



راهنمای نمونه برداری از آب زیرزمینی در دوره تغذیه مصنوعی

راهنمای نمونه برداری از آب زیرزمینی در دوره تغذیه مصنوعی

آبان ماه ۱۳۸۲

نشریه شماره ۱۴۱-ن

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 اجتناب‌ناپذیر 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 رسته‌های اصلی مهندسی آب اقدام به تشکیل گروه‌های علمی - تخصصی با عنوان کمیته‌های تخصصی نموده که نظارت بر تهیه 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 مآخذ 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 دوباره‌کاریها 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

ترجمه اولیه این پیش‌نویس استاندارد از فصل ششم کتاب Overview and Fundamental Considerations

با نام:

Groundwater Sampling During Artificial Recharge : Equipment, Techniques, and Data Analyses

نوشته Donald C. Singor از سازمان زمین‌شناسی آمریکا به وسیله آقای منصور برزگر ریحانی انجام شده و

سپس در کمیته تخصصی تغذیه مصنوعی، ضمن مطابقت با متن اصلی تجدیدنظر، ویرایش و تصویب شده است.

اسامی اعضای گروه تغذیه مصنوعی (کمیته فنی شماره ۱۲) طرح تهیه استانداردهای مهندسی آب کشور به شرح

زیر است :

خانم فیروزه امامی	فوق لیسانس زمین‌شناسی
آقای کامبیز تفوق	فوق لیسانس مهندسی آب زیرزمینی
آقای علی توانایی مروی	فوق لیسانس مدیریت ساخت
آقای محمدعلی ثنایی	لیسانس زمین‌شناسی
آقای محمد مهدی حاج‌زوار	فوق لیسانس عمران - هیدرولیک
آقای محمد هاشم عبایی	فوق لیسانس مهندسی هیدرولوژی
آقای ابوالفضل فروزنده	لیسانس زمین‌شناسی
آقای مهدی هاشمی بابکی	لیسانس زمین‌شناسی و آب‌شناسی

فهرست مطالب

<u>صفحه</u>	<u>عنوان</u>
۱	مقدمه
۱	۱- هدف‌های نمونه‌برداری
۳	۲- پیش‌نویس برنامه نمونه‌برداری آب
۳	۱-۲ نمونه‌های معرف
۶	۲-۲ موقعیت نمونه‌برداری
۹	۳- تجهیزات نمونه‌برداری و روش‌ها
۲۶	۴- تکنیک‌های ارزیابی آبخوان
۲۶	۱-۴ سرعت و جهت جریان
۲۷	۲-۴ تخلخل
۲۸	۳-۴ انتشار
۲۹	۵- مثال‌هایی از نمونه‌برداری و تحلیل داده‌ها در پروژه‌های تحقیقاتی تغذیه مصنوعی
۲۹	۱-۵ تأسیسات تغذیه فرودگاه لوبوک نگراس
۳۵	۲-۵ چاه‌های تغذیه استانتون
۴۱	۳-۵ چاه‌های تغذیه آرورا
۴۳	۶- خلاصه
۴۶	۷- منابع و ماخذ

مقدمه

تغییرات زمانی و مکانی آبی که به طور مصنوعی تغذیه می‌شود و ارتباط شیمیایی آن با محیط زیرزمین، توجه گسترده محققانی که با کاوش درباره پتانسیل آلودگی، زمان جابه‌جایی، اثرات درازمدت تغذیه پیوسته، ویژگی‌های آبخوان، خسارت‌های آبخوان و کارکرد سیستم تغذیه مصنوعی سروکار دارند را به خود جلب کرده است. علاوه بر این، جنبه‌های قانونی و قانونگذاری تغذیه مصنوعی مانند مالکیت، کنترل و استفاده آبی از آب ذخیره شده نیز مورد توجه است. اساس تصمیم‌گیری‌های درست درباره این موارد، به نمونه‌برداری دقیق از آب زیرزمینی نیاز دارد. برای به دست آوردن داده‌هایی از ارتباط آب تغذیه شده و آبخوان، باید یک سیستم نمونه‌برداری طراحی شود، تا کافی بودن مقدار نمونه‌های دوره‌ای برداشت شده را که به طور دقیق معرف کیفیت آب زیرزمینی هستند تضمین کند.

هدف این بخش، گردآوری اطلاعات برای برنامه‌ریزی و تکمیل یک سیستم رفتارسنجی تغذیه آب زیرزمینی است. برای رسیدن به این هدف، اهداف نمونه‌برداری، دستورالعمل‌ها، تجهیزات و روش‌ها بازبینی می‌شود. همچنین برخی از روش‌های ارزیابی آبخوان و پروژه‌های تحقیقاتی تغذیه مصنوعی برگزیده، که مثال‌هایی از نمونه‌برداری و ارزیابی داده‌ها هستند، بازنگری می‌شود. در این جا، به طور کلی تأکید بر پروژه‌های تغذیه مصنوعی است اما این روش‌ها می‌تواند برای دیگر سیستم‌های آب زیرزمینی که نیازمند چنین داده‌هایی هستند نیز کاربرد داشته باشد.

بخش روش‌های ارزیابی آبخوان، اغلب روش کار تحلیل‌هایی را توضیح می‌دهد که نمونه‌برداری برای آنها اهمیت دارد. بنابراین نتیجه‌های نظری این تحلیل‌ها، فراتر از اهداف این بخش است. اگرچه تکمیل پیش‌نویس برنامه نمونه‌برداری از آب، تجهیزات و تکنیک‌ها بازبینی می‌شود، اما دستورالعمل ویژه برای تهیه، نگهداری و انبارکردن نمونه‌ها در این بخش گنجانده نشده است.

بررسی تجربیات تحقیقاتی تغذیه مصنوعی، کاربری تکنیک‌ها و تجهیزات نمونه‌برداری و دستیابی به تحلیل داده‌ها را نشان می‌دهد. در خلال این تحقیقات، راهبری برای تکمیل و ارزیابی فناوری تغذیه مصنوعی، تجهیزات و تکنیک‌های نمونه‌برداری از آب زیرزمینی توسعه یافته و مواد ردیاب برای بهبود نمونه‌برداری از آب زیرزمینی ارزیابی شده است.

۱- هدف‌های نمونه‌برداری

به طور کلی، هدف از نمونه‌برداری طی تغذیه مصنوعی، دستیابی به داده‌های زمانی و مکانی کیفیت آب زیرزمینی است. این داده‌ها می‌تواند بیانگر تغییرات ناشی از اجرای پروژه‌های تغذیه مصنوعی باشد. در ایستگاه‌های تحقیقاتی که تأسیساتی برای هدایت آزمایش‌های تغذیه مصنوعی بنا شده است، هدف اصلی نمونه‌برداری،

به دست آوردن داده‌هایی برای سنجش دقیق نتیجه‌های آزمایش‌ها است. نمونه‌برداری از آب زیرزمینی قبل از تغذیه، برای دستیابی به داده‌های پایه اولیه که بیانگر ویژگی‌های کیفی آبخوان باشد، ضروری است. سپس داده‌های به دست آمده طی تغذیه می‌تواند برای مشخص کردن مقدار تغییرات کیفی به طور مستقیم با اطلاعات اولیه مقایسه شود. شرایط اولیه از این دیدگاه که سیستم تغذیه بتواند جنبه آزمایشی داشته یا این که کاربرد عملی داشته باشد، تعیین کننده است.

یکی از هدف‌های نمونه‌برداری، ارائه اطلاعات برای تعیین ویژگی‌های آبخوان‌هاست. مشخصه‌هایی مانند جهت جریان، سرعت، تخلخل و انتشار از این قبیل‌اند. این عوامل تعیین کننده که قبل از اجرای پروژه‌های تغذیه و یا در هنگام انجام تغذیه قابل دستیابی هستند ممکن است با هدف ارزیابی محلی برای تشخیص امکانات تغذیه صورت گیرد. ارزیابی ردیاب‌ها، تجهیزات و تکنیک‌های نمونه‌برداری، ممکن است از دیگر هدف‌های نمونه‌بردار باشد. عملیات تغذیه و تجربیات موجود برای سنجش اثر مواد مختلف ردیاب در شرایط کنترل شده اغلب ایده‌آل هستند. در چنین مکان‌هایی، اطلاعات موجود هیدرولوژی و مشخصه‌های آبخوان ارزیابی دقیق تری از تحول مواد ردیاب را ارائه کرده و تئوری‌های کارتری برای استفاده در محل‌های مشابه فراهم می‌کند. دیویس و همکارانش [۳] ضمن اظهار نظر در مورد ردیاب‌های آب زیرزمینی، به استفاده از ردیاب‌های تزریقی برای تعیین مشخصه‌های خاص آبخوان مانند سرعت و جهت جریان آب زیرزمینی، تأکید دارند.

سازمان زمین‌شناسی ایالات متحده، آزمایش‌های تغذیه مصنوعی در استانتون تگزاس که عملیات ردیابی را نیز در برمی‌گرفت، هدایت کرده است [۴]. در این محل، تعدادی آزمایش، شامل یک آزمایش پمپاژ و چهار آزمایش تزریق زیر نظر این سازمان انجام شد. در هر کدام از این آزمایش‌ها، ترکیبات آلی و غیرآلی به عنوان ردیاب تزریق شد. نتیجه‌های آزمایش با ردیاب‌های آلی، توسط مالکوم و همکارانش [۵] ارائه شده است. تکنیک‌های نمونه‌برداری و تجهیزات مربوط در کارهای تحقیقاتی تغذیه مصنوعی در استانتون، نزدیک آرورا، نبراسکا [۳ و ۶]، لوبوک و فرودگاه تگزاس [۷] آزمایش شدند.

هدف‌های پایش^۱ سیستم‌های تغذیه مصنوعی، با اهداف نمونه‌برداری برای تحقیق و ارزیابی مشخصه‌های آبخوان مشابهند. در جایی که هدف، تغذیه بهبود کیفیت آب از طریق اجرای پروژه‌های تغذیه مصنوعی و اختلاط آب تغذیه شده با آب زیرزمینی است، نمونه‌برداری از آب تغذیه شده (با هدف تعیین اهمیت تغییرات کیفی)، داده‌هایی را برای اعمال مدیریت ارزیابی سیستم‌های عملی تغذیه آماده می‌کند.

زمان حرکت آب تغذیه شده، وسعت آن و محل‌های احتمالی تخلیه، با مسایلی مثل پذیرش قانون، مسئولیت‌ها، مالکیت آب و اثرات زیست‌محیطی مرتبط هستند. نلسون [۱۱، ۸، ۹، ۱۰] طی سلسله مقالاتی چگونگی ارزیابی اثرات زیست‌محیطی آلودگی آب زیرزمینی را توضیح داده و برای تعیین آلودگی‌های ورودی و پخش آنها،

تحلیل جامعی ارائه داد که در ارزیابی‌های محیطی به کار می‌رود. اطلاعات موردنیاز برای ارزیابی مشکل آلودگی آب زیرزمینی، موقعیت، زمان ورود و مقدار آلوده‌کننده‌ها را شامل می‌شود. این تحلیل‌ها با مثال‌های ایده‌آل و ارزیابی‌های صحرائی از جریان ماندگار در یک سیستم همگن و همسان، جریان ماندگار در یک سیستم ناهمگن نزدیک گراندویو، ایداهو و سیستم غیرماندگار نشان داده شده‌اند. این تحلیل‌ها که در سیستم‌های تغذیه مصنوعی کاربرد دارند، به داده‌های رفتارسنجی آب و داده‌های جریان آب زیرزمینی وابسته‌اند.

مدیریت تغذیه مصنوعی، نیازمند اطلاعاتی درباره چگونگی اجرای سیستم تغذیه مصنوعی است. داده‌های جریان آب زیرزمینی اغلب، اساس ارزیابی موفقیت اجرای پروژه است. با این حال، نمونه‌برداری نیز مورد نیاز می‌باشد، زیرا این نمونه‌برداری‌ها، داده‌هایی را برای دیگر معیارهای موفقیت به دست داده و اغلب تغییراتی مانند کاهش نفوذ استخر تغذیه ناشی از فعالیت باکتری‌های بی‌هوازی را مشخص می‌کند. از آنجا که نصب دستگاه‌های رفتارسنجی پرهزینه و زمان بر است، هدف‌های نمونه‌برداری باید به دقت مورد توجه قرار گرفته و پیش‌نویس برنامه نمونه‌برداری‌ها، پیش از آغاز تغذیه مصنوعی تکمیل شود.

۲- پیش‌نویس برنامه^۱ نمونه‌برداری آب

برای تکمیل پیش‌نویس برنامه نمونه‌برداری، یک نظریه کاری درباره کنترل‌های ژئوشیمیایی مؤثر بر آبخوان ضروری است [۱۲]. این مورد، می‌تواند پیش از نمونه‌برداری، با ارزیابی نتیجه‌های تجزیه‌های شیمیایی موجود از آب منطقه صورت گیرد و هر داده دیگری از منابع شهری، بخشی یا استانی توأم با ارزیابی و تحلیل‌های کانی‌شناسی بخش جامد آبخوان را شامل شود. آگاهی‌های اضافی می‌تواند با برون‌یابی داده‌ها از حوضه‌های دارای ویژگی‌های هیدرولوژیک، زمین‌شناسی و اقلیمی همانند به‌دست آید. داشتن یک نظریه کاری از خصوصیات هیدرولوژیکی و واکنش‌های شیمیایی ممکن در یک منطقه، به نمونه‌بردار در انتخاب محل‌های نمونه‌برداری، تعیین تعداد نمونه‌ها، نوع تحلیل‌ها و نیز چگونگی جمع‌آوری نمونه‌ها، آماده‌سازی و حفاظت آنها کمک خواهد کرد.

۱-۲ نمونه‌های معرف

ضرورت این‌که نمونه‌های برداشته شده از آب درون زمین، از نظر شیمیایی و فیزیکی معرف باشند، اساس برنامه دستیابی به تعیین کیفیت آب زیرزمینی از طریق نمونه‌برداری از آب زیرزمینی است. این گفته، به‌طور معمول در ملاحظات مقدماتی درباره دستورالعمل‌های نمونه‌برداری پیش‌پافتاده به‌نظر می‌رسد [۱۳، ۱۲ و ۱۴] اما اگرچه مفهوم آن ساده است، آسان به‌دست نمی‌آید.

برای اطمینان از این که یک نمونه معرف از یک آبخوان در یک محل مشخص به دست آمده باشد، "وود"^۱ [۱۲] معیار پارامتر - ثابت برای نمونه برداری از چاه‌ها را تکمیل کرد. اشمیت [۱۵] می‌گوید که معیار پارامتر - ثابت بر معیار حجم - چاه که اغلب برای چاه‌های رفتارسنجی به کار می‌رود، برتری دارد. کمترین اقدام احتیاطی لازم برای معیار پارامتر - ثابت این است که پمپاژ چاه تا زمانی ادامه یابد که دما pH ، و هدایت ویژه آب ثابت شود. "وود"^۳ [۱۲] اشاره می‌کند که pH به طور معمول آخرین پارامتری است که ثابت می‌شود، بنابراین حساس‌ترین آزمون برای تعیین معرف بودن است. در چاه‌های دارای ظرفیت زیاد که اغلب مصرف نزدیک به ثابتی دارند، مانند چاه‌هایی که مصرف کشاورزی، صنعت یا شهری دارند شرایط ثابت ممکن است در چند دقیقه به دست آید. در چاه‌هایی که پمپاژ نمی‌شوند یا به ندرت پمپاژ می‌شوند (مانند چاه‌های جایگزین، تازه حفر شده یا چاه‌های مشاهده‌ای)، برای تهیه نمونه معرف، ممکن است به پمپاژ یک روزه یا طولانی‌تر نیاز باشد.

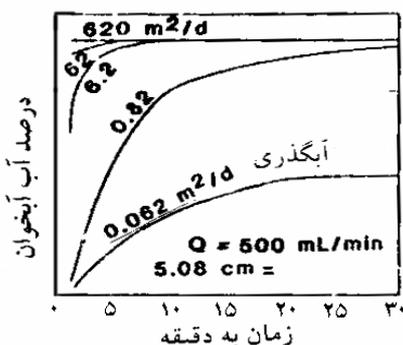
در یک سیستم تغذیه مصنوعی فعال، پارامترهایی که اندازه‌گیری می‌شود، مانند قابلیت هدایت ویژه، ممکن است با گذشت زمان تغییر کند و این پارامتر را شاید بتوان برای تعیین درجه اختلاط آب زیرزمینی با آب تزریق شده به کار برد. معیار پارامتر - ثابت برای تهیه نمونه‌های معرف ارزیابی‌های عمومی هیدرولوژیک و ژئوشیمیایی تکمیل شده و در دستیابی به داده‌های پایه پیش از تغذیه می‌تواند مناسب باشد. این معیار را شاید بتوان در سیستمی که در آن تغییرات سریع اتفاق می‌افتد به کار برد. بنابراین، معیار پارامتر - ثابت را می‌توان برای تهیه نمونه معرف از آب چاه‌ها پیش از تغذیه آنها، برای تعیین زمان و حجم آب پمپاژ شده به کار برد. بنابراین معیار نمونه برداری که بر پایه زمان یا حجم قرار داشته باشد را می‌توان برای نمونه برداری از یک آبخوان در حال تغذیه که سرعت تغییرات کیفی در آن می‌تواند زیاد باشد به کار برد. استفاده از چنین معیاری، به آن بستگی خواهد داشت که تغییرات واقعی با چه سرعتی اتفاق بیفتد. اگر فرض شود که تغییرات کیفیت آب سریع‌تر از برداشت نمونه‌های معرف با تکنیک نمونه برداری ناپیوسته باشد، احتمالاً نمونه برداری با پمپاژ پیوسته ضرورت خواهد یافت.

به طور معمول پمپاژ چاه‌های مشاهده‌ای با قطر کم که برای رفتارسنجی در دوره تغذیه مصنوعی حفر می‌شوند، مشکل است. بنابراین در چند سال گذشته، تعدادی از پمپ‌های با قطر کم عرضه شده است. در صورت نبودن پمپ، نمونه‌گیر آبدزدکی^۲ قابل استفاده است، اما برای برداشت نمونه‌های معرف، چاه باید آنقدر آبکشی یا پمپاژ شود تا قابلیت هدایت ویژه pH ، و دمای آب ثابت شود. "وود"^۲ [۱۲] اشاره می‌کند که در هر نمونه برداری با گل‌کش یا نمونه‌گیر آبدزدکی احتمال اختلاط آب چاه با آب آبخوان وجود داشته و حتی ممکن است مقادیر ثابت هدایت الکتریکی pH ، و دما مشخص‌کننده نمونه معرف نباشد.

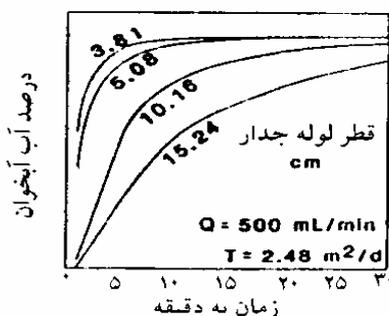
شولر و همکارانش [۱۳]، رابطه درصد آبی که در زمان پمپاژ از آبخوان وارد چاه شده را با مقادیر متفاوت قابلیت انتقال^۳ آبخوان در یک چاه با قطر ۵/۰۸ سانتی‌متر و بده پمپاژ ۵/۰ لیتر بر دقیقه نشان دادند. شکل ۱ نشان می‌دهد که برای آبخوان‌هایی که مقادیر قابلیت انتقال آنها بیشتر از ۶۲ متر مربع بر روز باشد، نمونه برداشت شده از یک

1- Wood
2- Thief Sampler
3- Transmissivity

چاه با قطر ۵/۰۸ سانتی متری بعد از پنج دقیقه پمپاژ معرف ۱۰۰ درصد آب آبخوان خواهد بود، بنابراین اثرات ذخیره آب درون چاه در کیفیت قابل چشم پوشی می شود. شولر و همکارانش [۱۳] نتیجه گرفتند که در چنین حالتی، هنگام تهیه پیش نویس نمونه برداری، ذخیره آب درون چاه را می توان نادیده گرفت. شکل ۲ تأثیر قطر چاه را نمایش می دهد؛ این شکل بیانگر آن است که قطرهای بیشتر از ۵/۰۸ سانتی متر بر درصد آب پمپاژ شده از آبخوان، به ویژه در دقیقه های اول پمپاژ که مقدار قابل توجهی از آب پمپاژ شده مربوط به ذخیره آب درون چاه است، تأثیر می گذارد.



شکل ۱- رابطه درصد آب آبخوان در یک نمونه برداشته شده در خلال پمپاژ پیوسته چاه با زمان، برای قابلیت های انتقال مختلف آبخوان [۱۳]



شکل ۲- رابطه درصد آب آبخوان در یک نمونه برداشته شده در خلال پمپاژ پیوسته چاه با زمان، برای قطرهای مختلف چاه [۱۳]

در خلال پمپاژ چاه، پیش از برداشت نمونه های معرف، جهت تعیین مقدار آب لازم برای "شستشوی چاه"، داده های به دست آمده از چاه های نزدیک یک محل دفن زباله نشان داده است که تغییر غلظت کلسیم (Ca)، کلراید (Cl)، پتاسیم (K)، منیزیم (Mg)، منگنز (Mn) و سدیم (Na) کم یا هیچ بوده است. بنابراین، تغییر غلظت برخی عناصر محلول مانند آهن (Fe) و روی (Zn) در خلال پمپاژ قابل توجه و برای آهن نیز فصلی بوده است. گمان می رود تغییرات فصلی آهن محلول در نمونه ها، ناشی از کنترل فصلی شرایط اکسیداسیون یا احیای زباله ها باشد. مقادیر ثابت آهن و روی محلول، پس از پمپاژ، ۸ تا ۱۰ برابر حجم آب چاه ها به دست آمده است.

از آنجایی که این داده‌ها از نمونه‌های برداشتی از محل دفن زباله‌ها است، شولر و همکارانش [۱۳] بیان کردند که نمونه‌بردار باید تفاوت نیاز به شستشوی چاه‌ها برای هر چاه در شرایط گوناگون زمین‌شناسی، هیدرولوژی و شیمی‌آب را در نظر داشته باشد. به عنوان مثال، در یک چاه ممکن است پمپاژ مقدار مشخصی از آب برای برداشت نمونه‌معرف کافی باشد، در حالی که ممکن است در چاه دیگر، این مقدار ناکافی یا بسیار زیاد باشد. مشکلی که می‌تواند به وجود بیاید این است که نمونه‌برداری از آب مجاور محل دفن زباله‌ها به دلیل پمپاژ^۱ بوده و نمونه نمی‌تواند معرف محل مورد مطالعه باشد.

۲-۲ موقعیت نمونه‌برداری

تعیین محل نقاط نمونه‌برداری از نظر این که توزیع سطحی و عمقی داده‌ها، بنیاد معتبری برای تعیین یا تحلیل رژیم جریان، اثرات کیفی و پخش سطحی آب تغذیه شده را به دست دهد، اهمیت دارد. مثل اغلب محل‌های تغذیه مصنوعی، طراحی شبکه ویژه نمونه‌برداری، از فاکتورهای محل و هدف‌های عملی نتیجه خواهد شد.

فانکوخ^۲ و لابنو^۳ [۱۶]، فهرستی از پنج مرحله ضروری برای بهینه‌سازی شبکه رفتارسنجی را ارائه کرده‌اند. این مرحله‌ها عبارتند از: (۱) طراحی یک شبکه مقدماتی و جمع‌آوری اطلاعات، (۲) نصب تجهیزات اولیه و آزمون‌ها، (۳) تکمیل و تصحیح اطلاعات، (۴) اجرا و (۵) پایان دادن به پروژه یا ادامه آن.

آنها در تشریح دستورالعمل، توضیح می‌دهند که در مرحله ۱ مطالعات، راه‌ها و ساز و کارهای انتقال و پراکندگی که باید در طراحی مقدماتی دیده شوند عبارتند از: (الف) نفوذ از یک منبع آلوده به زیرزمین، (ب) تراوش در امتداد منطقه غیراشباع و (پ) انتقال و پراکندگی مواد زائد در سیستم جریان آب زیرزمینی. پس از آن که این ساز و کارها دیده و شناسایی شد، محیط هیدروژئولوژیک می‌تواند ارزیابی شود.

مطالعات اولیه زمین‌شناسی، اقلیم‌شناسی و هیدرولوژی لازم برای طراحی شبکه مقدماتی و جمع‌آوری اطلاعات، می‌تواند به خوبی بر پایه اطلاعات موجود بنا شود. تجزیه نمونه‌های آب، تحلیل پاسخ‌های چاه به رخداد‌های هیدرولوژیک و آزمایش‌های آبخوان، تحلیل لاگ چاه‌ها و نمونه‌های برداشته شده از آبخوان یا مغزه‌ها می‌توانند اطلاعاتی درباره سیستم جریان، آلودگی‌های قبلی، ویژگی‌های آبخوان و سرشت مواد تشکیل‌دهنده آن را به دست دهند. پس از مطالعات اولیه، هدف‌های مقدماتی، گزینش روش‌ها و برنامه‌ریزی کارهای بعدی قرار دارد. فانکوخ و لابنو [۱۶] فهرستی از منابع اطلاعاتی و ابزارهای ارزیابی سیستم و روش‌ها را در جدول‌های ۱ و ۲ نشان داده‌اند. این منابع می‌تواند برای دستیابی به داده‌های مستقل استفاده شوند.

1- Overpumping
2- Pfannkuch
3- Labno

جدول ۱- منابع اطلاعات هیدرولوژیک

رکوردها (منابع نقطه‌ای)	نقشه‌ها (اطلاعات سطحی)
لاگ چاه‌ها	توپوگرافی
گمانه‌زنی‌های خاک‌شناسی	نگاره‌های هوایی
اقلیم‌شناسی	زمین‌شناسی
داده‌های رودخانه‌ها	خاک‌شناسی
مصرفه	گزارش‌ها (داده‌های فراگیر)
نقل قول‌ها	انتشارات دولتی
تحقیقات در دست انجام	مجله‌ها
دانشگاه‌ها	پایان‌نامه‌ها
گروه‌های کاری	تحقیقات دانشگاهی
مؤسسه‌های دولتی	گزارش‌های بوم‌زیستی
	برداشت‌های صحرایی

جدول ۲- ابزارها و روش‌های ارزیابی سیستم، برای تهیه طرح مقدماتی شبکه نقاط نمونه‌برداری^۱

ابزارهای ارزیابی	روش	
سیستم هیدرولوژیک	سیستم زمین‌شناسی	مستقیم
رفتارسنجی اقلیمی	حفاری	
رفتارسنجی جریان رودخانه	نمونه‌های دستگامی	
	تجزیه آزمایشگاهی	
مدل‌سازی حوضه	ژئوفیزیکی (کم ژرفا)	غیرمستقیم
سیستم شیمیایی	سیستم هیدروژئولوژیک	
	نمونه‌های آب	
تجزیه نمونه‌ها	چاه‌های مشاهده‌ای / پیزومترها	مستقیم
تبادل یونی و ظرفیت جذبی محیط	چاه‌های پمپاژ	
	لیسیمترهای مکشی	
	تجزیه‌های آزمایشگاهی	
	آزمون آبخوان	
نقشه هم‌غلظت	تحلیل شبکه جریان	غیرمستقیم
ژئوفیزیکی (چگالی)	مدل‌های آنالوژی و رقمی	

۱- ماخذ: فانکوخ و لابنو [۱۶]

در مرحله ۲ مطالعات، چاه‌های تعیین شده برای نمونه‌برداری را می‌توان حفر و بگونه‌ای راه‌اندازی کرد که برای محیط هیدرولوژیک مناسب‌ترین وضعیت را داشته باشد. حفاری با اوگر، اغلب خطراتی را ایجاد می‌کند که در آنها، نمونه‌برداری از آبخوان ساده است. حفاری دورانی را نیز با به‌کارگیری افزودنی‌های دارای خاصیت تجزیه بیولوژیک^۱ می‌توان به خدمت گرفت. افزودن هر نوع مایع حفاری، (حتی آب) به گل حفاری، می‌تواند سبب تغییر رطوبت و آلودگی یا جابه‌جایی مایع برجای اطراف چاه شود. هنگامی که هدف از حفاری چاه، رفتارسنجی یا آزمون‌های بیولوژیک باشد، گندزدایی تجهیزات بیش از حفاری اهمیت دارد. در نمونه‌گیری و تهیه لاگ چاه‌ها باید صرف‌نظر از روش حفاری دقت زیادی به کار برده شود تا مبنایی برای تعیین درست محل توری^۲ چاه‌ها را تضمین‌کند. نوع مواد و روش‌های قابل استفاده در ساختمان چاه‌های مشاهده‌ای، با در نظر گرفتن اجزای تشکیل‌دهنده نمونه انتخاب می‌شود. بنابراین باید مواظب بود تا روغن یا گریس به‌کار رفته در نوارهای آب‌بندی، مواد چسباننده، حلال‌های به‌کار رفته برای پیوند اتصال‌های پلاستیکی یا موادی که برای پرکردن دور لوله جدار به‌کار می‌روند با نمونه‌ها مخلوط نشوند.

در مرحله ۳، اطلاعات به‌دست آمده از نصب ابزارهای اولیه و آزمون‌ها را می‌توان برای تکمیل شبکه چاه‌های مشاهده‌ای لازم برای تأمین نیازهای پروژه به‌کار برد. رفتارسنجی مداوم شرایط اولیه، در نقاط شبکه مقدماتی، داده‌هایی را تهیه می‌کند که می‌توان آنها را برای توسعه مدل سیستم به‌کاربرد و نقاط اضافی در شبکه، می‌تواند برای تصحیح تحلیل‌های اولیه، داده تهیه کند. این سه مرحله نخستین، می‌تواند با هزینه‌ای اندک و با کمترین افزودگی در نصب ابزارها و گردآوری داده‌ها تکمیل شود. با این شبکه نمونه‌برداری گسترده و نمونه‌برداری اولیه تکمیل شده، می‌توان برنامه اجرایی نمونه‌برداری (مرحله ۴) را بر مبنای نتیجه‌های تجزیه‌های اولیه گردآوری کرد.

مرحله ۵ بر اساس پیشنهاد فانکوخ و لاینو پایان پروژه است. در نمونه‌های موفق و درازمدت تغذیه، عملیات ممکن است نامحدود بوده و پایان کار قابل پیش‌بینی نباشد. بنابراین رفتارسنجی می‌تواند ادامه یابد. زمانی که سیستم، ایجاد و با رفتارسنجی تعریف شد، کاهش مشاهده‌ها به نقاط بحرانی برای تعیین وضعیت اجرایی کافی است و هر تغییری با تصمیم‌گیری مدیریتی انجام خواهد شد.

۳-۲ دقت و درستی

جمع‌آوری نمونه‌های آب زیرزمینی باید بگونه‌ای انجام شود که نمونه‌ها را بتوان با دقت و درستی تجزیه کرد. بسته به سرشت عناصری که اندازه‌گیری می‌شوند، تعیین برخی موارد مانند اندازه‌گیری عناصر ناپایدار می‌تواند در محل انجام شود. ارائه جزییات دستورالعمل‌ها و تجهیزات تجزیه آزمایشگاهی یا صحرایی، فراتر از هدف این راهنما است، اما تشریح جامع روش‌ها و تجهیزات در مجموعه "روش‌های کاوش منابع آب" به وسیله سازمان زمین‌شناسی آمریکا تهیه شده است. به منظور تکمیل یک پیش‌نویس برای نمونه‌برداری، که انتظار می‌رود

1- Biodegradable

2- Screen

رشته‌های مختلف علوم را در نظر داشته باشد، دریافت اطلاعات از شیمیدان‌ها، زیست‌شناسان و به همان ترتیب هیدرولوژیست‌ها (برای تضمین این که نمونه‌ها به درستی تهیه شده و تجزیه‌ها نمایانگر محیط تغذیه مصنوعی‌اند) ضروری است.

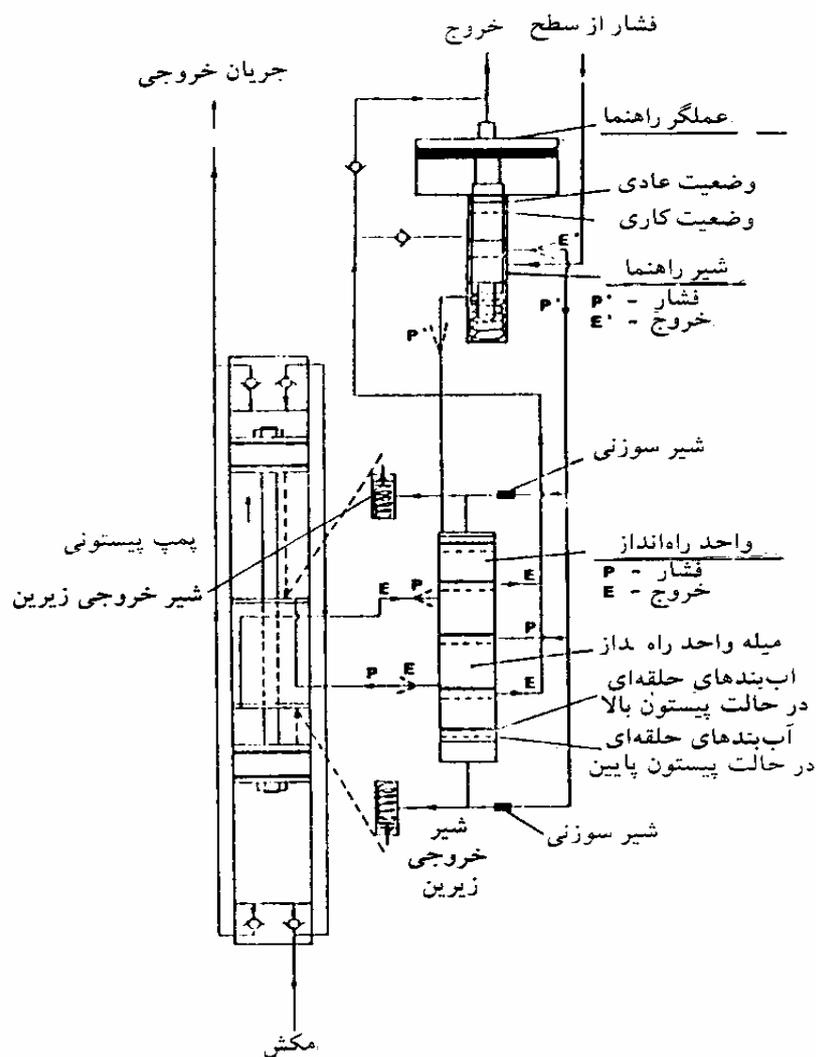
۳- تجهیزات نمونه‌برداری و روش‌ها

نمونه‌برداری ساده و ارزان از چاه‌ها، به روش دستی با نمونه‌بردار آبدزدکی انجام می‌گیرد. چند روش نمونه‌گیری به وسیله وود [۱۲]، اسکالف^۱ و همکارانش [۱۴]، باس^۲ و بونت^۳ [۲۱] تشریح شده‌اند. نمونه‌های گرفته شده با نمونه‌گیر آبدزدکی، نمی‌تواند معرف آب درون آبخوان باشد مگر این که چاه پمپاژ شده یا آب راکد درون چاه، به وسیله گل‌کش بیرون کشیده شود. در این شرایط نیز، شاید نمونه‌برداری برای تعیین عناصر ناپایدار مانند اکسیژن محلول امکان‌پذیر نباشد، حتی اگر چاهی پمپاژ شده یا آب آن کشیده و به مقادیر ثابت pH، دما و هدایت ویژه رسیده باشد. نمونه‌برداری با نمونه‌گیر آبدزدکی، تضمین کامل برای معرف‌بودن نمونه را ندارد.

اغلب، حفر چاه‌های با قطر کم آسان بوده و هزینه‌های آن منطقی است، اما برای تهیه نمونه‌های معرف با نمونه‌برداری دوره‌ای یا پیوسته، یک پمپ کم قطر نیز لازم است. چاه‌های مشاهده‌ای که به عنوان بخشی از برنامه‌های تحقیقاتی تغذیه مصنوعی سازمان زمین‌شناسی ایالات متحده حفر شده‌اند، به وسیله لوله‌هایی از فولاد یا پی‌وی‌سی (پلی وینیل کلراید) به قطر ۵ سانتی‌متر تجهیز شده‌اند.

برای نمونه‌برداری از چاه‌های با قطر کم، یک نوع پمپ گازران^۴ ساخته شده که می‌توان آن را در لوله‌های به قطر ۵ سانتی‌متر یا بیشتر نصب کرد. این پمپ، نوعی پیستون دوکاره است که به‌طور کلی از فلز زنگ نزن ساخته شده و به وسیله گاز فشرده کار می‌کند. در این پمپ، از نیتروژن و هوا به عنوان گاز جا به جا کننده استفاده شده است و جز خشک‌بودن گاز، محدودیت دیگری ندارد. در آن‌ها دو سیلندر وجود دارد که به وسیله یک رابطه میانی به هم متصلند. در طول رابطه، پیستون‌هایی که با میل پیستون معمولی به هم مربوطند، حرکت می‌کنند. درون رابطه، یک واحد راه‌انداز وجود دارد که با رفت و برگشت پیستون فعال شده و جهت جریان گاز را برای عمل متناوب پیستون تغییر می‌دهد. اصول طراحی، جریان گاز و مجموعه کنترل‌های پمپ به صورت نمودار شماتیک در شکل ۳ نشان داده شده است.

1- Scalf
2- Buss
3 - Bondt
4- Gas - Driven



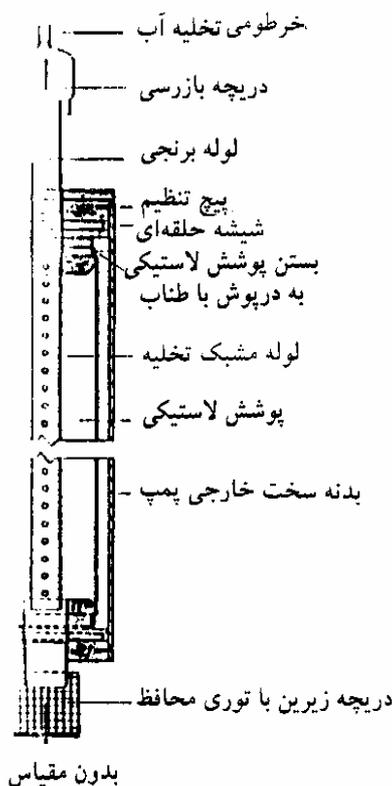
شکل ۳- طرح پمپ بیستونی گازران، جریان و مجموع کنترل‌ها [۲۳]

نرخ پمپاژ، بسته به ارتفاع و فشار اجرایی پمپ تغییر می‌کند. یک نمونه برداری تیپیک با پمپاژ تقریباً ۰/۳۵ لیتر بر دقیقه، تا ارتفاع ۳۲ متر طی آزمایش‌های ردیابی انجام شده است. نوع کارخانه‌ای این پمپ که دارای واحد راه اندازه مطمئنی است، می‌تواند تا ارتفاع ۱۵۰ متر آب را پمپ کرده و بده تا ۱/۹ لیتر بر دقیقه را انتقال دهد. این پمپ دارای امتیازهای زیر است:

- (۱) نمونه آب از گازهای عامل جدا شده است، (۲) به منبع الکتریسته نیاز ندارد، (۳) می‌تواند پیوسته کار کند، (۴) از گاز فشرده کارا استفاده می‌شود و (۵) کارکرد آن در زمان‌های طولانی نیز قابل اعتماد است.

اساسی‌ترین نکته منفی آن، قیمت نسبتاً زیاد است و این، به دلیل گستردگی تراشکاری و استفاده از فولاد زنگ‌نزن برای ساخت آن است.

پمپی که به وسیله میدل بورگ^۱ [۲۴] تکمیل شده، در شکل ۴ به صورت شماتیک نشان داده شده است. این پمپ براساس اصل فشردن هوا عمل می‌کند. وقتی درون آب غوطه‌ور شود، آب از دریچه زیرین، وارد یک لوله لاستیکی درون پمپ می‌شود. لوله لاستیکی، با فشار هوای میان سطح بیرونی آن و لوله فولادی خارجی، فشرده شده و آب را به بالا می‌راند. پمپ می‌تواند به صورت دستی یا با یک زمان‌سنج الکتریکی کار کند. یک دریچه الکترومغناطیسی، منبع‌گاز و لوله‌های ارتباطی سیستم را تکمیل می‌کند. اندازه، وزن، قابلیت حمل و نقل، راحتی کارکردن، ایمنی، کیفیت نمونه‌ها و قیمت ارزان از امتیازات پمپ‌های هوای فشرده است. در مقایسه با پمپ‌های پیستونی گازران، که پیش از این تشریح شد، پمپ‌های هوای فشرده به مقدار زیادی گاز فشرده نیاز داشته و لازم است برای پرشدن در زیر آب قرارگیرند. مقدار گاز لازم برای نمونه‌برداری‌های کوتاه‌مدت قابل قبول است ولی برای نمونه‌برداری‌های پیوسته یا نمونه‌برداری از عمق‌های زیاد ممکن است بیش از اندازه باشد.

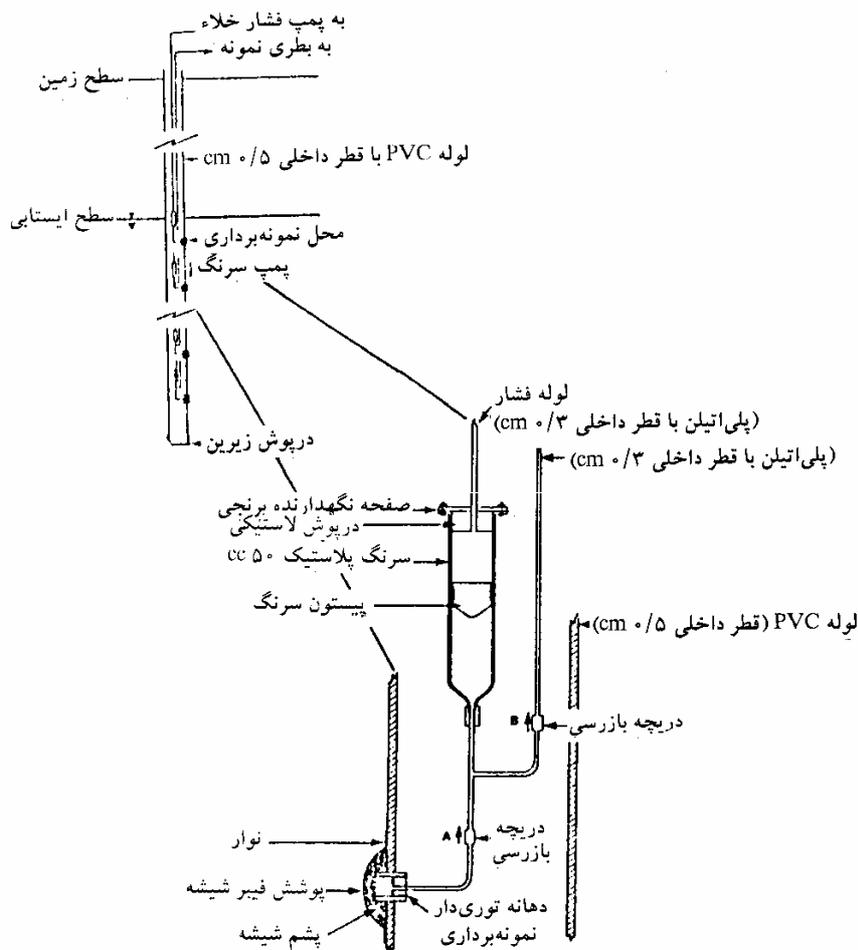


شکل ۴- طرح پمپ هوای فشرده [۲۴]

گیلهم و جانسون^۲ [۲۵] یک وسیله نمونه‌برداری چند طبقه را معرفی کرده‌اند. این وسیله، دارای سطوح مشبک کوچکی است که با فاصله در طول یک لوله قرار گرفته است. در برابر هر سطح مشبک، براساس شکل ۵، یک پمپ نصب شده است. این وسیله اجازه می‌دهد که آب در اثر فشار مثبت جمع شود، بنابراین نمونه‌ها را می‌توان

1- Middleburg
2- Gillham & Johnson

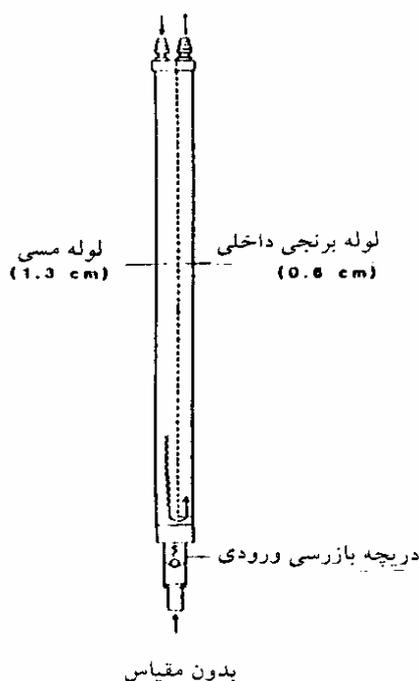
با مکش خیلی زیاد از اعماق مختلف برداشت. در عمل، نمونه بردار نیازمند فشارهایی بیشتر و کمتر از فشار جو است. فشار کمتر از جو، برای بالای لوله سرنگ شکل ۵ به کار می‌رود، تا با حرکت بالارونده پیستون، آب به درون سرنگ رانده شود. فشار مثبت که پیستون را پایین می‌برد، آب را از راه لوله انتقال نمونه به سطح می‌راند. “گیلهام و جانسون” نشان دادند که فقط فشار کمی کمتر از فشار جو برای کارکرد دستگاه لازم است و اگر نقطه نمونه برداری ۳ تا ۴ متر زیر سطح ایستابی باشد، سرنگ در نتیجه فشار هیدرواستاتیک پر خواهد شد.



شکل ۵- دستگاه نمونه بردار آب زیرزمینی با جابه‌جایی مثبت [۲۵]

دستگاه نمونه بردار آب زیرزمینی با جابه‌جایی مثبت، در مرکز توخالی بدنه اوگرها نصب می‌شود. سه مورد نصب نمونه بردار، در عمق ۲۸ متری در یک محل با ژرفای سطح ایستابی ۲۰ متر و در دو محل دیگر با ژرفای ۱۵ متری نشان داده است که کار دستگاه‌های نمونه‌گیر در همه موارد معمولی است. نمونه بردارها در لایه‌های ماسه‌های تقریباً تمیز، متوسط تا ریزدانه نصب شده‌اند. ساخت و نصب این وسیله، نسبتاً اقتصادی است. این نویسندگان [۲۵] درباره معایب دستگاه نمونه‌گیر، مانند محل دریچه بازرسی که امکان ورود ذرات ریز به سیستم را فراهم می‌کند، یا محدود شدن استفاده از دستگاه به موادی که جدار چاه را سوراخ کرده و برای نمونه‌گیر به مقدار کافی آب تأمین کند، بحث می‌کنند. به‌طور کلی به نظر می‌رسد که این روش یک تکنیک عالی باشد.

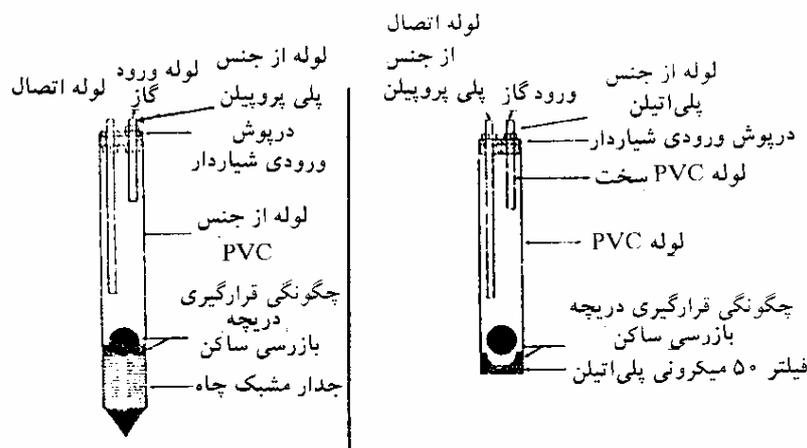
طرح اولیه یک پمپ که بر اصل خروج گاز استوار است، به وسیله بیانکی و دیگران^۱ [۲۶] ارائه شده و به طور گسترده در برنامه‌های نمونه‌برداری مورد استفاده قرار گرفته است. تفاوت‌های اساسی در طراحی این پمپ عبارتند از: استفاده از موادی که حفظ ترکیب نمونه را تضمین می‌کند و اندازه‌های آن نیز محدودیت دارد. این نوع پمپ، برای نمونه‌برداری از پیژومترهایی به قطر ۲/۵ سانتی‌متر ساخته شده است. در این پمپ، یک لوله مسی به قطر ۱/۳ سانتی‌متر با یک دریچه زیرین، یک لوله درونی برنجی با دهانه خروجی به قطر ۰/۶ سانتی‌متر که در نزدیک انتهای پمپ باز می‌شود و دو لوله رابط به قطر ۰/۶ سانتی‌متر از پلی‌اتیلن به کار رفته است (شکل ۶). این پمپ، برای چاه‌های مشاهده‌ای به قطر ۵ سانتی‌متر نیز به کار برده شده است. در یک مورد،^۲ CPT در بالا و پایین دهانه ورودی با پکرهای^۳ قابل انبساط تجهیز شده و برای نمونه‌گیری از سطح خاصی در چاه مشاهده‌ای به قطر ۵ سانتی‌متر (که در تمام ضخامت آبخوان دارای لوله مشبک بود) به کار برده شد. در چندین CTP که برای نمونه‌برداری نقطه‌ای به کار گرفته شده‌اند، از ترکیب یک زمان‌سنج و مغناطیس الکتریکی مرتبط به منبع هوای فشرده استفاده شده است. عیب طراحی این دستگاه آن است که مایع از گاز خروجی جدا نمی‌شود. در ضمن، قیمت CTP بسیار ارزان است [۲۲].



شکل ۶- پمپ نمونه‌برداری از پیژومترهایی به قطر ۲/۵ سانتی‌متر که بر اساس خروج گاز کار می‌کند [۲۲].

-
- 1- Bianchi and Others
 - 2- CTP (Copper Tube Pump)
 - 3- Pecker

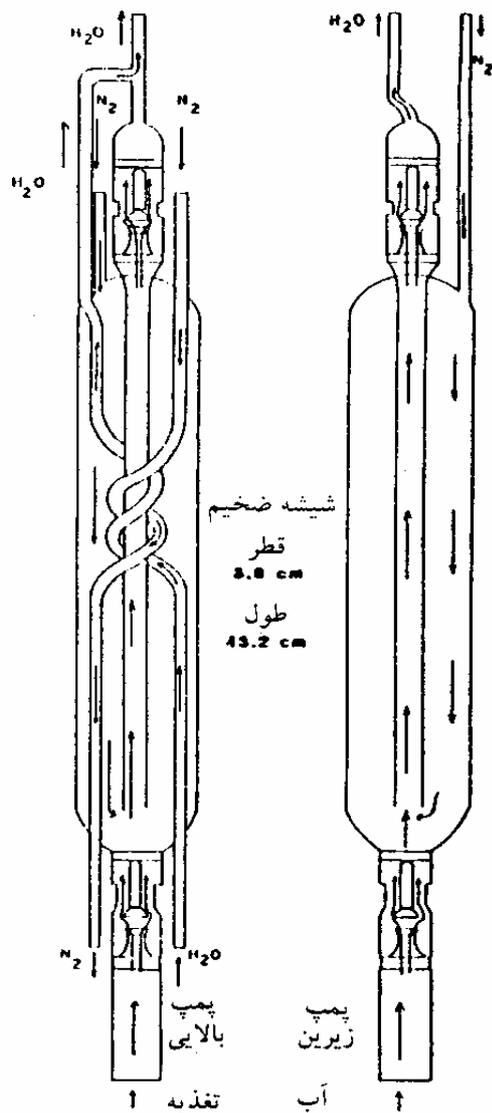
موریسون و بروئر^۱ [۲۷] نیز، دستگاه‌های نمونه‌گیری از آب زیرزمینی را تشریح کرده‌اند که اصل خروج گاز (بحث شده به وسیله بیانکی و دیگران) در آنها به کار گرفته شده است. این دستگاه‌های نمونه‌برداری در شکل ۷ نمایش داده شده است، که می‌توان آنها را به‌طور تجارتمی و از جنس PVC با تفلون بدون مواد حلال ساخت. گفته شده است که پاکسازی سیستم از گاز ساکن، اکسیژن را از سیستم حذف می‌کند و خروج آب از دستگاه نمونه‌گیر به بطری نمونه، بدون ایجاد واکنش‌های احیایی قابل ملاحظه انجام می‌شود. دو آرایش جریان به درون سیستم با هدف کمینه‌سازی ورود ذرات ریز به درون نمونه‌ها در شکل ۷ نشان داده شده است. پیکربندی لوله مشبک چاه، اجازه‌گزینه‌ش عرض‌شکاف‌ها به همان ترتیب انتخاب شده برای چاه آب را می‌دهد. ثابت شده که برای جلوگیری از ورود ذرات خیلی ریز، یک درپوش با فیلتر ۵۰ میکرونی از جنس پلی‌اتیلن نقش مؤثری ایفا می‌کند. اگر ذرات ریز وارد دستگاه شوند، سبب‌از کار افتادن دریچه کنترل شده که نتیجه آن، از کارافتادن نمونه‌گیر خواهد بود.



شکل ۷- ورود آب به نمونه‌گیرهایی که با خروج گاز کار می‌کنند [۲۷]

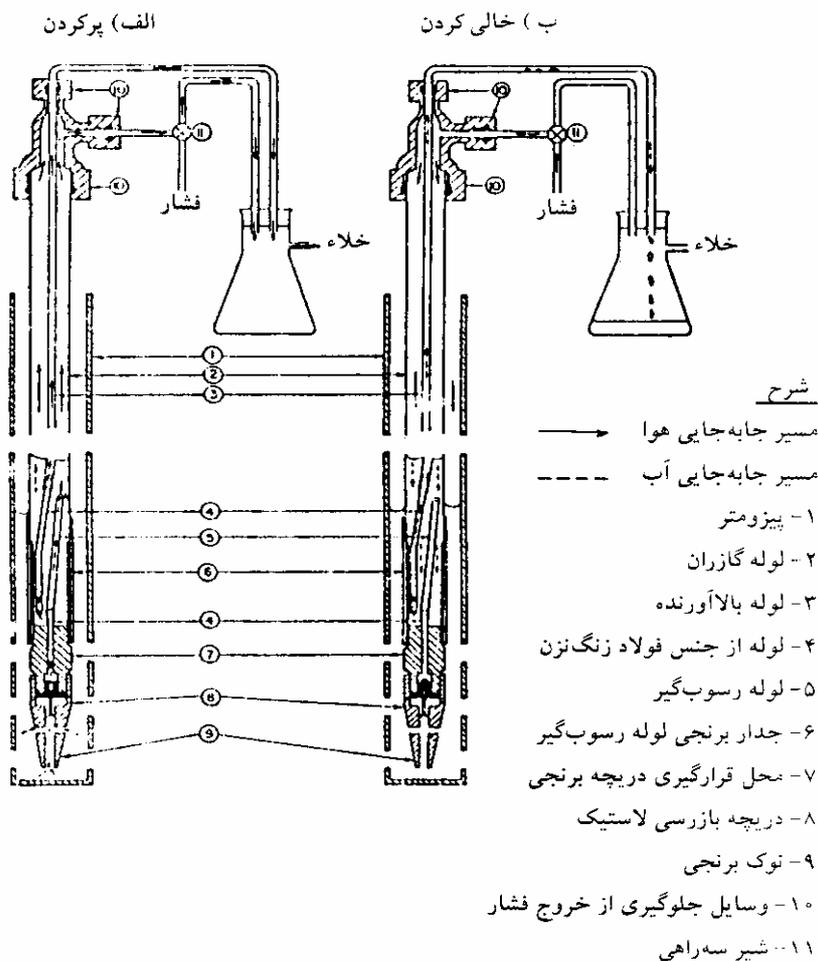
شیشه‌ای که با فشار گاز نیتروژن و پمپ تفلونی، بر اساس خروج گاز کار می‌کند، برای نمونه‌برداری از آب زیرزمینی و برای آزمایش مقدار جزیی ترکیبات آلی آن تکمیل شده است که در شکل ۸ نشان داده شده است [۲۸]. این پمپ دو محفظه نمونه دارد که به تناوب با آب و گاز نیتروژن با خلوص بالا پر می‌شود و با یک جریان پیوسته، آب را به سطح زمین می‌راند. پمپ به‌طور کامل بی‌حرکت، تولید آن اقتصادی، تمیز و استریل کردن آن آسان و با کاربری مکرر است. این پمپ در مناطق دوردست و حتی در صورت نبود نیروی الکتریسیته ۱۲۰ ولتی متناوب (AC) نیز کاربرد دارد. برای شستشوی چاه، جریانی با سرعت زیاد و پیوسته اما با بده متغیر و برای نمونه‌برداری، جریانی با سرعت کم مورد نیاز است. در تکمیل طراحی این پمپ، تغییرندادن حالت احیا و pH آب، و نگهداری مواد آلی فرار آب زیرزمینی هر دو اهمیت دارد که باید در نظر گرفته شود. گزارش‌های کمی در مورد مشکلات نمونه‌برداری با این پمپ (از آب چاه‌هایی با ژرفای سطح ایستابی از ۰/۹ تا ۳۸ متر) دریافت شده است.

1- Morrison and Brewer



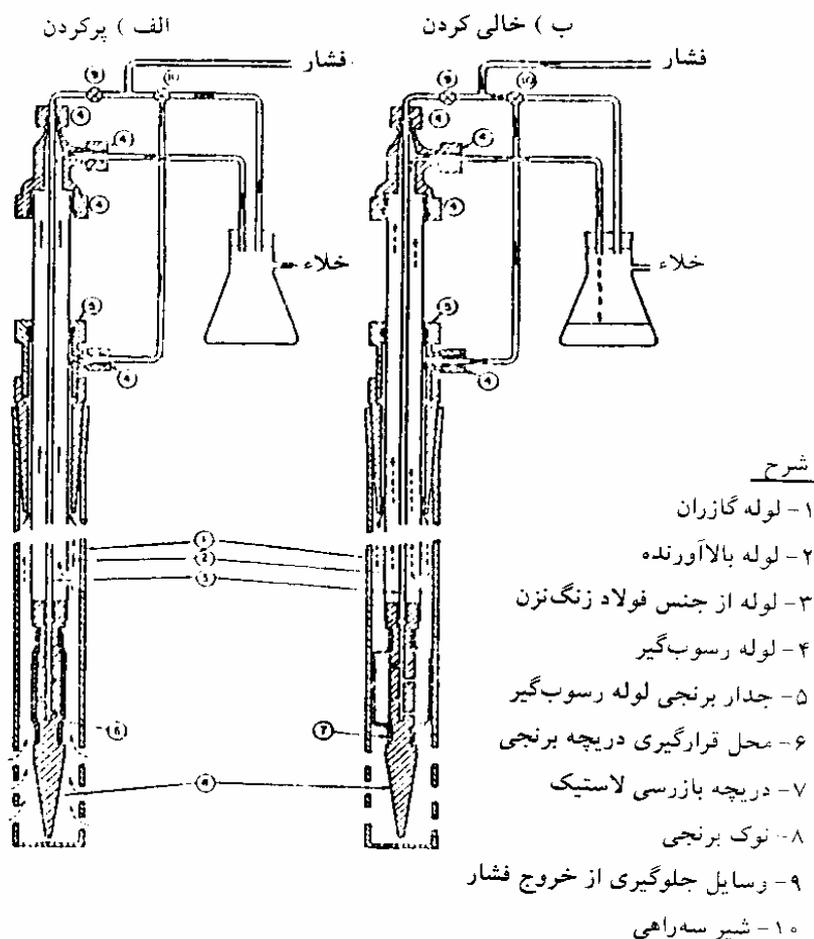
شکل ۸- شیشه گاز ازت و پمپ تفلون [۲۸]

دو ابزار نمونه‌برداری با کارکرد مبتنی بر اساس خروج گاز، در مقاله‌ای به وسیله رابین و دیگران^۱ [۲۹] تشریح شده که در شکل‌های ۹ و ۱۰ نشان داده شده است. این نمونه‌بردارها "دو لوله‌ای" و "سه لوله‌ای" گازران نامیده شده‌اند. این ابزارهای نمونه‌برداری، برای استفاده در پیژومترهای خیلی کوچک با لوله‌های PVC به قطر داخلی از ۹/۵ تا ۱۲/۷ میلی‌متر ساخته شده‌اند. در نمایی از نمونه‌گیر دو لوله‌ای که در شکل ۹ نشان داده شده است، یک لوله ورودی وجود دارد که رسوبگیر بوده و تا روی کف محفظه نمونه‌گیر ادامه دارد. به این ترتیب، ذرات دانه‌ریز در کف دریچه کنترل ته‌نشین نشدند. و این مورد، احتمال از کار افتادن دستگاه را کاهش می‌دهد.



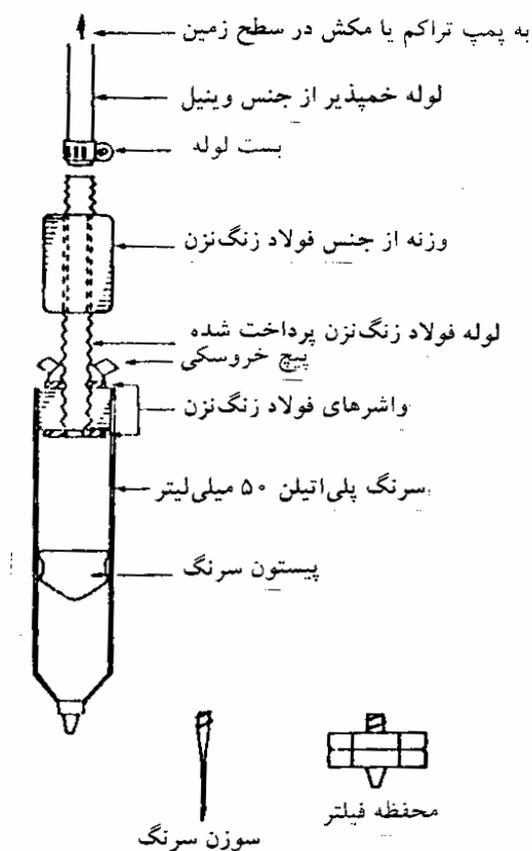
شکل ۹- ابزار نمونه برداری گازران دو لوله ای با قطر کم [۲۹]

این دستگاه نمونه گیر، برای پیزومترهای با قطر داخلی $9/5$ میلی متر ساخته شده است. لوله بیرونی دستگاه دارای دیواره ای ضخیم از جنس پلی پروپیلن به طول 30 متر و قطر بیرونی $6/4$ میلی متر و لوله داخلی از همان جنس با قطر $3/18$ میلی متر و همان طول است. نمونه بردار سه لوله ای در شکل ۱۰ نشان داده شده است. این وسیله دارای مجموعه پکریهایی است که کار دریچه زیرین را انجام داده و از لوله پیزومتر به عنوان حامل گاز و راندن نمونه آب به سطح زمین استفاده می شود. این نوع طرح، برای پیزومترهای با جدار PVC و قطر داخلی $7/12$ میلی متر مناسب بوده و با قطرهای داخلی $9/5$ و $12/7$ میلی متر ساخته شده است. نویسندگان [۲۹] اشاره دارند که کارکردن با نمونه گیرهای دو لوله ای تا حدودی آسان تر است، آنها نمونه را در خود جا داده و برای نمونه های کم بسیار مناسبند. نمونه گیرهای سه لوله ای، مشکلات ناشی از دریچه های بازرسی را نداشته و می توانند نمونه هایی با حجم بیشتر نیز بردارند. هنگامی که دستگاه نمونه گیر سه لوله ای تخلیه می شود، تقریباً همه آب بالای پکر خارج می شود. بنابراین بعد از یکبار خروج آب، آب تازه آبخوان برداشته شده و قابلیت هدایت هیدرولیکی آبخوان مجاور چاه نیز، از روی خیزش بار آب، تخمین زده می شود.



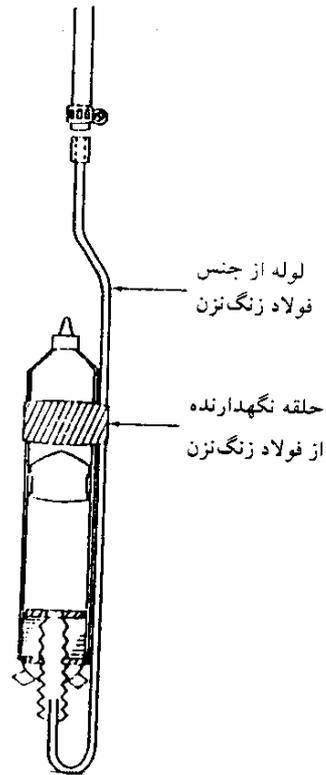
شکل ۱۰- ابزار نمونه برداری گازران سه لوله ای با قطر کم [۲۹]

گیلهم [۳۰]، درباره سه ابزار نمونه گیر سرنگ مانند بحث می کند که برای حفظ پارامترهای ویژه کیفی تکمیل شده است. طرح اصلی این ابزار در شکل ۱۱ ارائه شده است. این ابزار، با اعمال فشار بیشتر یا کمتر از فشار جو به پیستون سرنگ کار می کند. به کارگیری فشار کمتر از جو، اجازه می دهد تا پیستون بالا آمده و سرنگ پر شود، و فشار بالای جو سبب بیرون راندن مایع از سرنگ خواهد شد. شکلی از این تکنیک نمونه برداری آن است که سوزن سرنگ آب بندی شده، و خود سرنگ به عنوان ظرف نمونه به کار رود؛ در این صورت می توان به هر روشی که برای حفظ پارامترهای کیفی آب لازم باشد با آن رفتار کرد. از آن جا که برای هر نمونه، یک سرنگ مجزا به کار می رود، آغشتگی نمونه آب یک چاه با چاه دیگر پیش نمی آید.

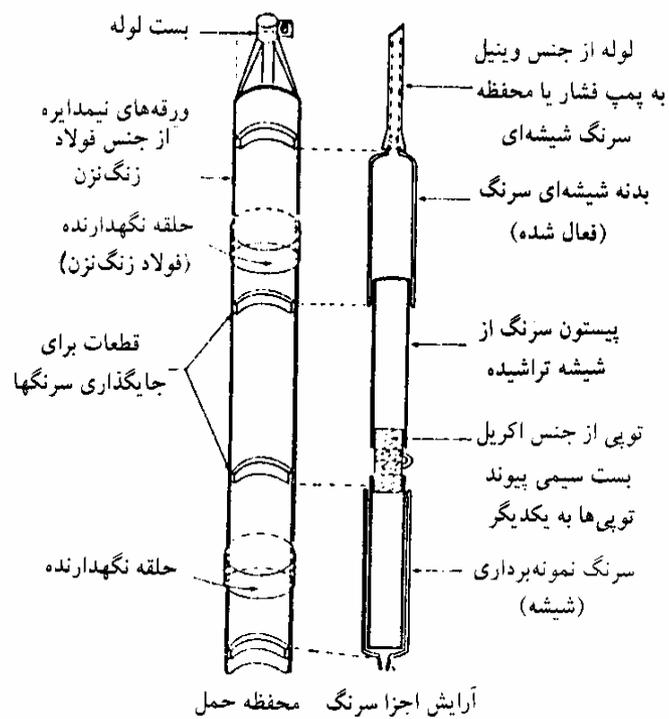


شکل ۱۱- ابزار نمونه برداری سرنگی [۳۰]

یک نوع اصلاح شده از طرح اصلی، در شکل ۱۲ نشان داده شده است. این، یک طرح معکوس است که امکان از میان بردن حباب هوای محبوس (که اگر نمونه برای اندازه گیری اکسیژن محلول باشد آلوده کننده به شمار می آید) را فراهم می آورد. برای بیرون راندن حباب هوا از محفظه سرنگ، می توان آن را در زیر آب به کار برد. با این حال نویسنده [۳۰] مشخص می کند که آلودگی اکسیژن، به دلیل انتشار اکسیژن در مواد پلی اتیلن که سرنگ از آن ساخته شده است، در این شرایط نیز اتفاق می دهد. ابزار سومی که در شکل ۱۳ نشان داده شده است، از شیشه ای که درون یک محافظ جای گرفته، ساخته شده است. این سرنگ شیشه ای، در مواردی که نفوذ گاز به مواد پلاستیک سبب آلودگی نمونه می شود، به عنوان جایگزین به کار می رود.



شکل ۱۲- ابزار نمونه برداری سرنگ (وضعیت وارون) [۳۰]



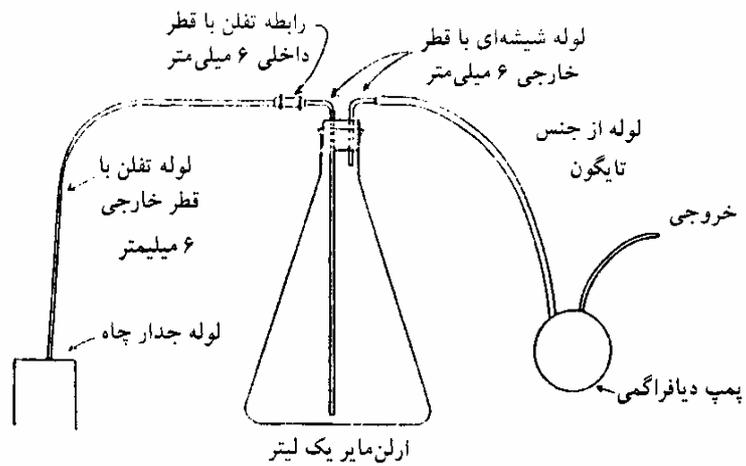
شکل ۱۳- ابزار نمونه برداری سرنگ شیشه‌ای [۳۰]

نمونه‌گیرهای سرنگی، اغلب مقادیر کم آب را برمی‌دارند. بنابراین برای به‌دست‌آوردن نمونه معرف، باید چاه آنقدر پمپاژ شود تا آب آبخوان وارد گمانه شود. گیلهام [۳۰] پیشنهاد می‌کند که نمونه‌گیر، در بخش مشبک لوله جدار پیزومتر قرار داده شود، زیرا در حالی که پمپاژ از بالای نمونه‌گیر انجام می‌شود، نمونه معرف با مقدار نسبتاً کم پمپاژ به‌دست خواهد آمد. گیلهام [۳۰] پروژه‌هایی را که در آنها از نمونه‌بردارهای سرنگی استفاده شده، معرفی کرده است. این پروژه‌ها شامل این موارد است: پروژه‌ای درباره نیتريت‌زدایی از آب زیرزمینی که از آن برای تعیین اکسیژن محلول و متان نمونه‌برداری شد؛ پروژه‌ای که برای آنالیز رادون، از آب زیرزمینی نمونه‌برداری شد؛ نمونه‌برداری از پیزومترهای درون شیل‌های رسی که در آنها آشفنگی بار هیدرولیکی ناشی از نمونه‌برداری اهمیت چندانی نداشت، و پروژه‌ای برای رفتارسنجی کیفیت آب زیرزمینی در باطله‌های آسیاب اورانیم.

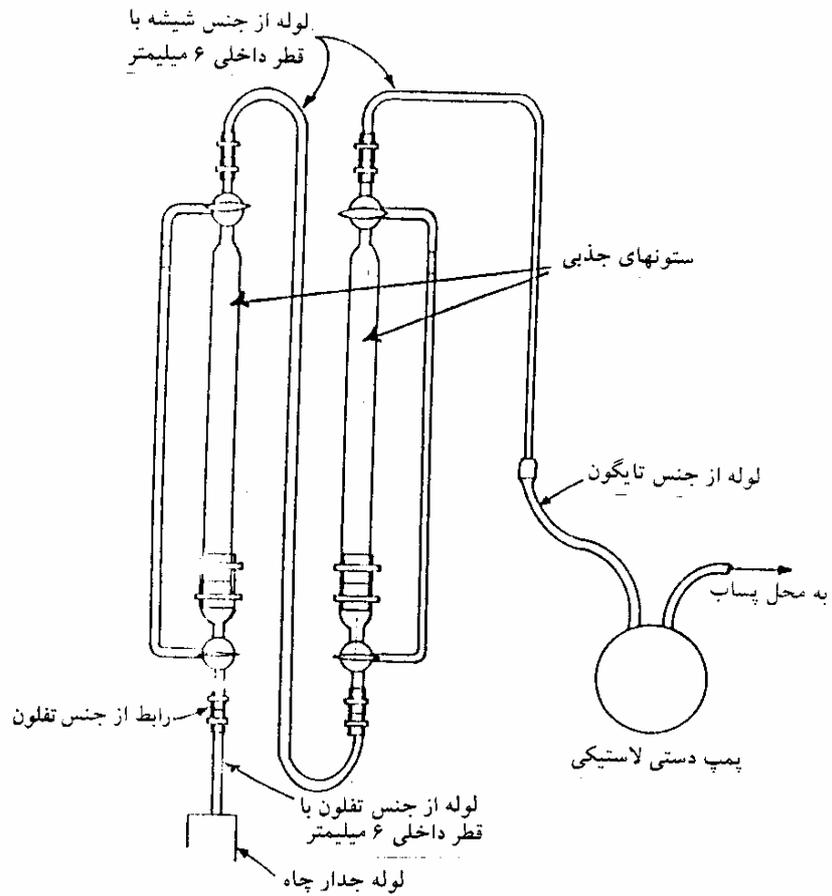
نمونه‌گیرهای سرنگی، چند امتیاز دارند که عبارتند از: بهای ارزان، جابه‌جایی آسان و کاربری دستی. آنها آلودگی نمونه آب چاه‌ها به یکدیگر را به حداقل رسانده و در چاه‌های با قطر کم قابل استفاده هستند. از نظر ارتفاع مکش محدودیتی ندارند. نمونه برداشته شده در تماس با هوا نیست و بنابراین نمونه گازهایش را از دست نمی‌دهد. زمان پمپاژ برای برداشتن نمونه معرف می‌تواند کوتاه باشد و از چاه‌های با آبدی کم نیز بدون هدررفتن آب در هنگام ورود به لوله یا دیگر اجزای نمونه‌گیر می‌توان نمونه‌برداری کرد. کمی مقدار نمونه و نفوذپذیری پلاستیک در مقابل نشر گاز، عمده‌ترین محدودیت این نمونه‌گیرها است، اگرچه با استفاده از سرنگ‌های شیشه‌ای می‌توان بر مسئله نشست گاز غلبه کرد.

در محل‌هایی که سطح آب در چاه مشاهده‌ای درست نزدیک به سطح زمین است، نمونه‌ها به‌طور مستقیم با مکش از چاه برداشته می‌شود. پمپ‌های مکشی که به وسیله اسکالف و دیگران^۱ [۱۴] تشریح شده‌اند، از نوع پمپ‌های سانتریفوژ، دیافراگمی و حلقوی هستند. پمپ‌های مکشی به راحتی قابل دسترسی، قابل حمل و ارزان قیمت هستند. اما پمپ‌کردن آب با مکش به ژرفای سطح ایستابی کمتر از ۶ متر محدود می‌شود. پتی‌جان^۲ و دیگران، سیستمی را توضیح می‌دهند که در شکل ۱۴ نشان داده شده است. این سیستم، برای نمونه‌برداری از آب زیرزمینی از اعماق ۶/۷ تا ۹ متری با استفاده از یک پمپ حلقوی طراحی شده است. به علاوه، آنان در شکل ۱۵ دستور کار پیوسته‌ای را ارائه داده‌اند که در آن، برای تغلیظ و بازیافت اجزای آلی نمونه‌های بزرگ، از مواد جاذب استفاده می‌شود. شولر و دیگران^۳ [۱۳] سازوکارهای پمپاژ با پمپ‌های حلقوی، پمپ‌های بالابر هوایی و ازتی^۴ و تکنیک‌های آبکشی را با هم مقایسه کردند. آنها نتیجه گرفتند که از میان این روش‌ها، پمپاژ با پمپ‌های حلقوی یا دیافراگمی شناور؛ برای بیشتر کاربری‌ها قابل توصیه است.

1- Scalf and Others
2- Pettyjohn
3- Schuller and Others
4- Air and Nitrogen lift

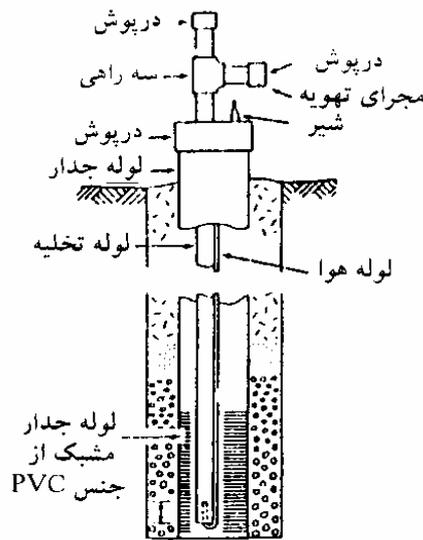


شکل ۱۴- سیستم مکشی برای برداشت نمونه‌های آب زیرزمینی [۳۱]



شکل ۱۵- آرایش ستون جذبی برای نمونه برداری پیوسته از آب زیرزمینی [۳۱]

پمپ کردن با بالابر هوایی، در اصطلاح به تکنیکی گفته می‌شود که در آن، هوا با گازهای فشرده دیگر مانند ازت، با فشار به ته لوله تخلیه غوطه‌ور وارد شود. حباب‌های گاز درون آب حرکت کرده و سبب کاهش چگالی آب درون لوله تخلیه می‌شوند که نتیجه آن، حرکت آب همراه حباب‌های گاز به سوی بالا است. اگر غوطه‌وری کافی باشد (بارهیدرولیکی آبخوان از بار لوله تخلیه به اندازه کافی بیشتر باشد)، آب از درون چاه به سطح زمین جاری خواهد شد. ساز و کار نمونه بالابر هوایی در یک چاه در شکل ۱۶ ارائه شده است.



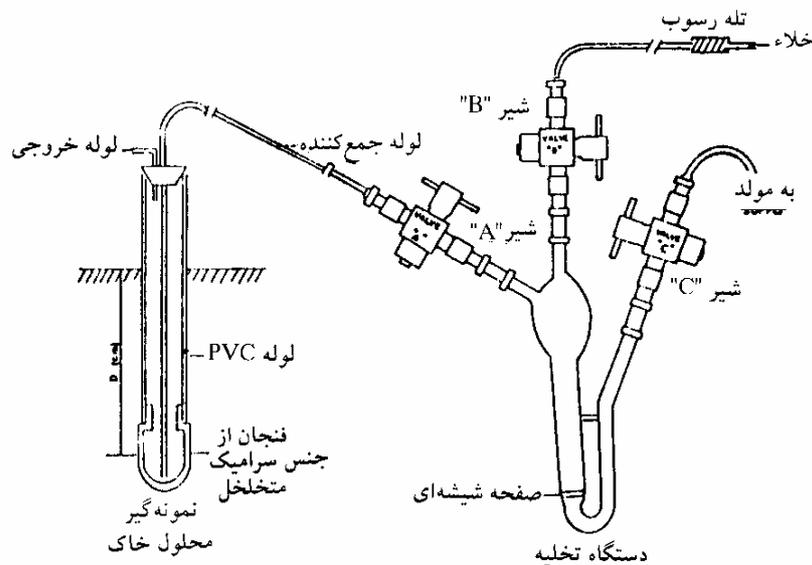
شکل ۱۶- آرایش نمونه پمپاژ با فشار هوا [۳۱]

در نمونه‌گیر قابل حمل که بر اصل بالابر هوایی تکمیل شده، یک سیلندر ۱۴ اونسی (۴۱۴ سانتی‌مترمکعبی) پروپان (به عنوان منبع گاز) استفاده شده است. این نمونه‌گیر، از یک لوله پلاستیکی ۰/۶ سانتی‌متری که بگونه‌ای تلسکوپی درون یک لوله ۱/۳ سانتی‌متری قرار دارد، تشکیل شده است. سوراخ‌های ریز انتهای پایینی لوله درونی، گاز را به فضای میان لوله‌ها تخلیه می‌کند که نتیجه آن، پمپ کردن با بالابری گاز^۱ است. فشار کپسول پروپان، اجازه می‌دهد که امکان پایین بردن لوله دستگاه نمونه‌گیر تا عمق ۷۶ متر فراهم آید. در آزمایش دستگاه در یک چاه مشاهده‌ای با ژرفای سطح ایستابی ۲۳ متر که دهانه نمونه‌گیر در عمق ۳۳ متری آن قرار گرفته بود، با استفاده از گاز یک کپسول ۱۴ اونسی (حدود ۰/۴ لیتری) پروپان، ۳۲/۶ لیتر آب بیرون آورد. اگرچه داده‌های خاصی از کیفیت آب ارائه نشده اما نویسنده اشاره کرده است که نتیجه‌های تجزیه کانی‌های محلول نمونه، با نتیجه‌های به دست آمده از نمونه برداشته شده از آبخوان با پمپ توربینی یکسان است. چون قطر بزرگ‌ترین لوله دستگاه نمونه‌گیر ۱/۳ سانتی‌متر است، می‌تواند در چاه‌های با قطر خیلی کوچک نیز به کار رود.

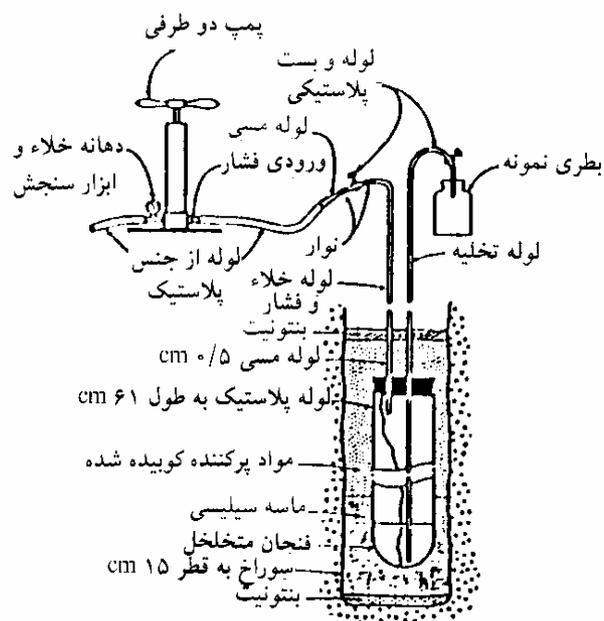
از آن‌جای که ممکن است پمپاژ بالابر هوایی، تغییرات عمده‌ای در پارامترهای ناپایدار کیفی آب نمونه‌ها ایجاد کند، استفاده از آن محدود می‌شود. پس، این یک روش ساده پمپ‌کردن است که می‌توان به سادگی، بیش از نمونه‌برداری با روش دیگری، آب را کد درون چاه را بیرون ریخت. همچنین تکنیکی است که می‌تواند برای توسعه چاه (پاک‌کردن گل حفاری و خرده‌سنگ‌ها از چاه و سازند آبدار)، به سرعت پس از نصب لوله جدار با قطر کوچک در چاه مشاهده‌ای یا پیزومتر به کار رود.

از رژیم‌های جریان غیراشباع با فنجان‌های متخلخل، که به نظر می‌رسد در زمان کنونی از موفق‌ترین ابزارها است، می‌توان نمونه‌برداری کرد. دستگاه فنجان متخلخل برای نمونه‌برداری مستقیم با روش مکشی، در شکل ۱۷ نشان داده شده است. از این دستگاه ویژه، برای نمونه‌برداری از اجزای آلی بسیار فرار در منطقه غیراشباع استفاده شده و اینگونه است که آب درون نمونه‌گیر با گاز ازت خالی شده [۳۱]، مکش به وسیله یک پمپ حلقوی ایجاد می‌گردد، بنابراین، نمونه‌برداری به ژرفای حداکثر ۶ متر سطح آب محدود می‌شود.

پاریزک و لین^۱ [۳۴]، لیسیمتر بر مبنای مکش را براساس شکل ۱۸ تکمیل کردند تا امکان برداشتن نمونه از بالابر مکشی فراهم شود. در نمونه‌گیر، دو لوله نصب می‌شود که یکی از آنها در کف نمونه‌گیر و تا فنجان متخلخل ادامه دارد. لوله دوم فقط تا سر نمونه‌گیر است. پس از آن‌که نمونه با ایجاد خلا به درون دستگاه مکیده شد، برای راندن نمونه به سطح زمین و بیرون آمدن نمونه‌گیر، فشار هوا به کار می‌رود. اشکال این سیستم آن است که وقتی نمونه‌گیر تحت فشار قرار گیرد، ممکن است بخشی از نمونه در اثر فشار از فنجان متخلخل به آبخوان باز گردد.

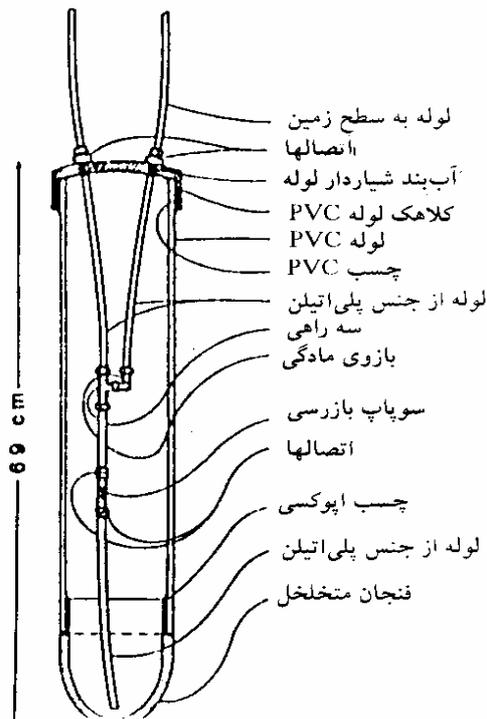


شکل ۱۷- ابزار نمونه‌برداری از آب درون خاک برای تعیین مواد آلی فرار [۳۱]



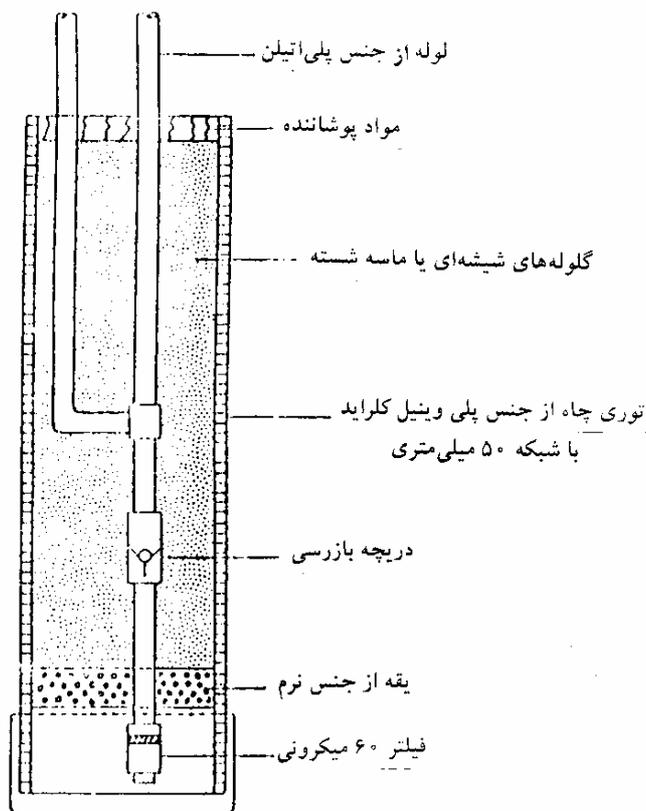
شکل ۱۸- چگونگی نصب لیبسی متر فشار - خلا [۳۴]

وود^۱ [۳۵] یک نمونه‌گیر با فنجان متخلخل را که در شکل ۱۹ نیز نشان داده شده، ابداع کرد. در لوله مکش آن، یک دریچه بازرسی درست در بالای فنجان متخلخل کار گذاشته شده است. دریچه بازرسی، اجازه نمونه‌برداری از اعماقی بیشتر از نمونه‌برداری به روش بالابر مکشی را فراهم می‌کند. نمونه‌گیر با مکش آب به درون خود از راه فنجان متخلخل و لوله‌های رابط با ایجاد خلاء عمل می‌کنند و بیرون آوردن نمونه در سطح زمین به وسیله گاز ازت فشرده انجام می‌شود. دریچه بازرسی، فشار را در لوله‌های رابط نگه می‌دارد و از ایجاد فشار درون فنجان متخلخل و احتمال برگشت جریان از دیواره فنجان متخلخل به محل نمونه‌برداری جلوگیری می‌کند. شش فنجان متخلخل به وسیله وود [۳۵] طراحی شد که به آسانی در اعماق مختلف از ۰/۶ تا ۳۳ متری سطح زمین در یک حوضه پخش سیلاب نصب شده است. با این که فنجان‌ها چند ماه پیش از عملیات پخش سیلاب در حوضه نصب شد، اما دستگاه‌های نمونه‌گیر هنگامی که آب در عمقی که آنها نصب شده‌اند، جریان می‌یافت، به دقت عمل کردند. جزییات ساختمان، آماده‌سازی ویژه فنجان‌های متخلخل، جمع‌آوری نمونه، و دستور کار تهیه و نصب آنها توسط وود تشریح شده است [۳۵].



شکل ۱۹- جزییات نمونه گیر با فنجان متخلخل، طراحی شده به وسیله وود [۳۵]

دستگاه‌های نمونه‌گیر با فنجان متخلخل را می‌توان در منطقه اشباع نیز به کاربرد، به گونه‌ای که نصب آنها بتواند درحالت‌هایی که شرایط از غیراشباع به اشباع تغییر می‌کند کاربرد داشته باشد. یک دستگاه نمونه‌گیر نقطه‌ای، در شکل ۲۰ نشان داده شده است. این دستگاه، مانند دستگاهی است که به وسیله وود ابداع شده و برای نمونه‌گیری از منطقه اشباع (در تغذیه مصنوعی از راه چاه در استانتون تگزاس) استفاده شده است. در آن، به جای این که از فنجان متخلخل، دریچه بازرسی و لوله استفاده شده باشد، آن را در محل نمونه‌برداری داخل ماسه‌های درشت شسته یا گلوله‌های شیشه‌ای قرار می‌دهند و همه را در لوله مشبک ۵ تا ۳۰ سانتی‌متری پی‌وی سی چاه نصب می‌کنند. روی یک فیلتر فولاد زنگ‌نزن سیترد^۱ با ضخامت ۶۰ میکرومتر در انتهای دهانه ورودی نمونه‌گیر و در زیر سوراخ‌های لوله مشبک چاه، یک طوق فوم پلی‌اتیلن گذاشته شده است. بنابراین، جریان از راه ماسه یا دانه‌های شیشه‌ای، فوم پلاستیکی و فیلتر فولادی زنگ‌نزن به داخل نمونه‌گیر وارد خواهد شد. فیلتر به کار رفته، از ورود ذرات موادی که می‌تواند مانع کارکرد دریچه کنترل شود، جلوگیری می‌کند. یک دریچه بازرسی فشار ضعیف، میان لوله فشار و لوله خروجی در مدار لوله‌کشی تا سطح زمین جای گرفته است. بنابراین وقتی برای کشیدن نمونه به داخل این لوله‌ها خلاء ایجاد شود، هر دو لوله از آب پر شده و حجم نمونه را افزایش می‌دهد.



شکل ۲۰- تجهیزات نمونه‌گیر نقطه‌ای [۴]

۴- تکنیک‌های ارزیابی آبخوان

۱-۴ سرعت و جهت جریان

داده‌های به‌دست آمده با نمونه‌برداری از ردیاب‌ها، برای تعیین مشخصه‌های جریان آبخوان به‌کار می‌روند. لیویز و دیگران^۱ [۳۶]، برای تعیین قابلیت هدایت هیدرولیکی سنگ‌های شکافدار، تکنیکی را ارائه داده‌اند که از نمونه‌برداری رقیق‌شدگی ردیاب نسبت به زمان در یک چاه استفاده می‌شود. ردیاب مورد استفاده، یک رنگ فلئورسینی بود. آب نمونه‌برداری شده از یک چاه، برای تعیین میزان رقیق‌شدگی ردیاب تجزیه می‌شود. این تکنیک مبنایی برای محاسبه سرعت داری فراهم می‌کند که با دانستن شیب هیدرولیکی، قابلیت هدایت هیدرولیکی به‌دست می‌آید. این تکنیک هنگامی که جریان‌های عمودی در چاه اتفاق می‌افتد، کاربرد ندارد. سان^۲ [۳۷] رابطه‌ای را به‌دست آورد که از آن می‌توان برای تخمین سرعت جریان طبیعی در یک آبخوان به کمک روش رقیق‌شدگی ردیاب در یک چاه استفاده کرد. این رابطه، با مقایسه مقادیر اندازه‌گیری شده غلظت کلراید پس از

1- Lewis and Others

2- Sun

یک آزمایش تغذیه در سنگ‌های کربناتی شکافدار، با مقادیر محاسبه شده از این رابطه آزموده شد. حل این معادله برای یک مقدار شیب هیدرولیکی، که با بهترین همخوانی به دست آمده بود، مقدار محاسبه شده ۰/۰۰۱۶ در مقایسه با مقدار آزمایش شده ۰/۰۰۱۳ را به دست داد. بنابراین به خاطر کم بودن غلظت‌های اندازه‌گیری شده ردیاب، گفته شده است که قضاوت در مورد کاربردی بودن این روش ممکن نیست.

سرعت جریان آب زیرزمینی را می‌توان با تکنیک پالس یک چاه تعیین کرد [۳۸]. یک پالس ردیاب، از راه یک چاه گمانه به درون آبخوان تزریق شده و اجازه می‌دهد تا برای مدتی با جریان طبیعی آب زیرزمینی حرکت کند. پس آب چاه، پمپ شده و غلظت ردیاب تعیین می‌شود و به این ترتیب امکان محاسبه سرعت طبیعی فراهم می‌آید.

آزمون‌های تعیین سرعت آب زیرزمینی، اغلب به وسیله تزریق ردیاب در یک چاه و نمونه‌برداری از چاه‌های مشاهده‌ای در پایین دست شیب در یک سیستم غیرآشفته انجام می‌شود [۳۹] و [۴۰]. اشکال عمده این روش، مکانیابی درست برای چاه‌های مشاهده‌ای است. برای مثال، ممکن است جهت جریان به درستی شناخته نشده یا در آبخوان سنگ‌های شکافدار، ممکن است چاه‌ها شکافی را که ردیاب در آن جاری است قطع نکرده باشد.

ورزل و وارد^۱ [۴۱] تکنیکی برای تعیین جهت جریان آب زیرزمینی ارائه دادند که در آن، از رادیو ایزوتوپ‌های جذب شده به وسیله تنزیب^۲ (کار گذاشته شده در چاهی واحد) استفاده می‌شود. استوانه‌ای از تنزیب، به درون چاه برده می‌شود و یک سازوکار تزریق با تأخیر زمانی ردیاب را آزاد می‌کند. سیلندر تنزیب از چاه خارج شده و برای تعیین چگونگی پخش ایزوتوپ در اطراف آن، تجزیه می‌گردد تا جهت جریان نیز تعیین شود.

۲-۴ تخلخل

تخلخل یک آبخوان، با استفاده از داده‌های مربوط به آزمایش غلظت ماده ردیاب محاسبه می‌شود. پس از آن که ماده ردیاب در چاهی که پمپ نمی‌شود قرار داده شد، چاه دیگر پمپاژ می‌شود. حجم آبی که باید پمپاژ گردد تا ردیاب از چاه پمپاژ شده بگذرد، تعیین می‌شود. هالوی و نیر^۳ [۴۲] با ردیابی یک پالسی مواد رادیواکتیو میان دو چاه که در فاصله ۲۵۰ متری از هم قرار داشتند، تخلخل مؤثر یک آبخوان دولومیتی را تعیین کردند. این دو نفر کوشیدند تادانشی را درباره ظرفیت مخزن زیرزمینی به عنوان جزئی از چرخه هیدرولوژی به دست آورده و اطلاعاتی را درباره ویژگی‌های آبخوان که می‌تواند در برنامه‌ریزی برای آن مورد استفاده قرار گیرد، فراهم کنند.

مرکادو و هالوی^۴ [۴۳] برای تعیین تخلخل میانگین و نفوذپذیری‌های مختلف یک آبخوان چند لایه‌ای با چینه‌بندی افقی، یک تکنیک ردیابی را گزارش کرده‌اند که در آن، یک نمک رادیواکتیو به عنوان ردیاب به کار می‌رود. در

1- Wurzel & Ward
2- Gauze
3- Halevy & Nir
4- Mercado & Hlevy

آغاز، ردیاب از طریق یک چاه به لایه بالایی تزریق می‌شود. سپس چاه دومی که همه لایه‌ها را قطع کرده، به‌طور پیوسته پمپاژ می‌شود تا وقتی که تمام ردیاب خارج شود. نتیجه‌های تحلیل‌های ارائه شده، با تجزیه‌های شیمیایی و آزمایش‌های پمپاژ تأیید شده‌اند.

نمونه‌برداری از چاه‌های تغذیه و تخلیه، داده‌هایی را فراهم می‌کند که محاسبه تخلخل و ثابت انتشار را امکان‌پذیر می‌کند [۴۴]. راه‌حل کامپیوتری برای حل معادلات زمان حرکت مایع در امتداد خطوط جریان میان دو چاه، به وسیله گروو^۱ و دیگران ارائه شده است [۴۵]. زمان لازم برای آن‌که یک آلاینده یا ردیاب، فاصله میان چاه تغذیه تا چاه تخلیه را طی کند و همچنین تغییر غلظت ماده ردیاب بر حسب زمان را می‌توان از تعمیم راه‌حل‌های عددی به دست آورد.

۳-۴ انتشار

اختلاط مایعات طی جریان در محیط متخلخل، بزرگ‌تر از آن است که بتوان آن را پخش ملکولی^۲ به‌شمار آورد. اختلاط، به بزرگی سرعت جریان و هندسه محیط متخلخل بستگی دارد. یک ماده قابل تشخیص که از آن به عنوان ردیاب یاد می‌شود، درون آب زیرزمینی پخش شده که بخش همواره گسترش‌یافته‌ای از محدوده جریان را اشغال می‌کند. این پدیده در حال گسترش، انتشار هیدرودینامیک نام دارد [۴۶ و ۴۷] درک اختلاط زیرزمینی آب‌ها، اغلب موضوع اصلی در رفتارسنجی تغذیه مصنوعی را تشکیل می‌دهد، که همانند موضوع رفتارسنجی آلودگی به وسیله آلاینده‌ها و یا مناطق هجوم آب دریا است. بنابراین انتشار هیدرودینامیک در یک محیط متخلخل، پدیده مهمی است که در تحلیل داده‌های به‌دست آمده از به‌کارگیری ردیاب‌ها در هیدرولوژی آب زیرزمینی در نظر گرفته می‌شود. بیر و بچمت^۳ [۴۶ و ۴۷]، معادلات انتشار هیدرودینامیک را به‌صورت جامع بسط دادند و بیر [۴۷] مثال‌های نمونه‌ای از راه‌حل‌های تحلیلی را ارائه کرد. از نکات قابل توجه ویژه آنها، حل ریاضی نهایی مسئله انتشار جریان شعاعی است. بیر [۴۷] اشاره می‌کند که به علت مشکلات موجود در حل معادلات انتشار، تکنیک‌های عددی مانند آنهایی که هوپس و هارلمن^۴ [۴۸، ۴۹ و ۵۰] بسط داده‌اند برای حل آنها به‌کار می‌رود.

سان^۵ [۳۷] برای انتشار جریان‌های شعاعی واگرا یک راه حل تقریبی ارائه می‌دهد که براساس راه‌حل‌های تقریبی هوپس و هارلمن [۵۰] استوار است. این راه‌حل، در تغذیه آزمایشی از طریق چاه در سنگ‌های کربناتی شکافدار به‌کار برده شده است [۵۱] و در آن، ضریب انتشار (پخشودگی) برای آبخوان ۸۵ متر محاسبه شد، که شاخص یک مخزن در سنگ‌های شکافدار به‌نظر می‌رسد.

1- Grove
2- Molecular diffusion
3- Bear & Bachmat
4- Hoopes & harleman
5- Sun

هارلمن و دیگران [۵۲]، چگونگی انتشار طولی و نفوذپذیری در رژیم جریان داری را در یک محیط یکنواخت آزمایش کردند. ارتباط ضرایب انتشار با اندازه میانگین ذرات و نفوذپذیری ذاتی آنها، نشان داد که برای برآورد ضریب انتشار به کمک داده‌هایی از نفوذپذیری محیط متخلخل و اندازه ذرات، می‌توان روشی تازه به دست آورد.

۵- مثال‌هایی از نمونه‌برداری و تحلیل داده‌ها در پروژه‌های تحقیقاتی تغذیه مصنوعی

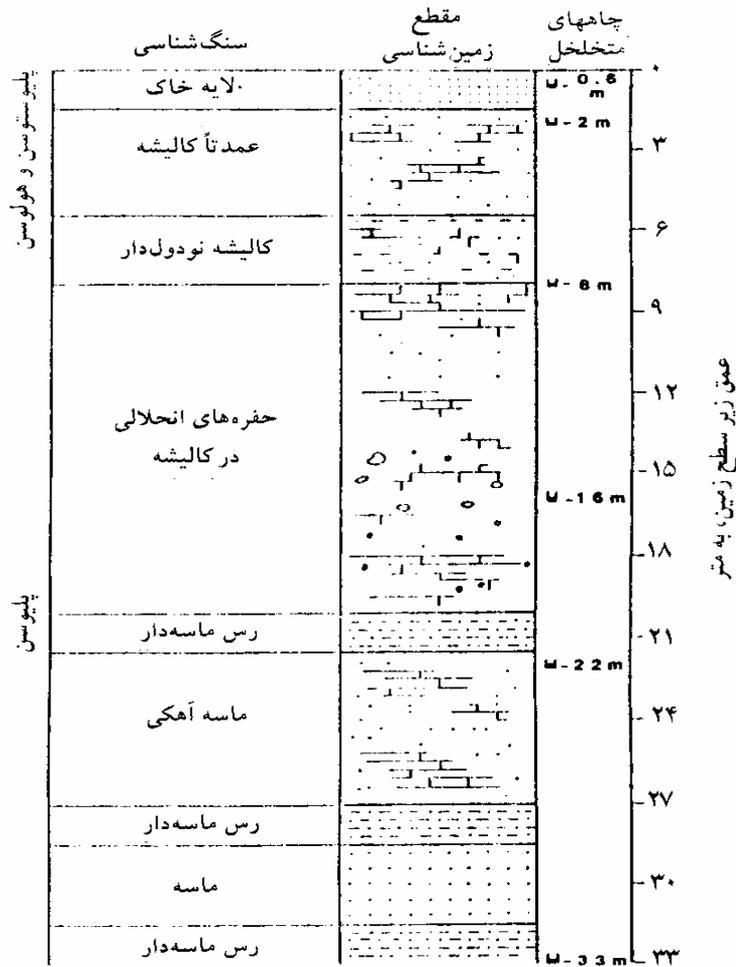
این بخش، مروری است کوتاه بر تحقیقات انجام شده در سه تأسیسات تغذیه مختلف، که چگونگی استفاده از تجهیزات رفتارسنجی، تکنیک‌های نمونه‌برداری و تحلیل داده‌ها را نشان می‌دهد. این مطالعات، تغذیه از راه استخرها در لوبوک تگزاس، تغذیه از راه چاه‌ها در استانتون تگزاس و آروای نبراسکا را در برمی‌گیرد. گزارش تحقیقات در این تأسیسات، برای بازنگری و فراهم آوردن مثال‌های ویژه از کاربری برخی دستگاه‌های نمونه‌گیری و اطلاعاتی که می‌توان از بررسی‌های تحقیقاتی به دست آورد و بسط داد، برگزیده شده‌اند.

۱-۵ تأسیسات تغذیه فرودگاه لوبوک تگزاس

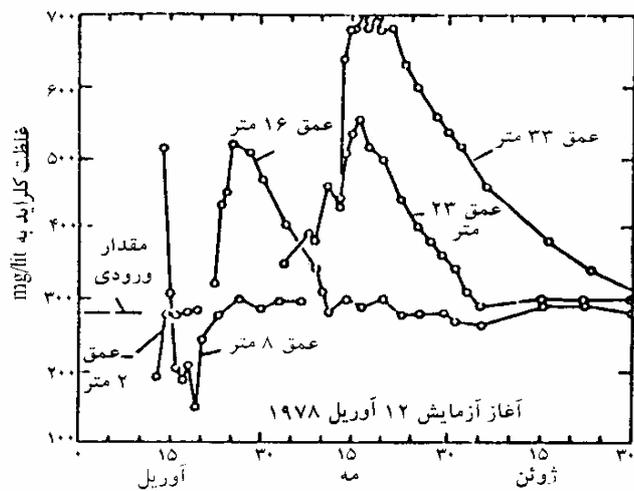
برای مطالعه تغذیه مصنوعی از راه حوضچه‌ها، در دشت‌های مرتفع جنوبی نزدیک لوبوک تگزاس، از یک حوضچه ۴۰۰۰ متر مربعی (به عنوان تأسیسات آزمایشی) استفاده شد. در این جا، نمونه‌گیری‌هایی از نوع فنجان متخلخل که به وسیله وود [۳۵] تکمیل شده بود، در عمق‌های ۰/۶، ۰/۲، ۰/۸، ۱/۶ و ۳/۳ متری کف حوضچه‌ها کار گذاشته شد (شکل ۲۱). در هنگام آزمایش، ابتدا نمونه‌برداری روزانه و سپس هفتگی انجام شد. نمونه‌ها برای تعیین pH، بیکربنات و هدایت ویژه به سرعت آزمایش شد و سپس برای آنالیزهای بعدی نگهداری شدند. بقیه آزمایش‌های شیمیایی در آزمایشگاه انجام شد.

وود و سیگنور^۱ [۷]، کنترل‌های شیمیایی در سیستم نفوذ زیر سطح حوضچه‌ها را مشخص کردند. این کنترل‌ها، شامل: تبادل کاتیونی و آنیونی، انحلال کانی‌ها، جذب سطحی یونی^۲، پخش یونی^۳ و کاهش سولفات با منشأ زیستی بود. سازوکار عمده‌ای که در خلال آزمایش‌ها عمل می‌کرد، تبادل یونی و پخش یونی بود. یک مثال برای سودمند بودن گردآوری داده‌ها، این است که داده‌های به دست آمده از نمونه‌هایی که درست از زیر کف حوضچه گرفته شده‌اند همبستگی کاهش سولفات با یک تغییر هیدرولوژیک ناگهانی را نشان داد که سبب کاهش سرعت نفوذ می‌شود. می‌توان چنین نتیجه گرفت که کاهش سرعت نفوذ، ناشی از توسعه شرایط بی‌هوای است که برای رشد باکتری‌های مصرف‌کننده سولفات مناسب است.

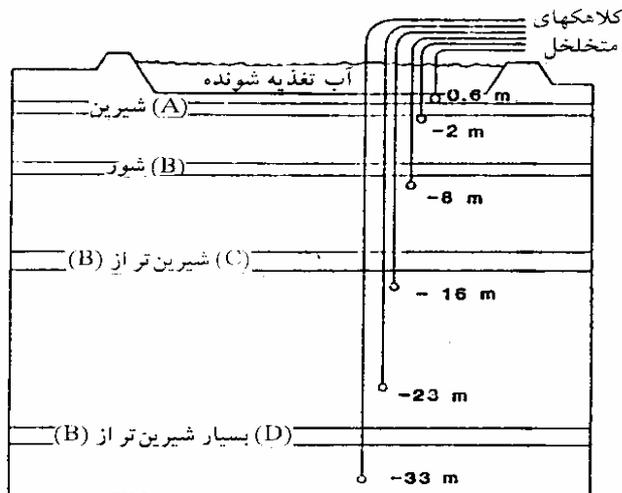
1- Wood & Signor
2- Adsorption
3- Desorption



شکل ۲۱- موقعیت نمونه گیرهای با کلاهمک متخلخل و مقطع زمین شناسی در ساختگاه پخش آب فرودگاه لوبوک تگزاس [۷]



شکل ۲۲- غلظت کلراید دیه در سه نقطه نمونه برداری زیر یک استخر تغذیه در لوبوک تگزاس [۷]

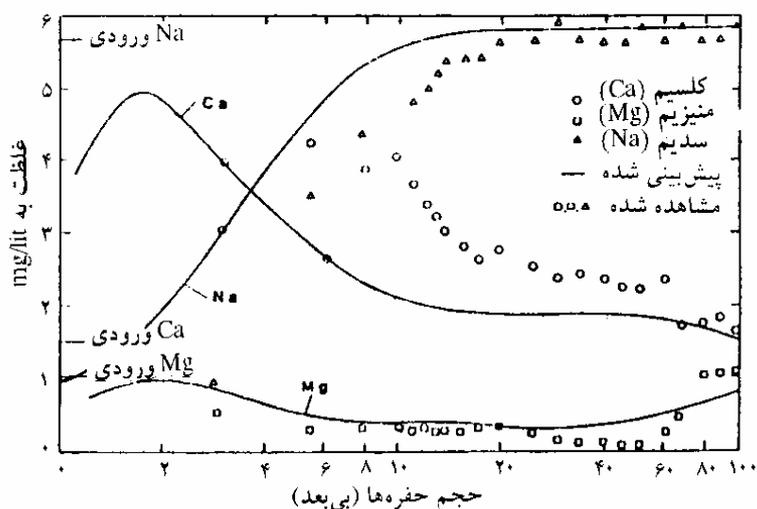


شکل ۲۳- موقعیت کلاهک‌های متخلخل و شوری مربوط به آب‌میان حفره‌ای در زیر استخر تغذیه، لوبوک تگزاس [۷]

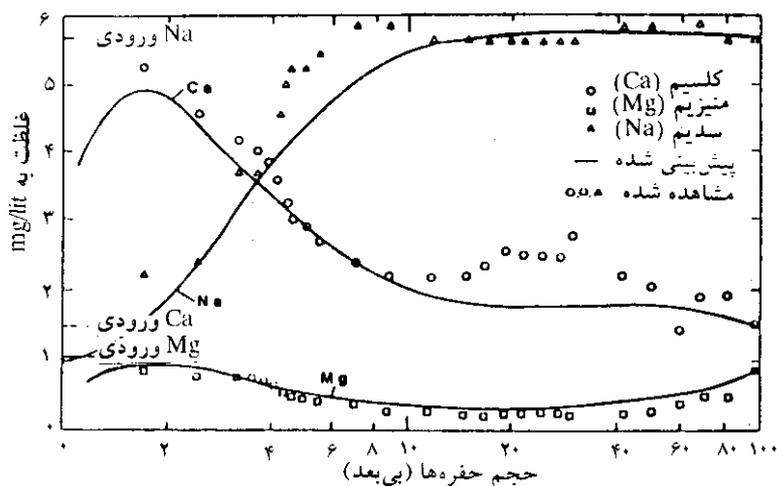
تعیین غلظت کلراید در محل‌های مختلف استقرار فنجان‌های متخلخل، براساس شکل ۲۲، مبنایی برای تعیین لایه‌بندی کیفی اولیه آب را فراهم می‌کند (شکل ۲۳). از آنجایی که کلراید عنصری پایدار^۱ است، برای نمایش این لایه‌بندی به کار رفته، اما همه یون‌های ارزیابی شده ارتباطی همانند را نشان می‌دهند. غلظت کلراید در نمونه گرفته شده از عمق ۲ متری کمتر از غلظت آن در آب ورودی است، شاید به این دلیل که از نفوذ بارش جدید می‌باشد. کلراید، اولین نمونه آب گرفته شده از عمق ۸ متری غلظتی بیشتر از ۵۰۰ میلی‌گرم بر لیتر داشت، که معرف یک منطقه دارای آب حفره‌ای نسبتاً شور در اعماق ۲ تا ۸ متر است. داده‌های به دست آمده از نمونه‌های برداشته شده از عمق ۱۶ متری، نشان می‌دهد که آب رسیده به این ژرفا در ابتدا رقیق‌تر از آب نمونه‌گیر بالایی در ژرفای ۸ متر بود، و حداکثرهای غلظت آب در عمق‌های ۱۶ و ۲۳ متر، به تقریب، مانند آب عمق ۸ متر بود. نمونه از عمق ۳۳ متری، مشخص کرد که آب درون لایه‌ای درست بالای این عمق، بیشترین شوری را داشت. تداوم زمانی حداکثر شوری نمونه این عمق، بیشتر از نمونه‌های عمق ۲۳ متر بود که همزمان با آن برداشته شده بودند. غلظت کلراید آب درون لایه‌ای در عمق ۳۳ متری از زمان رسیدن آب به این عمق در ۱۰ مه تا ۳۰ ژوئن ۱۹۷۸، یعنی دوره‌ای که در آن ۳۰ متر آب در سطح حوضچه تغذیه شد، بیشتر از غلظت کلراید آب ورودی باقی ماند.

از تأسیسات تغذیه فرودگاه داده‌های بیشتری جمع‌آوری و با استفاده از مدل پیش‌بینی عددی^۲ به وسیله گراو و وود تحلیل شد. این مدل، حرکت جریان یک بعدی را با واکنش‌های شیمیایی شبیه‌سازی می‌کند. واکنش‌ها شامل: تبادل یونی غیرخطی، انحلال، رسوب، ساختار کمپلکس یونی^۳ و پخش یونی است. برای مدل شیمیایی، شرایط تعادلی فرض و انتشار هیدرودینامیک آن محاسبه شد. تغییرات مشاهده شده و پیش‌بینی شده در مورد ۳ کاتیون اصلی در خلال تغذیه، در عمق‌های ۰/۶ و ۱/۹ متر مقایسه، و در شکل‌های ۲۴ و ۲۵ نمایش داده شده است. در شکل ۲۶

1- Conservation Element
2- Predictive Numerical Model
3- Lon Complex Formation

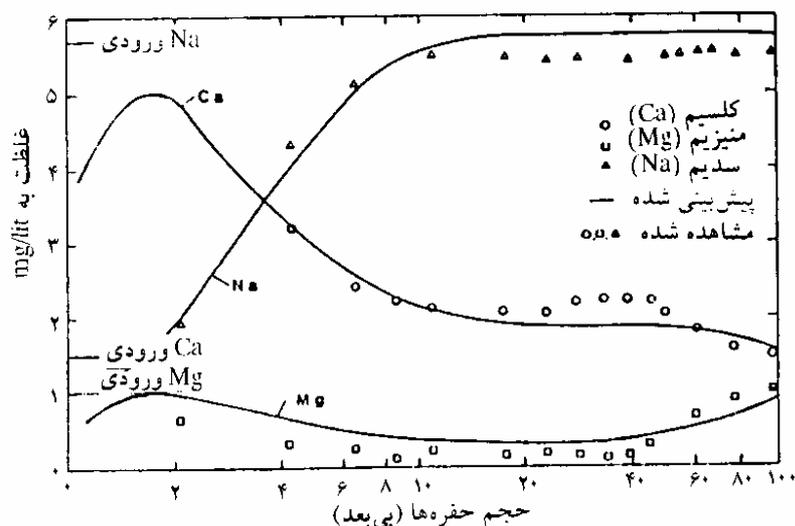


شکل ۲۴- مقایسه مقادیر پیش‌بینی شده و مشاهده شده برای ۳ کاتیون اصلی در ژرفای نمونه‌برداری ۰/۶ متر، لوبوک، ساختگاه پخش آب فرودگاه تگزاس [۵۳]



شکل ۲۵- مقایسه مقادیر پیش‌بینی شده و مشاهده شده برای ۳ کاتیون اصلی در ژرفای نمونه‌برداری ۱/۹ متر، لوبوک، ساختگاه فرودگاه تگزاس [۵۳]

مقایسه دیگری نیز از طریق مدل‌سازی واکنش‌های اندازه‌گیری شده در آزمایشگاه (روی مواد آب و خاک ناحیه تغذیه)، نشان داده شده است. داده‌های آزمایشگاهی و صحرایی، کارایی مدل آزمون شده را نشان می‌دهد. با تأکید بر این که داده‌های صحرایی با آزمایشگاهی قابل مقایسه است، اعتبار تکنیک نمونه‌برداری مشخص می‌شود.

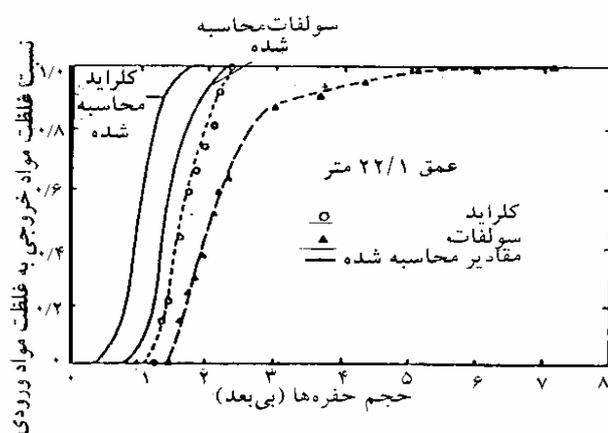
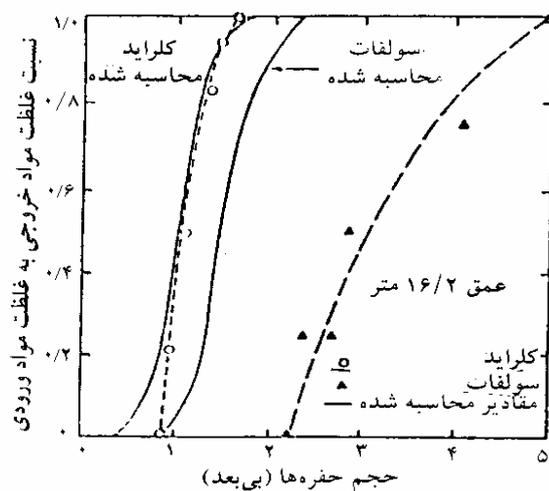
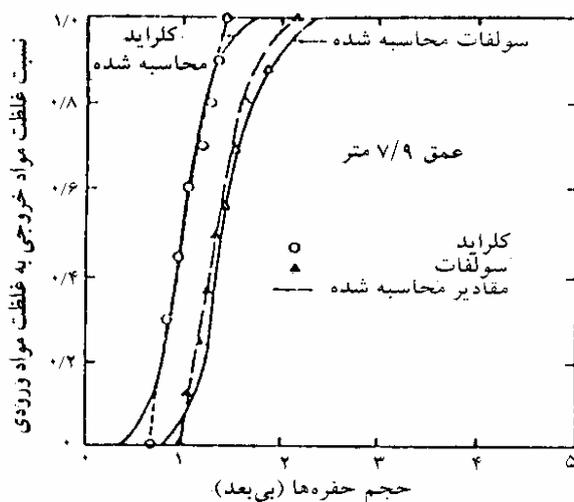


شکل ۲۶- مقایسه مقادیر پیش‌بینی شده و مشاهده شده از طریق مدل‌سازی واکنش‌های اندازه‌گیری شده در آزمایشگاه روی آب و خاک ناحیه تغذیه [۵۳]

وود [۵۴]، معادله اساسی مربوط به حمل یک ماده محلول پایدار و واکنش‌ندار با چگالی ثابت در یک بعد یک محیط متخلخل همگن و اشباع را، با افزودن یک جمله برای واکنش شیمیایی به آن بهبود بخشید. راه حل تحلیلی که او برای حمل ماده محلول به دست آورد، با داده‌های آزمایشگاهی مربوط به یک محلول سولفات و داده‌های صحرایی به دست آمده در ساختگاه فرودگاه لوبوک (از نمونه‌هایی که از نمونه‌گیرهای با فنجان متخلخل به دست آمده بود) قابل مقایسه بود. بنابراین، غلظت‌های کلراید و سولفات، با استفاده از داده‌های صحرایی مدل‌سازی شد تا تفاوت بین ماده پایدار و جذب‌شونده را نشان دهد. نسبت غلظت‌های خروجی به ورودی، در سه عمق مختلف در شکل ۲۷ نشان داده شده است.

همان‌گونه که از این داده‌ها برمی‌آید، در عمق ۷/۹ متر، مقادیر پیش‌بینی شده نسبت‌های غلظت سولفات به مقادیر مشاهده شده بسیار نزدیک است، ولی برای عمق‌های نمونه‌برداری پایین‌تر، مقادیر پیش‌بینی شده با مشاهده شده منطبق نیست. به نظر می‌رسد که دلیل اصلی این اختلاف‌ها، وقوع جریان دو بعدی در عمق‌های ۱۶/۲ و ۲۲/۱ متری در هنگامی باشد که یون سولفات به آن عمق‌ها می‌رسد (شرایطی که داده‌های پیزومترها آن را نشان داد). کلراید، پیش از رسیدن جریان دو بعدی، به عمق نمونه‌برداری ۱۶/۲ متر می‌رسد، بنابراین نسبت‌های غلظت کلراید در آن عمق، بامدل نسبتاً خوبی پیش‌بینی شده است. در عمق ۲۲/۱ متر، نسبت‌های غلظت کلراید مانند سولفات بوده و با مدل، پیش‌بینی نشده است.

وود [۵۴] نتیجه گرفت که پیش‌بینی پخش یون سولفات از نظر زمان و مکان در یک استخر تغذیه، در مرحله اول به مدلی بستگی دارد که گذار از جریان یک بعدی به دو بعدی و نیز تغییر از شرایط جریان غیراشباع به اشباع در آن دیده شده باشد. نتیجه‌های تجربیات آزمایشگاهی درباره شیمی جذب سولفات‌ها در خلال تغذیه مصنوعی را می‌توان در صورتی به کار برد که شرایط صحرایی به‌طور منطقی، فرضیات اساسی مدل را برآورده کند.

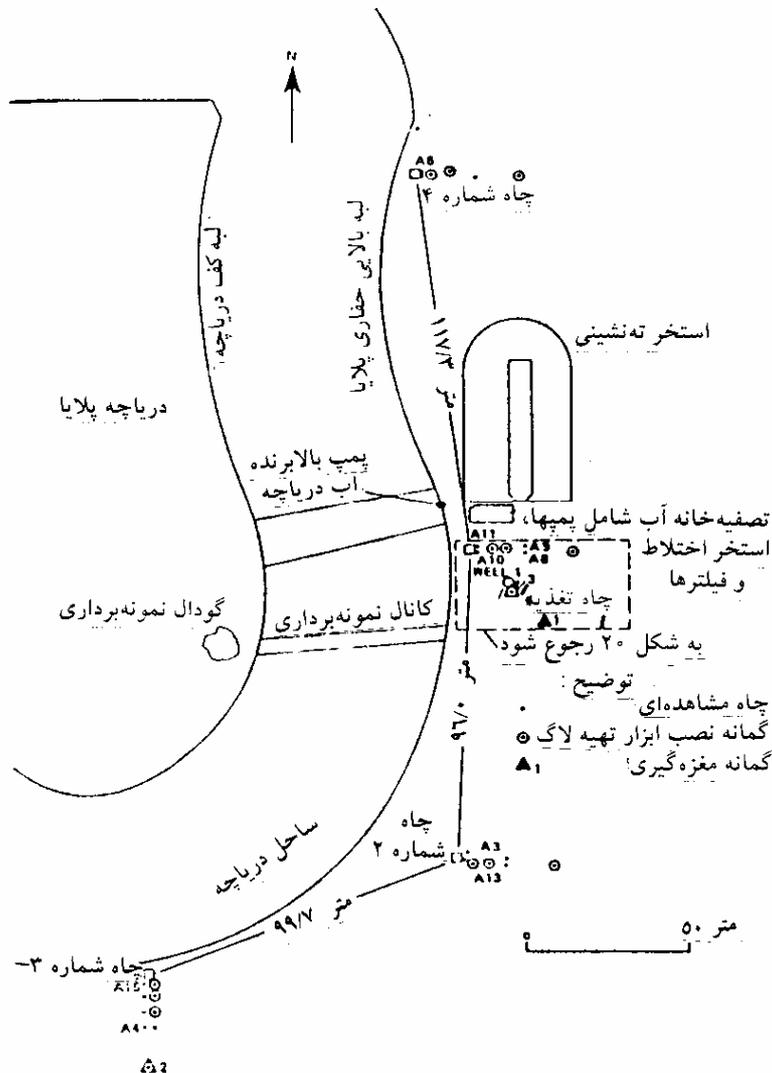


شکل ۲۷- مقایسه منحنی‌های مقادیر مشاهده شده و محاسبه شده کلراید و سولفات، در سه ژرفای نمونه برداری

از زیر تأسیسات پخش آب، لوبوک تگزاس [۵۴]

۲-۵ چاه‌های تغذیه استان‌تون

در شهر استان‌تون ایالت تگزاس، چهار آزمایش تغذیه از طریق یک چاه، با نظارت سازمان زمین‌شناسی ایالات متحده و در ساختمانی که در شکل ۲۸ نشان داده شده انجام گرفت. استان‌تون، شهری است با جمعیت ۲۲۰۰ نفر که در ۱۶۱ کیلومتری جنوب لوبوک در میانه راه میدلند و بیگ اپرینگ واقع شده است. در هنگام آزمایش‌ها، نمونه‌برداری از آب زیرزمینی به وسیله پمپ‌های پیستونی گاز رانشی، پمپ هوا - فشاری، پمپ‌های لوله مسی و نمونه‌گیرهای نقطه‌ای انجام گرفت (شکل‌های ۳، ۴، ۶ و ۲۰). هدف این آزمایش‌ها عبارت بودند از: (۱) ارزیابی ویژگی‌های هیدرولیکی آبخوان، (۲) آزمایش تجهیزات نمونه‌برداری و رفتارسنجی، (۳) مقایسه ردیاب‌ها با هدف استفاده آبی در کاوش‌های هیدرولوژیک و (۴) تعیین چگونگی پخش شعاعی و عمودی ویژگی‌های هیدرولیکی در ساختمانی.



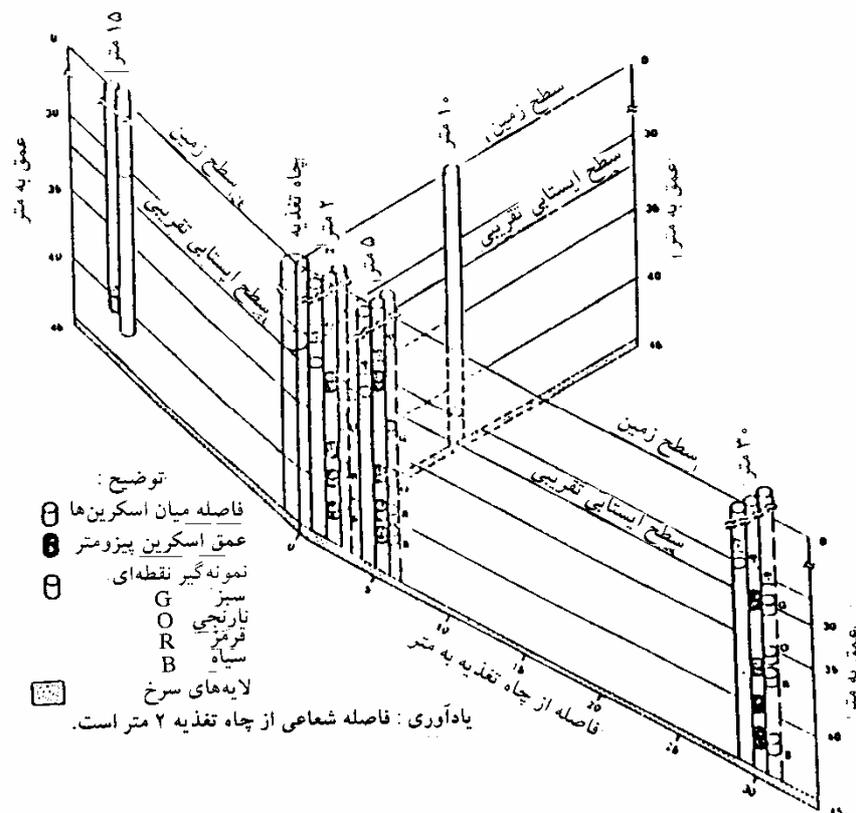
شکل ۲۸- آرایش چاه‌ها و تصفیه فیزیکی در استخر تغذیه، استان‌تون تگزاس [۴]

جدول ۳- خلاصه ردیاب‌های به کار رفته در چهار آزمایش ژئوشیمیایی در استانتون تگزاس (۱۹۷۸)

آزمایش تزریق، مارس ۱۹۷۸				
آزمایش ۱	آزمایش ۲			
ید	اتانول			
اتانول	بنزوات			
CBrClf _۴	فرئون-۱۲			
آزمایش تزریق، مه ۱۹۷۸				
مواد آلی با انحلال طبیعی				
بروماید				
بر				
فرئون-۱۲				
CBrClf _۴				
CBr _۲ f _۴				
آزمایش تزریق، اوت ۱۹۷۸				
آزمایش ۱	آزمایش ۲	آزمایش ۳	آزمایش ۴	آزمایش ۵
بر	بروماید	بر	بروماید	فرئون-۱۲
بروماید	اتانول	اتانول	کلراید	فرئون-۱۱
مس	استات	نیلین	ید	CBrClf _۴
دوتریوم	فنل فتالین	CBr _۲ f _۴	فلوراید	
CBrClf _۴	بنزوات	اتیل امین	مخمر	
آزمایش با دو چاه، دسامبر ۱۹۷۸				
بنزوات				

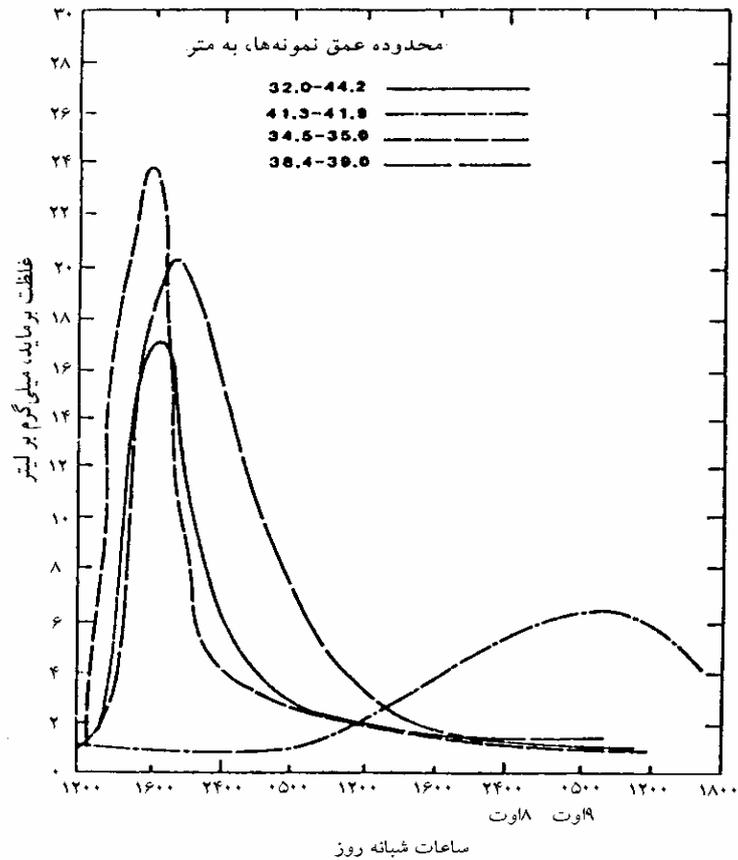
مأخذ: باست و همکاران [۴]

در این آزمایش‌ها، از ردیاب‌های غیرآلی و آلی از نوع فرار و غیرفرار، استفاده شد. ردیاب‌های به کار رفته در جدول ۳ خلاصه شده‌اند. داده‌هایی از نقاط نمونه‌برداری در فاصله‌های شعاعی و عمق‌های مختلف از چاه تزریق، همان‌گونه که در شکل ۲۹ نشان داده شده، به دست آمد. باست و دیگران^۱ [۴]، داده‌های مقدماتی این آزمایش‌ها را به تفصیل گزارش کرده‌اند.

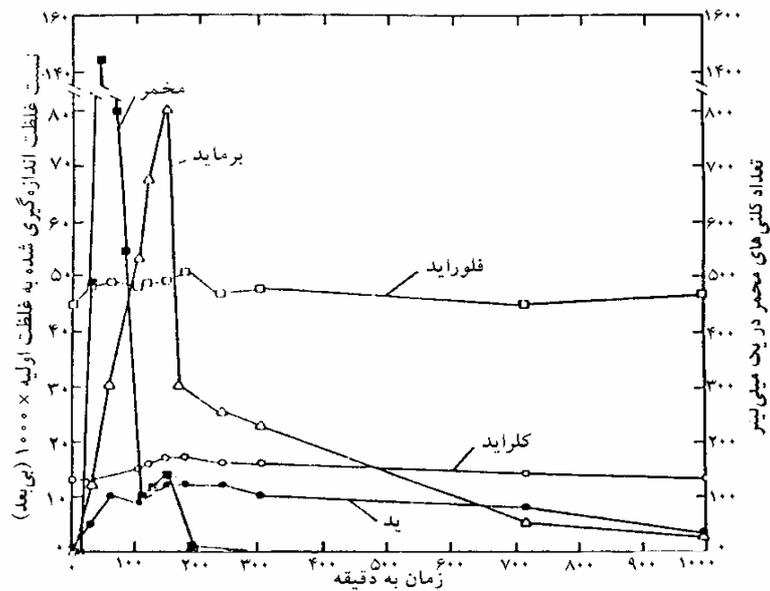


شکل ۲۹- موقعیت نمونه‌گیرهای نقطه‌ای، چاه‌های مشاهده‌ای و بیژومترها در ساختگاه تغذیه، استانتون تگزاس [۴]

مقایسه داده‌های بین محل‌ها و تکنیک‌های نمونه‌برداری، در شکل‌های ۳۰ تا ۳۴ نشان داده شده است. داده‌های مربوط به غلظت بروماید سدیم که از نمونه‌بردارهای سه نقطه‌ای و پمپ پیستونی که در شعاع ۲ متری چاه تزریق قرار گرفته بود به دست آمده، در شکل ۳۰ نشان داده شده است. داده‌های چاه، از یک پمپ پیستونی به دست آمد، که خود نمونه‌ای یکپارچه از تمام ضخامت اشباع آبخوان برداشته است، در حالی که نمونه‌بردارهای نقطه‌ای، نمونه را از عمق خاصی برداشته‌اند. به‌طور کلی، داده‌های به دست آمده از نمونه‌برداری یکپارچه با پمپ پیستونی، در مقایسه با داده‌های نمونه‌بردارهای نقطه‌ای، مقادیر متوسط را نشان می‌دهد. نتیجه‌های تزریق ترکیبات نمک خوراکی و مخمر به‌عنوان ردیاب با پالس‌های ۲ دقیقه‌ای برای مشاهده پاسخ آبخوان، و تهیه نمونه‌های یکپارچه با پمپ پیستونی مستقر در شعاع ۲ متری در شکل ۳۱ نشان داده شده است.

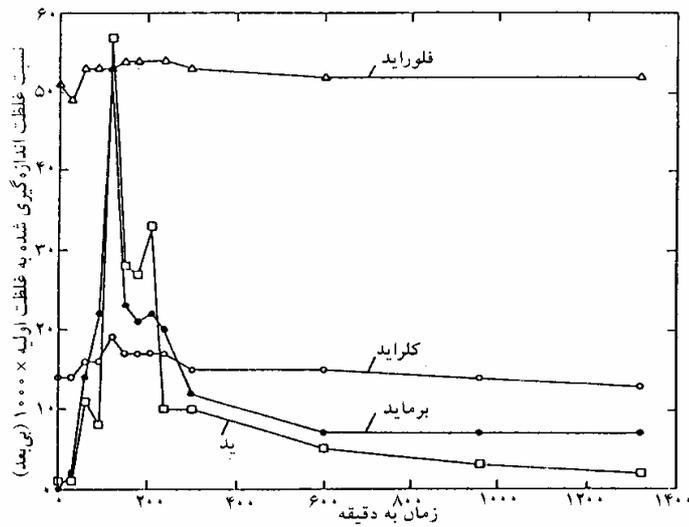


شکل ۳۰- داده‌های بروماید به دست آمده از یک چاه در فاصله ۲ متری از چاه تغذیه با سه نمونه‌گیر نقطه‌ای آزمایش اوت ۱۹۷۸، استانتون تگزاس [۴]

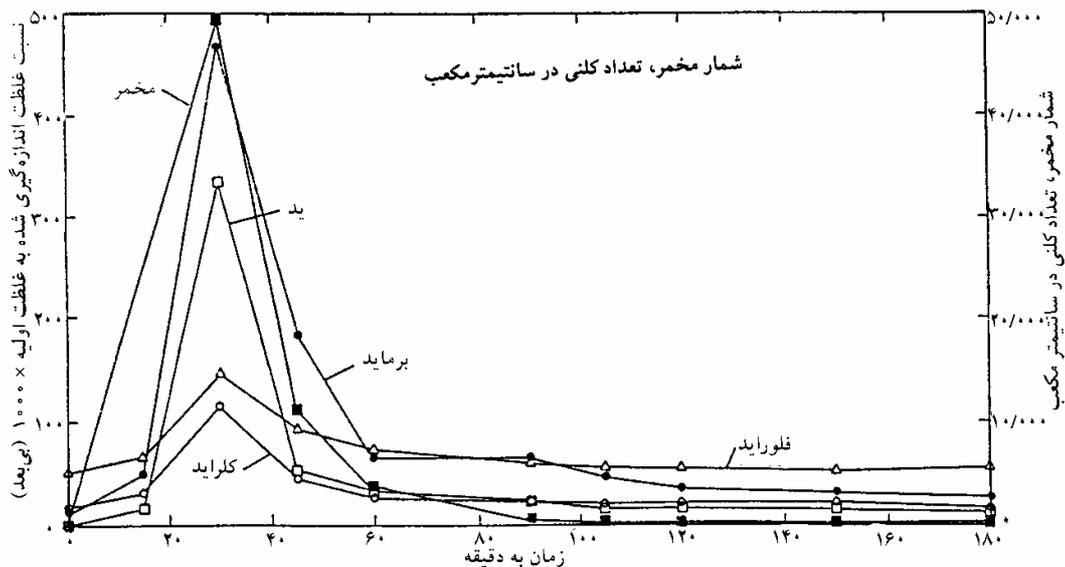


شکل ۳۱- مقایسه داده‌های ردیاب نمک و مخمر در چاهی با فاصله ۲ متر از چاه تغذیه آزمایش اوت ۱۹۷۸، استانتون تگزاس [۴]

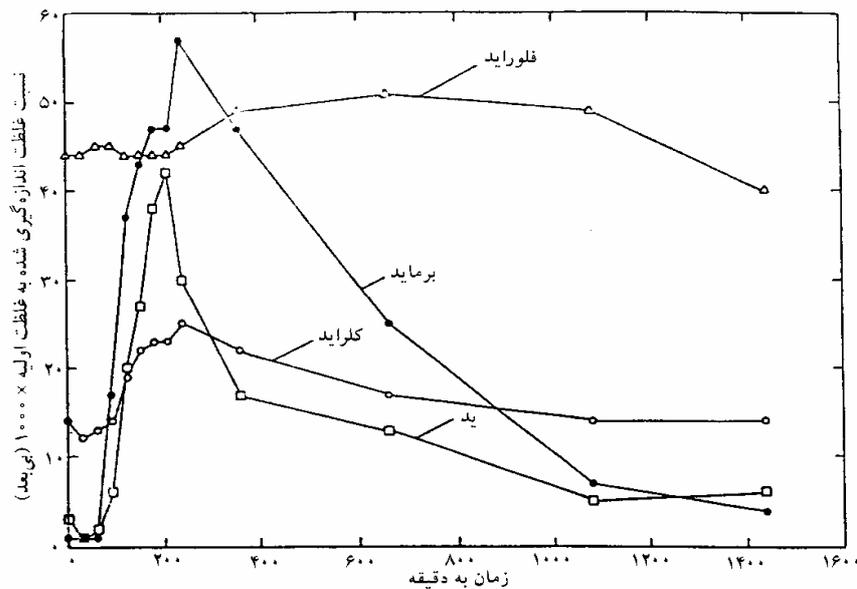
این نتیجه‌ها، از نمونه‌های کامل برداشته شده به وسیله پمپ‌های پیستونی در شعاع ۲ متری به دست آمده است. داده‌ها با آنچه که با همان تکنیک از شعاع ۵ متری برداشته شده‌اند، (شکل ۳۲) متفاوت است. داده‌های آزمون پالس در شعاع ۵ متری و عمق ۳۹/۹ تا ۴۰/۵ متری، با استفاده از یک CTP در یک پیژومتر در شکل ۳۳ نشان داده شده است. داده‌های به دست آمده از یک نمونه‌گیر نقطه‌ای در همان شعاع اما در عمق ۳۷/۲ تا ۳۷/۸ متر، در شکل ۳۴ نشان داده شده است.



شکل ۳۲- مقایسه داده‌های ردیاب نمک به دست آمده از یک چاه، در فاصله ۵ متر از چاه تغذیه آزمایش اوت ۱۹۷۸، استانتون تگزاس [۴]



شکل ۳۳- مقایسه داده‌های ردیاب‌های نمک مخمر از یک نمونه‌گیر نقطه‌ای در عمق ۴۰ - ۴۰/۶ متر نصب شده در ۵ متری چاه تغذیه، استانتون تگزاس [۴]



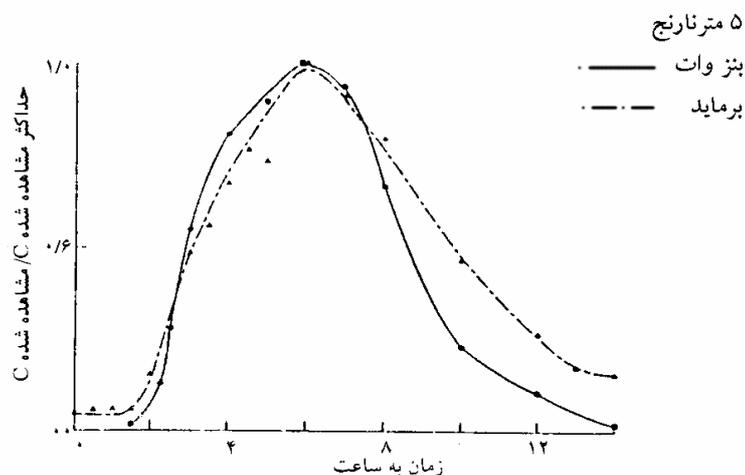
شکل ۳۴- مقایسه داده‌های ردیاب نمک از یک نمونه‌گیر نقطه‌ای در عمق ۳۷/۲ - ۳۷/۸ متر نصب شده در ۵ متری چاه تغذیه، استانتون تگزاس [۴]

مالکوم و دیگران^۱ [۵] داده‌هایی درباره به کارگیری بنزوات و اتانول (به‌عنوان ردیاب در بررسی‌های آب زیرزمینی) ارائه می‌کنند. این مواد، محلول آلی هیدروفیل (آب‌دوست) هستند. مؤلفان، درباره استفاده از مواد آلی طبیعی به عنوان ردیاب، بحث کرده و ردیاب‌هایی از نوع مواد محلول آلی هیدروفیل را با فلوروکربن و ردیاب‌های غیرآلی مقایسه کردند. این داده‌ها، مربوط به آزمایش‌هایی است که در استانتون تگزاس انجام شده و نتیجه‌ها می‌دهد که بنزوات و اتانول، ردیاب‌هایی پایدار هستند. مقایسه داده‌های معرف بنزوات و یک ردیاب غیرآلی پایدار و رایج مانند بروماید، همان‌گونه که در شکل ۳۵ دیده می‌شود، نشان‌دهنده همانندی آنهاست. مالکوم و دیگران [۵]، به منحنی‌های گوسی^۲، که از به هم پیوستن نقاط نسبت بالای غلظت مشاهده شده به تزریق شده به وجود می‌آیند، استناد کرده و تکرار آن در چند آزمایش، گواه حرکت پایدار بنزوات و اتانول است. داده‌های بنزوات و اتانول را می‌توان با داده‌های فرئون ۱۲ و فنل فتالین، که بخشی از آنها در آبخوان باقی می‌ماند، مقایسه کرد.

مالکوم و دیگران [۵] اشاره می‌کنند که غلظت یون‌های غیرآلی در آب زیرزمینی را، نمی‌توان به عنوان ردیاب با آب تغذیه شده مقایسه کرد. پس این حالت برای ترکیب‌های آلی وجود ندارد. آنها در این مورد، به مثالی از آب پلایا (دریاچه استانتون تگزاس) اشاره می‌کنند که حاوی مواد آلی محلول DOC^۳ طبیعی از ۸ تا ۱۲ میلی‌گرم برلیتر بود، در حالی که در آب زیرزمینی ۰/۷ میلی‌گرم برلیتر بود. با این حال ۵۰ درصد DOC آب پلایا دریاچه، به عنوان هیدروفیل شناخته شده است. در تجربه‌ای در این باره، DOC طبیعی آب پلایا دریاچه، به

1- Malcom and Others
2- Gauss
3- Dissolved Organic Constituent

عنوان ردیاب آزمایش شد. اگرچه نتیجه‌های گزارش شده چندان قطعی نبود، مؤلفان نتیجه گرفتند که DOC طبیعی شاید بتواند ردیاب خوبی برای آب تغذیه شده باشد. این نتیجه به ارزیابی بعدی بستگی دارد.



شکل ۳۵- منحنی‌های به دست آمده از پیوستن نقاط داده‌های بنزوات و بروماید گردآوری شده از عمق ۳۷/۲ - ۳۷/۸ متری چاهی در ۵ متری چاه تغذیه، استانتون تگزاس [۵]

۳-۵ چاه‌های تغذیه آرورا

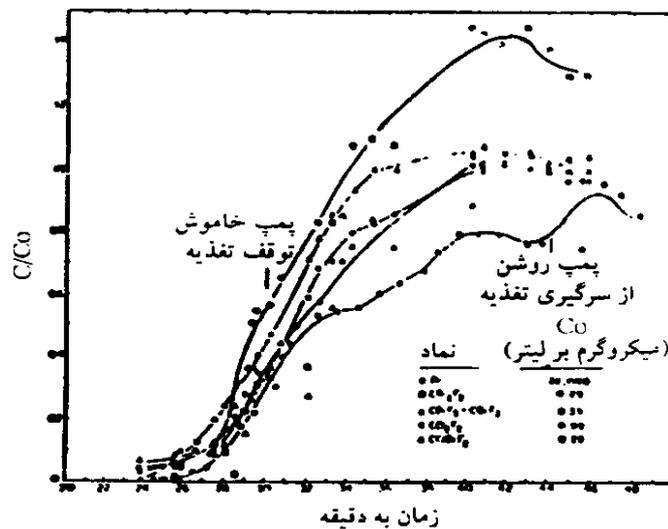
آزمایش‌های ردیابی در خلال تغذیه از راه چاه، در ساختمانی نزدیک آرورا در هامیلتون کانتی^۱ از نبراسکا [۶] انجام شد. آب، از چاهی نزدیک رودخانه پلات^۲ پمپاژ شد و کیفیتی مانند آب رودخانه داشت. آب به درون چاهی در فاصله ۴/۸ کیلومتری شرق چاه پمپاژ که با هدف تغذیه، حفاری و تجهیز شده بود، تزریق گردید.

پنج ردیاب، به‌طور همزمان در چاه تغذیه تزریق شد. ردیاب اصلی، بروماید و از نوع برومورسدیم بود. چهار ردیاب دیگر از نوع فلئوروکربن بود که مناسب بودن آنها به عنوان ردیاب آزمایش شد. نمونه‌برداری با سه تکنیک پمپاژ: پمپ پیستونی (شکل ۳)، پمپ هوای فشرده (شکل ۴) و پمپ بالابر هوایی (شکل ۱۶) انجام گرفت.

داده‌های به دست آمده از مشاهده غلظت این پنج ردیاب روی صفحه مختصات بیان شده و منحنی‌ای که از این نقطه‌های داده گذر می‌کند به وسیله دیویس و دیگران ۵۵ [۳] در شکل ۳۶ ارائه شده است. آنها گزارش می‌کنند که این داده‌ها بر تفاوت‌های نسبتاً کم در "جذب تام ۵۶" از ردیاب‌های غیرآلی و فلئوروکربن‌ها به وسیله آبخوان ماسه‌ای - شنی نزدیک آرورا دلالت می‌کند.

1- Hamilton County
2- Platte

درباره ویژگی‌های کاربردی تکنیک ردیاب‌های برومایدی در مقابل فلئوروکربنی چنین نتیجه‌گیری شده که استفاده از بروماید آسان‌تر بوده و با پمپ بالابر هوایی قابل نمونه‌گیری است، در حالی که فلئوروکربن‌ها فرارند و باید در یک سیستم بسته از آنها نمونه‌برداری شود. نمونه‌های دارای بروماید را می‌توان به‌طور نامحدود بدون اتلاف ردیاب ذخیره کرد. پایش پیوسته بروماید، با استفاده از یک الکتروود انتخاب‌کننده یون در یک سلول که جریان از آن گذر می‌کند به‌آسانی انجام می‌شود، در حالی که فلئوروکربن‌ها به صورت نمونه‌های مجزا و با استفاده از روش کروماتوگرافی گازی ردیاب‌ها به‌طور همزمان با آب تغذیه که دارای بده ۴۴ لیتر بر ثانیه بود به چاه تغذیه وارد شد. نمونه‌ها از یک چاه مشاهده‌ای با فاصله ۲۷/۴ متر گردآوری شده است. مقدار C_0 عبارت است از غلظت ردیاب در آب تزریق شده و C غلظت اندازه‌گیری شده در نمونه‌های برداشته‌شده از چاه مشاهده‌ای است [۳].



شکل ۳۶- منحنی‌های ردیاب‌های مختلف از آزمایشی در آرورا، نبراسکا.

پایش می‌شوند. امتیازهای به‌کارگیری فلئوروکربن‌ها عبارتند از: (۱) تجزیه همزمان ردیاب‌های چندگانه، (۲) حساسیت فوق‌العاده به تکنیک‌های آشکارسازی. اغلب فلئوروکربن‌ها با غلظت‌های چند دهم بخش در میلیارد (PPB) تزریق می‌شود در حالی که بروماید با غلظت ۳۲ بخش در میلیون (PPM)، نزدیک به پنج رده توانی بیشتر تزریق می‌گردد. در حالت استفاده از فلئوروکربن‌ها، حجم‌های بزرگی از آب را می‌توان با مقدارهای کم ردیاب علامتگذاری کرد. نویسندگان نتیجه می‌گیرند که یک محدودیت مهم فلئوروکربن‌ها، به عنوان ترکیبات آلی، این است که در بسیاری از مواد آلی دیگر حل و یا به شدت جذب می‌شوند. بنابراین، برای ردیابی آب در زغال سنگ‌ها، تورب‌ها، شیل‌های نفتی و دیگر سنگ‌های آلی طبیعی مناسب نیستند.

۶- خلاصه

هدف کلی نمونه‌برداری در خلال تغذیه مصنوعی، دستیابی به داده‌های کیفی آب زیرزمینی از نظر زمانی و مکانی است. در ساختگاه‌های تحقیقاتی، داده‌های به دست آمده از نمونه‌برداری، برای تعیین اثرات دستور کارهای تجربی و ارزیابی ردیاب‌ها، تجهیزات نمونه‌برداری و تکنیک‌های نمونه‌برداری به کار می‌رود. در سیستم‌های تحقیقی و اجرایی، نمونه‌برداری‌ها داده‌هایی برای تعیین مشخصه‌های آبخوان به دست می‌دهد. هدف دیگر نمونه‌برداری، دستیابی به اطلاعات اجرایی برای مدیریت سیستم‌های تغذیه مصنوعی است.

با توجه به این که نصب دستگاه‌های پایش پرهزینه و زمان‌بر است، هدف‌های نمونه‌برداری باید به دقت بالا در نظر گرفته شده و دستور کار نمونه‌برداری، پیش از آغاز عملیات تغذیه تکمیل شده باشد. همچنین فرمول‌بندی فرضیات مطالعات هیدرولوژی و واکنش‌های شیمیایی احتمالی قبل از نمونه‌برداری، به انتخاب محل‌های نمونه‌برداری کمک خواهد کرد، تا تعداد نمونه‌ها و انواع تجزیه‌هایی که باید انجام شود را مشخص کرده و به همان ترتیب روش‌های گردآوری نمونه‌ها، تصفیه و نگهداری آنها را تعیین می‌کند.

ضرورت این که نمونه‌ها از نظر فیزیکی و شیمیایی معرف محیط زیرزمینی باشد، برای دستیابی به اهداف نمونه‌برداری از آب زیرزمینی اساس کار است. برای اطمینان از معرف بودن نمونه آب آبخوان در یک نقطه مشخص، معیار پارامتر ثابت برای نمونه‌برداری از چاه‌ها گردآوری شده است. کمترین احتیاط لازم این است که پمپاژ از چاه به قدری ادامه یابد تا دما pH و قابلیت هدایت ویژه آب به مقدار ثابتی برسد. ملاحظه دیگر در دستیابی به نمونه معرف از یک آبخوان در یک سیستم، تغذیه فعال آن است که پارامترهای اندازه‌گیری شده ممکن است با گذشت زمان، به دلیل فرایند تغذیه تغییر کرده یا استفاده از پارامتری مانند قابلیت هدایت ویژه آب برای تعیین درجه اختلاط آب زیرزمینی و آب تزریق شده مطلوب باشد.

تعیین نقاط نمونه‌برداری دارای اهمیت است، زیرا چگونگی پخش سطحی و عمودی داده‌ها را که بنیاد معتبری برای تعیین یا تحلیل رژیم جریان، اثرات کیفی و پخش سطحی آب تغذیه شده است، فراهم می‌آورد. پنج مرحله ضروری برای بهینه‌سازی یک شبکه رفتارسنجی عبارت است از: (۱) طراحی شبکه مقدماتی و گردآوری اطلاعات، (۲) نصب تجهیزات و آزمون‌های اولیه، (۳) تکمیل و تصحیح، (۴) اجرا و (۵) پایان یا ادامه پروژه.

چاه‌های مشاهده‌ای، اغلب دارای قطر کم بوده و پمپاژ آنها دشوار است، با این حال، ابزارهای پمپاژ متعددی برای آنها ساخته و تکمیل شده است. یکی از انواع ساده و ارزان قیمت برای نمونه‌برداری از چاه‌ها، نمونه‌گیر آبدزدکی دستی است. که البته با نمونه‌گیر آبدزدکی، ممکن است نتوان نمونه معرف برداشت. یک نوع پمپ پیستونی گاز رانشی، برای نمونه‌برداری از چاه‌های با قطر کم تکمیل شده و نوع دیگری از پمپ‌های با قطر کم عرضه شده که بر اصل فشردن هوا عمل می‌کند. هنگامی که پمپ فشارش هوا در آب غوطه‌ور شد، آب وارد یک لوله لاستیکی شده و در اثر فشردگی لوله به وسیله گاز به سطح زمین رانده می‌شود. یک ابزار نمونه‌گیری

هم‌زمان از چند عمق ساخته شده است که دارای نواحی مشبک کوچکی است که با فاصله، در طول یک لوله نصب شده و در برابر هر ورودی مشبک آن، یک ابزار پمپاژ نصب گردیده است. طرح اولیه پمپی که بر اصل رانش گاز عمل می‌کند، به طور وسیعی در برنامه‌های نمونه‌برداری به کار برده شده است. مهم‌ترین اختلاف میان پمپ‌هایی که بر اصل رانش گاز کار می‌کنند، در اندازه و مواد به کار رفته در ساختمان این پمپ‌ها (مانند لوله‌های مسی، P.V.C، تفلون و شیشه) است.

سه ابزار نمونه‌گیر سرنگی، برای حفظ پارامترهای ویژه کیفیت آب تکمیل شده است. سرنگ‌ها با اعمال فشارهای بیشتر و کمتر از فشار جو روی پیستون کار می‌کنند.

در محل‌هایی که سطح آب زیرزمینی در چاه مشاهده‌ای به قدر کافی نزدیک سطح زمین باشد، نمونه‌ها را می‌توان به‌طور مستقیم به وسیله مکش و با استفاده از پمپ‌های سانتریفوژ، دیافراگمی و پمپ‌های انقباضی از چاه برداشت. چاه‌ها را می‌توان پمپاژ کرد و نمونه‌ها را با استفاده از پمپ کردن به روش بالابر هوایی برداشت. در این روش، هوا یا دیگر گازهای فشرده مانند نیتروژن، از ته یک لوله غوطه‌ور وارد آب شده و چگالی آب درون چاه را کاهش می‌دهد که به علت کاهش چگالی و غوطه‌وری، آب به همراه حباب‌های گاز از دهانه چاه بیرون می‌آید. یک نمونه‌گیر قابل حمل که بر اصل بالابر هوایی عمل می‌کند، از یک کپسول کوچک پروپان به عنوان منبع گاز استفاده می‌کند.

از رژیم‌های جریان غیراشباع، می‌توان به وسیله فنجان‌های متخلخل قرار داده شده در زیرزمین نمونه برداشت. نمونه‌برداری مستقیم با عمل مکش نیز در صورتی میسر است که نمونه‌گیر به حد کافی به سطح زمین نزدیک باشد. برای ژرفای بیشتر آرایه‌ای، از ترکیب رانش گاز و نمونه‌گیر فنجان متخلخل استفاده می‌شود.

داده‌های به دست آمده از نمونه‌برداری ردیاب‌ها، برای تعیین ویژگی‌های جریان در آبخوان، مانند سرعت و جهت جریان به کار می‌رود. نمونه‌برداری دوره‌ای از یک چاه برای تعیین رقیق‌شدگی ردیاب، مبنایی برای محاسبه سرعت داری فرام می‌کند. سرعت آب زیرزمینی را می‌توان از تکنیک پالس تزریق و پمپاژ یک چاه به دست آورد. همچنین سرعت آب زیرزمینی در یک سیستم بدون تنش ناشی از پمپاژ یا تغذیه را می‌توان با تزریق ردیاب در یک چاه و نمونه‌برداری از چاه‌های مشاهده‌ای پایین دست تعیین کرد. رادیو ایزوتوپ‌های جذب شده به وسیله تنزیب نصب شده در یک چاه، تکنیک دیگری برای تشخیص جهت جریان آب زیرزمینی است.

تخلخل یک آبخوان را می‌توان از داده‌های آزمون با دو چاه محاسبه کرد که در آن، حجم آب پمپ شده از یک چاه تاگذر ردیاب از چاه پمپ نشده تعیین می‌شود. یک تکنیک ردیابی برای تعیین تخلخل میانگین و نفوذپذیری‌های متفاوت یک آبخوان چند لایه‌ای با لایه‌بندی افقی گزارش شده است. نمونه‌برداری از هر دو چاه تغذیه و تخلیه، داده‌هایی به دست می‌دهد که محاسبه تخلخل و ضریب انتشار را ممکن می‌کند. پخش هیدرودینامیک یا اختلاط سیالات در خلال جریان در محیط‌های متخلخل، پدیده مهمی است که در تحلیل

اختلاط آب‌های با کیفیت‌های متفاوت در نظر گرفته شده است. بسط جامع معادلات انتشار و راه‌حل‌های تحلیلی آنها انجام گرفته و تکنیک‌های عددی نیز برای حل معادلات بسط یافته‌اند.

برای تعیین کاربری تجهیزات رفتارسنجی، تکنیک‌های نمونه‌برداری و چگونگی تحلیل داده‌ها، تحقیقات تغذیه مصنوعی در سه ساختگاه به‌طور مختصر بررسی شده است. در یک مورد، مطالعه تغذیه مصنوعی از راه حوضچه‌ها، از تأسیسات نزدیک لوبوک تگزاس به عنوان تأسیسات آزمایشی استفاده شده است. برای مثالی درباره کاربری داده‌ها، سنجش غلظت کلراید در موقعیت‌های مختلف قرارگیری فنجان متخلخل در یک مقطع عمودی، مبنایی برای تعیین لایه‌بندی کیفی آب را فراهم می‌کند. داده‌های دیگر از عمق‌های ۰/۶ و ۱/۹ متر (برای مقایسه تغییرات پیش‌بینی شده و مشاهده شده سه کاتیون اصلی در خلال تغذیه) به کار گرفته شدند.

معادله اساسی جابه‌جایی یک محلول پایدار^۱ و غیرواکنش‌زا با چگالی ثابت در محیط متخلخل و اشباع یک بعدی همسان^۲، با افزودن جمله واکنش شیمیایی بهبود یافت. جواب معادله بهبود یافته، با داده‌های آزمایشگاهی برای یون سولفات مقایسه شد. مدل‌سازی داده‌های صحرایی از نمونه‌گیرهای دارای فنجان متخلخل برای یون‌های سولفات و کلراید، تفاوت میان یک ماده پایدار و ماده جذب شونده را نشان می‌دهد.

چهار مورد آزمایش تغذیه، از راه یک چاه و به وسیله سازمان زمین‌شناسی ایالات متحده در تأسیساتی در شهر استانتون تگزاس راهبری شد. هدف‌های این آزمایش‌ها عبارت بود از: (۱) ارزیابی خواص هیدرولیکی آبخوان، (۲) آزمایش تجهیزات نمونه‌گیری و رفتارسنجی، (۳) مقایسه ردیاب‌ها و (۴) تعیین پخش شعاعی و عمودی خواص هیدرولیکی در تأسیسات. در این آزمایش‌ها، مقایسه داده‌ها میان مکان‌ها و تکنیک‌های مختلف نمونه‌برداری نمایش داده شد.

آزمایش‌های ردیابی در خلال تغذیه از راه چاه، در تأسیساتی نزدیک آرورا در هامیلتون کانتی نبراسکا راهبری شد. پنج ردیاب نیز، همزمان به درون چاه تزریق شد. از چاه‌های مشاهده‌ای، با سه تکنیک پمپاژ (پمپ پیستونی، پمپ فشارش هوا و پمپ بالابر هوایی) نمونه‌برداری شد. ردیاب‌ها، بروماید سدیم و فلئوروکربن‌ها بود. تفسیر ویژگی‌های اجرایی تکنیک‌های ردیابی با بروماید، در مقابل فلئوروکربن به این نتیجه‌گیری منجر شد که کنترل بروماید آسان‌تر است، در حالی که فلئوروکربن فرار بوده و باید در یک سیستم بسته نمونه‌برداری شود. فلئوروکربن‌ها امکان راهبری تجزیه همزمان چند ردیاب را فراهم می‌کنند، و تکنیک آشکارسازی آن بسیار حساس است. البته فلئوروکربن‌ها به‌شدت به وسیله مواد آلی دیگر جذب می‌شوند. بنابراین برای ردیابی آب در زغال‌سنگ، تورب، شیل‌های نفتی و سنگ‌های آلی دیگر مناسب نیستند.

1- Conservative

2- Isotropic

- 7-1 Signor, D.C., Growitz, D.J., and Kam, W. "Annotated Bibliography on Artificial Recharge of Ground Water, 1955-67." U.S. Geological Survey, Water Supply Paper No. 1990 (1970).
- 7-2 Knapp, G.L. (Ed). "Artificial Recharge of Ground Water, a Bibliography." U.S. Department of Commerce, National Technical Information Service, No. PB-221-479 (1973).
- 7-3 Davis, S.N., Thompson, G.M., Bentley, H.W., and Stiles, G. "Ground - Water Tracers - A Short Review." Ground Water Monitoring Review 18(1):14-23 (1980).
- 7-4 Bassett, R.L., Weeks, E.P., Ceazan, M.L., Perkins, S.G., et al. "Preliminary Data from a Series of Artificial - Recharge Experiments at Stanton, Texas." U.S. Geological Survey, Open - File Report No. 81-149 (1981).
- 7-5 Malcom, R.L., Aiken, G.R., Thurman, E.M., and Avery, P.A. "Hydrophilic Organic Solutes as Tracers in Ground - Water Recharge Studies." In: R.A. Baker (Ed). Symposium on Processes Involving Contaminants and Sediments. Vol.2. Ann Arbor, MI, Ann Arbor Science Publishers, 1980, pp. 71-87.
- 7-6 Lichtler, W.F., Stannard, D.I., and Kouma, E. "Investigation of Artificial Recharge of Aquifers in Nebraska." U.S. Geological Survey, Water - Resources Investigation No. 80-93 (1980), p.5.
- 7-7 Wood, W.W., and Signor, D.C. "Geochemical Factors Affecting Artificial Ground Water Recharge in the Unsaturated Zone." Transactions of the American Society of Agricultural Engineers 18(4): 677-683 (1975).
- 7-8 Nelson, W.R. "Evaluating the Environmental Consequences of Ground - Water Contamination: I. An Overview of Contaminant Arrival Distributions as General Evaluation Requirements," Water Resources Research 14(3):409-415 (1978).
- 7-9 Nelson, W.R., "Evaluating the Environmental Consequences of Ground Water Contamination: II. Obtaining Location/Arrival Time and Location/Outflow Quantity Distributions for Steady Flow Systems," Water Resources Research 14(3): 416-428 (1978).

- 7-10 Nelson, W.R. "Evaluating the Environmental Consequences of Ground Water Contamination: III. Obtaining Contaminant Arrival Distributions for Steady Flow in Heterogeneous Systems." *Water Resources Research* 14(3): 429-440 (1978).
- 7-11 Nelson, W.R. "Evaluating the Environmental Consequences of Ground Water Contamination: IV. Obtaining and Utilizing Contaminant Arrival in Transient Flow Systems." *Water Resources Research* 14(3): 441-450 (1978).
- 7-12 Wood, W.W. "Guidelines for Collection and Field Analysis of Ground Water Samples for Selected Unstable Constituents." U.S. Geological Survey, *Techniques of Water - Resources Investigations, Book 1, Chapter D2* (1976).
- 7-13 Schuller, R.M., Gibb, J.P., and Griffin, R.A. "Recommended Sampling Procedures for Monitor Wells." *Ground Water Monitoring Review* 1(1): 42 (1981).
- 7-14 Scaif, M.R., McNabb, J.F., Dunlap, W.J., and Cosby, R.L. "Manual of Ground Water Quality Sampling Procedures." U.S. Environmental Protection Agency, Robert S. Kerr Environmental Research Laboratory, Ada, Oklahoma, *NWWA/EPA Series* (1981).
- 7-15 Schmidt, K.D. "How Representative Are Water Samples Collected from Wells." In: D.M. Nielsen (Ed). *Proceedings of the Second National Symposium on Aquifer Restoration and Ground Water Monitoring*. Worthington, OH: National Water Well Association, 1982, pp. 117-128.
- 7-16 Pfannkuch, H.O., and Labno, B.A. "Design and Optimization of Ground Water Monitoring Networks for Pollution Studies." *Ground Water Monitoring Review* 14(6): 455 (1976).
- 7-17 Barnett, P.R., and Mallory, Jr. E.C. "Determination of Minor Elements in Water by Emission Spectroscopy." U.S. Geological Survey, *Techniques of Water - Resources Investigations, Book 5, Chapter A2* (1971).
- 7-18 Goerlitz, D.F., and Brown, E. "Methods of Analysis of Organic Substances in Water." U.S. Geological Survey, *Techniques of Water - Resources Investigations, Book 5, Chapter A3* (1972).
- 7-19 Slack, K.V., Averett, R.C., Greeson, P.E., and Lipscomb, R.G. "Methods for Collection and Analysis of Aquatic Biological and Microbiological Samples." U.S. Geological Survey, *Techniques of Water - Resources Investigations, Book 5, Chapter A4* (1973).

- 7-20 Skougstad, M.W., Fishman, M.J., Friedman, L.C., Erdmann, D.E., and Duncan, S.S. (Eds). "Methods for Determination of Inorganic Substances in Water and Fluvial Sediments." U.S. Geological Survey, Techniques of Water- Resources Investigations, Book 5, Chapter A1 (1979).
- 7-21 Buss, D.F., and Bandt, K.E. "An All Teflon Bailer and an Air-Driven Pump for Evacuating Small Diameter Ground Water Wells." Ground Water monitoring Review 19(4) : 429 (1981).
- 7-22 Signor, D.C. "Sampling Equipment and Techniques for Monitoring Ground Water During Artificial Recharge Operations. "In: T. Asano and P.V. Roberts (Eds). Proceedings of the Symposium on Wastewater Reuse for Ground Water Recharge. Office of Water Recycling, California State Water Resources Control Board, 1980, p.80.
- 7-23 Signor, D.C. "Gas-Driven Pump for Ground Water Samples. "U.S. Geological Survey, Water Resources Investigations NO. 78-72, Open - File Report (1978).
- 7-24 Middleburg, R.F. "Methods for Sampling Small-Diameter Wells for Chemical Quality Analysis." In: Proceedings of the National Conference on Quality Assurance of Environmental Measurements. Denver, Colorado, 1978, pp.97-100.
- 7-25 Gillham, R.W., and Johnson, P.E. "A Positive Displacement Ground Water Sampling Device." Ground Water Monitoring Review 1(2) : 33(1981).
- 7-26 Bianchi, W.C., Johnson, C.E., and Haskell, E.E. "A Positive Action Pump for Sampling Small Bore Wells." Soil Science Society of America Procedures 26(1): 86 (1962).
- 7-27 Morrison, R.D., and Brewer, P.E. "Airlift Samplers for Zone of Saturation Monitoring." Ground Water Monitoring Review 1(1): 52 (1981).
- 7-28 Tomson, M.B., Hutchins, S., King, J.M., and Ward, C.H. "A Nitrogen Powered Continuous Delivery, All Glass Teflon Pumping System for Ground Water Sampling from Below 10 Meters," Ground Water Monitoring Review 18(5): 444-446 (1980).
- 7-29 Robin, M.J.L., Dytynshyn, D.J., and Sweeney, S.J. "Two Gas Drive Sampling Devices." Ground Water Monitoring Review 2(1): 63-66 (1982).
- 7-30 Gillham, R.W., "Syringe Devices for Ground Water Monitoring." Ground Water Monitoring Review 2(2): 36 (1982).

- 7-31 Pettyjohn, W.A., Dunlap, W.J., Cosby, R., and Keeley, J.W. "Sampling Ground Water for Organic Contaminants. Ground Water Monitoring Review 19(2): 180-189(1981).
- 7-32 Smith, A.J. "Water Sampling Made Easier With New Device." The Johnson Drillers Journal 48(4): 1 (1976).
- 7-33 Everett, L.G. "Monitoring in the Vadose Zone." Ground Water Monitoring Review 1(2) : 49 (1981).
- 7-34 Parizek, R.R., and Lane, B.E. "Soil Water Sampling Using Pan and Deep Pressure Vacuum Lysimeters." Journal of Hydrology 11(1) : 1-21 (1970).
- 7-35 Wood, W.W. "A Technique Using Porous Cups for Water Sampling at Any Depth in the Unsaturated Zone." Water Resources Research 9(2) : 486-488 (1973).
- 7-36 Lewis, D.C., Kriz, G.J., and Burgy, R.H. "Tracer Dilution Sampling Technique to Determine Hydraulic Conductivity of Fractured Rock." Water Resources Research 2(3) : 533-542 (1966).
- 7-37 Sun, R.J. "Hydrodynamic Dispersion and Movement of Injected Water." In: H.O. Reeder, W.W. Wood, G.G. Ehrlich and R.J. Sun. Artificial Recharge Through a Well in Fissured Carbonate Rock, West St. Paul, Minnesota. U.S. Geological Survey, Water Supply Paper No. 2004 (1976), pp.52-75.
- 7-38 Borowczyk, M., Mairhofer, J., and Zuber, A. "Single Well Pulse Technique." In Isotopes in Hydrology (International Atomic Energy Agency, Proc. Ser., 1967), pp. 507-512.
- 7-39 Keely, J.W., and Scalf, M.R. "Aquifer Storage Determinations by Radiotracer Techniques." Ground Water Monitoring Review 7(1) : 17-22 (1969).
- 7-40 Sampayo, F.F., and Wilke, H.R. "Temperature and Phosphates as Ground Water Tracers." Ground Water Monitoring Review 1(4): 36-38 (1963).
- 7-41 Wurzel, P., and Ward, P.R.B. "A Simplified Method of Ground Water Direction Measurement in a Single Borehole." Journal of Hydrology 3(2) : 97-105 (1965).
- 7-42 Halevy, E., and Nir, A. "The Determination of Aquifer Parameters With the Aid of Radioactive Tracers." Journal of Geophysical Research 97 (6) : 2403-2409 (1962).
- 7-43 Mercado, A and Halevy, F. "Determining the Average Porosity and Permeability, of a Stratified Aquifer With the Aid of Radioactive Tracers." Water Resources Research 2(3): 525 - 531 (1966).

- 7-44 Grove, D.B., and Beetem, W.A. "Porosity and Dispersion Constant Calculations for a Fractured Carbonate Aquifer Using the Two Well Tracer Method." *Water Resources Research* 7(1) : 128 - 134 (1971).
- 7-45 Grove, D.B., Beetem, W.A., and Sower, F.B. "Fluid Travel Time Between a Recharging and Discharging Well Pair in an Aquifer Having a Uniform Regional Flow Field." *Water Resources Research* 6(5) : 1404 - 1410 (1970).
- 7-46 Bear, J., and Bachmat, Y. "A Generalized Theory on Hydrodynamic Dispersion in Porous Media." In: *Proceedings of the Symposium of Haifa, Artificial Recharge and Management of Aquifers* (International Association Scientific Hydrology Pub. No. 72 (1967), pp. 7-16.
- 7-47 Bear, J. *Dynamics of Fluids in Porous Media*. New York, London, Amsterdam : American Elsevier, 1972, pp. 579 - 663.
- 7-48 Hoopes J.A., and Harleman, D.R.F. "Wastewater Recharge and Dispersion in Porous Media." Dept. of Civil Engineering, Massachusetts Institute of Technology, Report No. 75. (1965).
- 7-49 Hoopes, J.A., and Harleman, D.R.F. "Wastewater Recharge and Dispersion in Porous Media." *American Society of Civil Engineers Procedures, Hydraulics Division Journal*, 93(HYS) : 51 - 71 (1967).
- 7-50 Hoopes, J.A., and Harleman, D.R.F. "Dispersion in Radial Flow From a Recharge Well." *Journal of Geophysical Research* 72 (14) : 3593 - 3607 (1967).
- 7-51 Reeder, H.O., Wood, W.W., Ehrlich, G.G., and Sun, R.J. "Artificial Recharge Through a Well in Fissured Carbonate Rock, West St. Paul, Minnesota." U.S. Geological Survey Water - Supply Paper (1976).
- 7-52 Harleman, D.R.F., Methorn, P.F., and Rummer, R.R., Jr. "Dispersion Permeability Correlation in Porous Media." *American Society of Civil Engineers Procedure, Hydraulics Division Journal* 89 (HY2) : 67 - 85 (1963).
- 7-53 Grove, D.B., and Wood, W.W. "Prediction and Verification of Sub - Surface Quality Changes During Artificial Recharge, Lubbock, Texas," *Ground Water Monitoring Review* 17(3): 250 (1979).
- 7-54 Wood, W.W. "Use of Laboratory Data to Predict Sulfate Sorption During Artificial Ground - Water Recharge." *Ground Water Monitoring Review* 16(1) : 23 (1978).