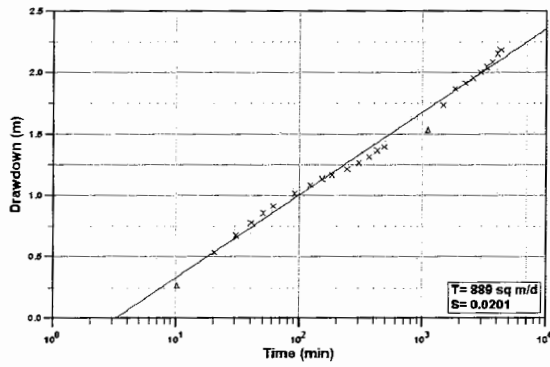
Cooper and Jacob (A29)



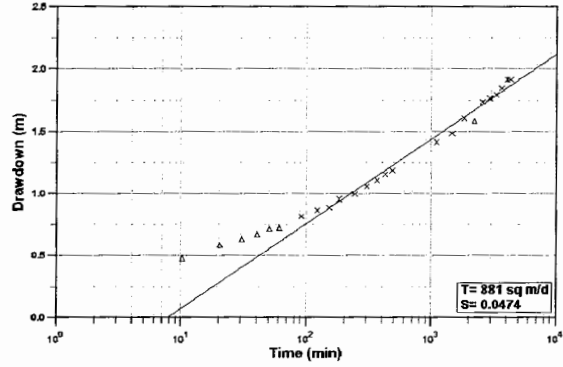
Cooper and Jacob (A21)



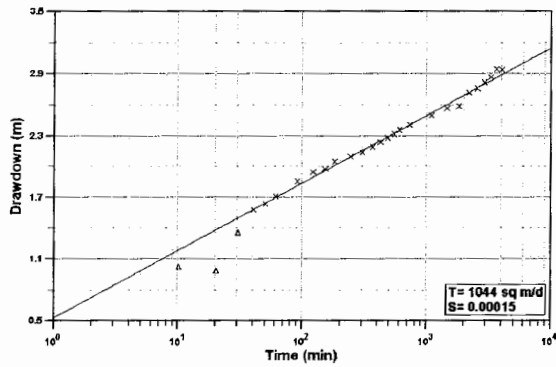
Cooper and Jacob (P5- 117)



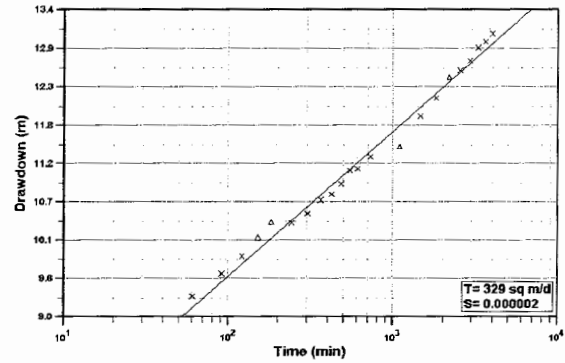
Cooper and Jacob (P5- 66)



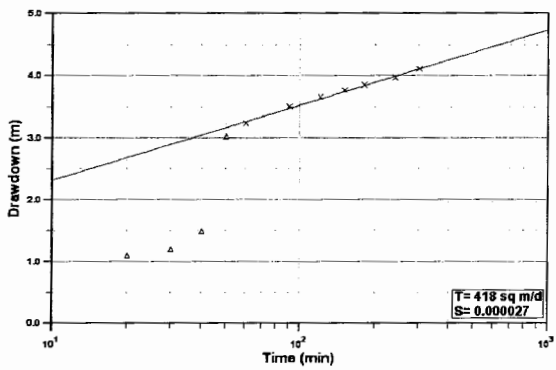
Cooper and Jacob (OW 124)



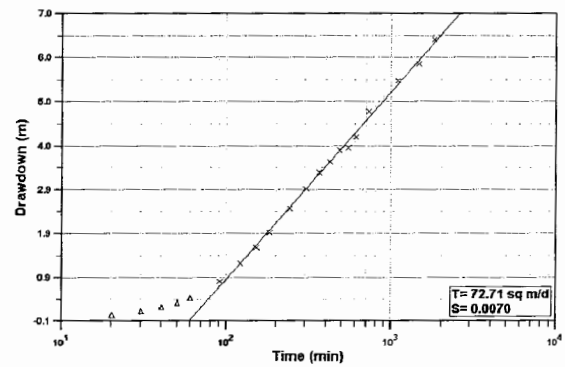
Cooper and Jacob (OW 121)



Cooper and Jacob (A22)



Cooper and Jacob (A23)



شکل ۲-۴- ادامه

همانطور که در شکل ۴-۲ دیده می‌شود، روند کلی اکثریت داده‌های مشاهده شده در سیستم نیمه لگاریتمی (زمان بر روی محور لگاریتمی) خط راست می‌باشد و ناهمگنی‌های موجود در این قبیل سفره‌ها باعث شده که اغلب یک خط چند شیبه (Multi-slope line) ایجاد شود. همانطور که برخی از محققین اظهار نموده‌اند (برای مثال Vila et al. 1999)، در روش کوپر - ژاکوب (Cooper and Jacob 1946)، روند کلی داده‌ها در یک سفره آب زیرزمینی ناهمگن می‌تواند یک متوسط خوبی از خواص هیدرولیکی را ارائه نماید.

در هر حال، قسمتی از داده‌های مشاهده شده از روند کلی خط راست تبعیت نمی‌کنند. چنین قسمت‌هایی ناهمگنی‌های موجود در این بخش از معدن را منعکس می‌نمایند. در مورد انحراف داده‌های کوتاه مدت از روند کلی خط راست، علاوه بر تأثیر ناهمگنی‌های موجود در سفره می‌تواند به علت کوچک نبودن مقدار u و در نتیجه برآورده نشدن شرط روش کوپر - ژاکوب (Cooper and Jacob 1946) باشد. جدول ۴-۱ مقادیر قابلیت انتقال و ضریب ذخیره بدست آمده از روش‌های تاپس (Theis 1935) و کوپر - ژاکوب (Cooper and Jacob 1946) را در چاه‌های مختلف معدن نشان می‌دهد.

جدول ۴-۱- مقادیر قابلیت انتقال و ضریب ذخیره بدست آمده از بخش آبرفتی معدن

چاه‌های پمپاژ و پیژومتری	روش تاپس (Theis 1935)		روش کوپر - ژاکوب (Cooper and Jacob 1946)	
	قابلیت انتقال (m ² /day)	ضریب ذخیره	قابلیت انتقال (m ² /day)	ضریب ذخیره
PW34	PW34	-	۱۱۴/۵	-
	OW119	۰/۰۰۱۶	۱۱۵/۲	۰/۰۰۱۱
PW35	PW35	-	۷۲۳	۶۹۵
	P5-66	۰/۰۴۹۲	۸۸۰	۰/۰۴۷۴
	P5-117	۰/۰۲۱۵	۸۷۸	۰/۰۲۰۱
	P6-66	۰/۰۰۹۶	۸۲۷	۰/۰۰۹۴
	P6-80	۰/۱۸۴۰	۸۲۲	۰/۱۴۱۹
	PW36	۶۴۰	۶۵۴	-
PW36	P3-66	۰/۰۰۹۳	۲۰۱۴	۰/۰۰۸۵
	P3-80	۰/۰۱۳۰۴	۲۰۵۹	۰/۰۱۱۶۷
	P4-66	۰/۰۰۰۶۸	۱۵۳۴	۱۴۵۳
	P4-120	۰/۰۰۰۰۹	۵۲۷	۰/۰۰۰۰۹
	PW37	۴۰۶	۳۶۸	-
PW37	OW120	۰/۵۷۵	۳۷۵	۰/۴۲۷۸
	OW121	۰/۰۰۰۰۱۴	۲۳۶	۰/۰۰۰۰۰۲
	OW122	۰/۰۰۲۶	۸۲۷	۰/۰۰۲۶
	OW123	۰/۰۰۰۶۸	۹۰۴	۰/۰۰۰۶۷
	OW124	۰/۰۰۰۱۶	۱۰۴۵	۰/۰۰۰۱۵
	OW125	۹۳۹	۰/۰۰۷۱	۹۵۰

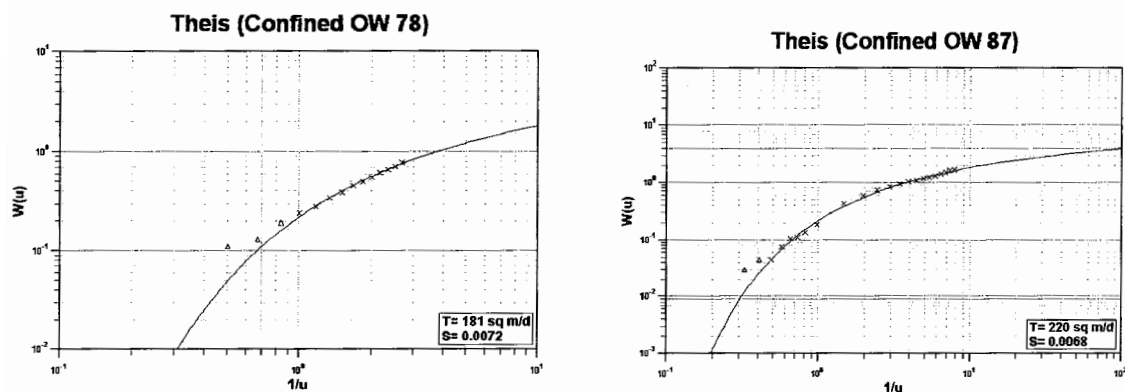
جدول ۴-۱- ادامه

روش کوپر-ژاکوب (Cooper and Jacob 1946)		روش تایس (Theis 1935)		چاه‌های مشاهده‌ای و پیزومتری	چاه‌های پمپاژ
ضریب ذخیره	قابلیت انتقال (m ² /day)	ضریب ذخیره	قابلیت انتقال (m ² /day)		
-	۹۴۸	-	۶۵۱	PW41	PW41
-	۳۱۱	-	۳۲۸	PW42	PW42
-	۲۶/۲	-	۲۶/۲	A4	A4
۰/۰۰۰۰۲۷	۴۱۸	۰/۰۰۰۰۲۷	۴۱۸	A22	
-	۱۴۸۸	-	۱۵۰۵/۷	A15	A15
۰/۰۰۰۰۰۵	۲۰۲۴	۰/۰۰۰۰۰۷	۱۹۷۶	A24-96	
-	۲۲۴۸	-	۱۶۴۲/۸	A24-147	
۰/۰۳۲۷	۳۷۵۰	۰/۰۳۹	۳۵۱۰	A25-51	
۰/۰۱۸۳	۳۵۲۳	۰/۰۲۲۵	۳۳۰۳/۳	A25-129	
-	۴۸۷	-	۵۰۵/۸	A21	A21
-	۷۰/۵	-	۶۳	A29	A29
۰/۲۱۱	۴۰۷	۰/۲۳۳	۲۹۸	A8-126	
۰/۱۳۳	۲۱۸	۰/۱۴۵	۲۱۲/۷	A8-150	
-	۱۴۶	-	۱۸۳/۱	B4	B4
۰/۰۰۷	۷۲	۰/۰۰۹	۶۴	A23	

همانطور که از جدول ۴-۱ (نتایج حاصل از ترسیم نمودارهای تایس (Theis 1935) و کوپر-ژاکوب (Cooper and Jacob 1946)) مشاهده می‌شود، مقادیر قابلیت انتقال و ضریب ذخیره در نقاط مختلف بخش آبرفتی معدن بدست آمده است. محدوده تغییرات قابلیت انتقال از ۲۶/۲ تا ۳۷۵۰ متر مربع بر روز و ضریب ذخیره از 2×10^{-6} تا $5/8 \times 10^{-1}$ می‌باشد که بیانگر تغییرات بسیار بالا در این خصوصیات می‌باشد. حتی چاه‌های پیزومتری و مشاهده‌ای که تحت تأثیر چاه پمپاژی خود قرار دارند، نیز دارای مقادیر قابلیت انتقال و ضریب ذخیره یکسان نبوده که این می‌تواند نشانه ناهمگنی این بخش از سفره آب زیرزمینی معدن باشد. همانطور که نتایج نشان می‌دهد مقادیر قابلیت انتقال در چاه‌های مشاهده‌ای A25-51 و A25-129 بیشتر از چاه پمپاژ A15 و چاه‌های مشاهده‌ای A24-96 و A24-147 می‌باشند که دلیل آن می‌تواند به احتمال زیاد به خاطر بالا بودن تراوایی در محدوده این چاهها باشد. لازم به ذکر است که به دلیل عدم انجام آزمایش پمپاژ با دبی ثابت در چاه‌های پمپاژ PW34، PW36، PW41 و PW42 جهت محاسبه خصوصیات هیدرودینامیکی سفره در محدوده این چاهها از داده‌های افت - زمان مربوط به پله اول آزمایش افت پله‌ای این چاهها استفاده شده است.

۴-۱-۱-۲- بخش سنگی معدن

با توجه به این که بخش دیگری از جریان آب زیرزمینی ورودی به گودال معدنی از طریق بخش سنگی منطقه انجام می‌شود، تعیین خصوصیات هیدرودینامیکی این بخش به دلیل جریان



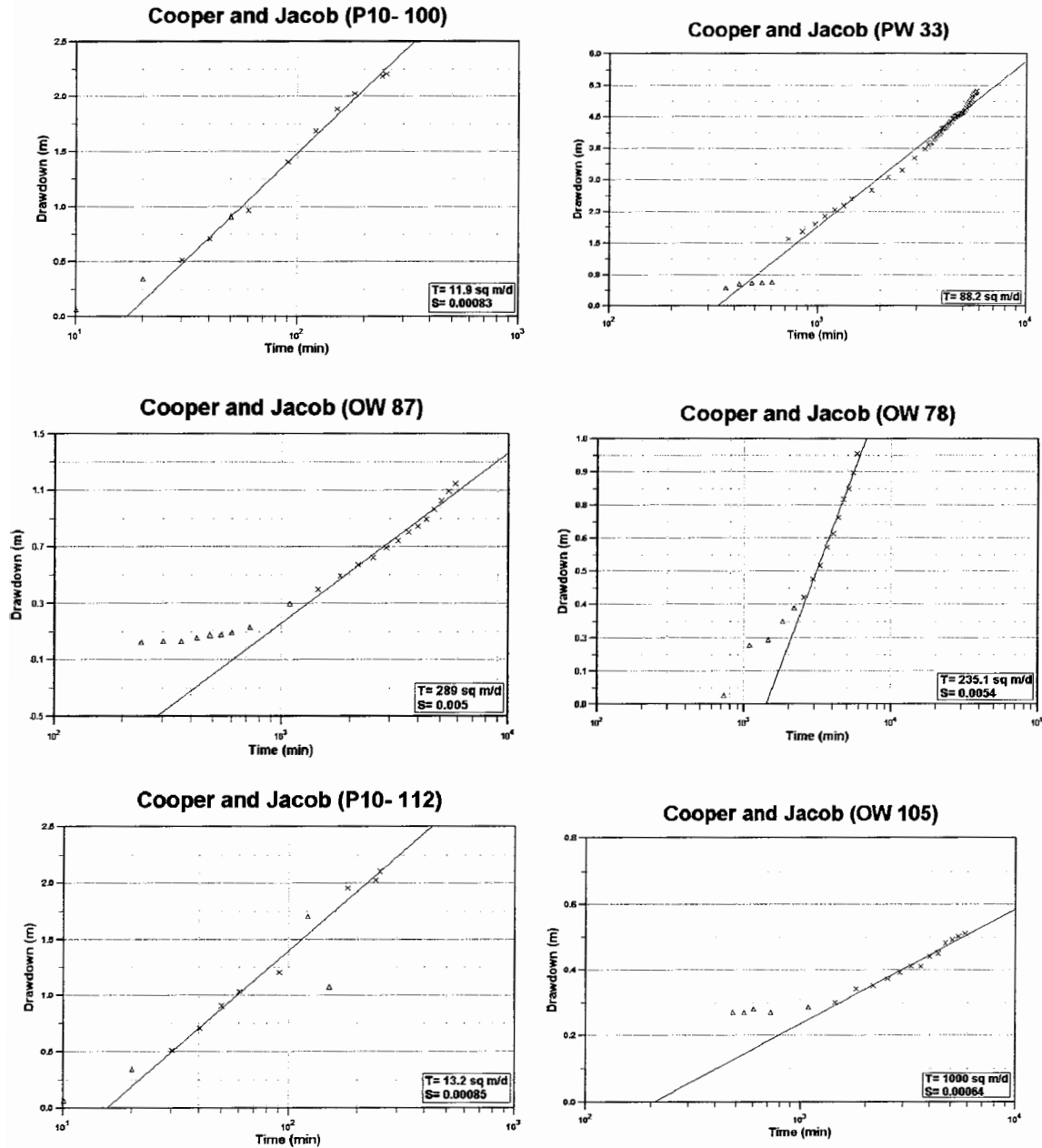
شکل ۳-۴- ادامه

همانطور که شکل ۳-۴ نشان می‌دهد، علیرغم وجود ناهمگنی در سفره‌های درزه و شکافدار، تقریباً تمام داده‌های مشاهده شده بر منحنی تیپ تایس (Theis type curve) منطبق می‌شوند. بنابراین چنین انطباقی می‌تواند تأییدی بر نتیجه‌گیری‌های محققینی باشد که اظهار نموده‌اند، رفتار کلی اکثریت سفره‌های درزه و شکافدار همانند سفره‌های دانه‌ای می‌باشد.

لازم به ذکر است که بخشی از داده‌ها که با علامت (Δ) نشان داده شده‌اند، به علت انحراف از منحنی تیپ تایس (به علت خطاهای اندازه‌گیری و دیگر عوامل تأثیرگذار) در آنالیز داده‌ها از آنها صرف نظر شده است.

روش کوپر - ژاکوب

بعد از آنالیز داده‌ها توسط روش تایس آنها را با استفاده از روش کوپر - ژاکوب (Cooper and Jacob 1946) مورد آنالیز قرار دادیم. شکل ۴-۴ کاربرد روش کوپر - ژاکوب را برای آنالیز تعدادی آزمایش پمپاژ در بخش سنگی معدن نشان می‌دهد.



شکل ۴-۴- کاربرد روش کوپر - ژاکوب برای آنالیز داده‌های آزمایش پمپاژ در بخش سنگی معدن

(x= داده‌های استفاده شده و Δ= داده‌های صرف نظر شده)

همانطور که در شکل ۴-۴ مشاهده می‌شود، می‌توان ناهمگنی موجود در بخش سنگی معدن را نیز دید، روند کلی اکثریت داده‌های مشاهده شده در سیستم نیمه لگاریتمی (زمان بر روی محور لگاریتمی) خط راست می‌باشد در حالی که ناهمگنی‌های موجود در این قبیل سفره‌ها باعث شده که اغلب یک خط چند شیبه (Multi-slope line) ایجاد شود. جدول ۲-۴ مقادیر قابلیت انتقال و

ضریب ذخیره بدست آمده با استفاده از روش‌های تایس (Theis 1935) و کوپر - ژاکوب (Cooper and Jacob 1946) را در چاه‌های مختلف معدن نشان می‌دهد.

جدول ۴-۲- مقادیر قابلیت انتقال و ضریب ذخیره بدست آمده از بخش سنگی معدن

روش کوپر - ژاکوب (Cooper and Jacob 1946)		روش تایس (Theis 1935)		چاه‌های مشاهده‌ای و پیژومتری	چاه‌های پمپاژ
ضریب ذخیره	قابلیت انتقال (m ² /day)	ضریب ذخیره	قابلیت انتقال (m ² /day)		
-	۸۸/۲	-	۷۶/۲	PW33	PW33
۰/۰۰۵۴	۲۳۵/۱	۰/۰۰۷۲	۱۸۱	OW78	
۰/۰۰۵	۲۸۹	۰/۰۰۶۸	۲۲۰	OW87	
-	۲۰	-	۲۰	PW38	PW38
-	۷/۸	-	۷/۹	PW39	PW39
۰/۰۰۰۸۳	۱۱/۹	۰/۰۰۱۱	۱۰	P10-100	
۰/۰۰۰۸۳	۱۳/۵	۰/۰۰۱۱	۱۱/۷	P10-112	
-	۲۰	-	۲۱	B11	B11

همانطور که از جدول ۴-۲ (نتایج حاصل از ترسیم نمودارهای تایس (Theis 1935) و کوپر - ژاکوب (Cooper and Jacob 1946)) مشاهده می‌شود، مقادیر قابلیت انتقال و ضریب ذخیره در نقاط مختلف بخش سنگی معدن بدست آمده است. محدوده تغییرات قابلیت انتقال از ۷/۸ تا ۲۸۹ متر مربع بر روز و ضریب ذخیره از $۸/۳ \times ۱۰^{-۴}$ تا $۷/۲ \times ۱۰^{-۳}$ می‌باشند. این نشان می‌دهد که حتی محدوده چاه‌های پیژومتری و مشاهده‌ای که تحت تأثیر مخروط افت از چاه پمپاژی مربوط به خود قرار گرفته‌اند نیز مقادیر قابلیت انتقال و ضریب ذخیره یکسانی را شامل نمی‌شوند، که این مطلب حاکی از ناهمگنی این بخش از معدن می‌باشد. مقادیر قابلیت انتقال بدست آمده در بخش سنگی معدن میزان پائینی را در مقابل با مقادیر قابلیت انتقال بخش آبرفتی از خود نشان می‌دهند. هم چنین میزان بالای قابلیت انتقال چاه‌های موجود در داخل گودال معدنی نسبت به چاه‌های محدوده معدن می‌تواند به دلیل فراوانی گسل‌های موجود (واقع شدن در محل تقاطع چند گسل) و فعال بودن آنها به دلیل عملیات انفجاری معدن باشد که خود باعث افزایش میزان تراوایی در محدوده چنین چاه‌هایی شده است. به علاوه باید اشاره نمود که زیاد بودن میزان قابلیت انتقال چاه‌های OW78 و OW87 نسبت به چاه پمپاژ PW33 احتمالاً به خاطر بالا بودن تراوایی در محدوده این چاهها بوده باشد که عدم ارتباط این چاهها را با چاه پمپاژ مذکور نشان می‌دهد (به خاطر فاصله زیاد چاه‌های مشاهده‌ای از چاه پمپاژ)

و به دلیل واقع شدن گسل‌های امتداد لغز (F2) و (F3) بین این چاهها و چاه پمپاژ باعث تشکیل سفره‌های مجزا شده باشد (عمق سطح آب در چاه پمپاژ و چاههای مشاهده‌ای آن کاملاً متفاوت است). یکی دیگر از نشانه‌های آن این است که با خاموش شدن پمپ مربوط به آزمایش پمپاژ چاه PW33 همچنان سطح آب در آنها در حال پائین رفتن بوده و هیچ آثاری از بالا آمدگی در آنها نمی‌باشد که احتمالاً همچنان تحت تأثیر زهکش‌های سطحی بوده‌اند. باید در اینجا متذکر شد که در هنگام انجام آزمایش پمپاژ، زهکش‌های سطحی روشن بوده‌اند و ممکن است که بر روی داده‌های آزمایش پمپاژ در چاه PW33 تأثیر گذاشته باشند.

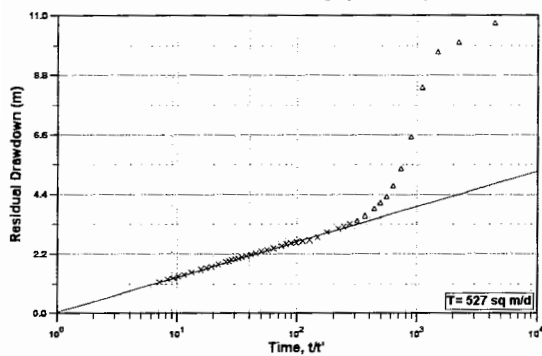
۴-۱-۲- آزمون برگشت

به منظور بررسی و مقایسه نتایج حاصل از آنالیز مراحل رفت و برگشت آزمایشات پمپاژ با دبی ثابت، داده‌های مرحله برگشت نیز با استفاده از آزمون برگشت تایس (Theis recovery 1946) مورد آنالیز قرار گرفتند. همانطور که قبلاً نیز اشاره گردید به دلیل آنکه چاهها در دو بخش آبرفتی و سنگی معدن حفاری شده‌اند در اینجا نیز داده‌های آنالیز مرحله برگشت را در دو بخش به طور جداگانه بررسی می‌کنیم.

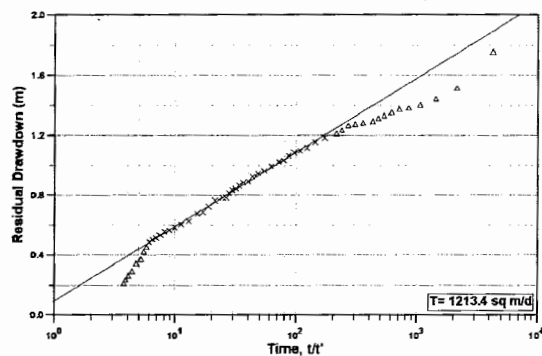
۴-۱-۲-۱- بخش آبرفتی معدن

در این بخش از معدن تمامی چاههایی که داده‌های مرحله برگشت آنها اندازه‌گیری شده بودند مورد آنالیز قرار گرفتند. به دلیل فراوانی تعداد نمودارها فقط تعدادی از آنها آورده شده است. شکل ۴-۵ نمودارهای حاصل از آنالیز تعدادی از آزمایشات پمپاژ مرحله برگشت را نشان می‌دهد. با استفاده از این آنالیز، مقادیر قابلیت انتقال برای چاههای مختلف محاسبه شده و نتایج حاصله در جدول ۴-۳ ارائه شده است.

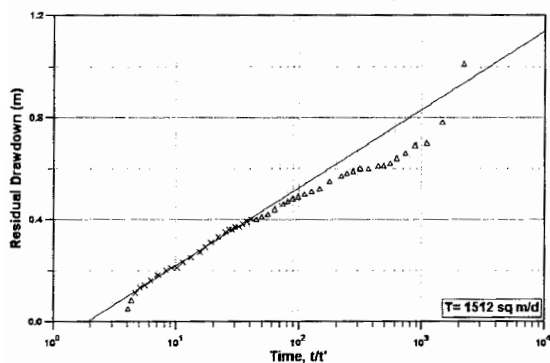
Theis Recovery (PW 37)



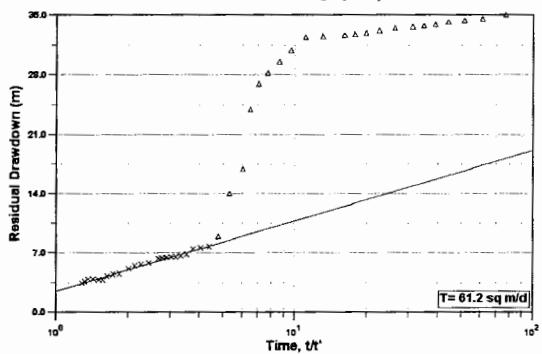
Theis Recovery (PW 35)



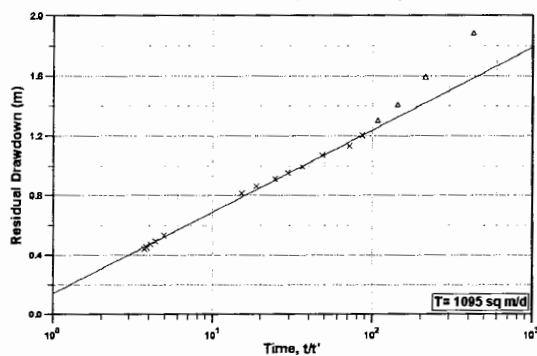
Theis Recovery (A21)



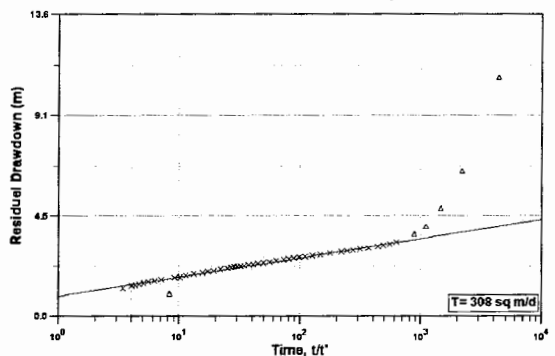
Theis Recovery (A4)



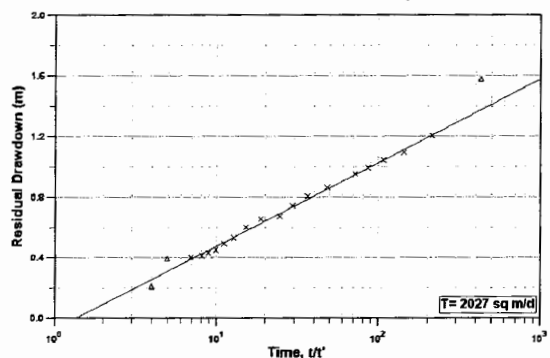
Theis Recovery (P5-117)



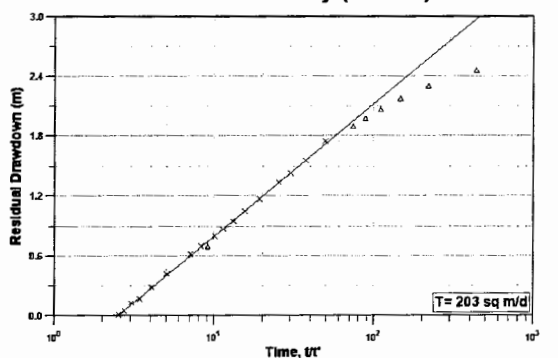
Theis Recovery (A29)



Theis Recovery (A24-96)



Theis Recovery (A8 150)



شکل ۴-۵- نمودارهای حاصل از آنالیز مرحله برگشت آزمایشات پمپاژ با استفاده از آزمون برگشت تاپس در بخش آبرفتی

(x= داده‌های استفاده شده و Δ = داده‌های صرف نظر شده)

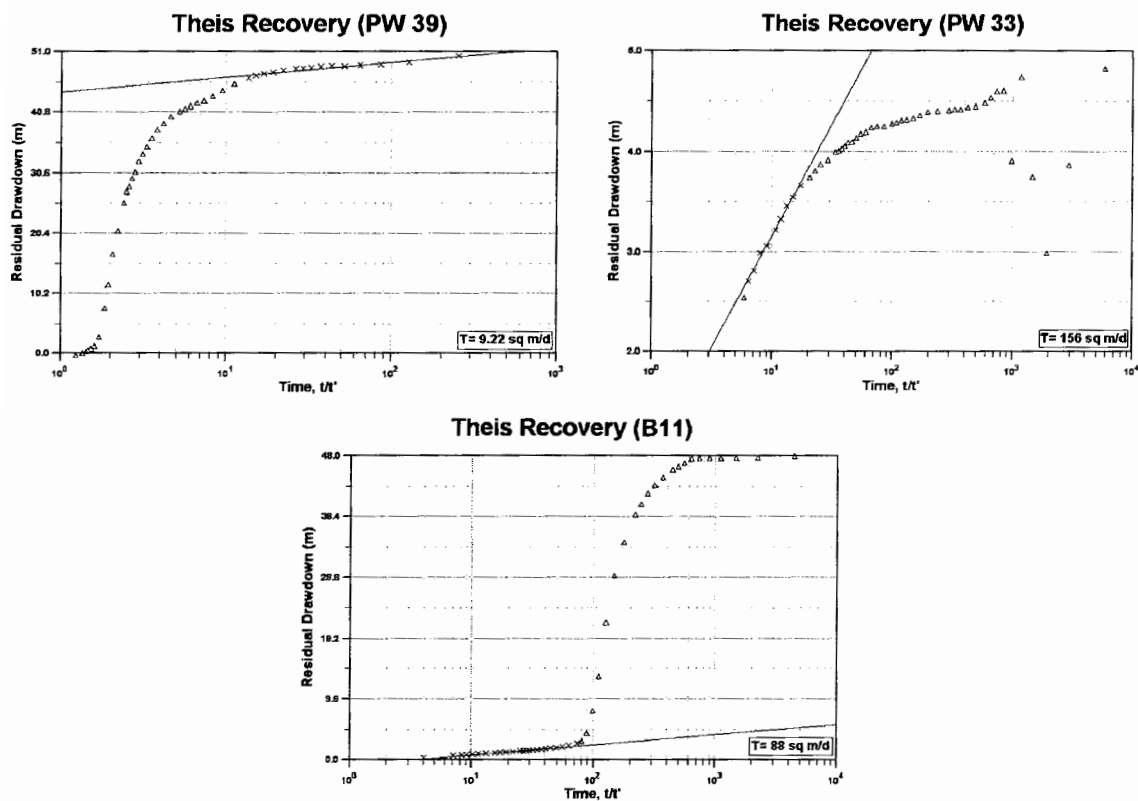
با توجه به جدول ۳-۴ مشاهده می‌نمائید که داده‌های قابلیت انتقال بدست آمده از آزمون برگشت تاپس (Theis recovery 1946) در بعضی از چاهها تفاوت قابل توجهی را با مقادیر قابلیت انتقال در مرحله رفت آزمایش پمپاژ نشان می‌دهند. این می‌تواند به دلایل زیر روی دهد: (۱) برگشت آب به داخل چاه در اثر خاموش شدن پمپ، (۲) شوری آب و عدم دقت در اندازه‌گیری سطح آب، (۳) تغییر بسیار زیاد دبی پمپاژ در مرحله رفت و (۴) شسته شدن ذرات ریز در حین آزمایش پمپاژ.

جدول ۳-۴- نتایج حاصل از آنالیز داده‌های مرحله برگشت با استفاده از آزمون برگشت تاپس در بخش آبرفتی

چاه‌های پمپاژ	چاه‌های مشاهده‌ای و پیزومتری	قابلیت انتقال (m ² /d)
PW35	PW35	۱۲۱۳/۴
	P5-66	۱۱۶۲
	P5-117	۱۰۹۵
	P6-66	۵۵۶
	P6-80	۷۴۴
PW37	PW37	۵۲۷
	OW123	۹۶۷
	OW124	۱۰۳۹
A4	A4	۶۱/۲
	A22	۳۰۰
A15	A15	۳۹۰۹
	A24-96	۲۰۲۷
	A24-147	۴۷۹۵
	A25-129	۳۵۸۷
A21	A21	۱۵۱۲
A29	A29	۳۰۸
	A8-126	۳۰۲
	A8-150	۲۰۳

۴-۱-۲-۲- بخش سنگی معدن

در این بخش از معدن تمامی چاههایی که داده‌های مرحله برگشت آنها اندازه‌گیری شده بود مورد آنالیز قرار گرفتند. به دلیل فراوانی تعداد نمودارها فقط تعدادی از آنها آورده شده است. شکل ۴-۶ نمودارهای حاصل از آنالیز تعدادی از آزمایشات پمپاژ مرحله برگشت را نشان می‌دهد. با استفاده از این آنالیز، مقادیر قابلیت انتقال برای چاههای مختلف محاسبه شده و نتایج حاصله در جدول ۴-۴ ارائه شده است.



شکل ۴-۶- نمودارهای حاصل از آنالیز مرحله برگشت آزمایشات پمپاژ با استفاده از آزمون برگشت تاپس در بخش سنگی (x= داده‌های استفاده شده و Δ = داده‌های صرف نظر شده)

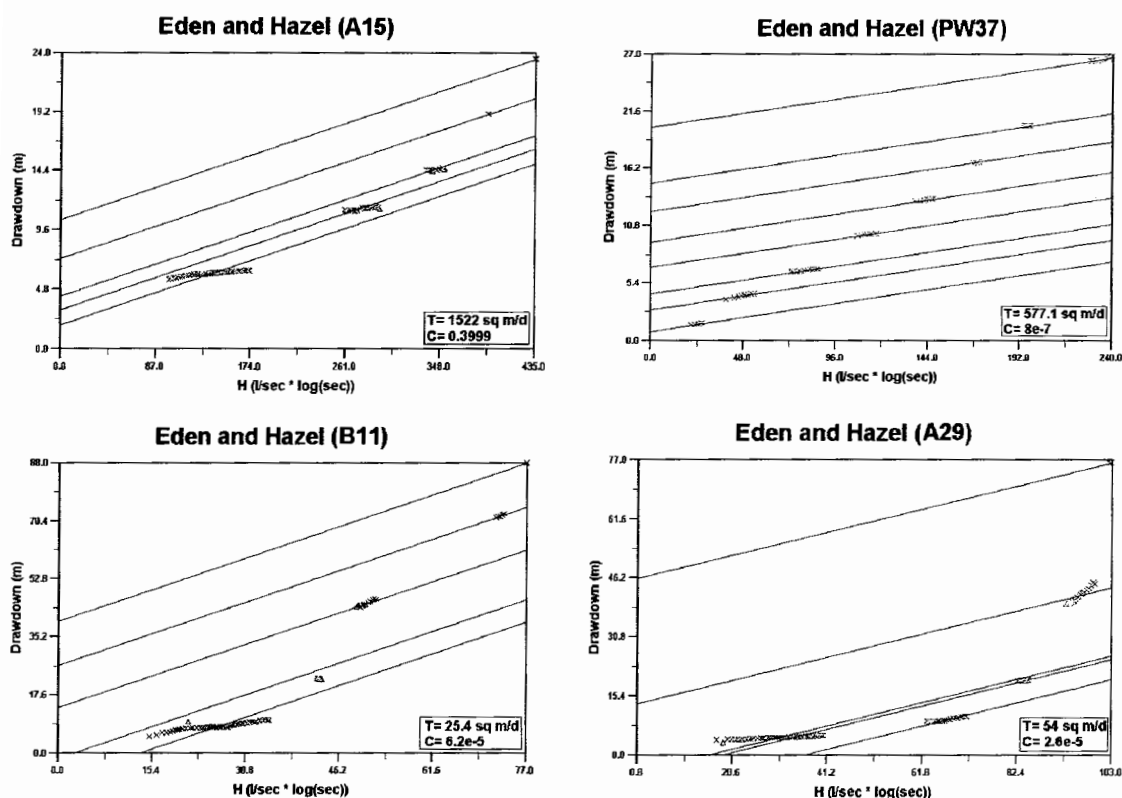
جدول ۴-۴- نتایج حاصل از آنالیز داده‌های مرحله برگشت با استفاده از آزمون برگشت تاپس در بخش سنگی

چاه‌های پمپاژ	چاه‌های مشاهده‌ای و پیزومتری	قابلیت انتقال (m^2/d)
PW33	PW33	۱۵۶
PW39	PW39	۹/۲۲
	P10-100	۵/۷
	P10-112	۲/۵
B11	B11	۸۸

با توجه به جدول ۴-۴ و نتایج قابلیت انتقال بدست آمده از آزمون برگشت تاپس (Theis recovery 1946) در بخش سنگی معدن به جز چاه PW39 در بقیه چاهها تفاوتی با مرحله رفت آزمایش پمپاژ آنها مشاهده می‌شود که این می‌تواند در اثر دلایلی که در بخش آبرفتی بیان گردیدند، حاصل شده باشند و همچنین شسته شدن سطح درزه‌ها یا پرشدگی آنها به ترتیب باعث افزایش و کاهش میزان قابلیت انتقال شده است.

۴-۱-۳- آنالیز داده‌های آزمایش افت پله‌ای

با توجه به اینکه در ۱۰ چاه حفاری شده در محدوده معدن شماره (۱) گل‌گهر آزمایش افت پله‌ای انجام شده است، به جز چاه PW41 که داده‌های افت - زمان آن مشکل داشتند (به دلیل عدم ارائه حالت پله‌ای) بقیه داده‌های مربوط به دیگر چاه‌ها توسط روش آیدن - هیزل (Eden and Hazel 1973) مورد آنالیز قرار گرفتند. شکل ۴-۷ تعدادی از نمودارهای آنالیز داده‌های آزمایش افت پله‌ای و جدول ۴-۵ نتایج حاصل از آنالیز این داده‌ها را در چاه‌های تحت این نوع آزمایش را نشان می‌دهند.



شکل ۴-۷- کاربرد روش آیدن - هیزل برای آنالیز داده‌های آزمایش افت پله‌ای
(x = داده‌های استفاده شده و Δ = داده‌های صرف نظر شده)

با توجه به مقادیر قابلیت انتقال بدست آمده از روش آیدن - هیزل (Eden and Hazel 1973) مربوط به چاه‌های تحت آزمایش افت پله‌ای که در جدول ۴-۵ ارائه شده‌اند، مقادیر قابلیت انتقال به جز در چاه‌های A24-147 و A24-96، A21، PW42، PW37، PW36 با مقادیر بدست آمده از روش‌های

تایس و کوپر - ژاکوب هماهنگی خوبی را نشان می‌دهند. اختلاف ناچیز آنها می‌تواند به خاطر تغییرات در دبی، خطا در اندازه‌گیری، شرایط محیطی و غیره باشند. لازم به توضیح است که در دیگر چاهها آزمایش افت پله‌ای انجام نشده و هم چنین تعدادی از چاههای مشاهده‌ای و پیزومتری چاههای پمپاژ تحت آزمایش افت پله‌ای تغییرات سطح آب آنها اندازه‌گیری نشده و یا هیچگونه آثاری از حالت پله‌ای در داده‌های آنها مشاهده نمی‌شود.

جدول ۴-۵- مقادیر قابلیت انتقال محاسبه شده با استفاده از داده‌های آزمایش افت پله‌ای

چاههای پمپاژ	چاههای مشاهده‌ای	قابلیت انتقال (m ² /day)
PW34	PW34	۱۱۲
PW36	PW36	۳۹۶
PW37	PW37	۵۷۷/۱
PW42	PW42	۱۶۵
A15	A15	۱۵۲۲
	A24-96	۱۱۷۸
	A24-147	۱۳۶۳/۳
A21	A21	۶۸۰
A29	A29	۵۴
B11	B11	۲۵/۴
3PW1	3PW1	۱۸۷

۴-۱-۴- تعیین قابلیت انتقال با استفاده از داده‌های آزمایش پمپاژ و لاگ چاهها

به منظور بررسی خصوصیات هیدرودینامیکی و وضعیت کیفی سفره آب زیرزمینی در محدوده معدن شماره (۱) گل‌گهر تعدادی چاه حفاری شدند (۸۲ حلقه چاه) و لاگ تمامی آنها نیز بدست آمد. موقعیت این چاهها نسبت به محدوده معدن شماره (۱) در شکل ۳-۱ نشان داده شد. اما به دلیل هزینه بالای آزمایش پمپاژ و همچنین قطر کم چاههای مشاهده‌ای و پیزومتری امکان آزمایش پمپاژ در تمامی آنها وجود نداشت و آزمایش پمپاژ به تعداد اندکی چاه پمپاژ (۱۶ حلقه چاه) محدود شد. همانطور که مشاهده نمودید نتایج حاصل از آنالیز داده‌های آزمایش پمپاژ مربوط به چاههایی که تحت آزمایش قرار گرفته بودند در جداول ۴-۱ تا ۴-۵ بیان شدند. همانطور که در فصل سوم اشاره گردید با توجه به اینکه مقادیر قابلیت انتقال در مقایسه با مقادیر ضریب ذخیره بیشتر قابل دسترس می‌باشند (Younger 1993, Jalludin and Razack 1994) و همچنین مقادیر ضریب ذخیره در

مقایسه با مقادیر قابلیت انتقال، در مکان‌های مختلف تغییرپذیری بیشتری را شامل می‌شوند (Meier et al. 1998, Vila et al. 1999, Karami 2002)، محاسبه مقادیر قابلیت انتقال از اهمیت بیشتری برخوردار می‌باشند. بنابراین جدول ۴-۶ اطلاعات مربوط به لاگ این چاه‌ها و مقدار قابلیت انتقال مربوط به هر چاه که از داده‌های آزمایش پمپاژ بدست آمده‌اند، را نشان می‌دهد. این چاه‌ها به نحوی انتخاب شده‌اند که بتوانند به عنوان نماینده‌ای از کل منطقه باشند.

جدول ۴-۶- اطلاعات مربوط به لاگ چاه‌ها و مقدار قابلیت انتقال در چاه‌های پمپاژ

چاه‌های پمپاژ	جنس لایه‌ها در لاگ چاه‌ها	ضخامت لایه‌ها (m)	قابلیت انتقال (m ² /d)
PW36	ماسه درشت	۵	۶۴۰
	گراول	۳۶	
	ماسه متوسط	۶	
	گراول درشت	۱۲	
PW37	ماسه متوسط	۶۰	۳۹۰
	ماسه ریز	۱۹	
	کوارتزیت	۷	
	کوارتزیت	۲۴	
	کوارتزیت	۹	
PW38	کوارتزیت	۱۵	۲۰
	مگنتیت	۳	
	آمفیبولیت	۲۷	
	مگنتیت	۹	
	گنیس	۹	
	مگنتیت	۹	
PW39	آمفیبولیت	۲۱	۸
	میکاشیست	۲۴	
PW42	گراول رسی	۶	۳۰۰
	ماسه متوسط	۲۱	
	ماسه درشت	۲۱	
	ماسه گراولی	۹	
B4	گراول رسی	۱۹	۱۸۳
	ماسه درشت	۲۱	
A29	گراول ماسه ای	۷	۷۰
	گنیس	۳۳	

همانطور که جدول ۴-۶ اطلاعاتی از لاگ چاهها و مقدار قابلیت انتقال مربوط به چاههای پمپاژ را نشان می‌دهد و با توجه به اینکه هدایت هیدرولیکی معادل از معادلات ۴-۱ و ۴-۲ بدست می‌آید و قابلیت انتقال نیز از معادله ۴-۳ محاسبه می‌شود، بنابراین می‌توان گفت که قابلیت انتقال با هدایت هیدرولیکی و ضخامت سفره رابطه مستقیم و خطی دارد.

$$K = \frac{K_1 b_1 + K_2 b_2 + \dots + K_n b_n}{b_1 + b_2 + \dots + b_n} \quad 1-4$$

$$K = \frac{\sum_{i=1}^n K_i b_i}{\sum_{i=1}^n b_i} \quad 2-4$$

$$T = \sum_{i=1}^n K_i b_i \quad 3-4$$

که در اینجا:

K_i = هدایت هیدرولیکی مربوط به لایه i ام (m/d) b_i = ضخامت مربوط به لایه i ام (m)

K = هدایت هیدرولیکی معادل (m/d) T = قابلیت انتقال (m^2/d)

K_1, K_2, \dots, K_n = هدایت‌های هیدرولیکی مربوط به لایه‌های b_1, b_2, \dots, b_n = ضخامت‌های مربوط به لایه‌های

اول، دوم و n ام (m/d) اول، دوم و n ام (m)

با توجه به معادلات ۴-۱ تا ۴-۳، و به منظور بدست آوردن رابطه‌ای بین قابلیت انتقال و ضخامت و جنس لایه‌های مربوط به هر چاه پمپاژ که در جدول ۴-۶ آمدند، با بکارگیری نرم افزار آماری SPSS از رگرسیون چند متغیره استفاده گردید. نحوه کار به این صورت بود که قابلیت انتقال در هر چاه به عنوان یک پارامتر وابسته و ضخامت و جنس هر لایه به عنوان پارامتر غیر وابسته (مستقل) در نظر گرفته شدند. سپس داده‌های مربوط به هر چاه پمپاژ به صورت مرحله به مرحله وارد نرم افزار گردید. که ابتدا با چاهی که تعداد لایه‌های تشکیل دهنده آن کمتر بود، شروع گردید و در هر مرحله با وارد کردن چاههای پمپاژ مختلف ضریبی برای هر لایه تشکیل دهنده آن چاه بدست آمد، که با استفاده از

این ضریب مربوط به هر لایه، برای مشخص کردن ضریب لایه‌های دیگر تشکیل دهنده چاههای پمپاژی بعدی استفاده گردید و با وارد کردن داده‌های مربوط به چاه پمپاژ جدید، ضرایب مربوط به لایه‌های جدید بدست آمدند. در نهایت معادله کلی ۴-۴ برای منطقه حاصل گردید:

$$T = 12X_1 + 10X_2 + 9X_3 + 6X_4 + 6X_5 + 5X_6 + 4X_7 + 3X_8 + 0.4X_9 + 0.2X_{10} \quad ۴-۴$$

در این معادله، X_1 تا X_{10} به ترتیب ضخامت لایه‌های گراول درشت، گراول، گراول ماسه‌ای، ماسه گراولی، ماسه درشت، ماسه متوسط، ماسه ریز، گراول رسی، مگنتیت و سنگ‌های غیر قابل نفوذ (شامل آمفیبولیت، گنیس، انواع شیست و کوارتزیت) می‌باشند.

همانطور که مشاهده می‌شود هر چه لایه‌ها دانه درشت‌تر باشند، ضریب مربوط به آن لایه نیز بیشتر بدست آمده است که کاملاً منطقی می‌باشد. این ضریب همان هدایت هیدرولیکی است که با واحد متر بر روز مشخص می‌شود. جهت بررسی صحت معادله ۴-۴، این معادله در مورد چند چاه پمپاژی دیگر (برای مثال چاههای PW35، B11 و 3PW1) به کار گرفته شد که نتایج خوبی را ارائه نمود. سپس معادله حاصله برای چاههایی که لاگ حفاری آنها موجود است ولیکن فاقد داده‌های آزمایش پمپاژ می‌باشند، به کار گرفته شد و برای این چاه‌ها مقادیر قابلیت انتقال برآورد شدند. نکته‌ای که باید به آن توجه نمود این است که اطلاعات مربوط به لاگ چاهها توسط یک کارشناس تهیه شده است و از این لحاظ خطای مربوط به تفکیک لایه‌های مختلف کمتر می‌شود. به عنوان نمونه، نحوه محاسبه مقدار قابلیت انتقال در چند چاه پمپاژی در جدول ۴-۷ ارائه شده است.

جدول ۴-۷- محاسبه مقدار قابلیت انتقال در چند چاه پمپاژی

چاه‌های پمپاژ	جنس لایه‌ها	ضخامت لایه‌ها (m)	ضریب مربوطه (هدایت هیدرولیکی) (m/d)	محاسبه مقدار قابلیت انتقال (m^2/d) با استفاده از:	
				معادله ۴-۴	آنالیز داده‌های آزمایش پمپاژ
PW35	ماسه متوسط	۱۵	۵	۶۹۰	۷۰۰
	گراول ماسه ای	۳۹	۹		
	ماسه درشت	۱۶	۶		
	گراول ماسه ای	۱۷	۹		
	گراول رسی	۵	۳		
B11	آمفیبولیت	۲۰	۰/۲	۱۸	۲۱
	مگنتیت	۳۵	۰/۴		
3PW1	ماسه ریز	۴۵	۴	۱۸۴	۱۸۷
	میکاشیست	۲۰	۰/۲		

با توجه به جدول ۴-۷ مشاهده می‌شود که نتایج خوبی را این معادله در مورد دیگر چاههای پمپاژ نشان داد. اما در مورد چاههای A15 و A21 که جز بخشی از چاههای موجود در بخش سنگی (آهکی) منطقه می‌باشند و به دلیل پدیده کارستی شدن، درزه و شکافهای فراوان نمی‌توان به طور دقیق ضریب مربوط به سنگ آهکی را محاسبه نمود. بدین منظور می‌توان براساس داده‌های قابلیت انتقال بدست آمده در دو چاه ضریب ۲۲ (هدایت هیدرولیکی بر حسب متر بر روز) را برای سنگ آهکی در نظر گرفت و برای دیگر چاهها به کار برد. به منظور برآورد مقدار قابلیت انتقال در چاههای مشاهده‌ای و پیزومتری موجود در منطقه (که تعداد آنها ۴۰ حلقه چاه می‌باشد)، از معادله ۴-۴ استفاده شده است و با توجه به اطلاعات بدست آمده از لاگ این چاهها، مقدار قابلیت انتقال برای آنها به صورت جداگانه محاسبه شده است. جدول ۴-۸ مقادیر قابلیت انتقال محاسبه شده با استفاده از معادله ۴-۴ برای دیگر چاههای مشاهده‌ای و پیزومتری موجود در منطقه که فقط لاگ آنها در دست بود، را نشان می‌دهد.

جدول ۴-۸- مقادیر قابلیت انتقال چاههای مشاهده‌ای و پیزومتری با استفاده از معادله ۴-۴

چاههای مشاهده‌ای و پیزومتری	قابلیت انتقال (m^2/d)	چاههای مشاهده‌ای و پیزومتری	قابلیت انتقال (m^2/d)
A3	۸	P7	۳۰
A5	۸	P8	۲۲۴
A7	۵۷۵	P9	۵۰
A9	۸	P10	۸
A10	۵۵۰	P11	۴۱۵
A11	۵۸	P12	۲۲۳
A12	۲۸	RIII	۱۰۰
A14	۱۶۳	OW40	۹/۶
A17	۴۵۰	OW105	۴۰
A19	۳۰۸	OW106	۲۰
AIV	۷۲	OW109	۲۹
B1	۲۲۴	OW112	۳۵
B2	۴۹۰	OW113	۸
B3	۸	OW114	۵۰
B5	۲۰	OW115	۵۰
B7	۳۱۵	OW116	۵۰
B8	۹۵	OW117	۵۰
B13	۴۵۰	OW118	۵۰
P1	۲۰	OW119	۱۱۸
P2	۵۳	3PW2	۲۰۰

با توجه به جدول ۴-۸ و نتایج قابلیت انتقال در چاههای حفاری شده در محدوده معدن شماره (۱) مشاهده می‌شود که چاههایی که دارای مقدار قابلیت انتقال پائینی می‌باشند، اکثراً در بخش سنگی منطقه حفاری شده‌اند. این در حالیست که بقیه چاهها که دارای بیشترین مقدار قابلیت انتقال هستند، تحت تأثیر بخش آبرفتی می‌باشند.

با استفاده از کلیه روش‌های استفاده شده و پیشنهادی جهت محاسبه مقادیر قابلیت انتقال در بخش‌های آبرفتی و سنگی منطقه نتایج زیر حاصل شده است:

بیشترین مقادیر قابلیت انتقال مربوط به قسمت‌های شرقی و جنوب غربی محدوده معدن شماره (۱) و کمترین میزان آن در حاشیه گودال معدنی می‌باشند. زیاد بودن میزان قابلیت انتقال در قسمت‌های شرقی و جنوب غربی معدن می‌تواند به دلیل دانه درشت بودن ذرات تشکیل دهنده سفره آب زیرزمینی در این مناطق باشد. با توجه به اینکه هیچ آزمایش پمپاژی در قسمت شمال غربی معدن انجام نشده است، با استفاده از رابطه بین ضخامت لایه‌ها و قابلیت انتقال، مقدار قابلیت انتقال محاسبه شده در این منطقه نسبتاً بالا می‌باشد ولی در هر حال پیشنهاد می‌شود در این بخش نیز چاه پمپاژ جهت بررسی خصوصیات هیدرودینامیکی سفره آب زیرزمینی در نظر گرفته شود.

بیشترین میزان قابلیت انتقال بخش سنگی مربوط به قسمت جنوب غربی محدوده معدن شماره (۱) و کمترین میزان آن در همان ناحیه اطراف گودال معدنی می‌باشد. همانطور که قبلاً هم اشاره گردید افزایش میزان قابلیت انتقال در قسمت جنوب غربی منطقه می‌تواند به دلیل وجود تشکیلات آهکی و کارستی باشد که میزان آبدهی بالایی را نشان می‌دهند این در حالی است که در محدوده معدن اکثر سنگ‌های تشکیل دهنده، سنگ‌های دگرگونی می‌باشند.

۴-۱-۵- بررسی تغییرات ضرایب هیدرودینامیکی

همانطور که جداول ۴-۱ و ۴-۲ نشان می‌دهند، تغییرات قابل ملاحظه‌ای در مقادیر قابلیت انتقال و ضریب ذخیره در نقاط مختلف معدن (موجود در بخش‌های آبرفتی و سنگی) مشاهده می‌شود که این مقدار تغییرات را می‌توان به صورت درصد ضریب تغییرات (نسبت انحراف معیار به میانگین) بیان کرد. مقادیر درصد ضریب تغییرات برای پارامترهای قابلیت انتقال و ضریب ذخیره در دو بخش آبرفتی و سنگی منطقه محاسبه شده و نتایج حاصله در جدول ۴-۹ ارائه شده است.

جدول ۴-۹- مقادیر درصد ضریب تغییرات قابلیت انتقال و ضریب ذخیره در دو بخش آبرفتی و سنگی

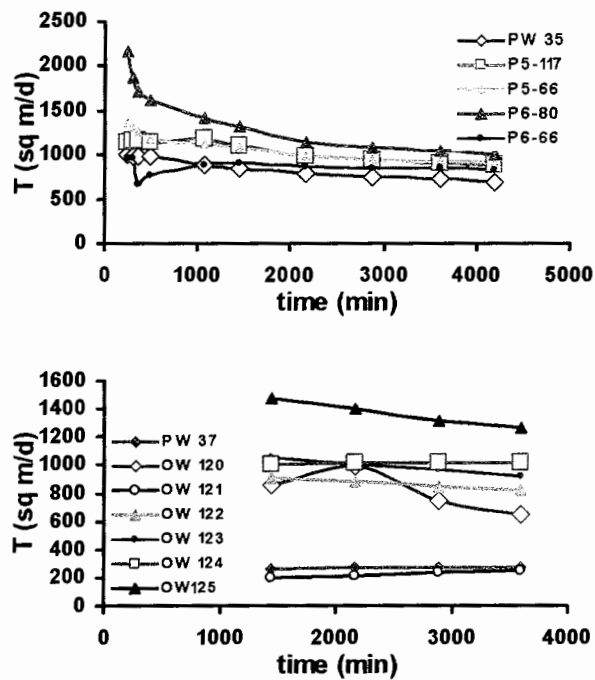
سفره آب زیرزمینی						پارامترهای هیدرودینامیکی
بخش سنگی			بخش آبرفتی			
ضریب تغییرات (%)	میانگین	انحراف معیار	ضریب تغییرات (%)	میانگین	انحراف معیار	
۱۸۲/۸	۱۶۶/۲	۳۰۳/۸	۱۵۱/۱	۱۰۵۶/۷	۱۵۹۶/۶	قابلیت انتقال (T)
۹۸/۶	۰/۰۰۳۴	۰/۰۰۳۳	۲۲۵/۲	۰/۰۵۸	۰/۱۳۰	ضریب ذخیره (S)

با استفاده از مقادیر جدول ۴-۹ مشاهده می‌شود میزان ضریب تغییرات قابلیت انتقال در بخش سنگی بیشتر از بخش آبرفتی منطقه می‌باشد که این عامل می‌تواند حاصل از ناهمگنی بالاتر بخش سنگی در مقابل بخش آبرفتی به دلیل سیستم درزه و شکاف و حتی عملیات آتشفاری در معدن (به دلیل ایجاد درزه و شکافهای جدید و یا مسدود نمودن فضاهاى خالی موجود) باشد. هم چنین درصد ضریب تغییرات ضریب ذخیره در دو بخش آبرفتی و سنگی منطقه بالا می‌باشند که شاخص خوبی برای ناهمگنی منطقه هستند. اما با توجه به اینکه تعداد ضرایب ذخیره در بخش سنگی نسبت به بخش آبرفتی کمتر بوده است، میزان درصد ضریب تغییرات کمتری بخش سنگی نسبت به بخش آبرفتی نشان می‌دهد.

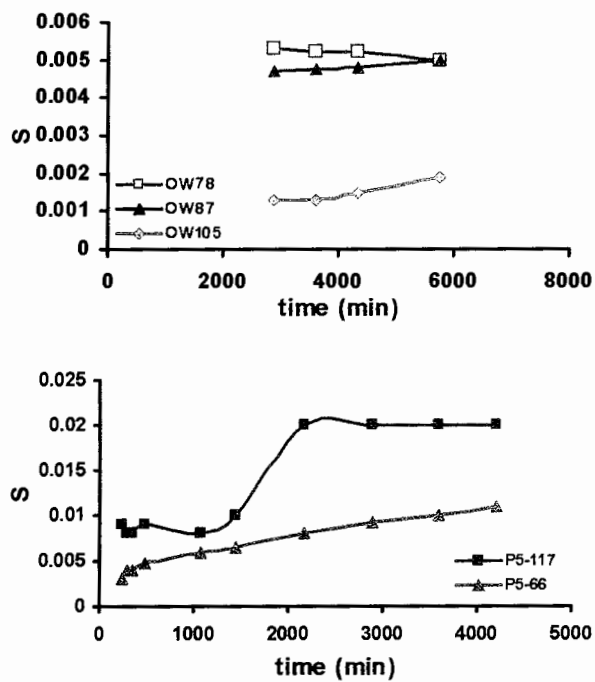
۴-۲- تأثیر مدت زمان آزمایش پمپاژ بر روی ضرایب هیدرودینامیکی

به منظور بررسی اثر مدت آزمایش پمپاژ بر خصوصیات لایه‌های آبدار آبرفتی و درزه و شکافدار، مقادیر قابلیت انتقال و ضریب ذخیره برای مدت زمان‌های مختلف آزمایش پمپاژ برای هر سری داده آزمایش پمپاژ محاسبه گردید. به این ترتیب که برای هر سری داده آزمایش پمپاژ، مقادیر قابلیت انتقال و ضریب ذخیره از زمان شروع آزمایش پمپاژ تا زمان t_1 محاسبه می‌گردد. سپس برای همان داده‌ها ضرایب مذکور از زمان شروع آزمایش پمپاژ تا زمان t_2 محاسبه شده و به همین ترتیب کار ادامه یافته تا مقادیر قابلیت انتقال و ضریب ذخیره را برای کل مدت آزمایش پمپاژ (از شروع آزمایش تا انتهای آن) تعیین شوند. شکل ۴-۸ تغییرات مقادیر قابلیت انتقال در طول مدت زمان آزمایش پمپاژ را برای چند چاه پمپاژ، پیزومتری و مشاهده‌ای نشان می‌دهد، هم چنین شکل ۴-۹ تغییرات مقادیر

ضریب ذخیره در طول مدت زمان آزمایش پمپاژ را برای چند چاه پیزومتری و مشاهده‌ای نشان می‌دهد.



شکل ۴-۸- تغییرات مقادیر قابلیت انتقال در طول مدت زمان آزمایش پمپاژ در چند چاه پیزومتری و مشاهده‌ای



شکل ۴-۹- تغییرات مقادیر ضریب ذخیره در طول مدت زمان آزمایش پمپاژ در چند چاه پیزومتری و مشاهده‌ای

همانطور که از اشکال ۴-۸ و ۴-۹ مشاهده می‌شود مقادیر قابلیت انتقال و ضریب ذخیره برای مدت زمان‌های مختلف آزمایش پمپاژ تغییراتی را شامل می‌شوند و این تغییرات در مناطق مختلف یکسان نیستند. هم چنین ملاحظه می‌شود در مناطقی که علاوه بر چاه پمپاژ شامل چند چاه پیژومتری و یا مشاهده‌ای می‌شوند، مقادیر قابلیت انتقال و ضریب ذخیره برای مواردی که مدت زمان آزمایش پمپاژ طولانی اختیار می‌شود یک همگرایی قابل ملاحظه‌ای را نشان می‌دهند. دلیل این همگرایی این است که در مواردی که مدت زمان آزمایش پمپاژ طولانی انتخاب شود مقادیر قابلیت انتقال و ضریب ذخیره خصوصیات لایه آبدار را برای کل مخروط افت منعکس می‌نمایند. در مواردی که مدت زمان آزمایش پمپاژ کوتاه انتخاب شود، مقادیر قابلیت انتقال و ضریب ذخیره خصوصیات لایه آبدار را برای محدوده اطراف هر چاه نشان می‌دهد.

۴-۳- ارزیابی ناهمگنی سفره آب زیرزمینی

یکی از خصوصیات مهم سفره‌های آب زیرزمینی ناهمگنی آنهاست. اگر چه در بسیاری از مسائل کاربردی فرض می‌شود که سفره‌های آب زیرزمینی همگن هستند، ولی بایستی ذکر کرد که در طبیعت سفره همگن وجود ندارد و همه سفره‌ها کم و بیش ناهمگن می‌باشند. علاوه بر این، مقدار ناهمگنی در سفره‌های آب زیرزمینی مختلف به طور قابل توجهی متفاوت می‌باشد. ارزیابی کمی ناهمگنی‌های موجود در بخش‌های آبرفتی و سنگی معدن می‌تواند ما را در مطالعه بهتر و بیشتر این بخش‌ها یاری رساند. بنابراین در این تحقیق سعی بر آن شده که درجه ناهمگنی در بخش‌های آبرفتی و سنگی معدن شماره (۱) گل‌گهر مورد ارزیابی قرار گیرند. به منظور ارزیابی ناهمگنی سفره آب زیرزمینی (بخش‌های آبرفتی و سنگی)، محدوده معدن شماره (۱) گل‌گهر، تعداد ۴۱ سری داده آزمایش پمپاژ مورد استفاده قرار گرفتند.

باید متذکر شد که مقادیر قابلیت انتقال و ضریب ذخیره در نقاط مختلف معدن تغییرات قابل توجهی را شامل می‌شوند، مقادیر این ضرایب برای یک چاه در مدت زمان‌های مختلف آزمایش پمپاژ نیز همین روند را طی می‌کند. بدیهی است که هر چه مقدار این تغییرات در محدوده چاه مورد نظر بیشتر باشد، مقدار کمی درجه ناهمگنی لایه آبدار در محدوده آن چاه بیشتر خواهد بود و اگر مقادیر

قابلیت انتقال و ضریب ذخیره در مدت زمان‌های مختلف آزمایش پمپاژ تغییری نکند می‌توان اظهار نظر نمود که سفره آب زیرزمینی در محدوده آن چاه کم و بیش همگن است. در این تحقیق برای برآورد مقدار کمی درجه ناهمگنی سفره آب زیرزمینی بنا به دو دلیلی که در فصل سوم به آن پرداخته شد، تغییرات پارامترهای قابلیت انتقال مد نظر قرار گرفته و با کمی نمودن آنها درجه ناهمگنی سفره برآورد شده است.

۴-۳-۱- ناهمگنی در بخش آبرفتی معدن

با ترسیم داده‌های افت - زمان در سیستم نیمه لگاریتمی کوپر - ژاکوب (Cooper and Jacob 1946)، یک خط چند شبیه حاصل می‌شود و چنین خطی نشان دهنده ناهمگنی در این بخش از معدن می‌باشد. در این بخش درجه ناهمگنی برای بخش آبرفتی معدن محاسبه شده (براساس معادله ۳-۲۲) و نتایج حاصله در جدول ۴-۱۰ ارائه شده است.

جدول ۴-۱۰- مقادیر درجه ناهمگنی در بخش آبرفتی معدن

درجه ناهمگنی (%)	چاه‌های مشاهده‌ای و پیژومتری	چاه‌های پمپاژ	سفره آب زیرزمینی
۶/۲	PW34	PW34	بخش آبرفتی
۶/۴	PW35	PW35	
۴/۴	P5-66		
۵/۱	P5-117		
۳/۶	P6-66		
۳/۸	P6-80	PW36	
۴/۸	PW36		
۳/۶	P3-66		
۳/۱	P3-80		
۴/۲	P4-66		
۴/۴	P4-120	PW37	
۸/۶	PW37		
۱۱/۹	OW120		
۷/۸	OW121		
۶/۳	OW122		
۵/۴	OW123		
۴/۶	OW124	PW41	
۵/۸	OW125		
۱۰/۲	PW41	PW41	
۹/۹	PW42	PW42	
۸/۲	A4	A4	
۵/۶	A22		

جدول ۴-۱۰-۱ ادامه

درجه ناهمگنی (%)	چاه‌های مشاهده‌ای و پیژومتری	چاه‌های پمپاژ	سفره آب زیرزمینی
۹/۱	A15	A15	بخش آبرفتی
۳/۹	A24-96		
۱۰/۳	A24-147		
۲/۳	A25-51		
۲/۷	A25-129		
۵/۵	A21	A21	
۷/۷	A29	A29	
۶/۵	A8-126		
۷/۶	A8-150		
۹	B4	B4	
۲/۵	A23		

با توجه به نتایج مندرج در جدول ۴-۱۰-۱ ملاحظه می‌شود که در بخش آبرفتی مقادیر درجه ناهمگنی از ۲/۳ تا ۱۱/۹ درصد متغیر می‌باشند. هم‌چنین ملاحظه می‌شود که درجه ناهمگنی در هر کدام از چاه‌های پمپاژ، پیژومتری و مشاهده‌ای بسیار متغیر بوده که این موضوع نشان دهنده ناهمگنی این بخش از منطقه می‌باشد. زیاد بودن بعضی از ناهمگنی‌ها به خاطر فعالیت‌های گسل‌های جدید و ناهمگنی نسبتاً بالای آبرفت‌ها می‌باشد.

۴-۳-۲- ناهمگنی در بخش سنگی معدن

با توجه به اینکه سنگ‌های درزه و شکافدار را به عنوان سیستم‌های ناهمگن می‌شناسند، بنابراین با ترسیم داده‌های افت - زمان در سیستم نیمه لگاریتمی کوپر - ژاکوب (Cooper and Jacob 1946) و با مشاهده یک خط چند شیبه که نشان دهنده ناهمگنی در این بخش از معدن می‌باشد به محاسبه میزان درجه ناهمگنی این بخش از معدن پرداختیم. در نتیجه مقادیر درجه ناهمگنی در بخش سنگی معدن در تمامی چاه‌های حفاری شده با استفاده از معادله ۳-۲۲ بدست آمدند. مقادیر این درجه ناهمگنی را می‌توان در جدول ۴-۱۱ مشاهده نمود.

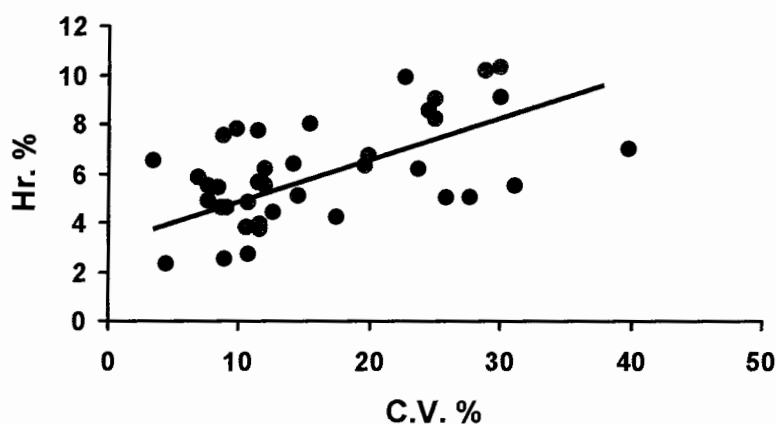
با توجه به نتایج مندرج در جدول ۴-۱۱ ملاحظه می‌شود که در بخش سنگی مقادیر درجه ناهمگنی از ۲/۷ تا ۷/۵ درصد متغیر می‌باشند. هم‌چنین ملاحظه می‌شود که درجه ناهمگنی در هر کدام از چاه‌های پمپاژ، پیژومتری و مشاهده‌ای بخش سنگی متغیر می‌باشد که ناهمگنی این بخش از معدن را نشان می‌دهد.

جدول ۴-۱۱- مقادیر درجه ناهمگنی در بخش سنگی معدن

سفره آب زیرزمینی	چاه‌های پمپاژ	چاه‌های مشاهده‌ای و پیزومتري	درجه ناهمگنی (%)
بخش سنگی	PW33	PW33	۷/۵
		OW78	۶/۷
		OW87	۴/۹
	PW38	PW38	۶/۲
	PW39	PW39	۴/۶
		P10-100	۶/۵
		P10-112	۳/۷
	B11	B11	۵/۵

۴-۳-۳- رابطه بین درجه ناهمگنی و ضریب تغییرات

با استفاده از نتایج مندرج در جدول ۴-۹ ملاحظه می‌شود که ضریب تغییرات مربوط به قابلیت انتقال در بخش سنگی به طور قابل توجهی بالاتر از بخش آبرفتی سفره آب زیرزمینی در محدوده معدن شماره (۱) گل‌گهر می‌باشد. به منظور مقایسه ضریب تغییرات با درجه ناهمگنی و مشخص نمودن رابطه آنها نسبت به یکدیگر، نمودار مربوط به آنها ترسیم گردید. شکل ۴-۱۰ رابطه بین درجه ناهمگنی و ضریب تغییرات را نشان می‌دهد.



شکل ۴-۱۰- رابطه بین درجه ناهمگنی و ضریب تغییرات

با توجه به نمودار شکل ۴-۱۰ مشاهده می‌نمائید که بین ضریب تغییرات (C.V.%) و درجه ناهمگنی (Hr.%) در بخش‌های آبرفتی و سنگی معدن یک رابطه تقریباً خطی و مستقیم وجود دارد به اینصورت که هر چه درصد ضریب تغییرات افزایش یابد درجه ناهمگنی نیز افزایش خواهد یافت.

۴-۴- محاسبه مؤلفه‌های افت

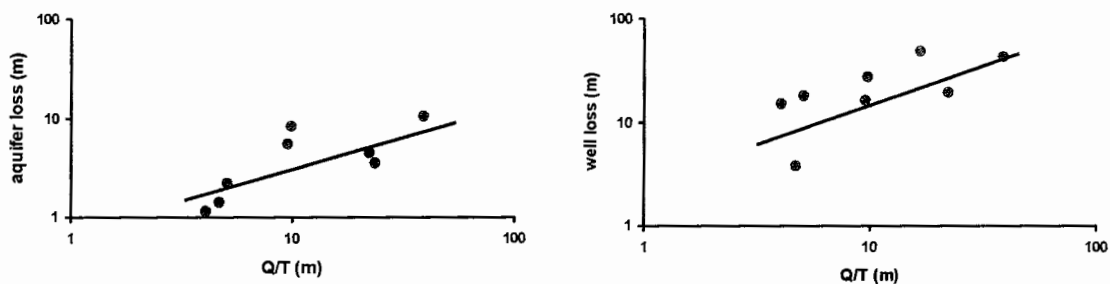
۴-۴-۱- محاسبه مؤلفه‌های افت مربوط به آزمایش پمپاژ با دبی ثابت

جهت محاسبه مؤلفه‌های افت در چاه‌های تحت آزمایش پمپاژ با دبی ثابت، هشت چاه پمپاژ که داده‌های آنها کمتر تحت تأثیر تغییرات در مقدار دبی قرار گرفته بودند، انتخاب شدند و نمودارهای افت در برابر لگاریتم زمان آنها ترسیم شد و با استفاده از این نمودارها و روش پیشنهادی، مؤلفه‌های افت در چاه‌های تحت آزمایش پمپاژ با دبی ثابت محاسبه شدند (به فصل سوم رجوع شود). جدول ۴-۱۲ مقادیر مربوط به مؤلفه‌های افت در چاه‌های پمپاژ را نشان می‌دهد.

جدول ۴-۱۲- مقادیر مؤلفه‌های افت با استفاده از آزمایش پمپاژ با دبی ثابت

افت سفره (m)	افت چاه (m)	چاه‌های پمپاژ
۱/۴۱	۳/۷۵	PW35
۵/۴۲	۱۶/۲۹	PW37
۰/۴۵	۴۸/۹۱	PW39
۱/۱۴	۱۵	A15
۲/۱۹	۱۷/۷۶	A21
۴/۴۴	۱۹/۵۳	A29
۸/۱۷	۲۷/۳۷	B4
۱۰/۴	۴۲/۶۲	B11

با توجه به جدول ۴-۱۲ مشاهده می‌شود که در تمامی چاه‌ها میزان افت چاه از افت سفره بیشتر است. با توجه به اینکه افت چاه متأثر از میزان دبی پمپاژ و خواص سفره می‌باشد و افت سفره هم علاوه بر موارد ذکر شده تحت تأثیر مدت زمان آزمایش پمپاژ قرار می‌گیرد، بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که در چاه‌هایی که میزان افت چاه آنها زیاد است به دلیل افزایش مقدار دبی پمپاژ آنها از حد مجاز بوده است که باعث چنین تغییراتی شده است (مانند چاه‌های PW39 و B11). شکل ۴-۱۱ تغییرات افت چاه و افت سفره در برابر مقدار دبی پمپاژ به قابلیت انتقال را نشان می‌دهد.



شکل ۴-۱۱- تغییرات افت چاه و افت سفره در برابر مقدار دبی پمپاژ به قابلیت انتقال

با توجه به شکل ۴-۱۱ مشاهده می‌شود که به طور کلی هر چه مقدار دبی چاه پمپاژ بیشتر باشد مقدار مؤلفه‌های افت در آن چاه افزایش پیدا می‌کند و در مورد تأثیر قابلیت انتقال هم بر عکس دبی پمپاژ می‌باشد.

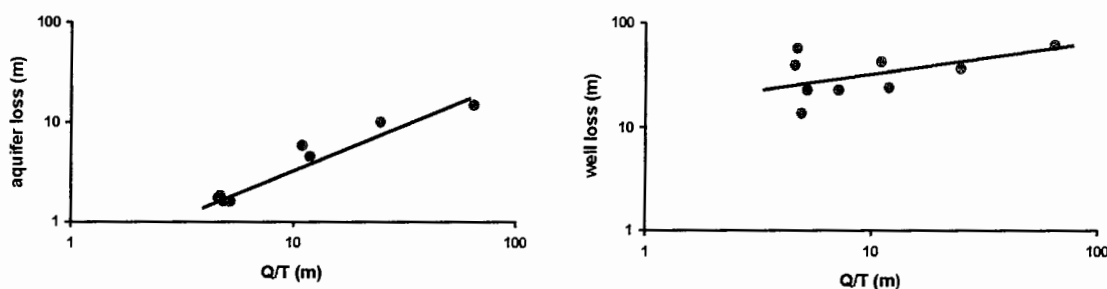
۴-۲- محاسبه مؤلفه‌های افت مربوط به آزمایش افت پله‌ای

جهت محاسبه مؤلفه‌های افت در چاه‌های با آزمایش افت پله‌ای، نه چاه پمپاژ انتخاب گردید و نمودارهای افت در برابر لگاریتم زمان آنها ترسیم شد و با استفاده از این نمودارها و روشی که در فصل سوم به آن اشاره گردید مؤلفه‌های افت در چاه‌های با آزمایش افت پله‌ای محاسبه شدند. جدول ۴-۱۳ مقادیر مربوط به مؤلفه‌های افت در چاه‌های با آزمایش افت پله‌ای را نشان می‌دهد.

جدول ۴-۱۳- محاسبه مقدار مؤلفه‌های افت با استفاده از آزمایش افت پله‌ای

افت سفره (m)	افت چاه (m)	چاه‌های پمپاژ
۵/۷۷	۴۱/۹۶	PW34
۰/۷۸	۲۲/۱۸	PW36
۴/۵	۲۳/۶۷	PW37
۱/۸	۵۶/۵	PW42
۱/۶	۱۳/۱۷	A15
۱/۶	۲۲/۴۶	A21
۹/۹	۳۵/۷	A29
۱۴/۷	۶۰/۵۷	B11
۱/۷	۳۸/۴۹	3PW1

با توجه به جدول ۴-۱۳ مشاهده می‌شود که افت چاه همواره بیشتر از افت سفره می‌باشد. همانطور که قبلاً هم اشاره گردید اگر دبی پمپاژ بیشتر از حد مجاز آن چاه باشد مقدار افت چاه افزایش خواهد یافت و آب خارج شده اکثراً از ذخیره داخل چاه می‌باشد (مانند چاههای PW34, PW42, A29, B11 و 3PW1). چاه پمپاژ A15 که دارای بیشترین مقدار قابلیت انتقال در بین چاههای دیگر است، کمترین مقدار افت (افت چاه و افت سفره) را شامل می‌شود. هم چنین افت شبکه (افت سفره) به عنوان یکی دیگر از عوامل تأثیر گذار بر روی مقدار افت چاه می‌باشد. برای بررسی نحوه تغییرات مقدار افت‌های چاه و سفره در برابر مقدار دبی پمپاژ به قابلیت انتقال نمودارهای مربوطه ترسیم گردید. شکل ۴-۱۲ تغییرات مقادیر افت‌های چاه و سفره در برابر دبی پمپاژ به قابلیت انتقال را نشان می‌دهد.



شکل ۴-۱۲- تغییرات مقادیر افت‌های چاه و سفره در برابر دبی پمپاژ به قابلیت انتقال

با توجه به شکل ۴-۱۲ مشاهده می‌شود که مؤلفه‌های افت با نسبت دبی بر روی قابلیت انتقال رابطه مستقیم دارند و دلیل این مطلب از این قرار است که هر قدر دبی پمپاژ زیادتر شود، مقادیر افت بیشتر و هر قدر قابلیت انتقال بیشتر باشد، مقادیر افت کمتر می‌شود.

۴-۵- محاسبه دبی ویژه و افت ویژه

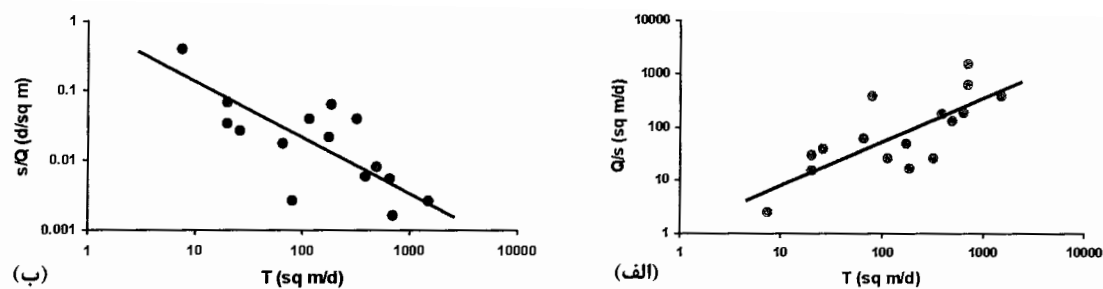
دبی ویژه یا ظرفیت ویژه از تقسیم میزان دبی پمپاژ به کل میزان افتی که در چاه بدست آمده است، حاصل می‌شود. میزان افت ویژه نیز از تقسیم میزان افت کل چاه به دبی پمپاژ بدست می‌آید. از دبی ویژه به عنوان یک پارامتر جهت محاسبه کارایی چاه و افت ویژه جهت محاسبه ضرایب چاه و

سفره استفاده می‌شوند. لازم به ذکر است که مقادیر مؤلفه‌های افت (افت چاه و افت سفره) از روشی که توسط کرمی و یانگر (Karami and Youngr 2002) ارائه شده است، محاسبه شده‌اند (به فصل سوم رجوع شود). با استفاده از مقادیر دبی و افت کل چاه دبی ویژه و افت ویژه در ۱۶ چاه پمپاژ محاسبه شده و نتایج حاصله در جدول ۴-۱۴ ارائه شده است.

جدول ۴-۱۴ - مقادیر دبی ویژه و افت ویژه در چاه‌های تحت آزمایش پمپاژ

چاه‌های پمپاژ	دبی پمپاژ (m^3/day)	افت کل (m)	دبی ویژه (m^2/day)	افت ویژه (day/m^2)
PW33	۱۹۰۰/۸	۵	۳۸۰/۲	$۲/۶ \times ۱۰^{-۲}$
PW34	۱۲۷۰/۱	۴۹/۵۵	۲۵/۶	۳۹×۱۰^{-۲}
PW35	۳۲۸۳/۲	۵/۲۳	۶۲۷/۷۶	$۱/۶ \times ۱۰^{-۲}$
PW36	۴۱۹۰/۴	۲۲/۷	۱۸۴/۶	$۵/۴۲ \times ۱۰^{-۲}$
PW37	۳۷۴۱/۱۲	۲۱/۷۱	۱۷۲/۳	$۵/۸ \times ۱۰^{-۲}$
PW38	۹۵۰/۴	۳۲/۰۴	۲۹/۷	۳۴×۱۰^{-۲}
PW39	۱۲۵/۳	۴۹/۴۰	۲/۵	۳۹×۱۰^{-۲}
PW41	۲۲۷۲/۳	۱/۵	۱۵۱۴/۹	$۶/۶ \times ۱۰^{-۲}$
PW42	۱۵۱۲	۵۸/۳۵	۲۵/۹	۳۹×۱۰^{-۲}
A4	۲۷۷۸/۶	۷۱/۹۷	۳۸/۶۱	۲۶×۱۰^{-۲}
A15	۶۰۹۱/۲	۱۶/۰۲	۳۸۰/۲	$۲/۶ \times ۱۰^{-۲}$
A21	۲۵۳۱/۵	۱۹/۹۵	۱۲۶/۸۹	$۷/۹ \times ۱۰^{-۲}$
A29	۱۴۷۰/۵۳	۲۴/۳۶	۶۰/۴	۱۷×۱۰^{-۲}
B4	۱۷۲۰/۲	۳۵/۸۱	۴۸	۲۱×۱۰^{-۲}
B11	۷۷۷/۶	۵۳/۷۶	۱۴/۵	۶۹×۱۰^{-۲}
3PW1	۸۶۴	۵۳/۴	۱۶/۲	۶۲×۱۰^{-۲}

با استفاده از مقادیر مربوط به دبی ویژه و افت ویژه (مندرج در جدول ۴-۱۴)، روابط بین این پارامترها با قابلیت انتقال ترسیم شده است. شکل ۴-۱۳ روابط بین مقادیر قابلیت انتقال با مقادیر دبی ویژه و افت ویژه را نشان می‌دهد.



شکل ۴-۱۳- روابط بین قابلیت انتقال با دبی ویژه و افت ویژه

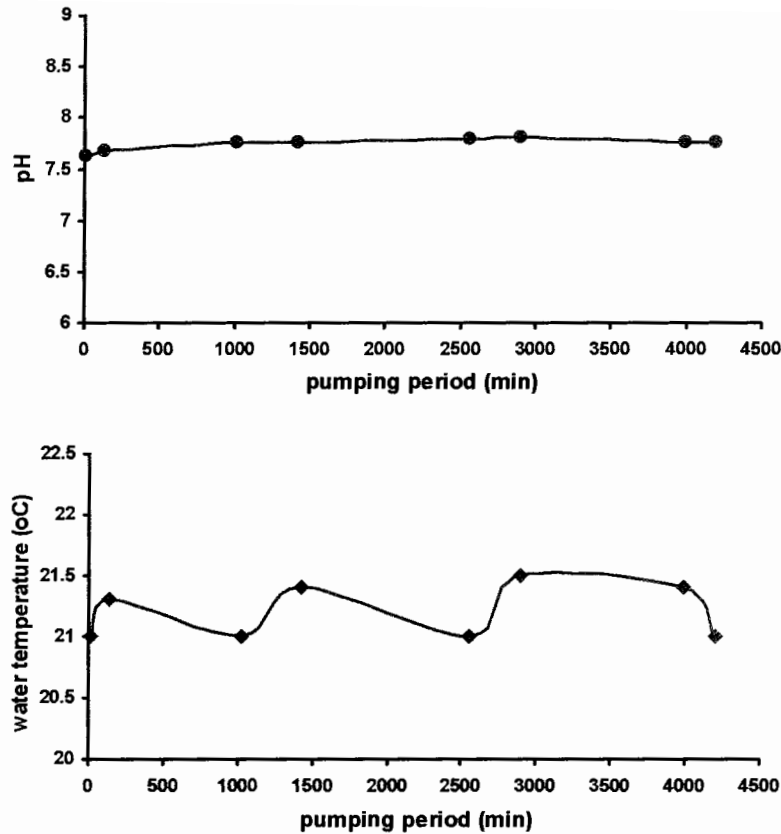
با توجه به شکل ۴-۱۳ (الف)، مشاهده می‌شود که قابلیت انتقال با دبی ویژه رابطه مستقیم، در حالی که در شکل ۴-۱۳ (ب)، قابلیت انتقال با افت ویژه رابطه معکوس را نشان می‌دهند.

۴-۶- آنالیز داده‌های کیفی آب در طول انجام آزمایش پمپاژ

همانطور که در فصل سوم (بخش ۳-۸) نیز اشاره گردید تعداد نه دسته داده کیفی آب در طول انجام آزمایش پمپاژ که داده‌های آنها بدست آمده بودند مورد آنالیز قرار گرفتند. داده‌های مربوطه شامل تغییرات هدایت الکتریکی، pH و درجه حرارت آب نسبت به زمان می‌باشند. در این بخش تغییرات پارامترهای مذکور در چاههای مختلف مورد تحلیل قرار می‌گیرد.

۴-۶-۱- چاه پمپاژ PW35

این چاه پمپاژ در بخش ابرفتی محدوده شرق گودال معدنی واقع شده است. pH و درجه حرارت آب در این چاه در طول انجام آزمایش افت پله‌ای اندازه‌گیری شده است. شکل ۴-۱۴ تغییرات pH و درجه حرارت آب برای زمان‌های مختلف آزمایش پمپاژ در این چاه را نشان می‌دهد.

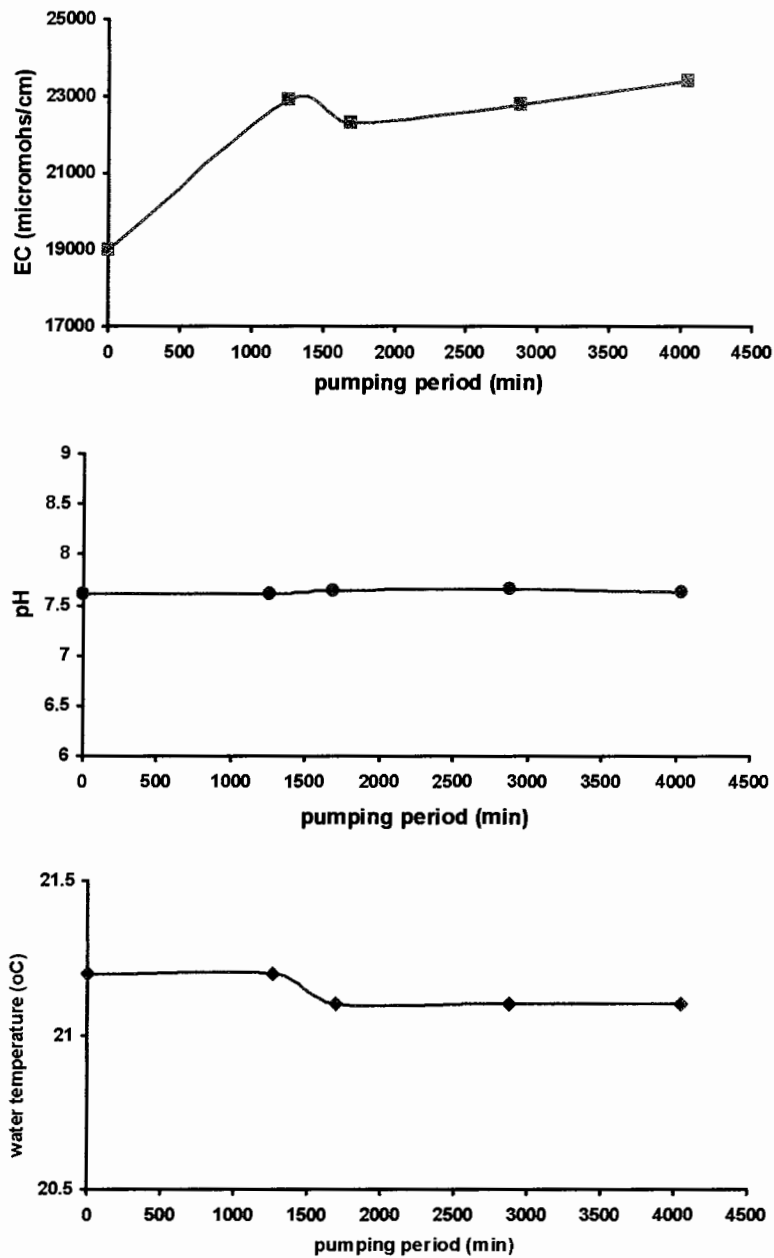


شکل ۴-۱۴- تغییرات pH و درجه حرارت آب برای زمان‌های مختلف آزمایش پمپاژ در چاه PW35

با توجه به نمودارهای شکل ۴-۱۴ مشاهده می‌شود که pH آب در ابتدای آزمایش پمپاژ با تغییرات اندک افزایشی همراه بوده است (در حد 0.2 واحد) و با گذشت زمان به مقدار ثابتی رسیده است. در مورد درجه حرارت آب هم تغییرات زیادی را شامل نشده است (حدود نیم درجه سانتیگراد) که این تغییرات اندک روند خاصی را نشان نمی‌دهند. احتمالاً بخشی از این تغییرات مربوط به تغییرات درجه حرارت هوا در ساعات مختلف شبانه روز بوده باشد.

۴-۶-۲- چاه پمپاژ PW36

این چاه پمپاژ نیز همانند چاه PW35 در بخش آبرفتی محدوده شرق گودال معدنی واقع شده است. در این چاه پارامترهای هدایت الکتریکی، pH و درجه حرارت آب در حین آزمایش افت پله‌ای در محل نمونه برداری اندازه‌گیری شده است. شکل ۴-۱۵ تغییرات زمانی هدایت الکتریکی، pH و درجه حرارت آب در این چاه را نشان می‌دهد.



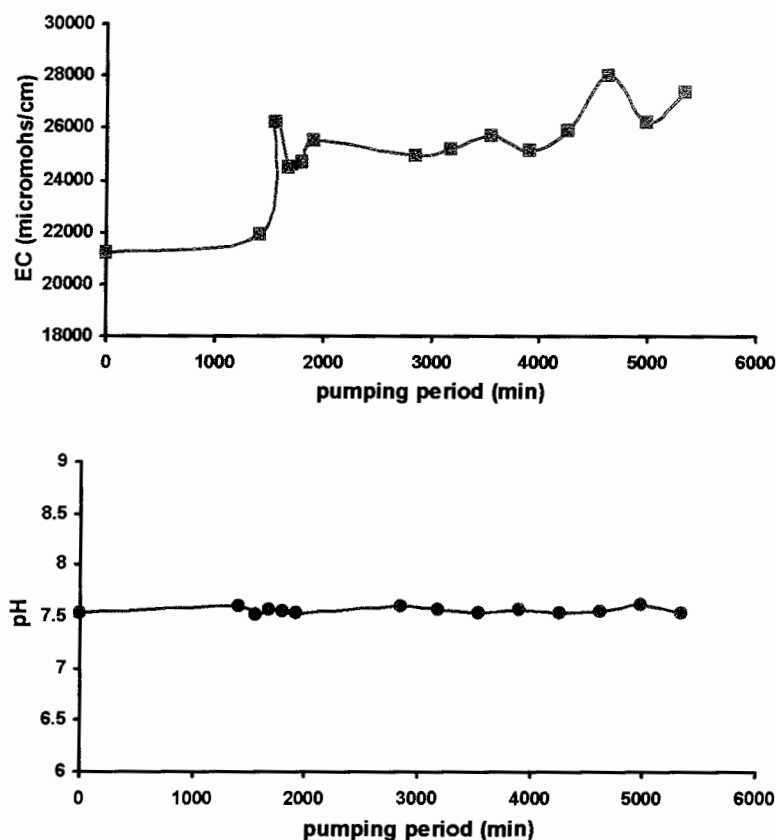
شکل ۴-۱۵- تغییرات زمانی هدایت الکتریکی، pH و درجه حرارت آب در چاه PW36

با توجه به نمودارهای ترسیم شده در شکل ۴-۱۵ مشاهده می‌شود که هدایت الکتریکی در ابتدای آزمایش دارای تغییرات زیاد (در حد ۴۰۰۰ میکروموس بر سانتیمتر) و در زمان‌های بعدی نرخ افزایشی آن کمتر شده است. هم چنین می‌توان اینگونه اظهار نظر نمود که مقدار هدایت الکتریکی کم و بیش با زمان آزمایش پمپاژ روند افزایشی نشان می‌دهد، دلیل این امر احتمالاً از اینقرار است که با افت سطح آب، آبهای زیرزمینی استخراج شده از بخش‌های عمیق‌تر لایه آبدار، تخلیه می‌شوند که

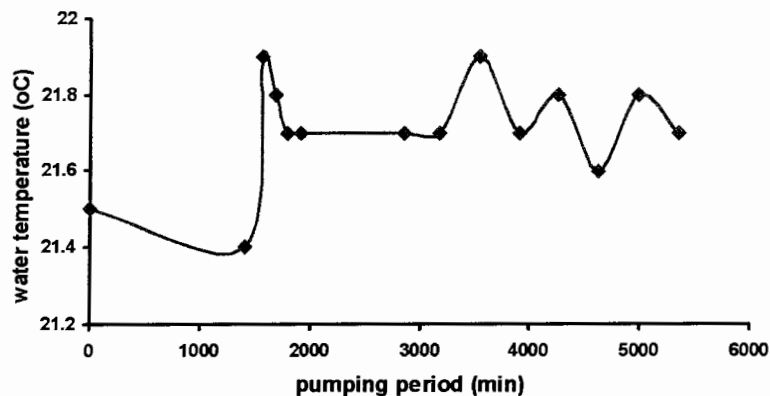
دارای املاح محلول بیشتری هستند. تغییرات pH آب نیز بسیار کم بوده و کم و بیش روندی تقریباً ثابت را نشان می‌دهد. هم چنین میزان تغییرات درجه حرارت در طول آزمایش پمپاژ تقریباً ثابت بوده است.

۴-۶-۳- چاه پمپاژ PW37

این چاه پمپاژ در بخش‌های آبرفتی و سنگی محدوده شرق گودال معدنی واقع شده است. در این چاه پارامترهای هدایت الکتریکی، pH و درجه حرارت آب در حین آزمایش پمپاژ با دبی ثابت در محل نمونه برداری اندازه‌گیری شده است. شکل ۴-۱۶ تغییرات هدایت الکتریکی، pH و درجه حرارت آب برای زمان‌های مختلف آزمایش پمپاژ در این چاه را نشان می‌دهد.



شکل ۴-۱۶- تغییرات هدایت الکتریکی، pH و درجه حرارت آب برای زمان‌های مختلف آزمایش پمپاژ در چاه PW37

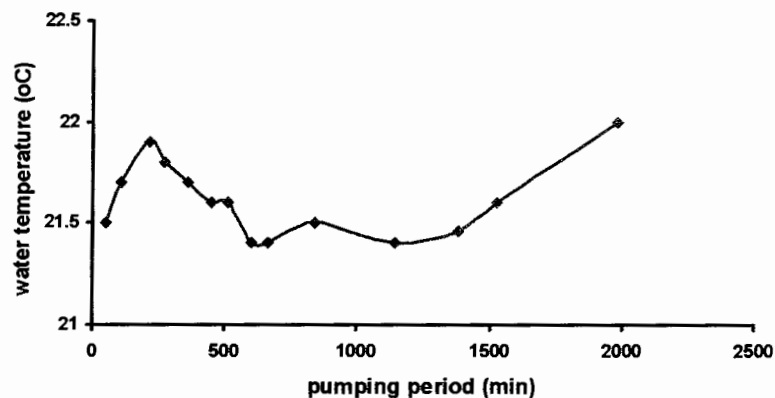
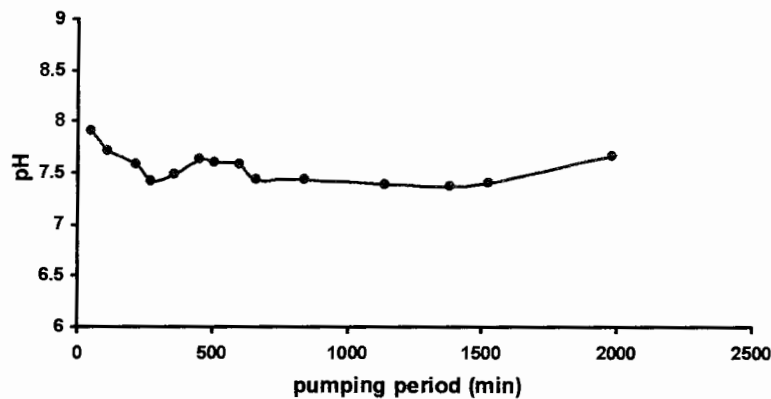
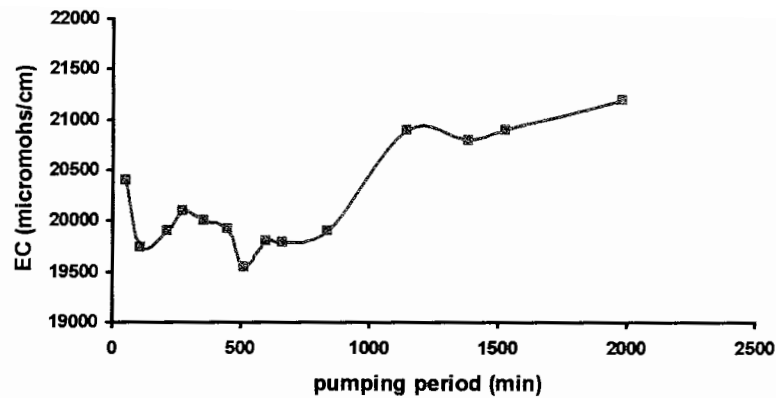


شکل ۴-۱۶- ادامه

با توجه به شکل ۴-۱۶ مشاهده می‌شود که تغییرات هدایت الکتریکی روندی افزایشی را نشان می‌دهد که این تغییرات در ابتدای آزمایش زیاد بوده است (در حد ۵۰۰۰ میکروموس بر سانتیمتر) و در زمانهای طولانی‌تر آزمایش پمپاژ نرخ افزایشی هدایت الکتریکی نسبتاً کمتر شده است. همانطور که در مورد چاه PW36 اشاره گردید، در این چاه هم افزایش در هدایت الکتریکی به دلیل تأثیر بخش‌های عمیق‌تر لایه‌های آبدار در این چاه بوده است که املاح بیشتر این بخش‌ها را نسبت به عمق‌های کمتر نشان می‌دهد. در مورد pH هم تغییرات کم و بیش ثابت بوده است. درجه حرارت آب هم تغییرات اندکی را نشان می‌دهد که بخشی از آن مربوط به تغییرات زمانی درجه حرارت هوا بوده است و احتمالاً بخش دیگری از آن به علت خطای ناشی از اندازه‌گیری توسط افراد مختلف بوده باشد.

۴-۶-۴- چاه پمپاژ PW42

این چاه پمپاژ در بخش آبرفتی محدوده جنوب گودال معدنی واقع شده است. در این چاه پارامترهای هدایت الکتریکی، pH و درجه حرارت آب در حین آزمایش افت پله‌ای در محل نمونه برداری اندازه‌گیری شده است. شکل ۴-۱۷ تغییرات هدایت الکتریکی، pH و درجه حرارت آب برای زمان‌های مختلف آزمایش پمپاژ در این چاه را نشان می‌دهد.



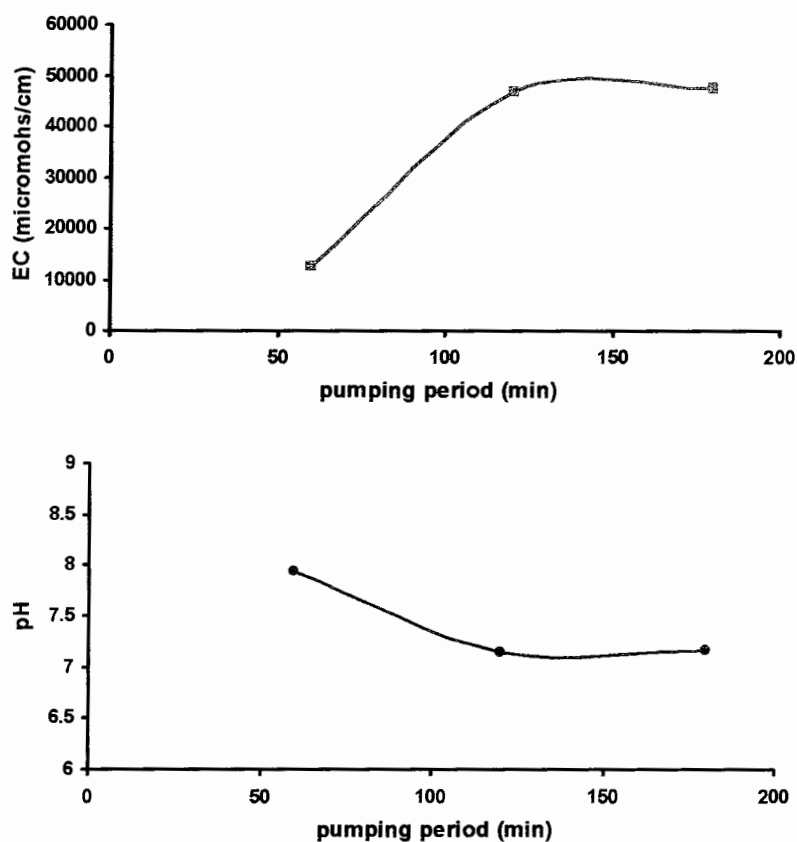
شکل ۴-۱۷- تغییرات هدایت الکتریکی، pH و درجه حرارت آب برای زمان‌های مختلف آزمایش پمپاژ در چاه PW42

با توجه به شکل ۴-۱۷ مشاهده می‌شود که در این چاه نیز میزان هدایت الکتریکی در حال افزایش می‌باشد که در ابتدای آزمایش پمپاژ تغییرات زیاد و بعد از آن با گذشت زمان کاهش می‌یابد. در مورد pH، ابتدا مقدار آن روند کاهشی نشان داده و سپس کم و بیش ثابت شده است. علت کاهش pH در زمان‌های اولیه آزمایش پمپاژ احتمالاً بیانگر این است که آب استخراجی مربوط به افق‌های مختلف بوده است که خصوصیات کیفی مختلفی را شامل می‌شوند. بعد از تثبیت نسبی افت تغییرات pH

بسیار اندک شده است. همانطور که تغییرات درجه حرارت نشان می‌دهد در ابتدا روند کاهشی و بعد از مدت زمانی کم و بیش تغییرات ناچیز، روند افزایشی را نشان می‌دهد، که می‌تواند همخوانی خوبی را با نمودار pH نشان دهد.

۴-۶-۵- چاه پمپاژ A4

این چاه پمپاژ در بخش آبرفتی حاشیه جنوب شرقی گودال معدنی واقع شده است. در این چاه پارامترهای هدایت الکتریکی و pH آب در حین آزمایش پمپاژ با دبی ثابت در محل نمونه برداری اندازه‌گیری شده است. شکل ۴-۱۸ تغییرات زمانی هدایت الکتریکی و pH آب در این چاه را نشان می‌دهد.



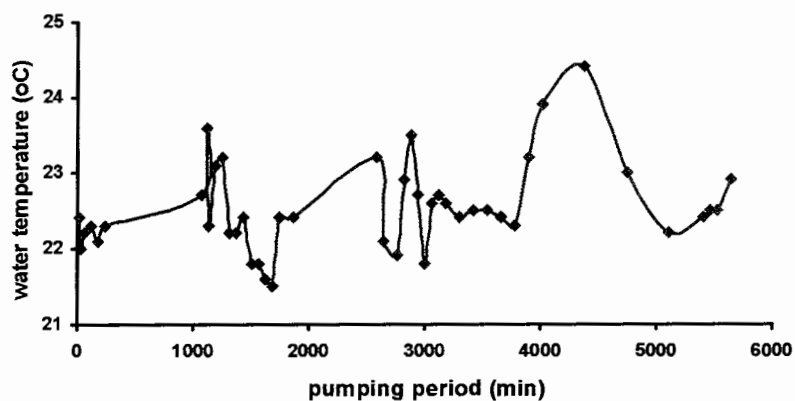
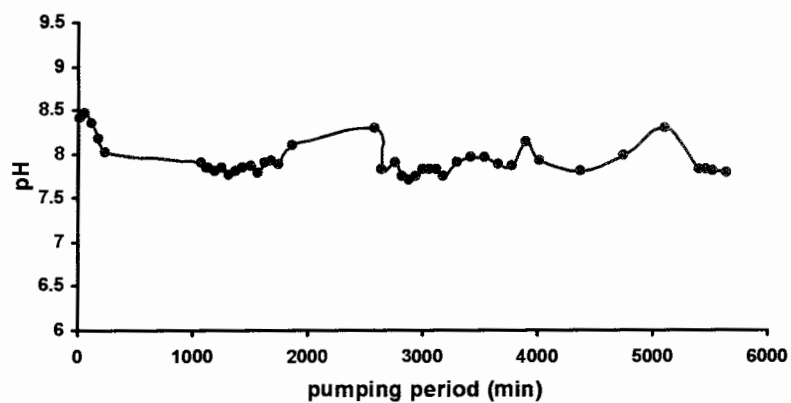
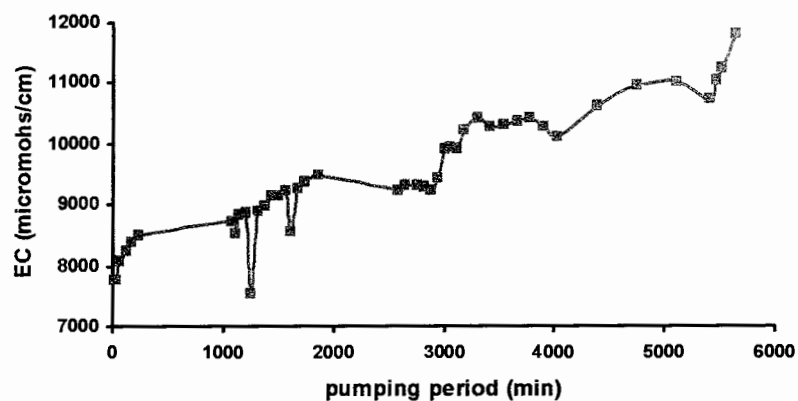
شکل ۴-۱۸- تغییرات زمانی هدایت الکتریکی و pH آب در چاه پمپاژ A4

همانطور که شکل ۴-۱۸ نشان می‌دهد تعداد اندازه‌گیری انجام شده در این آزمایش بسیار محدود و برابر با سه اندازه‌گیری می‌باشد و هر چند این تعداد محدود اندازه‌گیری نمی‌تواند تفسیر دقیقی را ارائه نماید، ولیکن مقدار تغییرات بسیار بالا بوده است. بنابراین تغییرات زمانی هدایت الکتریکی به این ترتیب است که با افزایش زمان پمپاژ مقدار این پارامتر به طور قابل توجهی افزایش پیدا می‌کند. علت افزایش بسیار بالای هدایت الکتریکی با زمان در این چاه که افت سطح آب بسیار زیادی در حین آزمایش از خود نشان داده است (حدود ۷۰ متر)، تأثیر بخش‌های عمیق‌تر با املاح بیشتر در این چاه بوده است که بعد از تثبیت افت و گذشت زمان، میزان تغییرات هم کاهش پیدا کرده است. در خصوص تغییرات pH در این چاه همانطور که ملاحظه می‌شود روند برعکس با مقدار هدایت الکتریکی نشان می‌دهد. به این ترتیب که در ابتدای آزمایش مقدار pH به طور قابل توجهی کاهش پیدا می‌کند و با گذشت زمان تغییرات آن بسیار کم می‌شود.

۴-۶-۶- چاه پمپاژ A15

این چاه پمپاژ در بخش‌های آبرفتی و سنگی محدوده جنوب غربی گودال معدنی واقع شده است. در این چاه پارامترهای هدایت الکتریکی، pH و درجه حرارت آب در حین آزمایش افت پله‌ای در محل نمونه برداری اندازه‌گیری شده است. شکل ۴-۱۹ تغییرات هدایت الکتریکی، pH و درجه حرارت آب برای زمان‌های مختلف آزمایش پمپاژ در این چاه را نشان می‌دهد.

همانطور که از شکل ۴-۱۹ مشخص است، میزان هدایت الکتریکی با گذشت زمان افزایش می‌یابد و املاح زیاد بخش‌های عمیق‌تر در محدوده این چاه را نشان می‌دهد. به جز در مورد دو اندازه‌گیری که احتمالاً به دلیل عدم دقت در خواندن میزان هدایت الکتریکی و یا اندازه‌گیری توسط افراد مختلف اتفاق افتاده باشد، کاهش در میزان هدایت الکتریکی را نشان داده‌اند. در مورد pH آب هم باید اشاره نمود که به جز ابتدای آزمایش پمپاژ که تغییرات زیاد بوده است. بعد از گذشت زمان، میزان تغییرات به دلیل تأثیر لایه‌های مختلف تشکیل دهنده سفره کاهش پیدا کرده است، اما همچنان دارای یکسری نوسانات می‌باشد. تغییرات درجه حرارت با زمان در این چاه به نحوی است که دارای نوسانات زیادی می‌باشد که این خود ناشی از تأثیر درجه حرارت هوا در زمان اندازه‌گیری نمونه آب در ساعات مختلف شبانه روز بوده باشد که باعث ایجاد تغییرات شده است.



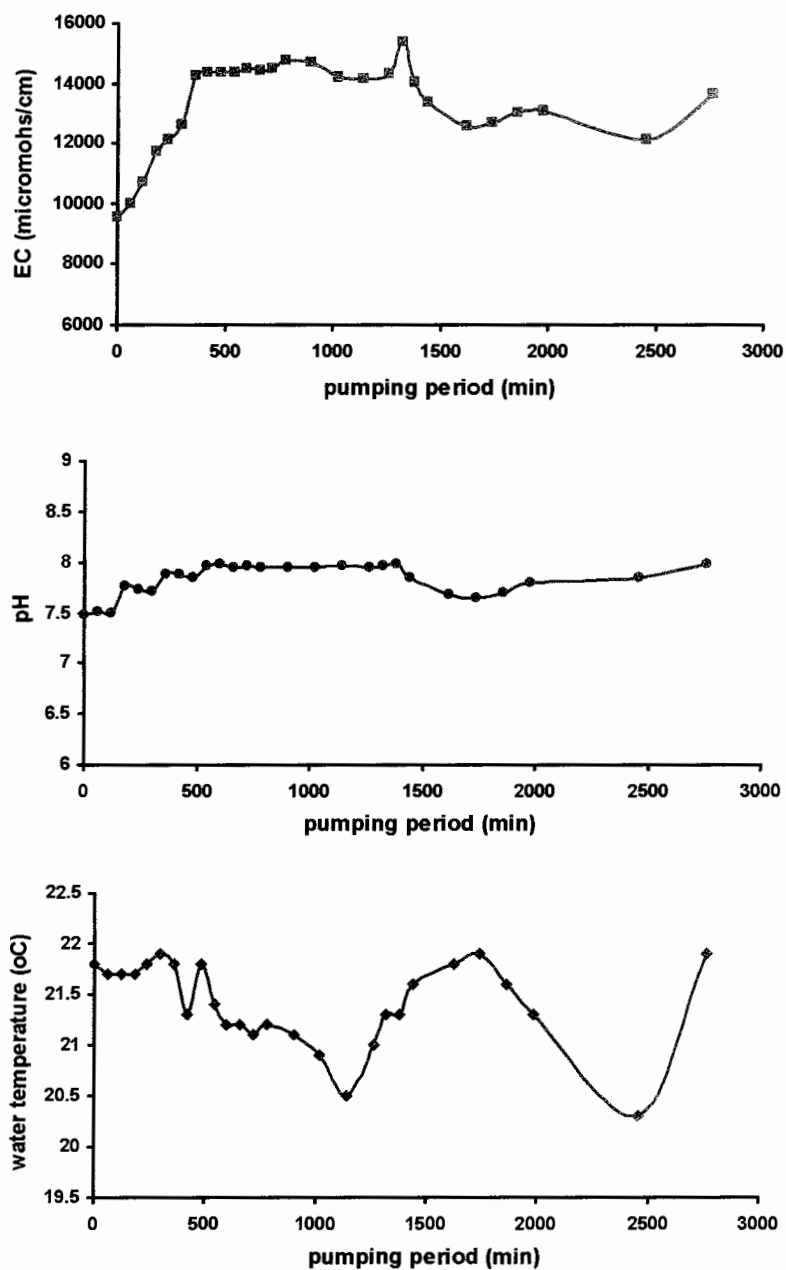
شکل ۴-۱۹- تغییرات هدایت الکتریکی، pH و درجه حرارت آب برای زمان‌های مختلف آزمایش پمپاژ در چاه پمپاژ

A15

۴-۶-۷- چاه پمپاژ A21

این چاه پمپاژ در بخش‌های آبرفتی و سنگی محدوده جنوب غربی گودال معدنی واقع شده است. در این چاه پارامترهای هدایت الکتریکی، pH و درجه حرارت آب در حین آزمایش افت پله‌ای در محل

نمونه برداری اندازه‌گیری شده است. شکل ۴-۲۰ تغییرات زمانی هدایت الکتریکی، pH و درجه حرارت آب در این چاه را نشان می‌دهد.



شکل ۴-۲۰- تغییرات زمانی هدایت الکتریکی، pH و درجه حرارت آب در چاه پمپاژ A21

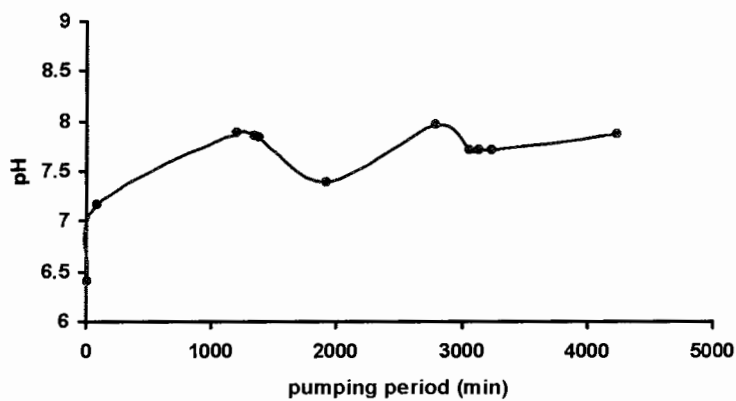
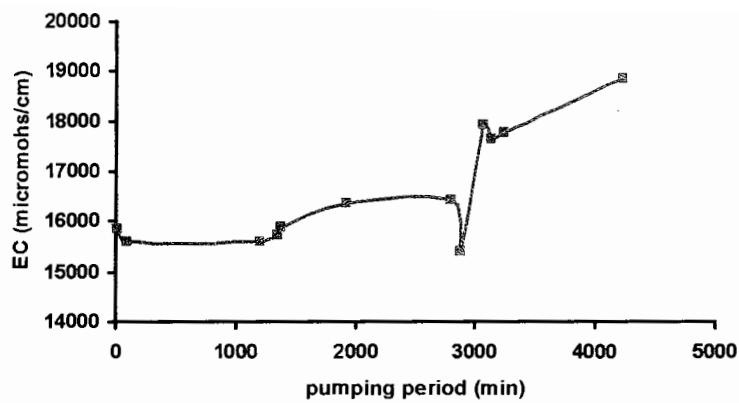
با توجه به شکل ۴-۲۰ مشاهده می‌شود روند تغییرات هدایت الکتریکی در این چاه بر خلاف چاههای توصیفی قبل (بالاخص چاههای PW42 و A15 که در محدوده این چاه واقع شده‌اند) می‌باشد. هر

چند که در ابتدای آزمایش افزایش در میزان هدایت الکتریکی دیده می‌شود، اما بعد از مدتی تثبیت شدن آن روند کاهشی در آن دیده می‌شود که این یک امر غیر عادی در منطقه می‌باشد و دلیل آن می‌تواند خطای در اندازه‌گیری، تأثیر بخش سنگی و یا اندازه‌گیری توسط افراد مختلف بوده باشد. در مورد pH هم در ابتدای آزمایش روند افزایشی و تغییرات زیاد را نشان می‌دهد که بعد از مدتی تثبیت شدن میزان pH (با تغییرات کم) دوباره تغییرات افزایش پیدا می‌کند. میزان تغییرات درجه حرارت به جز زمان ابتدایی آزمایش که کم می‌باشد با گذشت زمان تغییرات افزایش پیدا می‌کند که این می‌تواند خود متأثر از خطای در اندازه‌گیری، تأثیر بخش سنگی، درجه حرارت هوا و فاصله در مدت زمان نمونه‌گیری و اندازه‌گیری درجه حرارت باشد.

۴-۶-۸- چاه پمپاژ A29

این چاه پمپاژ در بخش‌های آبرفتی و سنگی محدوده شمال شرقی گودال معدنی واقع شده است. در این چاه پارامترهای هدایت الکتریکی و pH آب در حین آزمایش افت پله‌ای در محل نمونه برداری اندازه‌گیری شده است. شکل ۴-۲۱ تغییرات هدایت الکتریکی و pH آب برای زمان‌های مختلف در این چاه را نشان می‌دهد.

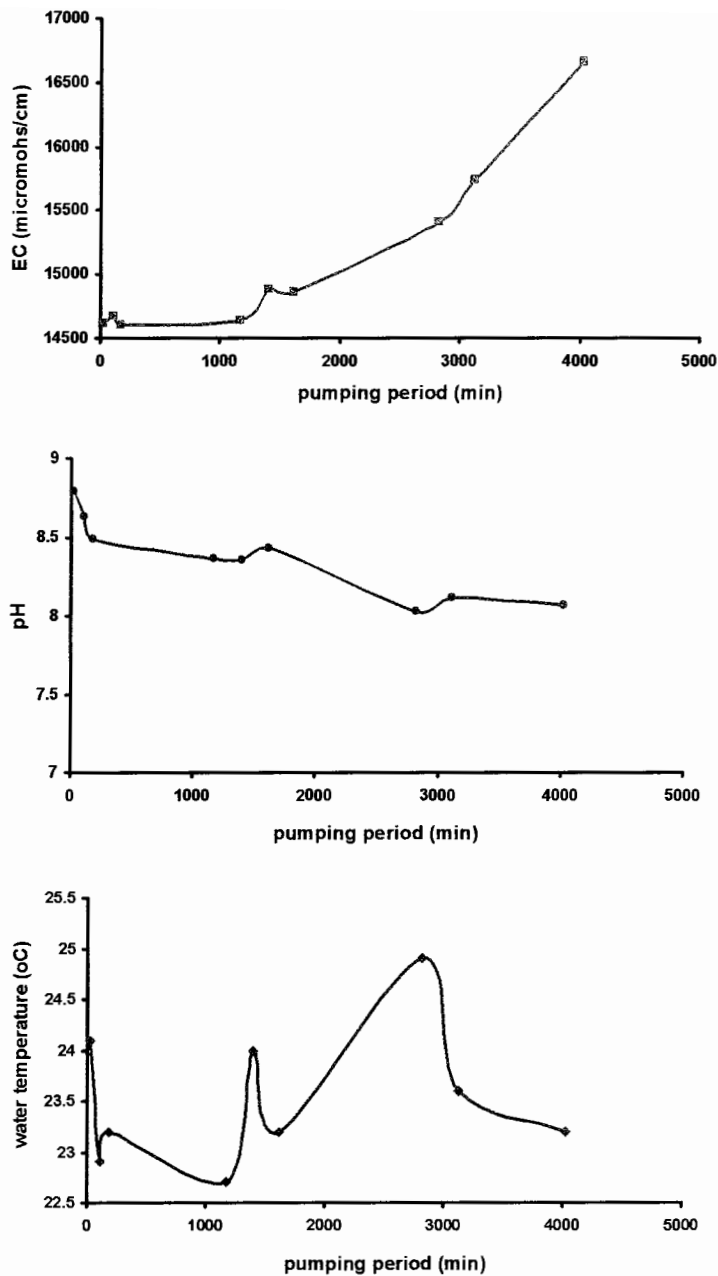
همانطور که شکل ۴-۲۱ نشان می‌دهد هدایت الکتریکی در این چاه نیز با گذشت زمان در حال افزایش می‌باشد و شوری بالای بخش‌های عمیق‌تر در این چاه را بیان می‌کند. با توجه به تغییرات اندکی که pH از خود نشان می‌دهد اما دارای روند افزایشی است به جز در چند اندازه‌گیری که با خطا همراه بوده است.



شکل ۴-۲۱- تغییرات هدایت الکتریکی و pH آب برای زمان‌های مختلف در چاه پمپاژ A29

۴-۶-۹- چاه پمپاژ B11

این چاه پمپاژ در بخش سنگی محدوده حاشیه جنوب غربی، خارج از گودال معدنی واقع شده است. در این چاه پارامترهای هدایت الکتریکی، pH و درجه حرارت آب در حین آزمایش افت پله‌ای در محل نمونه برداری اندازه‌گیری شده است. شکل ۴-۲۲ تغییرات زمانی هدایت الکتریکی، pH و درجه حرارت آب در این چاه را نشان می‌دهد.



شکل ۴-۲۲- تغییرات زمانی هدایت الکتریکی، pH و درجه حرارت آب در چاه پمپاژ B11

با توجه به شکل ۴-۲۲ مشاهده می‌شود که هدایت الکتریکی در این چاه با گذشت زمان افزایش می‌یابد و شوری بالای لایه‌های آبدار مناطق عمیق‌تر را نشان می‌دهد. میزان pH نیز در حال کاهش می‌باشد که روندی بر خلاف هدایت الکتریکی از خود نشان می‌دهد. این می‌تواند احتمالاً به دلیل تأثیر بخش سنگی در این چاه باشد. تغییرات درجه حرارت نیز دارای روند خاصی نبوده است که این خود حاکی از تأثیر بخش سنگی در این چاه و تأمین شدن آب از مناطق مختلف بوده باشد.

۴-۶-۱۰- ارزیابی تغییرات هدایت الکتریکی، pH و درجه حرارت آب در حین پمپاژ

با توجه به نتایج بدست آمده از اندازه‌گیری هدایت الکتریکی چاههای پمپاژ مشاهده شد که در اکثر موارد به جز چاه پمپاژ A21 با افزایش میزان افت سطح آب مقدار هدایت الکتریکی افزایش پیدا می‌کند، به طوری که هر چه میزان افت زیادتر شود مقدار هدایت الکتریکی هم افزایش پیدا کرده است، این می‌تواند حاکی از وجود سفره‌های با شوری بالا در اعماق محدوده معدن باشد که با افزایش عمق میزان شوری افزایش پیدا می‌کند. خطای اندازه‌گیری در محاسبه میزان هدایت الکتریکی به دلیل تغییرات زیاد آن تحت شعاع قرار گرفته است. هم چنین شرایط محیطی (دما و فاصله زمانی بین نمونه‌گیری و اندازه‌گیری) به طور محسوس بر روی هدایت الکتریکی تأثیر نخواهد داشت. از نقطه نظر میزان هدایت الکتریکی باید متذکر شد که مقادیر هدایت الکتریکی قسمت شرقی معدن با قسمت‌های جنوب، جنوب غربی و شمال شرقی آن متفاوت بوده است (قسمت شرقی معدن دارای هدایت الکتریکی بالایی نسبت به قسمت‌های جنوب، جنوب غربی و شمال شرقی آن می‌باشد).

مقادیر pH در اکثر موارد کم و بیش ثابت بوده است (به جز چاه پمپاژ B11 که در بخش سنگی واقع است و روند کاهشی در pH دارد و چاه پمپاژ A4 که همانطور اشاره گردید افت زیاد آن که ناشی از میزان قابلیت انتقال پائین در این چاه است، تغییرات بیشتری را نسبت به دیگر چاهها نشان می‌دهد) و این تغییرات اندک آن در اثر خروج گاز (بخصوص گاز CO₂) و خطای حاصل از اندازه‌گیری (اندازه‌گیری توسط افراد مختلف و در ساعات مختلف شبانه روز) می‌باشد. هم چنین چاههایی که در قسمت شرقی گودال معدنی واقع شده‌اند تغییرات pH کمی دارند، در حالی که چاههای قسمت جنوب، جنوب غربی و شمال شرقی به طور کلی تغییرات بیشتری را در pH آب نشان می‌دهند. باید در اینجا یادآور شد که pH آب در تمامی چاهها در حد خنثی و کمی بالاتر از آن به سمت قلیایی شدن است. مقادیر بالاتر pH در چاههای جنوب غربی معدن می‌تواند به دلیل وجود تشکیلات آهکی آن قسمت از معدن باشد در حالی که قسمت شرقی به علت عدم وجود تشکیلات آهکی مقادیر pH پائین‌تر را نشان می‌دهد.

درجه حرارت آب اگر چه تغییرات اندکی در بعضی از چاهها از خود نشان می‌دهد ولیکن روند خاصی را شامل نمی‌شود. خطای ناشی از اندازه‌گیری درجه حرارت توسط افراد مختلف، اندازه‌گیری در ساعات مختلف شبانه روز و فاصله زمانی بین نمونه برداری و اندازه‌گیری آن از عواملی می‌باشند که

باعث تغییرات اندک درجه حرارت شده است. لازم به ذکر است که درجه حرارت آب در چاههایی که در بخش سنگی حفاری شده‌اند و یا تحت تأثیر بخش سنگی (به دلیل حفاری بخشی از چاه در سنگ) هستند در مقایسه با چاههای بخش آبرفتی تغییرات بیشتری را شامل می‌شوند.

فصل پنجم: نتیجه‌گیری و پیشنهادات

۵-۱- نتیجه‌گیری

هنگامی که روند عملیات استخراج از معادن به پائین‌تر از سطح ایستابی آب‌های زیرزمینی منطقه ادامه پیدا می‌کند، آبکشی و پمپاژ آب در چنین معادنی، یکی از مشکلات اصلی معدنکاران است. آبکشی آب عملیاتی کاملاً فنی و ضروری محسوب می‌شود که ایمنی جبهه کار معدنی تحت شرایط مختلف هیدروژئولوژیکی را تضمین می‌کند و مشکلات موجود در عملیات استخراج ماده معدنی با طراحی و اجرای یک سیستم مناسب خشک‌اندازی کاهش خواهد یافت. یکی از راه‌هایی که برای مدیریت آبکشی معادن کاربرد گسترده‌ای دارد، تهیه مدل کامپیوتری سفره آب زیرزمینی در محدوده معدن می‌باشد. از ورودی‌های مهم هر مدل آب‌های زیرزمینی می‌توان به خواص هیدرودینامیکی سفره آب زیرزمینی یعنی مقادیر قابلیت انتقال و ضریب ذخیره اشاره نمود. هر قدر این خصوصیات هیدرودینامیکی با دقت بیشتری تعیین شوند، دقت مدل آب‌های زیرزمینی تهیه شده بیشتر خواهد شد. با توجه به اینکه استخراج مواد معدنی از معدن شماره (۱) سنگ آهن گل‌گهر هم اکنون در زیر سطح ایستابی در حال انجام است، مطالعه هیدروژئولوژیکی این قسمت از معدن مورد توجه قرار گرفت. سفره آب زیرزمینی واقع در محدوده معدن شماره (۱) از دو بخش آبرفتی و سنگی تشکیل شده است، از آنجایی که هجوم آب‌های زیرزمینی از هر دو بخش سنگی و آبرفتی مجاور گودال معدنی به داخل معدن انجام می‌شود، بررسی وضعیت جریان آب زیرزمینی و تعیین خصوصیات هیدرودینامیکی این دو بخش ضروری می‌باشد.

5-1-1- برآورد خصوصیات هیدرودینامیکی سفره آب زیرزمینی

به منظور برآورد خصوصیات هیدرودینامیکی سفره آب زیرزمینی در محدوده معدن شماره (۱) تعداد ۸۲ حلقه چاه در بخش‌های آبرفتی و سنگی حفر شده است که از این تعداد ۱۶ مورد آنها را چاههای پمپاژ تشکیل می‌دهند و بقیه موارد چاههای پیزومتری و مشاهده‌ای می‌باشند. در چاههای پمپاژ آزمایشات پمپاژ با دبی ثابت و آزمایشات افت پله‌ای انجام گردید و داده‌های مربوط به زمان و سطح آب در چاههای پمپاژ، چاههای پیزومتری و مشاهده‌ای اطرافشان بدست آمدند. برای آنالیز داده‌های آزمایش پمپاژ با دبی ثابت در بخش آبرفتی معدن از روش‌های متداول تایس (Theis 1935) و کوپر - ژاکوب (Cooper and Jacob 1946) استفاده شده است. برای بخش سنگی معدن به دلیل این که داده‌های افت - زمان الگوی سه بخشی، که بیانگر رفتار تخلخل دوگانه است، را نشان نداده‌اند برای آنالیز داده‌های آزمایش پمپاژ در این بخش همانند بخش آبرفتی از روش‌های تایس (Theis 1935) و کوپر - ژاکوب (Cooper and Jacob 1946) استفاده گردید. در مورد آزمایش پمپاژ مرحله برگشت از روش برگشت تایس (Theis recovery 1946) استفاده شده است. هم چنین در مورد آزمایش افت پله‌ای نیز، داده‌های افت - زمان حاصله توسط روش ایدن - هیزل (Eden and Hazel 1973) مورد آنالیز قرار گرفتند. جهت آنالیز داده‌ها در هر روش از نرم افزار ^{win32} Aquifer استفاده شده است. براساس نتایج بدست آمده در بخش آبرفتی، ملاحظه می‌شود که قابلیت انتقال در این بخش از $26/2$ تا 3750 متر مربع بر روز و ضریب ذخیره از 2×10^{-6} تا $5/8 \times 10^{-1}$ و در بخش سنگی سفره آب زیرزمینی، مقادیر قابلیت انتقال از $7/8$ تا 289 متر مربع بر روز و ضریب ذخیره از $8/3 \times 10^{-4}$ تا $7/2 \times 10^{-3}$ متغیر بوده‌اند. با توجه به این آنالیزها مشاهده می‌شود که مقادیر قابلیت انتقال و ضریب ذخیره در مناطق مختلف و حتی در مورد چاههای پیزومتری و مشاهده‌ای که در مجاور چاه پمپاژ خود واقع هستند نیز دارای تغییرات می‌باشند که این خود حاکی از ناهمگنی بخش‌های آبرفتی و سنگی معدن می‌باشد. یکی دیگر از راههای تشخیص ناهمگنی وجود یک خط چند شبیه در نمودار نیمه لگاریتمی کوپر - ژاکوب می‌باشد که تقریباً در تمامی داده‌ها مشاهده می‌شود. هم چنین مشکلاتی که داده‌های برگشت آزمایش پمپاژ به دلایل برگشت آب به داخل چاه بعد از خاموش شدن پمپ، شوری آب و عدم دقت در اندازه‌گیری سطح آب و تغییر بسیار زیاد دبی پمپاژ در مرحله رفت از خود نشان دادند، نتایج حاصله به جز در چند چاه تفاوت قابل

توجهی با مقادیر قابلیت انتقال مرحله رفت آزمایش پمپاژ نشان می‌دهند. نتایج آنالیز داده‌های آزمایش افت پله‌ای نیز نشان دادند که در این روش نیز به جز در چند چاه (به خاطر تغییرات در دبی، خطای در اندازه‌گیری، شرایط محیط و غیره) با مقادیر بدست آمده از روش‌های مرسوم هماهنگی خوبی را نشان می‌دهند. مقدار ضریب تغییرات قابلیت انتقال در بخش سنگی بیشتر از بخش آبرفتی منطقه می‌باشد که این عامل می‌تواند حاصل از ناهمگنی بالاتر بخش سنگی در مقابل بخش آبرفتی به دلیل سیستم درزه و شکاف و حتی عملیات آتشفشانی در معدن (به دلیل ایجاد درزه و شکافهای جدید و یا مسدود نمودن فضاهای خالی موجود) باشد.

بنابراین باید در اینجا متذکر شد که به دلیل حفاری نامناسب بعضی از چاهها، عدم توسعه مناسب بعضی از آنها، وجود شوری آب و عدم اندازه‌گیری دقیق سطح آب که خود منجر به کم شدن تعداد داده‌ها می‌شود، فعالیت بعضی از پمپهای موجود در کف معدن به منظور زهکشی آب سطحی کف گودال معدنی که بر روی آزمایشات پمپاژ و سطح آب چاههای تحت آزمایش تأثیر داشته است، انفجارهای روزانه در پله‌های گودال معدنی که سبب فعال شدن گسل‌های منطقه شده و حتی ایجاد موانع زیرزمینی (تشکیل ذرات دانه ریز در بین گسل‌ها و نفوذناپذیر شدن سطح آنها) که به تشکیل چندین سفره آب زیرزمینی در منطقه می‌انجامد، از مهمترین مشکلاتی هستند که می‌توان به آنها اشاره نمود. بنابراین این عوامل باعث شده که نتایج حاصل از بعضی آزمایشات در چاههای منطقه نتایج نامعقولی را نشان دهند.

۵-۱-۲- برآورد قابلیت انتقال در چاههای فاقد آزمایش پمپاژ

با توجه به اینکه مقادیر قابلیت انتقال در مقایسه با مقادیر ضریب ذخیره بیشتر قابل دسترس می‌باشند (Younger 1993, Jalludin and Razack 1994) و همچنین مقادیر ضریب ذخیره در مقایسه با مقادیر قابلیت انتقال، تغییرپذیری بیشتری را شامل می‌شوند (Meier et al. 1998, Vila et al. 1999, Karami 2002)، محاسبه مقادیر قابلیت انتقال از اهمیت بیشتری برخوردار می‌باشند. بنابراین با وجود تعداد زیادی چاه پیزومتری و مشاهده‌ای که در محدوده معدن شماره (۱) گل‌گهر حفاری شده است و لاگ تمامی آنها نیز موجود می‌باشد، به دلیل هزینه بالای هر آزمایش پمپاژ و همچنین قطر کم بعضی از چاههای حفاری شده امکان آزمایش پمپاژ در

تمامی آنها وجود نداشت، بنابراین آزمایش پمپاژ به تعداد اندکی از چاهها محدود شد. با استفاده از نتایج آزمایشات پمپاژ در چند چاه پمپاژ، که پراکندگی خوبی را در منطقه نشان می‌دادند، مقادیر قابلیت انتقال در هر یک از آنها محاسبه شد و با بکارگیری لاگ (ضخامت و جنس لایه‌ها) چاههای پمپاژ، استفاده از روشهای آماری و بکارگیری روش رگرسیون چند متغیره (نرم افزار آماری SPSS) بین قابلیت انتقال و ضخامت و جنس لایه‌های تشکیل دهنده سفره آب زیرزمینی (قابلیت انتقال به عنوان متغیر وابسته، ضخامت و جنس لایه‌های تشکیل دهنده به عنوان متغیر مستقل می‌باشند) معادله‌ای حاصل گردید. این معادله از یکسری ضرایب مربوط به هر لایه تشکیل شده بود که نشان می‌دهد هر چه لایه‌ها دانه درشت‌تر باشند، ضریب مربوط به آن لایه نیز بیشتر بدست می‌آید که کاملاً منطقی می‌باشد. این ضریب همان هدایت هیدرولیکی است که با واحد متر بر روز مشخص شد. برای بررسی صحت معادله بدست آمده، مقادیر قابلیت انتقال برای چند چاه پمپاژ جدید (که در معادله نقشی نداشتند) محاسبه شد و مقادیر محاسبه شده با نتایج حاصله از آنالیز داده‌های آزمایش پمپاژ مقایسه شدند. مقایسه انجام شده بیانگر این مطلب است که معادله مذکور از دقت خوبی برخوردار است. در نهایت با استفاده از این معادله و با توجه به مشخصات مربوط به ضخامت و جنس لایه‌ها در چاههای دیگر که فاقد داده آزمایش پمپاژ هستند (فقط لاگ آنها موجود است)، مقادیر قابلیت انتقال در محدوده آنها محاسبه گردید. نتایج حاصل نشان می‌دهد که مقادیر قابلیت انتقال حاصله همانطور که نتایج آزمایشات پمپاژ نیز نشان می‌داد در بخش سنگی کمتر از بخش آبرفتی می‌باشند، به جز چاههای موجود در بخش آهکی منطقه که به دلیل پدیده کارست و انحلال در آنها مقادیر بسیار بالاتری را نشان می‌دهند.

با توجه به نتایج قابلیت انتقال بدست آمده از روش‌های ارائه شده، مشخص شد که در بخش آبرفتی معدن بیشترین میزان قابلیت انتقال مربوط به قسمت‌های شرقی و جنوب غربی معدن می‌باشند، که این می‌تواند به خاطر وجود سفره‌های دانه متوسط تا دانه درشت در این محدوده‌ها باشد. علاوه بر این مجاورت پساب کارخانه با چاههای قسمت شرقی معدن و واقع شدن چاههای جنوب غربی در خروجی حوضه بر روی خصوصیات هیدرودینامیکی سفره مؤثر بوده باشد. هم چنین در بخش سنگی معدن نیز نشان می‌دهد که بیشترین مقدار قابلیت انتقال مربوط به قسمت جنوب غربی و کمترین میزان آن در محدوده گودال معدنی می‌باشد، که این افزایش میزان قابلیت انتقال در قسمت جنوب غربی به دلیل

وجود سنگ‌های آهکی و درزه و شکافدار (به دلیل پدیده کارستی شدن) در مقابل با سنگ‌های دگرگونی (شیست‌ها و گنیس‌ها) و مگنتیت در دیگر نقاط محدوده معدن که میزان قابلیت انتقال پائینی دارند، باشد.

۵-۱-۳- بررسی اثر مدت زمان آزمایش پمپاژ بر خصوصیات هیدرودینامیکی

نتایج حاصل از ترسیم نمودارهای مربوط به تغییرات قابلیت انتقال و ضریب ذخیره با زمان در چاه‌های تحت آزمایش پمپاژ نشان داد که مقادیر قابلیت انتقال و ضریب ذخیره در مدت زمان‌های مختلف آزمایش پمپاژ کم و بیش تغییراتی را شامل می‌شوند که این تغییرات در مناطق مختلف یکسان نیستند. هم‌چنین در مناطقی که علاوه بر چاه پمپاژ شامل چند چاه مشاهده‌ای می‌شوند، مقادیر قابلیت انتقال و ضریب ذخیره برای مواردی که مدت آزمایش پمپاژ طولانی اختیار می‌شود یک همگرایی قابل ملاحظه‌ای را نشان می‌دهند. دلیل این همگرایی این است که در مواردی که مدت زمان آزمایش پمپاژ طولانی انتخاب شود، مقادیر قابلیت انتقال و ضریب ذخیره خصوصیات لایه آبدار را برای کل مخروط افت منعکس می‌نمایند. در مواردی که مدت زمان آزمایش پمپاژ کوتاه انتخاب شود، مقادیر قابلیت انتقال و ضریب ذخیره خصوصیات لایه آبدار را برای محدوده اطراف هر چاه نشان می‌دهند.

۵-۱-۴- بررسی درجه ناهمگنی سفره آب زیرزمینی

مقادیر مربوط به درجه ناهمگنی در هر چاه تحت آزمایش پمپاژ با استفاده از تغییرات قابلیت انتقال نسبت به زمان محاسبه گردید. نتایج نشان داد که مقادیر مربوط به درجه ناهمگنی در محدوده‌ای از مقادیر $\frac{2}{3}$ الی $\frac{11}{9}$ درصد در بخش آبرفتی و از $\frac{3}{7}$ الی $\frac{7}{5}$ درصد در بخش سنگی معدن متغیر بوده‌اند و این نتایج بیانگر ناهمگنی بخش‌های آبرفتی و سنگی منطقه می‌باشد. براساس تقسیم بندی درجه ناهمگنی (Karami 2002)، درجه ناهمگنی در بخش‌های آبرفتی و سنگی منطقه از خیلی کم تا متوسط متغیر است.

۵-۱-۵- نتایج حاصل از آنالیز داده‌های کیفی در حین آزمایش پمپاژ

به منظور بررسی تغییرات زمانی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی آب در حین آزمایش پمپاژ مقادیر هدایت الکتریکی، pH و درجه حرارت آب در حین انجام آزمایش پمپاژ اندازه‌گیری شدند. نتایج بدست آمده از اندازه‌گیری هدایت الکتریکی چاههای پمپاژ نشان داد که در اکثر موارد به جز چاه پمپاژ A21 با افزایش میزان افت سطح آب مقدار هدایت الکتریکی افزایش پیدا می‌کند، این عامل می‌تواند حاکی از وجود سفره‌های با شوری بالا در اعماق محدوده معدن باشد که با افزایش عمق میزان شوری افزایش پیدا می‌کند. به دلیل تغییرات زیاد هدایت الکتریکی خطای اندازه‌گیری در محاسبه میزان آن تأثیر نداشته است. هم چنین شرایط محیطی (دما و فاصله زمانی بین نمونه‌گیری و اندازه‌گیری) به طور محسوس بر روی هدایت الکتریکی مؤثر نخواهد بود.

نتایج بدست آمده از اندازه‌گیری مقادیر pH در اکثر موارد تغییرات نسبتاً اندک آن را نشان می‌دهد (به جز چاه پمپاژ B11 که در بخش سنگی واقع است و روند کاهشی در pH دارد و چاه پمپاژ A4 که افت زیاد آن که ناشی از میزان قابلیت انتقال پائین در این چاه است، تغییرات بیشتری را نسبت به دیگر چاهها نشان می‌دهد) و تغییرات اندک آن در اثر خروج گاز (بخصوص گاز CO₂) و خطای حاصل از اندازه‌گیری (اندازه‌گیری توسط افراد مختلف و در ساعات مختلف شبانه روز) می‌باشند. هم چنین چاههایی که در قسمت شرقی گودال معدنی واقع شده‌اند تغییرات pH کمی دارند، در حالی که چاههای قسمت جنوب، جنوب غربی و شمال شرقی به طور کلی تغییرات بیشتری را در pH آب نشان می‌دهند. باید در اینجا یادآور شد که pH آب در تمامی چاهها در حد خنثی و کمی بالاتر از آن به سمت قلیایی شدن است. مقادیر بالاتر pH در چاههای جنوب غربی معدن می‌تواند به دلیل وجود تشکیلات آهکی آن قسمت از معدن باشد در حالی که قسمت شرقی به علت عدم وجود تشکیلات آهکی مقادیر pH پائین‌تر را نشان می‌دهد.

نتایج بدست آمده از درجه حرارت آب، تغییرات اندک در بعضی از چاهها را نشان می‌دهد که در عین حال روند خاصی را شامل نمی‌شوند. خطای ناشی از اندازه‌گیری درجه حرارت توسط افراد مختلف، اندازه‌گیری در ساعات مختلف شبانه روز و فاصله زمانی بین نمونه برداری و اندازه‌گیری آن از عواملی می‌باشند که باعث تغییرات اندک درجه حرارت شده‌اند. هم چنین درجه حرارت آب در چاههایی که

در بخش سنگی حفاری شده‌اند و یا تحت تأثیر بخش سنگی (به دلیل حفاری بخشی از چاه در سنگ) هستند در مقایسه با چاههای بخش آبرفتی تغییرات بیشتری را شامل می‌شوند.

۵-۲- پیشنهادات

با توجه به تجربه‌ای که در این تحقیق حاصل شده است و مشکلات و محدودیت‌هایی که در حین کار و تجزیه و تحلیل داده‌ها بدست آمده، پیشنهادات زیر ارائه می‌شوند:

در طول آزمایش پمپاژ دبی ثابت نگه داشته شود، یا دبی پمپاژ به طور دقیق در طول آزمایش پمپاژ اندازه‌گیری شود تا بتوان با استفاده از این اندازه‌گیری‌ها داده‌های آزمایش پمپاژ را از نظر تغییرات دبی پمپاژ تصحیح نمود.

با توجه به اینکه تراوشات موجود در دیواره‌های داخل گودال معدنی به این صورت است که قسمت‌های شمال و غرب معدن از بخش سنگی و قسمت‌های شرق و جنوب از بخش آبرفتی تأمین می‌شوند و هم چنین براساس مقادیر قابلیت انتقال محاسبه شده در محدوده معدن شماره (۱)، بهتر است که سعی شود چاههای موجود در قسمت‌های شرق و جنوب را فعال نموده و از ورود آب به گودال معدنی جلوگیری شود.

به دلیل آنکه گسل‌های محدوده معدن (بالاخص گسل‌های داخل گودال معدنی) بسیار فراوان می‌باشند و بعضی از این گسل‌ها می‌توانند به عنوان مانع جریان عمل کنند، بنابراین بهتر این بود که چاههای مشاهده‌ای که برای بعضی از چاههای پمپاژ به کار برده می‌شد در نزدیکی خود چاه پمپاژ بوده باشند (حداقل فاصله) تا هم تحت تأثیر عوامل مختلفی بخصوص آبکشی توسط پمپ‌های دیگر قرار نگرفته (پمپ‌های سطحی) و هم داده‌های دقیق‌تر و کاملتری را ارائه نمایند.

از آنجایی که عمق سنج‌های جدید دارای یک سوند بوده و الکتروود منفی و مثبت آنها کنار هم قرار دارند و به محض رسیدن به سطح آب جریان برق ایجاد شده و عمق سطح آب را به ما نشان می‌دهند، با وجود شوری زیاد آب در چاه‌های تحت آزمایش پمپاژ در حین اندازه‌گیری سطح آب به دلیل چسبیدن آب شور به سوند خطاهایی ایجاد می‌شود (باعث ایجاد بوق ممتد می‌شود) و حتی عمق سنج را برای مدتی از کار می‌اندازد، بنابراین بهتر این بود که از همان عمق سنج‌های قدیمی که الکتروود منفی آنها در سر چاه قرار داشته و الکتروود مثبت آنها به داخل چاه فرستاده می‌شود، استفاده می‌شد.

تمرکز پساب کارخانه موجود در محدوده اطراف معدن شماره (۱) گل‌گهر (قسمت شرق) باعث برگشت مجدد آب به محدوده معدن می‌شود، باید هر چه سریعتر نسبت به انتقال آن به خارج از محدوده معدن اقدام لازم صورت گیرد تا با این کار میزان ورود آب به سفره را به حداقل برسانیم.

سیستم آبکشی قدیمی است و باید به طور همزمان چند چاه داخل و خارج از معدن عمل آبکشی را انجام داده و محدود به آب سطحی نشوند. آب پمپاژ شده را تا فاصله دورتری از معدن انتقال داده و برگشت آب به سفره را به حداقل برسانیم، لازم به توضیح است که با توجه به اینکه آب چاه‌های پمپاژ (PW41 و A4) به حوضچه شمالی و آب‌های سطحی داخل گودال معدنی به حوضچه جنوبی وارد می‌شوند نشت آب از آنها (به دلیل سیمانی بودن حوضچه شمالی و بخشی از حوضچه جنوبی) باعث ورود مجدد آب به سفره آب زیرزمینی می‌شود.

منابع مورد استفاده

پورخاک، ف. ۱۳۸۲. پاراژنز، پتروژنز و پتروشیمی کانسار سنگ آهن گل‌گهر آنومالی شماره (۳)، پایان نامه کارشناسی ارشد اقتصادی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، ۱۷۷ صفحه.

جعفری، ه. ۱۳۸۲. بررسی تکامل هیدروشیمیایی منابع آب سازند سخت شیرکوه، یزد، پایان نامه کارشناسی ارشد آبشناسی، دانشگاه شیراز، ۲۱۹ صفحه.

حلاجی، ا. ۱۳۷۰. مطالعه کانی‌شناسی عناصر کمیاب و منشاء کانسار آهن گل‌گهر، پایان نامه کارشناسی ارشد اقتصادی، دانشگاه تربیت معلم تهران، ۱۸۲ صفحه.

حلاجی، ا. ۱۳۸۴. زمین‌ساخت و تکتونیک منطقه گل‌گهر، گزارش داخلی، ۲۵ صفحه.

رادفر، ش. ۱۳۷۳. گزارش مطالعات فاز یک طرح زهکشی معدن گل‌گهر، ۲۰۵ صفحه.

رجائیان، ف. و حلاجی، ا. ۱۳۷۰. بررسی آماری گسل‌های ژئوفیزیکی منطقه گل‌گهر براساس گزارشات Aerosevic، ۱۵۵ صفحه.

زارعی، م. ۱۳۸۴. برآورد ضریب تراوایی معادل سازندهای سخت درزه و شکافدار با استفاده از مدل شبکه درزه‌های مجزا، پایان نامه کارشناسی ارشد آبشناسی، دانشگاه شیراز، ۲۲۳ صفحه.

صداقت، م. ۱۳۷۸. زمین و منابع آب، انتشارات دانشگاه پیام نور، ۳۶۸ صفحه.

کرمی، غ. ۱۳۸۴. برآورد مؤلفه‌های افت با استفاده از آزمایش پمپاژ با دبی ثابت. مجله علوم و فنون دانشگاه صنعتی شاهرود، شماره ۲، صفحات ۱-۶.

کرمی، غ. ۱۳۸۴. ارزیابی جریان آب زیرزمینی در معادن، مجله علوم و فنون دانشگاه صنعتی شاهرود، شماره‌های ششم و هفتم، صفحات ۱۱-۱۷.

کرمی، غ. ۱۳۸۵. انتخاب روش مناسب برای تحلیل داده‌های آزمایش پمپاژ در سفره‌های کارستی، فصلنامه علمی - پژوهشی علوم زمین، سال پانزدهم، شماره ۵۹، صفحات ۵۰ - ۵۵.

مدنی، ح. ۱۳۷۴. آبکشی و آبرسانی در معادن، انتشارات دانشگاه صنعتی امیر کبیر، ۵۵۰ صفحه.

مهدیان، م. ح. ۱۳۷۱. ترجمه کتاب روشهای تعیین ضرائب سفره آب‌ها براساس اطلاعات حاصل از پمپاژ، نوشته بارفسکی، ب.؛ سامسونف، ب. و یازوین، ل.، مرکز انتشارات صنعت فولاد، ۳۴۲ صفحه.

مهندسين مشاور کوشا معدن. ۱۳۸۴. گزارش میان کار مدل آبهای زیرزمینی معدن سنگ آهن گل‌گهر، گزارش داخلی، ۴۰ صفحه.

Banks, D., and Robins, N. 2002. An introduction to groundwater in crystalline bedrock, Norges geologiske undersokelse, Geological Survey of Norway, 63 p.

Barenblatt, G.E., Zheltov, I.P., and Kochina, I.N. 1960. Basic concepts in the theory of seepage of homogeneous liquids in fissured rocks. *Journal of Applied Mathematics and Mechanics*, 24:1286-1303.

Biggs, A.J.W., and Power, R.E. 2002. A review of salinity occurrences in the Queensland Murray-Darling Basin, *Natural Resources and Mines*, 43 p.

Borgne, L.T., Bour, O., Paillet, F.L., and Caudal, J.P. 2006. Assessment of preferential flow path connectivity and hydraulic properties at single – borehole and cross – borehole scales in a fractured aquifer. *Journal of Hydrology*, 328:347-359.

Brown, D. 1998. An investigation into the controls on groundwater flow at increasing scales in the carboniferous limestone of Middlebarrow Quarry, S. Cumbria, U.K. Univ. of Lancaster, Lancaster.

Castany, G. 1984. Determination of aquifer characteristics, studies and reports in hydrology: Guide to the hydrology of carbonate rocks. UNESCO, Paris, pp. 210-237.

- Cooper, H.H., and Jacob, C.E. 1946. A generalised graphical method for evaluating formation constants and summarising well field history. *American Geophysics Union Transactions*, 27:526-534.
- Dillon, P., Pavelic, P., Wright, M., Peter, P., and Nefiodovas, A. 2001. Small-scale heterogeneity and anisotropy of a confined carbonate aquifer from triaxial tests on core samples, *New Approaches Characterising Groundwater Flow*. Swets and Zeitlinger Lisse, pp. 815-819.
- Eden, R.N., and Hazel, C.P. 1973. Computer and graphical analysis of variable discharge pumping test of wells. *Inst. Engrs. Australia, Civil Eng. Trans.*, pp. 5-10.
- Ford, D.C., and Williams, P.W. 1989. *Karst geomorphology and hydrology*. Chapman and Hall, London.
- Freeze, F.A. and Cherry, J.A. 1979. *Groundwater*, Prentice-Hall, Inc., 604 p.
- Gabrovsek, F. 2000. Evolution of early karst aquifers: from simple principles to complex models. Ljubljana: Založba ZRC (ZRC SAZU), 150 p.
- Gburek, W.J., Folmar, G.H., and Urban, J.B. 1998. Field data and ground water modeling in a layered fractured aquifer. *Ground Water*, 37:175-184.
- Goode, D.J., Senior, L.A., and Amantia, A. 1997. Aquifer tests and regional ground-water flow in fractured Triassic rock, Lansdale, Pennsylvania, (abs.), *GSA Abstracts with Programs*, 29 (1), 49 p.
- Gotkowitz, M.B., Simo, J.A., and Schreiber, M. 2003. Geologic and geochemical controls on arsenic in groundwater in Northeastern Wisconsin, A final report prepared for the Wisconsin Department of Natural Resources, 60 p.
- Gue, H., and Wang, Y. 2004. Hydrogeochemical processes in shallow quaternary aquifers from the northern part of the Datong Basin, China. *Applied Geochemistry*, 19: 19-27
- Halihan, T., Sharp, J.M., and Mace, R.E. 1999. Interpreting flow using permeability at multiple scales. *Karst Modelling*, pp. 82-96.
- Halihan, T., Sharp, J.M., and Robert, E.M. 2000. Flow in the San Antonio segment of the Edwards aquifer: matrix, fractures, or conduits? *Groundwater flow and contaminant transport in carbonate aquifers*, Balkema, A.A., Rotterdam, Netherlands.
- Hampson, P., Treece, M.W., Gregory, Jr., Johnson, C., Ahlstedt, S.A., and Connell, J.F. 2000. Water quality in the Upper Tennessee River Basin, Tennessee, North Carolina, Virginia, and Georgia 1994-98, *U. S. Geological Survey Water-Supply*, 32 p.
- Heilweil, V.M., and Hsieh, P.A. 2006. Determining anisotropic transmissivity using a simplified Papadopulos Method, *National Groundwater Association*, 44 (5), 749 p.

Jalludin, M., and Razack, M. 1994. Analysis of pumping tests, with regard to tectonics, hydrothermal effects and weathering, for fractured Dalha and stratiform basalts, Republic of Djibouti. *Journal of Hydrology*, 155:237-250.

Jones, W.K. 1999. Pumping tests of wells at the national training centre near Shepherdstown. *Karst Modelling*, West Virginia, pp. 259-261.

Kamra, S.K., Lal, K., Singh, O.P., and Boonstra, J. 2002. Effect of pumping on temporal changes in groundwater quality, *Agricultural Water Management*, 56: 169-178.

Karami, G.H. 2002. Assessment of heterogeneity and flow systems in karstic aquifers using pumping test data, PhD. Thesis, Univ. of Newcastle, Newcastle upon Tyne, U.K., 183 p.

Karami, G.H., and Younger, P. 2002. Analysing step – drawdown tests in heterogeneous aquifers. *Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology*, 35: 295-303

Karami, G.H., and Younger, P. 2003. A novel approach to the assessment of flow type in karst aquifers by evaluation of conventional test – pumping data, *Groundwater in Fractured Rocks*, pp. 71-72.

Krajewsky, S. 1996. Distribution of hydrogeological properties in fissured and fractured carbonate formations, *Proceedings of international conference on karst-fractured aquifers – vulnerability and sustainability*, Katowice-Ustron, Poland, pp. 83-95.

Krasny, J. 1996. Scale effect in transmissivity data distribution. *Acta University Carolinae, Geologica*, 40:123-133.

Kruseman, G.P., and de-Ridder, N.A. 1994. Analysis and evaluation of pumping test data, 2nd edition, ILRI Publication, International Institute for Reclamation and Development, Wagening, The Netherlands, 377 p.

Lane, J., Williams, J., Johnson, C., and Haeni, P. 2001. Application of a geophysical “tool-box” approach to characterization of fractured-rock aquifers-a case study from Norwalk, Connecticut, U.S. Geological Survey Water-Supply, Office of Groundwater Branch of Geophysics, 25 p.

Larsson, I. 1984. *Groundwater in hard rock*, Unesco.

Low, D.J., and Dugas, D.L. 1999. Summary of hydrogeologic and groundwater quality data and hydrogeologic framework at selected well sites, Adams county, Pensilvania, Water Resources investigations, Report 99-4108: 1-94.

Meast, A.D., Nordstrom, K., and LoVetere, s. 2004. Questa baseline and pre-mining groundwater quality for the red river valley, New Mexico, 1965 to 2001, U.S. Geological Survey Water - Supply, Prepared in cooperation with the New Mexico Environment Department, 150 p.

Meier, P.M., Carrera, J., and Vila, S.X. 1998. An evaluation of Jacob's method for the interpretation of pumping tests in heterogeneous formations, *Journal of Hydrology*, 51:1011-1025.

Memon, B.A., Patton, A.F., and Wallace, M.P. 1999. Control of naturally occurring brine springs and seeps in an evaporate Karst setting, *Engineering Geology*, 52: 83-91.

Michalski, A., and Britton, R. 1997. The role of bedding fractures in the hydrogeology of sedimentary bedrock- evidence from the Newark Basin, New Jersey. *Ground Water*, 35:318-327.

Miller, W. 2002. Influence of rock composition on the geochemistry of stream and spring waters from Mountainous Watersheds in the Gunnison, Uncompahgre, and Grand Mesa National Forests, Colorado, U.S. Geological Survey Water-Supply, 52 p.

Missimer, T.M. 1994. Groundwater as a feed water source for membrane treatment plants: hydrogeologic controls on water quality variation with time, *Desalination* 98: 451-457.

Moench, A.F. 1984. Double-porosity models for a fissured groundwater reservoir with fracture skin. *Water Resour. Res.*, 20:831-846.

Nasstev, M., Savard, M.M., Lefebvre, R., Martel, R., Fagnan, N., Bourque, E., Hamel, A., Karanta, G., and Lemieux, J. M. 2001. Regional hydrogeological mapping project of the St. Lawrence Lowlands of southwestern Quebec: hydrogeological characterization work 1999-2000, Natural Resources Canada, 34 p.

Ohman, J. 2005. Upscaling of flow, transport, and stress-effects in fractured rock, Uppsala University, Interfaculty Units, Acta Universitatis Upsaliensis.

Panabokke, C.R., and perera, A.P. 2005. Groundwater resources of Sri Lanka, Water Resources Board 2A, Sri Lanka, 28 p.

Ramasesha, C.S., Shetty, G.Y., and Ashanmugana, S.S. 2003. Optimisation of aquifer parameters in the fractured rock aquifer system using numerical groundwater model. *Groundwater in Fractured Rocks*, pp. 285-286

Ramasesha, C.S., Saivasan, V., and Ars, A.K. 2003. Remote sensing and geophysical applications for identification of deep seated potential aquifers in Precambrian crystalline formation: Case study in Bellary district – Karnataka, India. *Groundwater in Fractured Rocks*, pp. 283-284.

Ranjan, P., Kazama, S., and Sawamoto, M. 2006. Effect of climate change on coastal fresh groundwater resources, *Global Environmental Change*, 16: 388-399.

Razack, M., and Lasm, T. 2005. Geostatistical estimation of the transmissivity in a highly fractured metamorphic and crystalline aquifer (Man – Danane Region, Western Ivory Coast). *Journal of Hydrology*, xx: 1-15.

Samani, N., and Pasandi, M. 2001. Derivative – assisted evaluation of a heterogeneous aquifer. *New Approaches Characterizing Groundwater Flow*. Seiler and Wohnlich (eds), pp. 395-399.

Sauter, M. 1991. Assessment of hydraulic conductivity in a karst aquifer at local and regional scale, *Third Conference on Hydrogeology, Ecology, Monitoring, and Management of Ground Water in Karst Terranes*. National Ground Water Association, Dublin, Ohio, pp. 39-57.

Senior, L.A., and Goode, D.J. 1999. Ground-water system, estimation of aquifer hydraulic properties, and effects of pumping on ground-water flow in Triassic sedimentary rocks in and near Lansdale, Pennsylvania: U.S. Geological Survey Water-Resources Investigations, Report 99-4228: 1-112.

Shapiro, A.M. 2001. Characterizing fractured rock: hydrogeologic conceptual models of ground-water flow and the influence of problem scale, U. S. Geological Survey Water-Resources, 35 p.

Singhal, B.S., and Gupta, R.P. 1999. *Applied hydrogeology of fractured rocks*. Kluwer Academic Publisher.

Stumm, F., Chu, A., and Lange, A.D. 2001. Use of advanced borehole geophysical techniques to delineate fractured-rock ground-water flow, faults, foliation, and fractures along the Western Part of Manhattan, New York, U.S. Geological Survey Water – Supply, Water-Resources Investigations, Report 00-4560: 1-28.

Stumm, F., Chu, A., Lange, A.D., Paillet, F.L., Williams, J.H., and Lane, J.W. 2001. Use of advanced borehole geophysical techniques to delineate fractured-rock ground-water flow and fractures along water-tunnel facilities in Northern Queens County, New York, U.S. Geological Survey Water - Supply, Water-Resources Investigations, Report 00-4276: 1-35.

Theis, C.V. 1935. The relation between the lowering of the piezometric surface and the rate and duration of discharge of a well using groundwater storage. *Transactions of American Geophysical Union*, 16:519-524.

Todd, D.K. 1980. *Groundwater hydrology*, 2nd edition. John Wiley and sons, New York, 535 p.

Todd, D.K., and Mays, L.W. 2005. *Groundwater Hydrology*. University of California, John Wiley and Sons, Inc, 636 p.

Vasvari, V., and Kriegl, C. 2003. Determination of hydraulic properties in fractured aquifers in Austria. *Groundwater in Fractured Rocks*, pp. 109-110.

Vila, S.X., Meier, P.M., and Carrera, J. 1999. Pumping test in heterogeneous aquifers: an analytical study of what can be obtained from their interpretation using Jacob's method. *Water Resour. Res.*, 35:943-952.

Walton, W.C. 1987. *Groundwater pumping tests*. Lewis Publishers, Inc., U.S.A.

Wehmann, A., Smart, W., Menary, S., Hylan, J., and Childress, S. 1997. Groundwater protection for the NuMI project, Universities Research Association Inc. the United States Department of Energy, Fermi National Accelerator Laboratory.

Whitaker, F.F., and Smart, P.L. 2000. Characterising scale-dependance of hydraulic conductivity in carbonates: evidence from Bahamas. *Journal of Geochemical Exploration*, 69-70:133-137.

Worthington, S.R.H. 1999. A comprehensive strategy for understanding flow in carbonate aquifers, *Karst Modelling*, West Virginia, pp. 259-261.

WWW.rockware.com/cgi-bin/downloads (Aquifer^{win32})/start.pl.

Younger, P.L. 1993. Simple generalised methods for estimating aquifer storage parameters. *Quarterly Journal of Engineering Geology*, 26:127-135.

Zuber, A., and Motyka, J. 1996. Hydraulic conductivity and solute transport parameters of karstic-fractured-porous aquifers. *International conference on karst-fractured aquifers – vulnerability and sustainability*, Katowice-Ustron, Poland, pp. 282-289.

پیوست ۱

مقالات کنفرانسی گرفته شده از پایان نامه

حسینی سبزواری، س. م.؛ کرمی، غ.؛ زارع، م. و سیاوش حقیقی، م. ۱۳۸۵. برآورد ناهمگنی در سفره آب زیرزمینی معدن گل‌گهر، با استفاده از داده‌های پمپاژ، دهمین همایش انجمن زمین شناسی ایران، دانشگاه تربیت مدرس تهران.

حسینی سبزواری، س. م.؛ کرمی، غ.؛ کریمی نسب، س. و مکنونی، س. ۱۳۸۵. بررسی خواص هیدرودینامیکی سفره‌های آب زیرزمینی در آنومالی شماره (۱) معدن گل‌گهر، پنجمین کنفرانس ملی دانشجویی مهندسی معدن، دانشگاه صنعتی اصفهان.

حسینی سبزواری، س. م.؛ کرمی، غ.؛ زارع، م. و کریمی نسب، س. ۱۳۸۵. برآورد قابلیت انتقال با استفاده از داده‌های پمپاژ و لاگ چاه‌ها، بیست و پنجمین گردهمایی علوم زمین، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی ایران.

حسینی سبزواری، س. م.؛ کرمی، غ.؛ زارع، م. و کریمی نسب، س. ۱۳۸۶. مناسبترین روش‌های آنالیز داده‌های آزمایش پمپاژ در سفره آب زیرزمینی محدوده معدن شماره (۱) گل‌گهر، یازدهمین همایش انجمن زمین شناسی ایران، دانشگاه فردوسی مشهد.

حسینی سبزواری، س. م.؛ کرمی، غ.؛ زارع، م. و کریمی نسب، س. ۱۳۸۶. بررسی تغییرات کیفی آب در حین آزمایش پمپاژ در محدوده معدن شماره (۱) گل‌گهر، دومین کنفرانس مهندسی معدن، دانشگاه صنعتی شاهرود (در حال داوری).

کرمی، غ.؛ کریمی نسب، س.؛ زارع، م. و حسینی سبزواری، س. م. ۱۳۸۶. مناسبترین روش‌های جهت آنالیز داده‌های آزمایش پمپاژ در محدوده معدن شماره (۱) گل‌گهر، دومین کنفرانس مهندسی معدن، دانشگاه صنعتی شاهرود (در حال داوری).

Abstract

One of the important problems in most mines is groundwater inflow towards the pit which makes a number of difficulties regarding to the extraction. Anomali No.1 of Gole Gohar mine iron of Sirjan which is presently extracted at the 65 m below the water table includes the above-mentioned problem. To investigate the hydrogeological characteristics of the aquifer in this mine, the 82 pumping, piezometers and observation boreholes were dug inside and around the pit since the late 2004. The pumping test data obtained analyzed using Aquifer ^{WIN32} software and the aquifer parameters were assessed in both rock and alluvial portions. The obtained results show that the values of transmissivities for alluvial part are greater than those of rock part (exception for wells which dug in limestones). According to the values of transmissivity obtained for different pumping periods, the degree of heterogeneity was computed for different boreholes. The results show that, the degree of the heterogeneity in both rock and alluvial parts of the aquifer is relatively high. Despite of numerous piezometers and observation wells in the site with their exact drilling logs, pumping tests were performed in the 16 wells. In this study, based on values of transmissivities obtained by analyzing pumping test data and the thickness of layers existing in the aquifer a relation was found. Then this equation was used to evaluate the transmissivity for piezometers and observation wells which includes drilling logs. In addition, in some pumping wells, electric conductivity, pH and water temperature were measured. The results obtained illustrate that electric conductivity increases considerably with time in all pumping boreholes. This is because the groundwater in the deeper parts of aquifer has more salinity and its contribution to the water pumped increase with falling the water level in the pumping well area. The values of pH approximately remain constant during the pumping tests. The little variability in pH was due to, gas emission, measurement errors caused by various people in various times. Water temperature show any trend of time and it depends on atmospheric temperature and accuracy of did not the measurements.

Key words: Gole Gohar mine iron, pumping test, aquifer, degree of heterogeneity, drilling log.



Shahrood University of Technology

Faculty of Earth Sciences
Master of Science
In
Hydrogeology

Subject:

**Evaluating the hydrogeological characteristics of
aquifer in the Gole Gohar mine, Sirjan**

By:

Seiied Mohammad Hosseini Sabzevari

Supervisor:

Dr. G.H. Karami

Advisors:

Dr. M. Zare

Dr. S. Karimi Nasab

Spring 2007