

راهنمای پمپاژ و برداشت مجاز از مخازن آب در سازندهای سخت

به نام خدا
جمهوری اسلامی ایران
وزارت نیرو
شرکت مدیریت منابع آب ایران
معاونت پژوهش و مطالعات پایه
دفتر استانداردها و معیارهای فنی

راهنمای پمپاژ و برداشت مجاز از مخازن آب در سازندهای سخت

پیش‌گفتار

امروزه نقش و اهمیت ضوابط، معیارها و استانداردها و آثار اقتصادی ناشی از به کارگیری مناسب و مستمر آنها در پیشرفت جوامع، تهیه و کاربرد آنها را ضروری و اجتناب ناپذیر ساخته است. نظر به وسعت دامنه علوم و فنون در جهان امروز، تهیه ضوابط، معیارها و استانداردها در هر زمینه به مجامع فنی - تخصصی واگذار شده است.

با در نظر گرفتن مراتب فوق و با توجه به شرایط اقلیمی و محدودیت منابع آب در ایران، تهیه استاندارد در بخش آب از اهمیت ویژه‌ای برخوردار بوده و از این رو دفتر استانداردها و معیارهای فنی شرکت مدیریت منابع آب ایران در جهت نیل به این هدف، با مشخص نمودن رشته‌های اصلی مهندسی آب اقدام به تشکیل مجامع علمی - تخصصی با عنوان کمیته‌های تخصصی نموده که نظارت بر تهیه این استانداردها را به عهده دارند.

استانداردهای مهندسی آب با در نظر داشتن موارد زیر تهیه و تدوین می‌گردد :

- استفاده از تخصص و تجارب کارشناسان و صاحب‌نظران شاغل در بخش عمومی و خصوصی
- استفاده از منابع و مأخذ معتبر و استانداردهای بین‌المللی
- بهره‌گیری از تجارب دستگاه‌های اجرایی، سازمان‌ها، نهادها، واحدهای صنعتی، واحدهای مطالعه، طراحی و ساخت
- ایجاد هماهنگی در مراحل تهیه، اجرا، بهره‌برداری و ارزشیابی طرح‌ها
- پرهیز از دوباره کاری‌ها و اتلاف منابع مالی و غیرمالی کشور
- توجه به اصول و موازین مورد عمل مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران و سایر مؤسسات معتبر تهیه‌کننده استاندارد

آگاهی از نظرات کارشناسان و صاحب‌نظرانی که فعالیت آنها به نوعی در ارتباط با تهیه استانداردهای مهندسی آب می‌باشد موجب امتنان خواهد بود.

ترکیب اعضای کمیته

فصل اول این راهنما توسط آقای محمدحسین رشیدی و فصل دوم آن توسط آقایان محمدحسین رشیدی و منوچهر یوسفی در چارچوب فعالیتهای کمیته کارست و سازندهای سخت مرکز تحقیقات منابع آب (تماب) (۱۳۷۶ - ۱۳۶۶) تهیه شده است که متعاقباً در کمیته آبهای زیرزمینی طرح تهیه استانداردهای مهندسی آب کشور مورد بررسی قرار گرفته است.

اسامی اعضای کمیته آبهای زیرزمینی به شرح زیر است:

دکترای آب و خاک	سازمان برنامه و بودجه	آقای رحیم اتحاد
فوق لیسانس زمین شناسی	طرح تهیه استانداردهای مهندسی آب کشور	خانم فیروزه امامی
فوق لیسانس زمین شناسی	کارشناس آزاد	آقای محمدحسین رشیدی
فوق لیسانس زمین شناسی و آب شناسی	دانشگاه پیام نور	آقای محمود صداقت
فوق لیسانس آبهای زیرزمینی	مرکز تحقیقات منابع آب (تماب)	آقای بیژن مهرسا

فهرست مطالب

صفحه	عنوان
۱	مقدمه
۲	۱- راهنمای انجام عملیات پمپاژ در چاههای آهکی
۲	۱-۱ انواع منابع آب کارستی
۲	۲-۱ روش آزمایش پمپاژ در چاههای آهکی
۲	۱-۲-۱ مقدمات آزمایش
۳	۲-۲-۱ توسعه و شستشوی چاه
۴	۳-۲-۱ آزمایشهای پمپاژ
۱۱	۲- راهنمای برآورد برداشت مجاز از مخزنهای آب آهکی به وسیله آزمایش پمپاژ درازمدت چاهها
۱۱	۱-۲ مقایسه آبخوانهای آبرفتی و سنگی
۱۱	۲-۲ ویژگیهای محیطهای سنگی
۱۲	۳-۲ بررسی منابع آب در سازندهای سخت
۱۳	۴-۲ برآورد بده مجاز بهره‌برداری از چاههای آهکی
۱۳	۱-۴-۲ مشخصات آبخوان در سازندهای سخت
۱۴	۲-۴-۲ طبقه‌بندی آبخوانها در سازندهای سخت
۱۵	۳-۴-۲ برآورد بده مجاز چاههایی که در آبخوانهای لایه‌ای حفر می‌شوند
۱۵	۵-۲ نتیجه‌های بررسی آزمایش طولانی مدت چاهها در چند مورد خاص
۱۵	۱-۵-۲ چاه اکتشافی کشار
۱۶	۲-۵-۲ چاه اکتشافی لاورکال
۱۷	۳-۵-۲ چاههای اکتشافی و مغزه‌گیری شیروان
۲۱	۶-۲ روش انجام آزمایش و چگونگی محاسبه بده مجاز
۲۱	۱-۶-۲ آزمایش افت - جبران متناوب
۲۲	۲-۶-۲ آزمایش افت و جبران
۲۲	۳-۶-۲ برآورد بده مجاز چاه اکتشافی کشار
۲۵	۴-۶-۲ برآورد بده مجاز چاه اکتشافی لاورکال
۲۵	۵-۶-۲ برآورد بده مجاز چاههای اکتشافی شیروان
۳۰	منابع و ماخذ

مقدمه

آزمایش پمپاژ در چاههای آبرفتی، اغلب برای رسیدن به دو هدف اصلی انجام می‌گیرد:

نخست: تعیین مشخصات هیدرولیکی چاه مانند آدهی مجاز، آدهی ویژه ($\frac{Q}{s}$)، آدهی بحرانی و در نتیجه انتخاب موتور

پمپ مناسب برای بهره‌برداری از چاه، و

دوم: تعیین ویژگیهای هیدرولیکی آبخوان، که با اندازه‌گیری تغییرات سطح آب در چاه مورد پمپاژ و چاههای مجاور و به

کمک فرمولهایی که برای تعبیر و تفسیر اطلاعات پمپاژ وجود دارد، انجام می‌گیرد.

با آزمایش پمپاژ در چاههای آهکی، می‌توان به هدف اول رسید. کاربرد این روشها در سازندهای سخت، برای دستیابی به

هدف دوم کافی نیست و این، به علت یکنواخت نبودن درزها و شکافها، تغییرات زیاد تخلخل و هدایت هیدرولیکی در جهت‌های

مختلف توده سنگ است. به همین دلیل، تاکنون روش مشخصی برای آزمایش پمپاژ در سازندهای سخت به منظور محاسبه

ضرایب هیدرودینامیک پیشنهاد نشده و به نظر نمی‌رسد که بتوان روابط ریاضی مشخصی را برای تعیین این ضرایب به دست

آورد.

البته پدیده عدم یکنواختی تخلخل در همه سازندهای آهکی درست نیست و در بعضی مکانها، به دلیل تکتونیکی

(زمین‌ساخت) یا فرآیندهای دیگر، مانند کارستی شدن، توسعه درزها و شکافها در توده سنگ، یکنواخت‌تر است که اینگونه

سازندها را می‌توان آبخوانهای آهکی نامید. اعمال روشهای متداول برای محاسبه ضرایب هیدرودینامیک در این موارد، می‌تواند

تا حدودی درست باشد.

در سازندهای سخت، به علت شرایط خاص و مشخص نبودن عوامل تغذیه و تخلیه، روش معینی برای تعیین بده مجاز در

چاههای آهکی ارائه نشده است.

در این راهنما، سعی شده که با استفاده از آزمایشهای پمپاژ دراز مدت و یک‌سری تحلیلهای ریاضی که بیشتر جنبه تجربی

دارند، برای تعیین پتانسیل آبی یک آبخوان و در نهایت تعیین بده مجاز بهره‌برداری، ارائه طریق شود. ضمناً چند آزمایش

درازمدت که در چند چاه آهکی در استانهای هرمزگان (کشار و لاورکان) و خراسان (شیروان) انجام شده و بده مجاز بهره‌برداری

آنها تا حدودی برآورد شده است، می‌تواند راهنمای خوبی برای استفاده مؤثرتر از این استاندارد باشد.

۱- راهنمای انجام عملیات پمپاژ در چاههای آهکی

۱-۱ انواع منابع آب کارستی

۱-۱-۱ آبخوانهایی که درزها و شکافهایی با ابعاد کوچکتر داشته و تمام توده سنگ را، به طور منظم تر می پوشاند (آبخوانهای کارستی).

۲-۱-۱ آبخوانهایی که دارای یک یا چند مجرای بزرگ جریان آب بوده و بقیه توده سنگ به طور کامل غیرقابل نفوذ است (مجاری کارستی).

۳-۱-۱ منابع آب کارستی که وضعیت درز و شکاف آنها، میان دو حالت یاد شده است.

آزمایش پمپاژ، یکی از راههای تعیین وضعیت کارستی شدن و قدرت آبدهی در اینگونه سازندهاست. از عکس العمل منبع نسبت به پمپاژ، می توان تا حدودی به پتانسیل منبع کارستی و وجود درز و شکاف در سازند پی برد. بنابراین، چاههای آهکی نیز باید به روشهای متداول، آزمایش پمپاژ شوند تا براساس نتیجه های به دست آمده، بتوان در مورد روش تجزیه و تحلیل اطلاعات اظهار نظر کرد. شاید پس از انجام تعدادی آزمایش پمپاژ در نقاط مختلف کشور در منابع آب آهکی، بتوان آنها را از نظر روش آزمایش پمپاژ و تعبیر و تفسیر نتیجه ها، دسته بندی کرد و برای هر منطقه، دستورالعمل خاصی تهیه نمود.

۲-۱ روش آزمایش پمپاژ در چاههای آهکی

۱-۲-۱ مقدمات آزمایش

الف - لوازم و تجهیزات مورد نیاز

- موتور پمپ آزمایشی، متناسب با ظرفیت آبدهی چاه و با توجه به عمق سطح آب و عمق نصب توربین پمپ براساس اطلاعات به دست آمده در هنگام حفاری.
- این موتور پمپ باید در شرایطی باشد که بتواند حداقل ۵ شبانه روز (۱۲۰ ساعت) بدون توقف کار کند.
- وسایل اندازه گیری از قبیل عمق یاب الکتریکی به تعداد مورد نیاز، برای اندازه گیری تغییرات سطح آب در چاه اصلی و چاههای مجاور، روزنه یا خطکش جت و یا تجهیزات دیگر برای اندازه گیری آبدهی چاه، کند اکتیو متر صحرایی برای بررسی کیفیت آب چاه، کروномتر برای کنترل زمان آزمایشها، متر نواری، دماسنج و وسایل لازم برای اندازه گیری pH.
- وسایل چادر صحرایی برای استقرار و سکونت کارگران فنی، مکانیسمین ماشین آلات و تکنسین پمپاژ در طول آزمایش.

ب - بررسی و جمع آوری اطلاعات قبل از حمل و نصب پمپ آزمایشی در محل

- بررسی موقعیت محل چاه، از نظر دستیابی و حمل ماشین آلات پمپاژ،
- اندازه گیری عمق سطح آب، عمق چاه، تعیین قطر لوله جدار و بررسی انحراف و مشخصات فنی چاه دیگر برای نصب پمپ آزمایش بدون اشکالات بعدی،

- پیش‌بینی مسیر و محل انتقال آب پمپاژ در طول مدت آزمایش، تهیه لوله با قطر مناسب برای انتقال آب به دوردست به منظور جلوگیری از بازگشت آب به مخزن و هرگونه تخریب احتمالی، و یا ساختن کانالی که به وسیله خاک رس تقریباً غیرقابل نفوذ شده و آب چاه را به محل دیگر هدایت می‌کند، و
- بررسی چاههای بهره‌بردار، شخصی و پیزومترهای مجاور و همچنین چشمه‌های آهکی که حداکثر در فاصله ۵۰۰ متری محل آزمایش واقع شده‌اند؛ و انتخاب محل اندازه‌گیری مناسب و پیش‌بینی افراد مورد نیاز و نصب اشل یا ساختن کانال برای اندازه‌گیری و کنترل آبدهی چشمه در طول آزمایش.
- یادآوری: چون اصول آزمایش پمپاژ، شامل اندازه‌گیری آبدهی و تغییرات سطح دینامیک آب در داخل چاه است، اولاً باید وسیله اندازه‌گیری آبدهی طوری انتخاب شود که از دقت کافی برخوردار باشد. ثانیاً برای اندازه‌گیری دقیق تغییرات سطح آب، یک لوله گالوانیزه با قطر کم (۱۲ تا ۱ اینچ) در کنار لوله آبده، پمپ باید در داخل چاه نصب شود.

ج - انتقال اطلاعات و آمار مورد لزوم در هنگام آزمایش پمپاژ روی فرمهای مخصوص

- پس از این‌که موتور پمپ آزمایشی به محل چاه موردنظر حمل و در عمق مناسب نصب شد، و کلیه وسایل و اطلاعات لازم جمع‌آوری گردید، در زمان مشخصی که از قبل پیش‌بینی شده، کارهای زیر باید انجام گیرد:
- عمق سطح آب در چاه اصلی و چاههای مجاور، اعم از پیزومتر یا چاههای دیگری که در فاصله کمتر از ۵۰۰ متر از چاه مورد آزمایش قرار دارند، اندازه‌گیری شود.
- آبدهی چشمه مورد نظر که احتمال داده می‌شود پمپاژ چاه آهکی روی آن اثر داشته باشد، اندازه‌گیری شود.
- برگ مخصوص آزمایش پمپاژ (نمونه آن در صفحه ۱۱ کامل شود).
- یادآوری: قبل از انتقال تجهیزات پمپاژ به محل چاه موردنظر، در صورت امکان، سطح آب در چاه اصلی و چاههای مجاور، یک ماه قبل از شروع آزمایش و در فرصتهای مناسب، اندازه‌گیری شود تا تغییرات سطح آب در این فاصله زمانی در دسترس باشد.

۱-۲-۲ توسعه و شستشوی چاه

به‌طور کلی، چاههایی که پس از خاتمه حفاری برای اولین بار در آنها نصب پمپ و پمپاژ انجام می‌شود، جریان آب خروجی از چاه، غیرشفاف و دارای گل و لای است که پس از مدتی پمپاژ، جریان آب خروجی از چاه به‌طور کامل صاف و شفاف خواهد شد. زمان لازم در این مرحله، به شرایط چاه بستگی دارد و در چاههای آب‌برفتی، با توجه به روش حفاری و ساختمان زمین‌شناسی طبقات حفر شده، در بعضی موارد ممکن است چندین روز به طول انجامد. شستشو و توسعه کامل در اینگونه چاهها، در آبدهی نهایی آنها بسیار مؤثر است، زیرا با این عمل، ذرات ریز و چسبنده‌ای که در هنگام حفاری به داخل آبخوان نفوذ کرده یا در شبکه لوله جدار چاه باقی‌مانده و مانع جریان طبیعی آب از آبخوان به سمت چاه می‌گردند. البته در چاههای آهکی، به علت خصوصیتی که در سازندهای سخت وجود دارد، توسعه و شستشوی چاه بسیار ساده است و در زمان کمتری انجام می‌شود.

پس از نصب پمپ آزمایشی و انجام اندازه‌گیریهای مقدماتی، پمپاژ چاه، ابتدا با کمترین دور موتور و با آبدهی کم شروع می‌شود. کمترین دور موتور در شروع توسعه، به عمق سطح آب در چاه و شرایط پمپ آزمایشی بستگی داشته و در حدی انتخاب می‌شود که پمپ بتواند آب را از چاه تخلیه کند. این دور، آنقدر ادامه می‌یابد تا جریان آب به‌طور کامل صاف شود. سپس در چند مرحله، با کلاچ زدن موتور و توقف پمپاژ، عملیات شستشو در این دور تا جایی ادامه می‌یابد که با هر توقف و پمپاژ دوباره، جریان آب خروجی از چاه به‌طور کامل شفاف و بدون از گل و لای باشد. زمان لازم در این مرحله، در چاههای آهکی، حدود ۳ تا ۴ ساعت به طول می‌انجامد. با اضافه کردن دور موتور، مرحله بعدی توسعه، به همان روشی که در بالا اشاره شد ادامه می‌یابد. بدیهی است که در هر دور، با کلاچ زدن موتور، آب خروجی از پمپ باید صاف و شفاف باشد؛ این عمل، با افزایش دور موتور تا حداکثر آبدهی چاه و با حداکثر آبدهی موتور پمپ آزمایشی ادامه می‌یابد (ظرفیت آبکشی پمپ آزمایشی ممکن است بیش از حداکثر آبدهی چاه و یا کمتر از آن باشد).

زمان توسعه و شستشوی چاه در چاههای آهکی، اغلب کمتر از ۲۴ ساعت است چون حفاری این‌گونه چاهها معمولاً با روشهایی انجام می‌شود که از گردش گل استفاده نمی‌شود.

در مواردی که منبع آب آهکی در تماس با طبقات رسی یا ماری باشد، ممکن است زمان توسعه بیش از ۲۴ ساعت به طول انجامد. در این‌گونه موارد، نیز باید توسعه و شستشوی چاه تا مرحله صاف و شفاف شدن جریان خروجی آب ادامه داده شود. در طول توسعه، باید به نکات زیر توجه شود:

- اثر پمپاژ چاه روی پیژومتر و چاههای مجاور، و همچنین بر چشمه‌ها مشخص شود.
- حدود آبدهی چاه (حداقل و حداکثر) در هر مرحله از توسعه و مقدار افت تقریبی آن تعیین شود.
- کنترل تقریبی زمان ثابت شدن سطح دینامیک در هر مرحله از توسعه و روند افت سطح آب در چاه ضروری است.
- اندازه‌گیری مقدار هدایت الکتریکی، درجه حرارت و pH آب در طول توسعه و کنترل تقریبی تغییرات آنها در محل موردنظر باشد.

پس از اتمام توسعه و شستشوی چاه، و نیز برداشت اطلاعات گفته شده، چاه آماده هرگونه آزمایش پمپاژ است.

۱-۲-۳ آزمایشهای پمپاژ

۱-۲-۳-۱ آزمایش تعیین مشخصات هیدرولیکی چاه

همان‌طور که پیش از این نیز اشاره شد، در این‌گونه آزمایشها، مشخصات هیدرولیکی چاه مانند آبدهی مجاز، آبدهی ویژه ($\frac{Q}{S}$)، و بده بحرانی تعیین می‌شود. این مشخصات با انجام آزمایشهای افت پله‌ای و برگشت پله‌ای، به‌دست می‌آید. از آن‌جا که در این مرحله، مشخصات هیدرولیکی چاه اصلی مورد نظر است، اندازه‌گیریها فقط در چاه مورد پمپاژ صورت می‌گیرد و اندازه‌گیری در چاههای مجاور ضرورت ندارد.

- آزمایش افت پله‌ای

پس از اتمام توسعه و شستشوی چاه و توقف پمپاژ به مدت حداقل ۲۴ ساعت، برای برگشت سطح آب به ارتفاع اولیه، آزمایش افت پله‌ای به صورت زیر انجام می‌شود:

پس از آماده کردن مقدمات لازم، آزمایش با حداقل آبدهی موتور پمپ آزمایشی شروع و آنقدر ادامه می‌یابد تا سطح دینامیک آب در چاه، به ازای این آبدهی تقریباً ثابت و یا تغییرات آن ناچیز باشد. اندازه‌گیریهای سطح دینامیک و آبدهی در دقیقه‌های اول آزمایش، با فاصله‌های زمانی کوتاه (۱ یا ۲ دقیقه) و سپس با فاصله بیشتر (ربع و نیم ساعت) انجام خواهد شد. زمان لازم برای ثابت شدن سطح دینامیک در چاههای آهکی متفاوت است. در بعضی از چاهها، پس از ۱ یا ۲ ساعت، سطح دینامیک تقریباً ثابت می‌شود و تغییرات آبدهی در هر پله زیاد محسوس نیست. در بعضی از چاههای آهکی، ممکن است افت سطح آب در هر پله ادامه یابد که در اینگونه موارد، پیشنهاد می‌شود از آزمایش افت پله‌ای صرفنظر و به جای آن، آزمایش برگشت پله‌ای آغاز شود.

در صورت ثابت شدن سطح دینامیک در این مرحله، پله بعدی با زیاد شدن دور موتور و افزایش آبدهی چاه شروع، و تا زمانی که سطح دینامیک دوباره ثابت شود ادامه خواهد یافت. به همین صورت، پله‌های بعدی تا بیشترین آبدهی چاه و یا بیشترین آبدهی پمپ آزمایشی ادامه می‌یابد.

نتیجه‌های به‌دست آمده از این آزمایش، که از جدولهای اندازه‌گیریهای پمپاژ استخراج خواهد شد، در جدول زیر خلاصه می‌شود:

ملاحظات	افت ویژه $\frac{s}{Q}$ $(\frac{m}{m^3/hr})$	آبدهی ویژه $\frac{Q}{s}$ $(\frac{m^3/hr}{m})$	افت سطح آب s (m)	عمق سطح دینامیک آب D.W.L (m)	آبدهی چاه Q $(\frac{m^3}{hr})$	دور موتور R.P.M
	$\frac{s_1}{Q_1}$	$\frac{Q_1}{s_1}$	s_1	D_1	Q_1	۸۰۰
	$\frac{s_2}{Q_2}$	$\frac{Q_2}{s_2}$	s_2	D_2	Q_2	۱۰۰۰
	$\frac{s_3}{Q_3}$	$\frac{Q_3}{s_3}$	s_3	D_3	Q_3	۱۲۰۰
	$\frac{s_4}{Q_4}$	$\frac{Q_4}{s_4}$	s_4	D_4	Q_4	۱۳۵۰
	$\frac{s_5}{Q_5}$	$\frac{Q_5}{s_5}$	s_5	D_5	Q_5	۱۵۰۰

- آزمایش برگشت پله‌ای

این آزمایش نیز، مانند افت پله‌ای صورت می‌گیرد؛ با این تفاوت که در پله نخست، از بیشترین آبدهی چاه شروع و با کم کردن دور موتور در پله‌های بعدی، تا کمترین آبدهی پمپ آزمایشی ادامه می‌یابد.

این آزمایش، در شرایطی شروع می‌شود که چاه با بیشترین آبدهی پمپ آزمایشی و یا با بیشترین آبدهی چاه، پمپاژ می‌شود. پله اول، در شرایطی آغاز می‌گردد که سطح دینامیک به ازای آبدهی حداکثر، تقریباً ثابت یا تغییرات آن قابل چشم‌پوشی باشد. در یک زمان معین، با اندازه‌گیری دقیق سطح دینامیک و آبدهی حداکثر و همچنین یادداشت کردن آنها در برگ جدول آزمایش، با کم کردن دور موتور و در نتیجه کم‌شدن آبدهی چاه، پله اول آغاز شده و بالآمدن سطح دینامیک (برگشت) و آبدهی چاه به‌طور مرتب اندازه‌گیری می‌شود. بدیهی است فاصله‌های این اندازه‌گیریها در لحظات شروع، کوتاه است و پس از آن طولانی‌تر می‌شود. این عمل، تا ثابت شدن سطح دینامیک که اغلب زمان آن کوتاه‌تر از ثابت شدن سطح دینامیک در آزمایش افت پله‌ای است، ادامه خواهد یافت. این زمان، حدود ۲ تا ۳ ساعت به‌طول می‌انجامد. در موارد استثنایی، ممکن است زمان بیشتری برای هر پله نیاز باشد.

در پایان هر پله، با کم کردن دور موتور، پله بعدی و به همین شکل پله‌های بعد از آن تا حداقل آبدهی پمپ، ادامه می‌یابد.

نتیجه‌های به‌دست آمده در این آزمایش، که از جدولهای اندازه‌گیریهای آزمایش پمپاژ استخراج خواهد شد، در جدول زیر

خلاصه شده است:

ملاحظات	افت ویژه $\frac{s}{Q}$ $(\frac{m}{m^3/hr})$	آبدهی ویژه $\frac{Q}{s}$ $(\frac{m^3/hr}{m})$	افت سطح آب s (m)	عمق سطح دینامیک آب D.W.L (m)	آبدهی چاه Q $(\frac{m^3}{hr})$	دور موتور R.P.M
	$\frac{s_1}{Q_1}$	$\frac{Q_1}{s_1}$	s_1	D_1	Q_1	۱۵۰۰
	$\frac{s_2}{Q_2}$	$\frac{Q_2}{s_2}$	s_2	D_2	Q_2	۱۳۵۰
	$\frac{s_3}{Q_3}$	$\frac{Q_3}{s_3}$	s_3	D_3	Q_3	۱۲۰۰
	$\frac{s_4}{Q_4}$	$\frac{Q_4}{s_4}$	s_4	D_4	Q_4	۱۰۰۰
	$\frac{s_5}{Q_5}$	$\frac{Q_5}{s_5}$	s_5	D_5	Q_5	۸۰۰

با در دست داشتن این جدولها، که از آزمایش افت پله‌ای یا برگشت پله‌ای به دست می‌آید، منحنی افت نسبت به آبدهی ترسیم شده و به این ترتیب، آبدهی مجاز چاه که یکی از فاکتورهای مهم بهره‌برداری از چاه است مشخص می‌گردد.

آزمایش برگشت پله‌ای، نسبت به آزمایش افت پله‌ای چند امتیاز به شرح زیر دارد:

الف - آزمایش برگشت پله‌ای را می‌توان بدون وقفه در خاتمه توسعه، در شرایطی که چاه با بیشترین آبدهی پمپاژ می‌شود شروع کرد در حالی که به توقف پمپاژ برای برگشت سطح آب به سطح اولیه نیازی نداشته باشد؛ در نتیجه برای این آزمایش زمان کمتری صرف خواهد شد.

ب - زمان ثابت شدن سطح دینامیک در هر پله، به مراتب کوتاه‌تر از زمان ثابت شدن سطح دینامیک در آزمایش افت پله‌ای بوده و در نتیجه از دقت بیشتری برخوردار است.

بنابراین، پیشنهاد می‌شود که برای به دست آوردن مشخصات هیدرولیکی، چاههای آهکی تا حد امکان با روش برگشت پله‌ای آزمایش شوند.

توجه: در بعضی از چاههای آهکی، ممکن است به ازای یک آبدهی اعم از حداقل یا حداکثر، سطح دینامیک آب در چاه مرتباً افت کند و حتی تا چند روز و چند هفته این افت ادامه یابد. آزمایش پمپاژ به روش معمولی در این گونه چاهها، دقت لازم را نداشته و باید با بررسی محل چاه و ابعاد منبع آهکی، آبدهی مجاز چاه و به‌طور کلی پتانسیل آبی منبع آهکی را با روشهای دیگر تا حدودی مشخص کرد.

۱-۲-۳-۲ آزمایشهای تعیین ویژگیهای هیدرولیکی منبع آب آهکی

- آزمایش افت با بده ثابت

این آزمایش، باید در شرایطی شروع شود که سطح آب در چاه اصلی و چاههای مجاور، به سطح استاتیک رسیده باشد. بنابراین، قبل از شروع آزمایش افت با بده ثابت، باید پمپاژ چاه را به مدت لازم (حدود ۲۴ تا ۴۸ ساعت) متوقف کرد تا سطح آب به محل اولیه برسد. البته ممکن است با توقف پمپاژ به مدت طولانی، سطح آب به محل اولیه نرسد و افت باقی مانده داشته باشد. در این شرایط، بهتر است که پس از ۷۲ ساعت توقف پمپاژ، آزمایش افت با آبدهی ثابت شروع شود.

این آزمایش، با توجه به اندازه‌گیری تغییرات سطح آب به ازای یک آبدهی ثابت در چاه تحت پمپاژ و چاههای مجاور و نیز کنترل تغییرات آبدهی چشمه‌هایی که در نزدیکی چاه ظاهر شده‌اند، به مدت نسبتاً طولانی نیاز دارد.

قبل از شروع آزمایش افت با آبدهی ثابت، باید پیش‌بینیهای زیر را در نظر داشت:

- پیژومتر یا چاه مجاوری که اثر پمپاژ روی آن اندازه‌گیری خواهد شد، مشخص شود،
- چشمه یا زه‌آبی که در مجاورت چاه قرار دارد و اثر پمپاژ روی آن اندازه‌گیری خواهد شد، مشخص و چگونگی کنترل آبدهی چشمه تعیین شود،
- وسایل اندازه‌گیری مانند عمق‌یاب، روزنه، کرومومتر، متر نواری و غیره آماده باشد،
- مسیر خروج آب تخلیه شده از چاه و انتقال آن از کانال غیرقابل نفوذ با لوله مناسب مشخص شود تا از جاری شدن آب روی سازند آهکی و نفوذ مجدد آن به آبخوان جلوگیری شود، و
- موتور پمپ آزمایشی برای کار مداوم تا حداقل ۵ شبانه‌روز، سرویس و آماده شود.

توجه: در صورت امکان، برای کنترل و ثابت نگه داشتن آبدهی آزمایش، پیشنهاد می‌شود بین سر تخلیه و لوله خروجی، شیر فلکه مناسب نصب شود.

پس از آماده شدن مقدمات لازم و با توجه به اطلاعات به دست آمده در زمان توسعه چاه، بر اساس دور موتور که افت مناسبی داشته باشد، مقدار آبدهی انتخاب و در یک ساعت پیش‌بینی شده و در یک لحظه معین با زدن کلاچ موتور و به کار انداختن کرومومتر، آزمایش شروع و اندازه‌گیریها به شرح زیر انجام می‌شود:

- اندازه‌گیری افت در چاه اصلی و پیزومترهای مجاور، که در دقیقه‌های اول با فاصله‌های زمانی کوتاه (با عنوان مثال ۱ دقیقه) و سپس به فاصله بیشتر (ربع تا نیم‌ساعت) خواهد بود. فاصله‌های اندازه‌گیری در اواخر آزمایش، ممکن است به چندین ساعت برسد.

- اندازه‌گیری آبدهی چاه در طول آزمایش (که ممکن است همزمان با اندازه‌گیری افت در چاه و یا در فاصله‌های بین اندازه‌گیریهای افت باشد).

- تعیین درجه حرارت، هدایت الکتریکی و pH آب خروجی از چاه که هر چند ساعت یکبار و تا خاتمه آزمایش صورت می‌گیرد. اگر در طول آزمایش، تغییری در کیفیت آب مشاهده شد، زمان آن ثبت و یک نمونه برای تجزیه کامل برداشت می‌شود. در حالت عادی، نمونه‌برداری در شروع و خاتمه آزمایش کافی خواهد بود.

- اندازه‌گیری و کنترل تغییرات آبدهی یک یا چند چشمه موجود در مجاورت چاه. در طول آزمایش باید تجهیزات لازم برای کنترل دقیق آبدهی چشمه و مشاهده تغییرات آن به تناسب آبدهی و شرایط مظهر پیش‌بینی شده باشد.

- زمان آزمایش در چاههای آبرفتی، با توجه به شرایط آبخوان زیرزمینی متفاوت است. این مدت، برای برقراری تعادل آبدهی در چاه آهکی ۱۲۰ ساعت (۵ شبانه‌روز) در نظر گرفته می‌شود. با توجه به شرایط موجود، ممکن است به منظور کسب اطلاعات بیشتر، مدت آزمایش را بیشتر در نظر گرفت.

- همه اندازه‌گیریهای انجام شده در طول آزمایش، باید در برگ مخصوص آزمایش پمپاژ (برحسب زمان و با بیان همه اطلاعات به دست آمده) تنظیم شود.

- آزمایش برگشت (جبران)

در پایان آزمایش افت با آبدهی ثابت، در زمان مشخصی که از قبل در نظر گرفته شده و با کنترل دقیق سطح دینامیک در چاه اصلی و پیزومتر و اندازه‌گیری دقیق آبدهی، پمپاژ متوقف و اندازه‌گیری برگشت سطح آب در چاه اصلی و پیزومترهای مجاور به همان ترتیب که در آزمایش افت اشاره شد، صورت خواهد گرفت. در صورتی که آزمایش افت با آبدهی ثابت تغییراتی را روی آبدهی چشمه‌های مجاور ایجاد کرده باشد، باید در هنگام انجام آزمایش برگشت نیز این اندازه‌گیری و کنترل تغییرات ادامه یابد. مدت زمان آزمایش برگشت به چگونگی جبران سطح آب در چاهها بستگی داشته و ممکن است ۲۴ تا ۴۸ ساعت به طول انجامد. پس از این مدت، اگر سطح آب به وضع اولیه برگردد، اندازه‌گیریها به مدت یک هفته ادامه داده می‌شود. فاصله‌های اندازه‌گیریهای اخیر، ترتیب خاصی نداشته و بسته به شرایط موجود، به تعداد یک یا دو مورد در روز خواهد بود.

اگر سطح آب در چاه اصلی و پیزومترها، پس از مدت زیادی به سطح اولیه نرسد و جبران افت به‌طور کامل صورت نگیرد، باید پس از آزمایش پمپاژ علت آن مورد بررسی قرار گیرد. پس از پایان آزمایش برگشت و ثبت همه اندازه‌گیریها در برگ مخصوص، مجموعه اطلاعات جمع‌آوری شده و جدولهای وابسته، به همراه خلاصه گزارش عملیات انجام شده در یک پرونده ضبط و برای تعبیر و تفسیر ارائه می‌شود. با استفاده از روشهای متداول آزمایش پمپاژ و با رسم نمودارهای مربوط، نتیجه‌های به‌دست آمده مورد تحلیل قرار گرفته و درباره آنها اظهارنظر خواهد شد (برگ آزمایش پمپاژ چاه پیوست است).

برگ آزمایش پمپاژ

پروژه :
 نام محل :
 نام مالک :
 شماره چاه (U.T.M) :

تعداد پیزومتر :
 موقعیت پیزومتر :
 فاصله پیزومتر از چاه (r) :
 نوع آزمایش :

عمق چاه :
 ارتفاع محل :
 نقطه نشانه اندازه گیری :
 عمق سطح استاتیک :

ملاحظات نسبت تبدیل روزنه دور پمپ و ...	$\frac{t}{t'}$	افت باقیمانده S' (متر)	$\frac{r^2}{t}$ متر مربع بر روز	افت تصحیح شده S_C (متر)	آبدهی Q (لیتر بر ثانیه)	روش اندازه گیری		افت S (متر)	عمق سطح آب (متر)	زمان		
						ارتفاع اریفیس (اینچ)	طول پرش جت (سانتی متر)			دقیقه	ساعت	تاریخ

نام آزمایش کننده :

۲- راهنمای برآورد برداشت مجاز از مخزنهای آب آهکی به وسیله آزمایش پمپاژ درازمدت چاهها

۱-۲ مقایسه آبخوانهای آبرفتی و سنگی

برای تعیین مشخصات یک سیستم، با استفاده از روابط ریاضی باید بعضی از ویژگیها و ارتباطهای بین بخشهای مختلف سیستم مشخص باشد. هیدرولیک آبهای زیرزمینی، با فرض کردن ویژگیهایی خاص برای محیطهای متخلخل دانه‌ای^۱ از قبیل:

- همگن و ایزوتروپ بودن مخزن،
 - آرام بودن جریان آب^۲ و متناسب بودن سرعت با شیب هیدرولیک،
 - بی‌نهایت بودن ابعاد مخزن، و
 - شعاعی بودن جریان آب به هنگام پمپاژ آب از چاههای حفر شده در این مخزنهای.
- و موارد دیگر، تا حدودی مسائل مربوط حل شده است. اگر در یک محیط متخلخل، تخلخل و نفوذپذیری در نقاط و جهت‌های مختلف آن یکنواخت فرض شود، می‌توان نتیجه گرفت که هنگام بهره‌برداری، جریان آب به صورت شعاعی به طرف نقطه برداشت آب حرکت می‌کند. در این حالت، وقتی سرعت جریان با شیب هیدرولیک متناسب باشد، زمانی فراخواهد رسید که میزان آب برداشتی توسط جریان آب به طرف چاه جبران شده و مخروط افت به دست آمده در یک حالت پایدار قرار خواهد گرفت. درست است که چنین محیطی در طبیعت به ندرت یافت می‌شود و فقط جنبه تئوری دارد، اما مشخصات آبخوانهای دانه‌ای تا حدودی نزدیک به این شرایط است و این مفروضات را می‌توان قابل قبول دانست.
- در مسائل مربوط به منابع آب در سازندهای سخت، به‌ویژه سنگهای کربناته، شرایط به کلی متفاوت است و نمی‌توان فرضیات گفته شده را در مورد این‌گونه محیطها درست دانست.

۲-۲ ویژگیهای محیطهای سنگی

مهم‌ترین مشخصات محیطهای سنگی، که آن را از محیطهای متخلخل دانه‌ای متمایز می‌کند، به شرح زیر است:

- ۱-۲-۲ سنگها و به‌ویژه سنگهای رسوبی با اختلافات عمده‌ای که از نظر دانه‌بندی، ترکیب، سختی و غیره در افقهای مختلف آنها وجود دارد، نمی‌توانند یک حالت همگن و ایزوتروپ داشته باشند. بنابراین لایه‌های مختلف توده‌های سنگی، وقتی تحت تأثیر عوامل مختلفی شامل نیروهای تکتونیک، فرسایش و ... قرار می‌گیرند، از خود خصوصیات متفاوتی را بروز می‌دهند به طوری که بعضی از لایه‌ها تحت تأثیر نیروها از خود مقاومت نشان داده و شکسته می‌شوند و بعضی دیگر مقاومت کمتری از خود نشان داده و شکستگیها کمتر در آنها گسترش می‌یابد. از طرف دیگر، جابه‌جایی عمده‌ای که ممکن است در اثر فعالیتهای تکتونیک به وجود آید، تداوم ساختمانی طبقات را قطع و لایه‌های با مشخصات مختلف را کنار یکدیگر قرار می‌دهد.

1 - Granular
2 - Laminar

۲-۲-۲ با توجه به مطالب بالا، اگر یک سیستم سنگی تحت فرسایش قرار گیرد، قسمت‌های مختلف آن، ویژگی‌های متفاوتی از خود نشان می‌دهد. به‌طور مثال، یک لایه آهکی با درجه خلوص و درصد شکستگی بالا، می‌تواند در اثر جریان آب و فرسایش شیمیایی (خوردگی یا خوردگی) محیط ایده‌آلی را برای هدایت و ذخیره آب تشکیل دهد، در حالی که لایه‌های دیگر با مشخصات متفاوت در همان شرایط آب و هوایی این وضعیت را نخواهند داشت. حال اگر این مطلب را در طول تاریخ زمین‌شناسی سنگ‌های مختلف مورد توجه قرار دهیم، مشخص می‌شود که تشکیل مخزن‌های آب در سنگها، از چه پیچیدگی‌هایی برخوردار است، به‌طوری که مشخصات مخزن‌ها شامل تخلخل، نفوذپذیری و ... از نقطه‌ای به نقطه دیگر، به کلی متفاوت و یا حداقل دارای اختلاف زیادی است.

۳-۲ بررسی منابع آب در سازندهای سخت

بررسی منابع آب در سازندهای سخت، با توجه به شرایط خاص آنها چندان ساده نبوده و روند خاصی را دارد که در زیر، به مهم‌ترین آنها اشاره می‌شود:

- بررسی سنگ‌های موجود در منطقه مورد مطالعه از نظر جنس، طرز قرار گرفتن، چگونگی ارتباط آنها با یکدیگر و...
 - بررسی ساختمان‌های زمین‌شناسی و تعیین ارتباط آنها با یکدیگر،
 - تعیین ابعاد هندسی مخزن از نظر گسترش جانبی و عمق، با توجه به تکتونیک منطقه و شیب لایه‌ها،
 - تعیین مناطق تغذیه و تخلیه و نوع ارتباط با آبخوان‌های مجاور (زیرا ممکن است حوضه تغذیه یک منبع کارستی، آنقدر گسترده و وسیع باشد که از چند حوضه آبریز تغذیه کند و یا برعکس، ممکن است به علت وجود بعضی عوامل مانند غسل یا ظاهر شدن لایه‌های غیرقابل نفوذ، ارتباط مخزن در فاصله‌های نزدیک قطع شده باشد و مخزن کوچکی را تشکیل دهد که این عوامل، گسترش یا محدودیت آبخوان و در نهایت پتانسیل آبی آن را مشخص می‌کند.)،
 - بررسی مشخصات هیدرولیکی آبخوان شامل تخلخل و نفوذپذیری به‌وسیله آزمایش‌های ویژه‌ای که این پارامترها را در اعماق مختلف تعیین می‌کند،
 - بررسی تغییرات سطح آب زیرزمینی به‌طور مستمر، و تعیین ارتباط آن با شرایط هیدروکلیماتولوژی منطقه یا مناطق مجاور، و
 - بررسی آبدی چشمه‌های موجود و تغییرات آبدی آنها در ارتباط با سطح آب مخزن و ...
- موارد گفته و بسیاری موارد دیگر که باید در روند مطالعات منابع آب در سازندهای سخت بررسی شوند، انجام این مطالعات را با مشکل روبرو ساخته است به‌طوری که تاکنون در کشور، چنین مطالعاتی به شکل نظام‌دار^۱ انجام نگرفته است. از طرف دیگر، استفاده بی‌رویه از منابع آب زیرزمینی در آبخوان‌های آبرفتی و بحرانی‌شدن این آبخوان‌ها، شناخت منابع آب جدید به خصوص منابع آب در سازندهای کارستی را ضرورت بخشیده است. در سال‌های اخیر، با حفر گمانه‌های اکتشافی در نقاط مختلف کشور و در سازندهای مختلف، مراحل ابتدایی شناسایی آغاز شده است. پس از آن که تعداد بسیاری از این چاهها به نتیجه مثبت رسید، آنچه مطرح شد این بود که بده مجاز بهره‌برداری درازمدت از این چاهها چگونه محاسبه شود که تا انجام مطالعات جامع این منابع که با توجه به امکانات موجود در زمانهای نزدیک قابل انجام نیست، بتواند جوابگوی برنامه‌ریزیهای تأمین آب مناطق باشد.

۴-۲ برآورد بده مجاز بهره‌برداری از چاه‌های آهکی

در مراحل اولیه، در اثر بی‌تجربگی و با بزرگ جلوه کردن منابع آب آهکی، چنین تصور می‌شد که این منابع بسیار عظیم بوده و می‌توان به‌طور دلخواه از آنها برداشت کرد. این تفکر، باعث شد که در بعضی مناطق، سرمایه‌گذاریهای هنگفتی نیز برای انتقال آب از دوردست صورت پذیرد. ولی متأسفانه پس از مدتی برداشت، مشخص شد که آن‌طور هم که تصور می‌شد این مخزن‌ها قابل اطمینان نیستند. بنابراین مسئله تعیین بده مجاز بهره‌برداری درازمدت از چاه‌های آهکی مورد توجه نگارندگان قرار گرفت و با پیشنهاد و انجام چند آزمایش طولانی مدت در مناطق کشار و لاورکال در استان هرمزگان و شیروان در استان خراسان و چاه آهکی نابر در نزدیکی کاشان (که با همت و همکاری امور مطالعات شرکتهای سهامی آب منطقه‌ای مناطق گفته شده انجام شده) این مسئله مورد بررسی و تحلیل قرار گرفت و نتیجه‌هایی نیز به‌دست آمد. قبل از توضیح نتیجه‌های به‌دست آمده از بررسی‌های انجام شده، ابتدا باید از کمیت و کیفیت مخزن‌های آب در سازندهای سخت بحث به میان آید تا با توجه به آن، سیستم و محیط انجام آزمایش مشخص شده و سپس چگونگی انجام آزمایش و محاسبه بده مجاز بیان شود.

۴-۲-۱ مشخصات آبخوان در سازندهای سخت

همان‌طور که می‌دانیم، لایه‌ها در ابتدای تشکیل به صورت افقی هستند. وقتی این لایه‌ها تحت تأثیر نیروهای مختلف تکنونیک قرار می‌گیرند، خمش پیدا کرده و به اصطلاح چین می‌خورند. بسته به مقاومت نهایی و ضخامت، لایه‌ها در مقابل خمش از خود عکس‌العمل‌های متفاوتی نشان می‌دهند و در روند چین‌خوردگی، در نهایت، لایه‌های نامقاوم متأثر از لایه‌های مقاوم تغییر شکل می‌یابند.

لایه‌های مقاوم، اغلب پس از تغییر شکل الاستیک، شکسته شده یا تغییر شکل پلاستیک در آنها بسیار کم بوده و سپس شکسته می‌شوند، در حالی که لایه‌های با مقاومت کمتر، دارای تغییر شکل پلاستیک عمده‌ای هستند که به راحتی گسستگی در آنها اتفاق نمی‌افتد. علاوه بر این مکانیسم، چگونگی گسستگی و ایجاد درزه در قسمت‌های مختلف چین نیز متفاوت است به‌طوری که در اطراف محور چین، درزه‌های موازی با محور و در دامنه چین‌ها، درزه‌های عمود بر محور چین و درزه‌هایی که با یکدیگر زاویه ۶۰ درجه می‌سازند، به‌وجود می‌آیند. بنابراین، مشاهده می‌شود که اولاً میزان شکستگیها در کل یک توده سنگ مطابق یکسان نبوده و ثانیاً امتداد و جهت آنها نیز در نقاط مختلف یک ساختمان زمین‌شناسی متفاوت است.

حال با توجه به مطالب گفته شده، وقتی یک سیستم سنگی تحت فرسایش فیزیکی و شیمیایی قرار می‌گیرد، فقط لایه‌هایی که دارای درز و شکاف هستند می‌توانند انتقال‌دهنده آب بوده و در داخل ساختمان‌های زمین‌شناسی مناسب، تشکیل مخزن‌های آب را بدهند؛ در واقع لایه‌های بدون درز و شکاف، از فرسایش عمقی به دور خواهند ماند. همچنین قدرت فرسایش در مناطقی که دارای درز و شکاف متراکم و متقاطع باشند، بیشتر است. بنابراین دامنه‌چین‌ها به دلیل وجود درزه‌های برشی و درزه‌های عمود بر محور چین، می‌توانند جریان آب را از خود بهتر عبور داده و فرسایش بیشتری بپذیرند. فرسایش، به‌طور معمول در سنگ‌های غیرکربناته، بیشتر به صورت فیزیکی عمل می‌کند اما در سنگ‌های کربناته، علاوه بر فرسایش فیزیکی، انحلال‌پذیری نیز وجود دارد که حاصل فعالیت‌های شیمیایی است و سبب ایجاد حفرات انحلالی در ابعاد و اندازه‌های مختلف می‌شود (پدیده کارست). حفرات انحلالی و غارها، بیشتر در مرز لایه‌ها و منطبق با شیب آنها ایجاد می‌شود. زیرا به‌علت عدم یکنواختی نفوذپذیری،

جریان آب وقتی پس از لایه‌های نفوذپذیر و قابل حل با لایه‌های دیگر که دارای مشخصات متفاوت هستند مواجه می‌شود مسیر خود را در فاصله بین دو لایه و در جهت شیب طبقات ادامه داده و طبیعی است که عمل انحلال را نیز در همین مسیر انجام دهد. با گذشت سالیان دراز و تشکیل آبخوانهای دیگر، عمل انحلال به صورت عمده در حد نوسانات سالانه سطح آب زیرزمینی که هرساله تغییر می‌کند و آب جدید وارد مخزن می‌شود، انجام می‌گیرد.

۲-۴-۲ طبقه‌بندی آبخوانها در سازندهای سخت

الف - در سازندهای ضخیم لایه یا توده‌هایی که از جنس، بافت و خصوصیات تقریباً مشابهی برخوردارند، آبخوانهایی تشکیل می‌شود. در این چنین سیستم سنگی، از نظر یکسان بودن خصوصیات، اعم از این که سنگ کربناته باشد یا غیرکربناته، نفوذپذیری و تخلخل در کل توده سنگ می‌تواند تقریباً مشابه بوده و از نظر هیدرولیک آبهای زیرزمینی، می‌توان آنها را شبیه به آبرفت تصور کرد. با توجه به بررسیهای اکتشافی که تاکنون در سطح کشور انجام گرفته، چنین آبخوانهایی کمتر دیده شده و فقط به چند مورد محدود در زاگرس و سازند آسماری جهرم در استان فارس و خوزستان برخورد شده است.

ب - سنگهایی که از نظر خصوصیات دارای لایه‌بندی هستند. در آبخوانهای تشکیل شده در این سازندها، چه از نوع کربناته و چه از نوع سنگهای غیرکربناته، آب در درون مناطقی (زونهایی) که لایه‌های نفوذپذیر ایجاد کرده‌اند جریان دارد. این آبخوانها، نسبت به آبخوانهای ردیف قبلی دارای شرایطی کاملاً متفاوت است. در این مناطق آب در جهت شیب لایه‌ها جریان داشته و به‌طور کلی، از شیب عمومی زمین تبعیت می‌کند.

ج - آبخوانهایی که بهتر است با عنوان آبراه (مسیر عبور آب) نامگذاری شوند، در مسیر گسلها و مناطق شکسته ایجاد می‌شوند. منشاء تغذیه، محل تخلیه و همچنین شرایط هیدروژئولوژیک این آبخوانها از پیچیدگی خاصی برخوردار است، بنابراین از نظر این که شکستگیها و درزه‌های ایجاد شده در این مناطق تقریباً به‌طور یکنواخت است، می‌توانند شرایط یک آبخوان آبرفتی را داشته باشند.

بنابراین، برای هرگونه اظهارنظر و بررسی منابع آب در سازندهای سخت، ابتدا باید نوع آبخوان یا مخزن مشخص شود. برای این کار، باید از مطالعات زمین‌شناسی (چینه‌شناسی، زمین‌ساخت و ...) و همچنین از نتیجه‌ها و مشخصات حفاریهای اکتشافی اولیه (سرعت حفاری، CR, RQD, ...) و چاه‌پیمایی (نمودارهای E-log, NN، تزریق آب و ...) به‌طور دقیق و همه جانبه استفاده کرد.

در بحث طبقه‌بندی آبخوانها در سازندهای سخت، گفته شد که آبخوانهای مربوط به بندهای الف و ج را می‌توان تا حدودی شبیه به آبخوانهای آبرفتی دانست و کاربرد روشها و روابط معمول و شناخته شده پمپاژ در مورد این آبخوانها تا حدودی قابل استفاده است. بنابراین آبخوانهای بند ب را نمی‌توان با استفاده از روشهای معمول پمپاژ، تحلیل کرد. از طرف دیگر، نتیجه‌های به‌دست آمده از بررسیهای اکتشافی اولیه در نقاط مختلف کشور، که با حفر چاههای اکتشافی و مغزه‌گیری انجام شد، نشان می‌دهد که منابع آب در سازندهای سخت در ایران، بیشتر به این شکل تشکیل یافته‌اند که این، شاید به دلیل شرایط خاص زمین‌شناسی و آب و هوایی ایران باشد.

از نتیجه‌های به‌دست آمده از حفاریهای چاههای آب در سنگهای کربناته در جنوب زاگرس، بیشتر شرایط آبخوانهای تقریباً همگن را دارد. در ضمن، سنگهای کربناته در این مناطق، گسترش وسیعی داشته و ساختمانهای موجود در آنها، به شکل هارمونیک و منظمی تشکیل یافته‌اند. ولی در سایر نقاط ایران و به خصوص در مرکز (سازند قم) و شمال شرق (سازند هزارمسجد - کپه داغ)، اغلب منابع کارستی شرایط آبخوان بند ب را دارند. علاوه بر این که به علت تکتونیک شدید، منابع آب در اغلب موارد بسیار محدود بوده و حجم زیادی را در بر نمی‌گیرد.

۲-۴-۳ برآورد بده مجاز چاههایی که در آبخوانهای لایه‌ای حفر می‌شوند

برای تعیین بده مجاز این‌گونه چاهها، باید موارد زیر را در نظر گرفت:

- چاههای حفاری شده، اغلب یک یا چند منطقه (زون) آبگذر را قطع می‌کنند. بنابراین ستون آب در داخل چاه، نه تنها به کل مقطع چاه بلکه به مناطق (زونهای) مختلف مربوط است.
- وقتی که چاه، مورد آزمایش قرار می‌گیرد و افت سطح آب باعث پایین افتادن سطح آب از منطقه (زون) آبدی می‌شود، اولاً به دلیل نفوذناپذیر بودن لایه پایینی در این منطقه (زون)، مخروط افت ایجاد نمی‌شود. ثانیاً جریان آب فقط از تراز بالاتر به داخل چاه ریخته شده و از قسمت مقابل بخشهای نفوذناپذیر جریان آب به داخل چاه قطع می‌شود. صدای ریزش آب به داخل چاه، در تعدادی از چاههای حفاری شده در سازندهای سخت که شرایط گفته شده را داشته و مناطق (زونهای) آبدی آنها در نزدیک سطح زمین قرار دارد شنیده می‌شود (از جمله چاه بومهن).
- به دلیل ایجاد نشدن مخروط افت، نه تنها نمی‌توان با برداشتهای متفاوت و ایجاد شیب هیدرولیک متناسب با آن، تعادل سطح آب را در چاه ایجاد کرد بلکه فقط بده مجاز چاه، باید متناسب با تغذیه طبیعی آبخوانی باشد که از طریق مناطق (زونهای) آبدی به طرف چاه جریان دارد.

با توجه به این شرایط، می‌توان نتیجه گرفت که برای به‌دست آوردن بده مجاز بهره‌برداری، باید تغذیه طبیعی آبخوان مشخص شود. برای این منظور، با تحلیل اعداد و ارقام مربوط به آزمایشهای پمپاژ دراز مدت (سالهای ... و ...) چاههای اکتشافی مناطق کشار و لاورکال (استان هرمزگان) و شیروان (استان خراسان)، نتیجه‌هایی به‌دست آمده که شرح آن در ادامه مطلب خواهد آمد. در واقع ابتدا مشخصات حفاری، چاه‌پیمایی (چاه‌نگاری) و پمپاژ چاههای موردنظر، سپس بررسیهای انجام شده روی آزمایشهای پمپاژ و در نهایت روش محاسبه بده مجاز برای هر یک از چاهها ارائه شده است.

۲-۵ نتیجه‌های بررسی آزمایش طولانی مدت چاهها در چند مورد خاص

۲-۵-۱ چاه اکتشافی کشار

محل این چاه، در ۸۰ کیلومتری شمال غرب بندرعباس است. عمق چاه ۱۸۰ متر و قطر آن تا عمق ۷ متری ۲۲ اینچ، تا ۱۱۸ متری ۱۷/۵ اینچ و تا انتهای چاه ۸ اینچ است. لایه‌های حفاری شده، از سنگ آهک به رنگ کرم، قهوه‌ای و ماسه‌ای مربوط به گروه بنگستان تشکیل شده است.

سطح برخورد به آب در هنگام حفاری، در ۳۷ متری بوده که در پایان حفاری به ۲۴/۵ متری رسیده است. با توجه به نتیجه‌های به‌دست آمده از انجام نمودارهای مختلف چاه‌پیمایی، (چاه‌نگاری) مشخص شده است که مناطق نفوذپذیر در این چاه، در عمق‌های ۳۷-۴۷ متر و نزدیک عمق ۱۰۰ متر بوده است. این نتیجه‌ها، بیشتر از نمودارهای قطرسنجی و گاما - گاما مشخص شده است. همان‌طور که می‌دانیم، با استفاده از نمودار گاما - گاما می‌توان میزان چگالی سنگها و تخلخل را در عمق‌های مختلف محاسبه کرد. با استفاده از آباکهای مربوط، میزان تخلخل در عمق‌های ۳۷-۴۷ متر تقریباً ۷-۱۸ درصد و در عمق ۱۰۰ متری تقریباً ۲۵ درصد برآورد شد. لازم به یادآوری است که با توجه به همین نمودار تخلخل، دیگر قسمت‌های چاه نزدیک به صفر است. نتیجه‌های آزمایش تزریق آب که برای تعیین مقدار تلفات آب از مناطق نفوذپذیر انجام می‌شود نیز نشان می‌دهد که ۴۰ درصد از آب تزریق شده در منطقه نفوذپذیر، بالایی (۳۷-۴۷ متر) و بقیه در عمق ۱۰۰ متری به‌هدر می‌رود، که در واقع، این مسئله نشانگر نفوذپذیرتر بودن منطقه پایینی بوده و این مطلب با میزان تخلخل این مناطق نیز مطابقت دارد. آزمایش پمپاژ این چاه، در آذرماه ۱۳۶۷ به مدت ۷۵ روز انجام شد که شرح مختصر مراحل مختلف آن در جدول زیر آورده شده است:

مرحله	نوع آزمایش	زمان (ساعت)	بده متوسط (لیتر بر ثانیه)	تغییرات سطح آب (متر)		
				افت نسبت به سطح اولیه	برگشت	افت باقیمانده نسبت به سطح اولیه
I	افت	۱۹۵	۵۶/۷	۱۲	-	-
	برگشت	۲۲۵	-	-	۶/۷	۵/۳
II	افت	۴۰۶	۸۴/۱	۳۷/۸	-	-
	برگشت پله‌ای	۱۰۱۶	۳۴/۴	-	۱۲/۸	۲۵
	برگشت	۲۹۲۴	-	-	-	۶/۳

۲-۵-۲ چاه اکتشافی لاورکال

این چاه، در ۲۵۰ کیلومتری شمال غرب بندرعباس بوده که عمق نهایی آن ۲۰۱ متر و قطر آن تا عمق ۱۵۵ متری ۱۷/۵ اینچ، تا عمق ۱۶۸ متری ۱۳ اینچ و تا انتهای چاه ۱۱ اینچ است. جنس لایه‌های حفاری شده تا عمق ۹۰ متری سنگ آهک (سازند سروک) بوده، از این عمق تا ۱۵۱ متری لایه‌هایی متشکل از مارن، فورس سنگ^۱ و گل‌سنگ (سازند کژدمی) می‌باشد و تا انتهای چاه ابتدا لایه‌های متناوب سنگ آهک و ماسه سنگ و سپس سنگ آهک (سازند داریان) است. سطح آب در این چاه، در هنگام حفاری ۱۶۰ متر و در پایان حفاری ۱۷/۴ متر بوده است.

1 - Siltstone

براساس نتیجه‌های چاه‌پیمایی (چاه‌نگاری)، مناطق نفوذپذیر در این چاه در عمق‌های ۱۶۵-۱۶۰ و ۱۷۱-۱۷۰ متر است که با توجه به منحنی‌های نمودار گاما - گاما، مقادیر تخلخل در این عمقها به ترتیب ۱۰ درصد و ۴۰ درصد محاسبه شد. برای بررسی بیشتر در این منطقه و تعیین ضخامت سازند داریان، یک حلقه چاه مغزه‌گیری به عمق ۵۰۰ متر در فاصله ۲۰ متری چاه اکتشافی حفر شد که تمامی مشخصات زمین‌شناسی محل این چاه با چاه اکتشافی مطابقت دارد. به دلیل عمیق‌تر بودن این چاه، بررسی عمق‌های پایین‌تر از ۲۰۰ متر نیز به وسیله عملیات چاه‌پیمایی (چاه‌نگاری) میسر شد و براساس آن، مناطق آبدیگری در عمق‌های ۲۴۹، ۲۵۸، ۳۳۸، ۳۵۱، ۳۸۲، ۳۸۴ و ۴۱۴ متر مشاهده شد.

آزمایش پمپاژ این چاه، که به مدت ۵۳ روز انجام شده، به‌طور خلاصه در جدول زیر آورده شده است.

مرحله	نوع آزمایش	مدت آزمایش (ساعت)	بده متوسط (لیتر بر ثانیه)	تغییرات سطح آب (متر)		
				افت نسبت به سطح اولیه	برگشت	افت باقی‌مانده نسبت به سطح اولیه
I	افت پله‌ای	۳۴۷	۳۰ - ۴۵/۵	-	-	-
	برگشت پله‌ای	۴۷۳	۳۸-۰	۱۴/۲۳	۰/۶۷	-
II	افت	۱۲۶	۳۱/۲ - ۴۲/۸	-	-	-
	برگشت	۱۵۹	-	۷/۸۷	۰/۷	-
	افت و برگشت متناوب	۹۶	رفت ۳۱/۹ برگشت	۶/۴۱	۴/۸۳	۱/۶۵
	افت و برگشت متناوب	۹۶	رفت ۳۰/۹ برگشت ۳۱/۹	۴/۴۲	۵/۷۱	۰/۹۶

۲-۵-۳ چاه‌های اکتشافی و مغزه‌گیری شیروان

تعداد ۳ حلقه چاه اکتشافی و یک حلقه چاه مغزه‌گیری در رخنمون آهکی سازند تیرگان (کرتاسه، هزار مسجد - کپه‌داغ)، در قسمت میانی دشت شیروان حفاری شده است. عمق چاه‌های اکتشافی ۲۰۰-۱۶۰ متر و قطر حفاری ۱۷/۵ اینچ بوده است. چاه

مغزه‌گیری، به عمق ۵۰۰ متر و با قطرهای ۱۵۶-۹۶ میلی‌متر است. عمق سطح آب در همه این چاهها، با توجه به رقوم ارتفاعی آنها حدود ۶۰ متر است. براساس آزمایشهای مختلف چاه‌پیمایی، محل‌های عمده جریان آب به داخل چاه عمق‌های ۶۶-۶۴، ۷۰، ۱۵۰ و ۱۷۳ متر است. در این چاهها، از نظر خطری که ممکن بود برای سوندهای رادیواکتیو پیش آید، عملیات چاه‌پیمایی (چاه‌نگاری) در داخل سوزنهای حفاری انجام شده است و به همین دلیل، نمی‌توان میزان تخلخل مناطق نفوذپذیر را که در چاههای قبل محاسبه شد، تعیین کرد.

آزمایش پمپاژ در دو چاه اکتشافی به‌طور همزمان انجام شده و سطح آب در چاههای پمپاژ و پیژومتر (چاه مغزه‌گیری) ما بین دو چاه اندازه‌گیری شده است که نتیجه‌ها، به‌طور خلاصه در جدول زیر ارائه شده است (فاصله پیژومتر تا چاه شماره ۱ حدود ۱۳۰ متر و تا چاه شماره ۲ در حدود ۴۰۰ متر است):

شماره چاه	مرحله اول (افت با بده ثابت)			مرحله دوم (کاهش بده)			مرحله سوم (برگشت)		
	مدت آزمایش (ساعت)	بده (لیتر بر ثانیه)	افت (متر)	مدت آزمایش (ساعت)	بده (لیتر بر ثانیه)	افت نهایی (متر)	مدت آزمایش (ساعت)	بده (لیتر بر ثانیه)	افت باقیمانده (متر)
۱	۵۳۴	۴۹/۴	۵/۳۹	۱۷۲	۳۵/۳	۶/۶۲	۱۰۷۶	-	۱/۰۸
۲	۵۳۴	۴۳/۸	۴/۱۱	۱۷۲	۳۱/۱	۴/۳۰	۱۰۷۶	-	۱/۱۵
پیژومتر	۵۳۴	-	۴/۲۱	۱۷۲	-	۴/۳۷	۱۰۷۶	-	۱/۱۰

از آنچه در مورد مشخصات حفاری و چاه‌پیمایی (چاه‌نگاری) چاههای اکتشافی کشار، لاورکال و شیروان گفته شد، می‌توان نتیجه گرفت که آبخوانهایی که این چاهها در آنها حفاری شده‌اند از آبخوانهای بند ب (صفحه ۱۶) هستند، یعنی از کل چاه، فقط منطقه یا مناطقی خاص دارای نفوذپذیری بوده و آبدهی دارند و بقیه قسمت‌های چاه یا اصلاً نفوذناپذیرند و یا نفوذپذیری بسیار اندکی دارند. بنابراین نمی‌توان روشهای معمول آزمایشهای پمپاژ را برای این چاهها انجام داد. در سالهای ۱۳۷۶ و ۱۳۷۷ نتیجه‌های آزمایش پمپاژ این چاهها مورد بررسیهای بسیار گسترده‌ای قرار گرفت و مواردی مثل: نوسانات سطح آب نسبت به بده پمپاژ، عکس‌العمل‌های آبخوان در هنگام تغییرات بده و هنگامی که موتور خاموش می‌شود و عملیات پمپاژ خاتمه می‌یابد، تعیین معادلات روند افت و برگشت سطح آب به‌وسیله کامپیوتر، بررسی افت سطح آب نسبت به حجم برداشت از آبخوان، بررسی ظرفیت جبران مخزن در هنگام آزمایش برگشت، بررسی مقادیر افت باقی‌مانده در آزمایشهای افت و برگشت متناوب و ... مورد تحلیل قرار گرفت. از این میان آنچه بیشتر از سایر موارد جلب توجه کرد، خطی بودن رابطه بین حجم برداشت از آبخوان نسبت به افت بود:

چاه کشار	جم برداشت (به متر مکعب)	افت (متر)
	۴۳۰۰	۵/۰۹
	۱۰۱۴۰	۹/۳۴
	۱۷۰۷۰	۱۴/۳۷
	۳۳۵۰۰	۱۸/۸۲
	۵۰۸۶۰	۲۲/۲۱
	۶۷۳۰۰	۲۵/۳۵
	۸۶۳۰۰	۲۸/۳۹
	۱۰۸۲۰۰	۳۲/۴۴

رابطه $D = 7/04 + 2/6 \times 10^{-4} V$ با ضریب همبستگی ۹۷٪ به دست آمد (به وسیله روش رگرسیون خطی) در این رابطه: $D =$ افت و $V =$ حجم برداشت از آبخوان است.

چاه لاورکال	جم برداشت (به متر مکعب)	افت (متر)
	۲۸۰۰	۷/۲
	۴۱۰۰	۸/۱
	۵۷۰۰	۹/۸
	۷۲۰۰	۱۱/۴
	۱۱۱۵۰	۱۳/۲

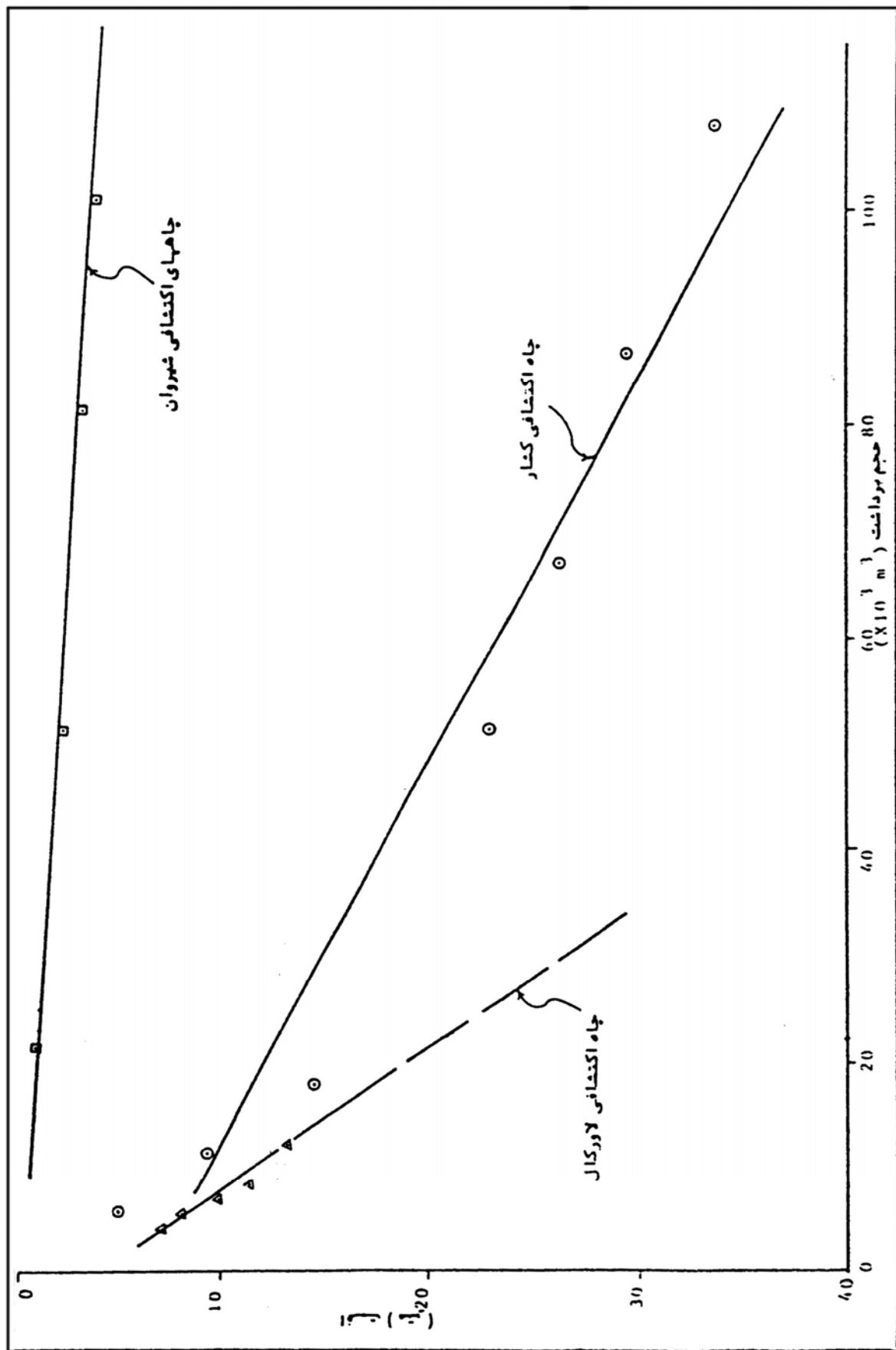
رابطه $D = 5/36 + 7/4 \times 10^{-4} V$ با ضریب همبستگی ۹۸٪

چاههای شیروان	مجموع حجم برداشت از چاههای شماره ۱ و ۲ (مترمکعب)	افت در پیژومتر (متر)
	۲۴۱۹۲	۱/۱۳
	۵۰۴۰۰	۱/۸۹
	۸۰۶۴۰	۲/۵۶
	۱۰۰۸۰۰	۳/۰۲
	۱۴۱۱۲۰	۳/۷۱
	۱۸۱۴۴۰	۴/۲۱

رابطه $D = 0/87 + 1/95 \times 10^{-5} V$ با ضریب همبستگی ۹۹٪

خطوط مربوط به هر سه چاه، روی نمودار شماره ۱ آورده شده است. خطی بودن رابطه افت نسبت به حجم برداشت در مخزنهای گفته شده، نشانگر این مطلب است که یا آبخوان محدود و بدون تغذیه است که این نوع مخزن چندان قابل تصور نیست و یا آبخوان دارای یک تغذیه ثابت است (تغذیه طبیعی) که در آزمایشهای پمپاژ انجام شده، بده برداشتی از آبخوان بیش از تغذیه طبیعی آن بوده است.

نمودار ۱ - نمودار برداشت - افت چاههای اکتشافی کشاور، شیروان، لاورکال



۶-۲ روش انجام آزمایش و چگونگی محاسبه بده مجاز

برای این که بتوان بده مجاز چاههایی را که در آبخوانهای بند ب حفر می‌شوند برآورد کرد، باید تغذیه طبیعی آبخوان مشخص شود. برای انجام آزمایش و همچنین روش محاسبه بده مجاز، دو روش ساده زیر پیشنهاد می‌شود:

۶-۲-۱ آزمایش افت - جبران متناوب

- روش آزمایش : چاه با یک بده ثابت (Q) برای زمان ثابت (به عنوان مثال ۱۲ ساعت) پمپاژ می‌شود. در این حالت، اغلب، افت سطح آب خواهیم داشت. سپس به مدت ۱۲ ساعت موتور خاموش و پمپاژ متوقف می‌شود. در این حالت، افت ایجاد شده جبران می‌شود. این عمل، چند روز ادامه می‌یابد (به طور مثال ۵ روز) و نتیجه روی کاغذ میلی‌متری افت - زمان ترسیم می‌شود. سپس پایین‌ترین نقطه سطح آب در پایان ۱۲ ساعت پمپاژ برای هرروز (سطح دینامیک در هر مرحله) و همچنین بالاترین نقطه سطح آب (سطح استاتیک) در مرحله جبران به یکدیگر متصل می‌شوند. اگر تغذیه آبخوان ثابت و بده برداشتی نیز ثابت باشد، نقاط اتصالی در سطوح دینامیک و استاتیک به صورت خط و موازی با یکدیگر خواهد بود (در مورد چاههای آهکی کشار و لاورکال که این آزمایش انجام شده چنین بوده است). اکنون شیب این خطوط موازی مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. اگر خطوط پایین رونده بود یعنی در هر مرحله افت باقی‌مانده وجود داشته است. بنابراین بیش از ظرفیت آبخوان برداشت شده است (حالت اول). اگر این خطوط افقی باشند، برداشت معادل ظرفیت تغذیه آبخوان است (حالت دوم). اگر قبل از انجام این آزمایش، سطح آب در چاه به وسیله آزمایشهای دیگر پمپاژ پایین‌تر از سطح استاتیک قرار گرفته باشد و ابتدای آزمایش افت و برگشت متناوب از یک سطح دینامیک انجام شود، ممکن است خطوط دینامیک و استاتیک حالت بالارونده به خود بگیرند که نشانگر برداشت کمتر از ظرفیت تغذیه آبخوان است (حالت سوم). در هر صورت، آزمایش افت و برگشت متناوب، باید با تغییر مقدار بده یا زمان پمپاژ، آن قدر ادامه یابد تا خطوط دینامیک و استاتیک به صورت افقی در آیند.

برای این منظور، در حالت اول می‌توان بده پمپاژ یا زمان پمپاژ را کاهش داد و در حالت سوم بده یا زمان پمپاژ را افزایش داد.

- روش محاسبه بده مجاز: پس از آن که خطوط دینامیک و استاتیک به حالت افقی درآمدند، می‌توان تصور کرد که برداشت معادل تغذیه آبخوان است. بنابراین اگر مقدار آب برداشت شده از آبخوان را در یک یا چند مرحله به زمان آزمایش افت و برگشت در یک یا چند مرحله تقسیم نماییم، بده به دست آمده را می‌توان به عنوان بده مجاز (Q) تلقی کرد.

$$Q = \frac{V \text{ (حجم برداشت در یک یا چند مرحله)}}{t \text{ (مدت زمان افت و برگشت در یک یا چند مرحله)}} = \frac{m^3}{hr}$$

۲-۶-۲ آزمایش افت و جبران

- روش آزمایش: چاه با یک بده ثابت، حداقل به مدت ۱۰ روز پمپاژ شده و سپس پمپاژ متوقف و برگشت سطح آب اندازه گیری می شود. این اندازه گیریها تا رسیدن به سطح آب اولیه در چاه ادامه می یابد.
 - روش محاسبه بده مجاز: در این روش مقداری آب از آبخوان تخلیه می شود (V) و سپس برای جبران این مقدار آب توسط آبخوان مدت زمان لازم برای برگشت سطح آب به سطح اولیه در نظر گرفته می شود. پس از جبران می توان تصور کرد که از مخزن هیچ برداشتی صورت نگرفته است. حال اگر مقدار آب برداشت شده، به کل زمان آزمایش (افت و جبران) تقسیم شود، عدد به دست آمده همان تغذیه طبیعی یا بده مجاز خواهد بود.
- دو روش گفته شده، از نظر روش بینش و چگونگی محاسبه، تقریباً شبیه به یکدیگر بوده و فقط نوع آزمایش متفاوت است، پس بهتر است که ابتدا روش اول انجام شده و سپس با بده مجاز به دست آمده از این روش، آزمایش پمپاژ درازمدت انجام گیرد. در حقیقت، می توان بده ایجاد شده از این دو روش را با یکدیگر مقایسه کرد.
- برای برآورد بده مجاز چاههای آهکی با روشهای گفته شده، نتیجه های پمپاژ چاههای آهکی کشاور، لاورکال و شیروان مورد بررسی قرار گرفت که در زیر، به طور خلاصه به آنها اشاره شده است:

۲-۶-۳ برآورد بده مجاز چاه اکتشافی کشاور

چگونگی تغییرات سطح آب در پمپاژ دراز مدت این چاه، روی نمودار شماره ۲ نشان داده شده است. همانگونه که مشاهده می شود، در مرحله اول پمپاژ، قبل از این که سطح آب به سطح اولیه برسد، مرحله دوم پمپاژ آغاز شده است.

بنابراین برای محاسبه بده مجاز، از نتیجه های مرحله دوم آزمایش استفاده می شود. مقدار حجم آب برداشتی برابر است با:

$$V_1 = 115000 \text{ m}^3 \text{ (بده متوسط ۸۰ لیتر بر ثانیه) متر مکعب}$$

$$V_2 = 121000 \text{ m}^3 \text{ (بده متوسط ۳۲ لیتر بر ثانیه) متر مکعب}$$

$$V = V_1 + V_2 = 115000 + 12100 = 236000 \text{ متر مکعب}$$

$$t = 2600 \text{ ساعت}$$

$$Q = \frac{236000}{2600} \text{ لیتر بر ثانیه ۲۵ و یا مترمکعب بر ساعت}$$

برای این چاه، آزمایش پمپاژ دیگری انجام گرفته که خلاصه وضعیت عملیات پمپاژ در نمودار شماره ۳ مشخص شده است. از اندازه گیریهای مربوط به این آزمایش، نتیجه هایی به شرح زیر به دست آمده است:

رابطه بین حجم برداشت از آبخوان و افت، خطی است. بده متوسط پمپاژ در مرحله اول این عملیات حدود ۷۳ لیتر بر ثانیه

بوده است و خطی بودن این رابطه، نشان می دهد که بده برداشتی خیلی بیشتر از ظرفیت مجاز بهره برداری است.

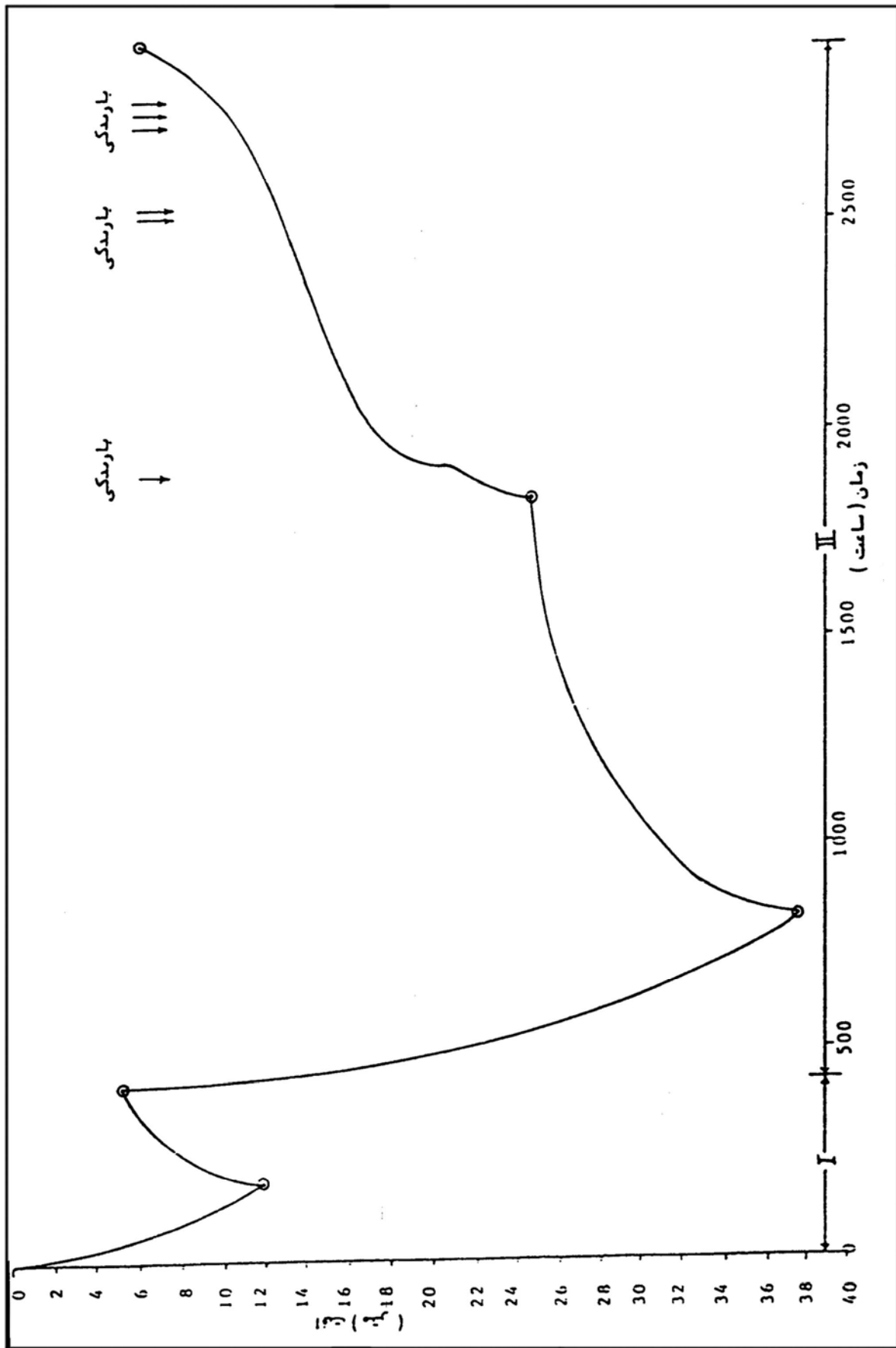
در مرحله دوم عملیات، یک آزمایش افت و برگشت متناوب انجام شده است. همانگونه که مشاهده می شود، خطوط

دینامیک و استاتیک تقریباً موازی بوده و پایین رونده هستند که نشانگر برداشت بیش از حد مجاز است (بده متوسط در این

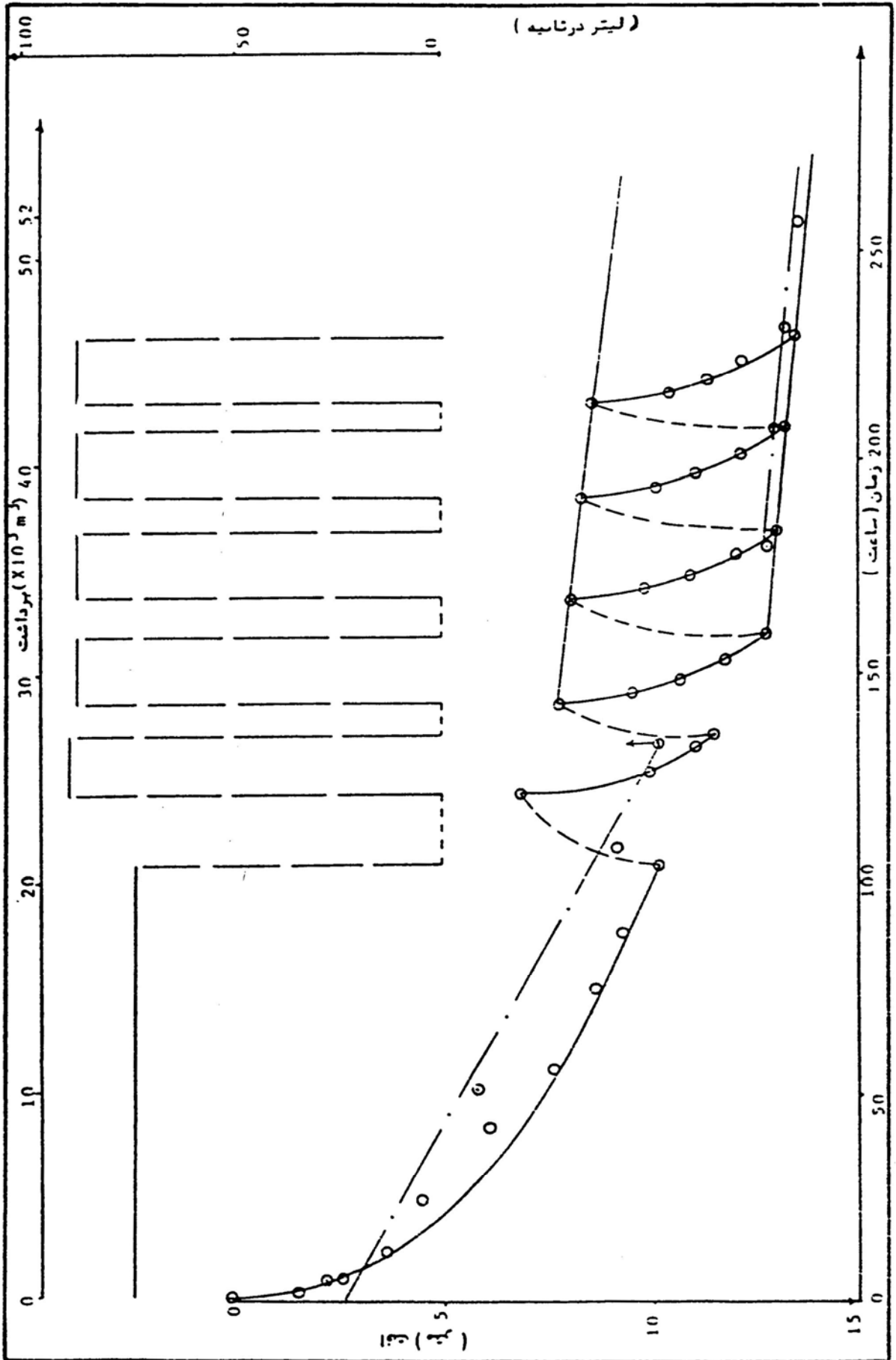
مرحله با توجه به زمان پمپاژ و توقف حدود ۵۳ لیتر بر ثانیه است). بنابراین نتیجه می شود که بده مجاز این چاه، کمتر از ۵۳ لیتر

بر ثانیه است.

نمودار ۲ - نمودار زمان - افت چاه آهکی کشار در مراحل مختلف



نمودار ۳- نمودار الفت - زمان مربوط به آزمایش پمپاژ گروه اهراسی دلتا بر روی منابع آب



۲-۶-۴ برآورد بده مجاز چاه اکتشافی لاورکال

آزمایش پمپاژ این چاه، مراحل مختلفی دارد که شرح مختصر آن در صفحات قبل آورده شد. در این جا، مراحل پمپاژ با بده ثابت و مرحله افت و برگشت متناوب مورد بررسی قرار می‌گیرد (نمودارهای ۴ و ۵). در آزمایش افت: بده ثابت، میزان آب برداشتی

پس از ۱۲۶ ساعت با بده متوسط ۳۵ لیتر بر ثانیه حدود

$$V = 15600 \text{ متر مکعب}$$

$$t = 235 \text{ ساعت}$$

زمان کل آزمایش افت و برگشت به سطح آب اولیه

$$Q = \frac{15600}{285 \text{ مجاز}} \quad \text{لیتر بر ثانیه ۱۵ و یا متر مکعب بر ساعت ۵۵}$$

بنابراین: آزمایش افت و برگشت متناوب در این چاه، ابتدا در چهار روز و روزانه ۱۲ ساعت پمپاژ با بده ۳۲ لیتر بر ثانیه و ۱۲ ساعت توقف پمپاژ، و سپس با مشاهده پایین‌رونده بودن خطوط استاتیک و دینامیک یعنی افزایش افت باقی‌مانده در هر روز؛ آزمایش در چهار روز دیگر با بده ثابت ۳۲ لیتر بر ثانیه و به مدت ۸ ساعت در روز پمپاژ و ۱۶ ساعت توقف ادامه یافت و در پایان این مرحله به عملیات پمپاژ خاتمه داده شد. چنانچه در نمودار شماره ۵ نیز مشاهده می‌شود، در مرحله پایانی، خطوط استاتیک و دینامیک حالت بالا رونده دارند. نتیجه این که در قسمت اول، بده متوسط پمپاژ ۱۶ لیتر بر ثانیه و در قسمت دوم بده متوسط ۱۱ لیتر بر ثانیه بوده است. بنابراین اگر تصور کنیم که چاه با میانگین این دو بده، یعنی حدود ۱۴ لیتر بر ثانیه، آزمایش شود، خطوط گفته شده، به حالت افقی در می‌آیند و همچنین با نتیجه‌ای که از آزمایش افت با بده ثابت به دست می‌آید، می‌توان گفت که بده مجاز این چاه، حدود ۱۵ لیتر بر ثانیه است.

۲-۶-۵ برآورد بده مجاز چاههای اکتشافی شیروان

عملیات پمپاژ این چاهها (چاههای شماره ۱ و ۲) به صورت افت با بده ثابت و برگشت انجام شده و آزمایش متناوب در این چاهها صورت نگرفته است (نمودار شماره ۶). در این آزمایش، مجموع برداشت از چاههای شماره ۱ و ۲ برابر است با:

$$V = 179000 \text{ متر مکعب}$$

$$t = 2580 \text{ ساعت}$$

و زمان کل برای رسیدن به سطح آب اولیه از ابتدای آزمایش

$$Q = \frac{179000}{2580 \text{ مجاز}} = 69/4 \text{ لیتر بر ثانیه ۱۹/۳ و یا متر مکعب بر ساعت ۶۹/۴}$$

آزمایش پمپاژ دیگری در زمانی دیگر، روی چاه شماره ۳ واقع در جنوب چاههای شماره ۱ و ۲ و به فاصله‌ای در حدود ۴۰۰ متر انجام شده که وضعیت افت سطح آب نسبت به زمان در نمودار شماره ۷ مشخص است. در این آزمایش، که با بده ثابت ۱۵۲ متر مکعب در ساعت به مدت ۱۴۸ ساعت انجام شد:

$$V = 22500 \text{ متر مکعب}$$

حجم برداشت آب از آبخوان

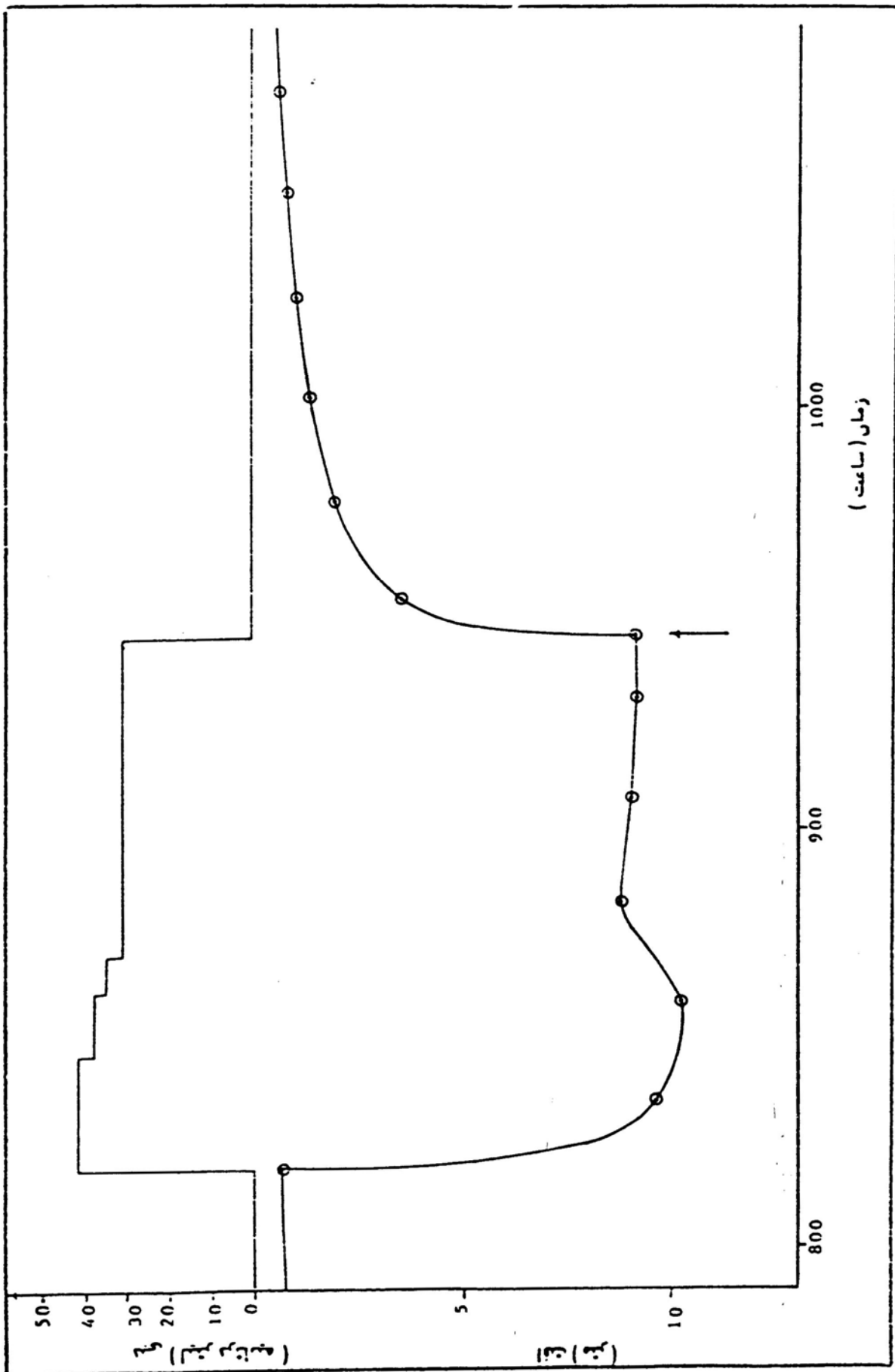
$$t = 325 \text{ ساعت}$$

مجموع زمان افت و برگشت به سطح آب اولیه که از روش ترسیمی به دست آمده

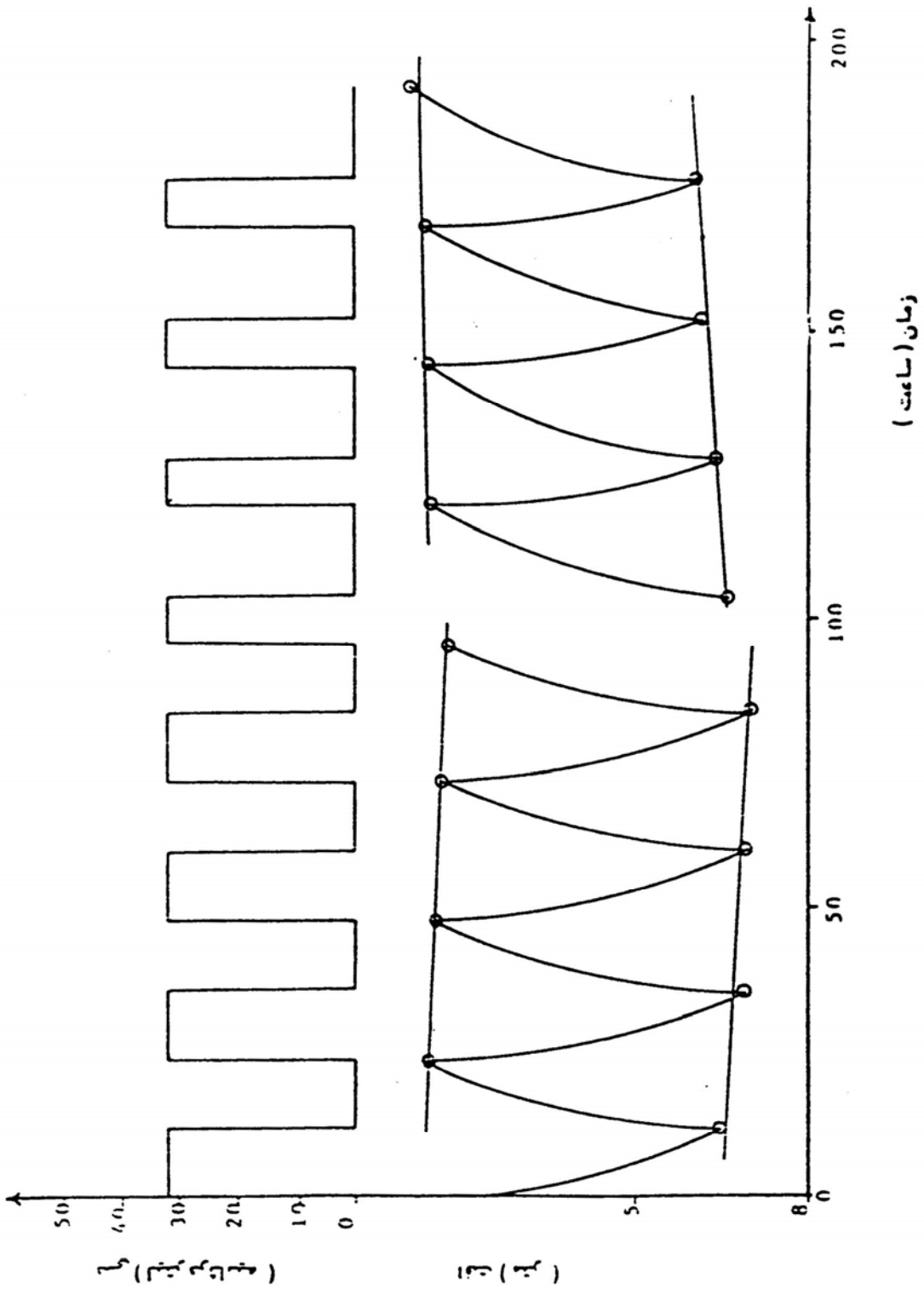
$$Q = \frac{22500}{325 \text{ مجاز}} = 69/2 \text{ لیتر بر ثانیه ۱۹/۲ و یا متر مکعب بر ساعت ۶۹/۲}$$

بنابراین بده مجاز این چاهها را نیز می‌توان حدود ۲۰ لیتر بر ثانیه در نظر گرفت.

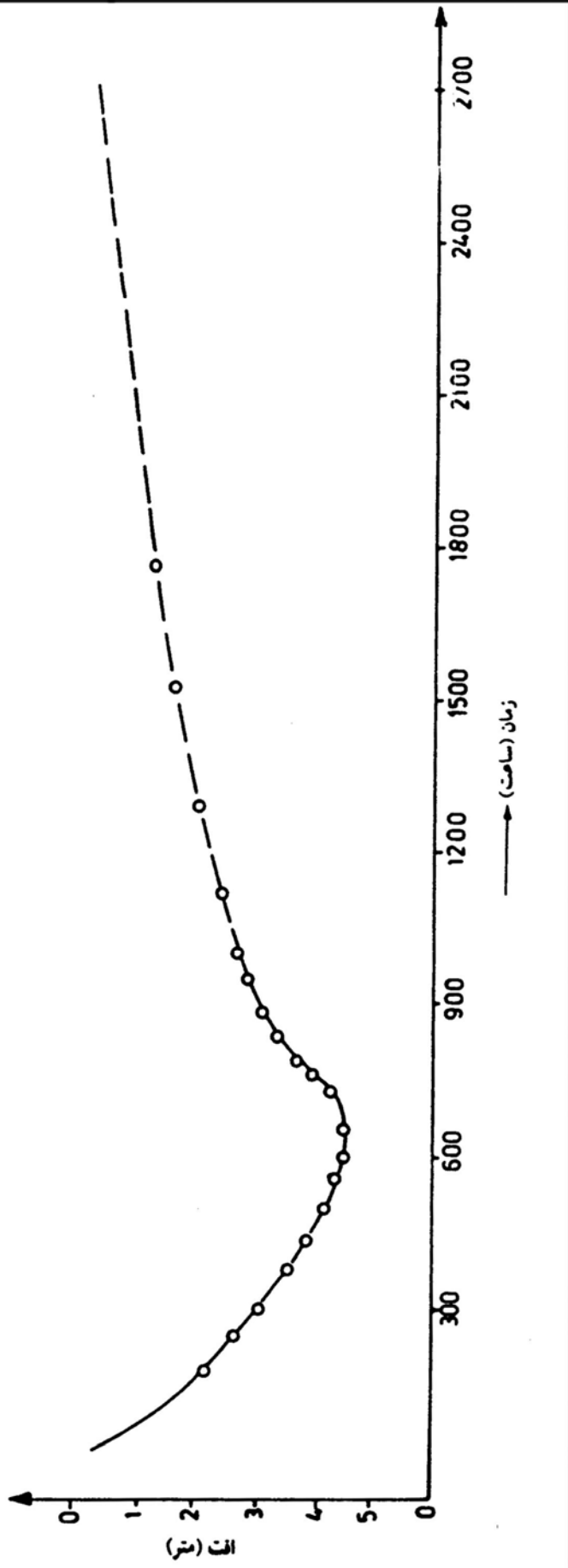
نمودار ۴ - نمودار زمان - افت چاه اکتشافی لاورکال



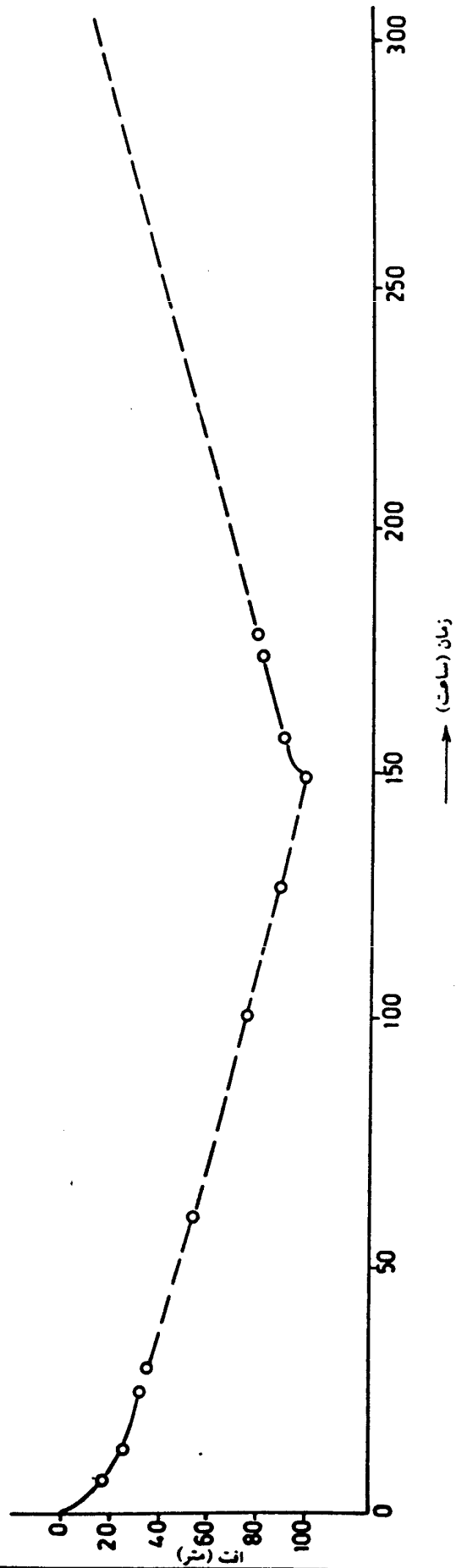
نمودار ۵- نمودار الف - برگشت متناوب چاه اکتشافی لاورکال



نمودار ۶-۴ - زمان در چاههای اکتشافی شماره ۱ و ۲ شیروان



نمودار ۷- الف - زمان چاه اکتشافی شماره ۳ شیروان



منابع و ماخذ

1- Milanovic, Peter. Karst Hydrogeology. Translated by J.J.Buhac, Littleton, Colo,3-1Water Resources Publications, 1981.

2- Todd, David K. Ground Water Hydrology. Mc-Graw-Hill, 1985.3-2

۳- رشیدی محمدحسین : برآورد برداشت مجاز از مخزنهای آب آهکی به وسیله آزمایش پمپاژ درازمدت چاهها، سمینار سازندهای سخت، دانشگاه شهید عباسپور، تهران، دی ماه ۱۳۶۷