



شرکت آب و فاضلاب استان البرز
دفتر توسعه مدیریت و تحقیقات



معاونت توسعه مدیریت، منابع انسانی و پشتیبانی
شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور



مرکز تحقیقات، توسعه فناوری و ارتباط با صنعت
شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور



بنیاد تحقیقات استان البرز



مؤسسه تحقیقات و فناوری آب های زیرزمینی
دانشگاه تهران

مجموعه مقاله های

کارگاه تخصصی پایدارسازی چاه های شرب

با رویکرده

مدیریت دانشی،

دارایی ها و

انتقال تجارب

تابستان ۱۴۰۴

پیشانی کار

چاه‌های شرب یکی از اصلی‌ترین دارایی‌های زیرساختی صنعت آب و فاضلاب کشور است و نقشی حیاتی در تأمین مستمر و پایدار آب شرب را به عهده دارند. بسیاری از این چاه‌ها در گذر زمان به دلایل متعددی از جمله عوامل زمین‌شناسی، ضعف در طراحی و اجرا، فرسودگی و فرسایش تجهیزات، رسوب‌گذاری و ماسه‌دهی و مانند آن، با پدیده‌ی ناپایداری مواجه می‌شوند. این امر نه تنها منجر به افزایش هزینه‌های نگهداری و کاهش کارآمدی چاه می‌شود، بلکه پایداری خدمات‌رسانی به مشترکان را نیز با تهدید جدی رو به رو می‌سازد. در چنین شرایطی، بهره‌گیری از رویکرد مدیریت دارایی‌ها (Management Asset) به همراه مدیریت دانش (Knowledge Management)، اجتناب‌ناپذیر است. مدیریت دارایی‌ها، با نگاه نظامند به چرخه‌ی عمر چاه، این امکان را فراهم می‌سازد تا منابع و تجهیزات ارزشمند چاه، با بیش‌ترین کارآمدی و طول عمر، مدیریت شوند.

در کنار این موضوع، مدیریت دانش و انتقال و اشتراک دانش و تجربه میان کارشناسان، خبرگان، پژوهشگران و مدیران، از تکرار خطاها، پیشگیری و توسعه‌ی راه کارهای نوین را تسریع می‌بخشد.

بر این باور، کارگاه «پایدارسازی چاه‌های شرب با رویکرد مدیریت دانش و دارایی» به میزبانی شرکت آب و فاضلاب استان البرز و با همکاری مرکز تحقیقات، توسعه‌ی فناوری و ارتباط با صنعت شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور، در ششم خرداد ماه ۱۴۰۴ برگزار گردید. این رویداد فرصت ارزشمندی را برای هم‌اندیشی اساتید دانشگاه، پژوهشگران، مدیران اجرایی، کارشناسان، بخش خصوصی و سایر دستگاه‌های اجرایی مرتبط با آب‌های زیرزمینی از جمله: سازمان زمین‌شناسی کشور، وزارت جهاد کشاورزی، دانشگاه علوم پزشکی، سازمان حفاظت محیط زیست و بنیاد ملی نخبگان فراهم آورد تا با تبادل دیدگاه‌ها و تجربه‌های علمی و عملی، در افزایش پایداری منابع آب کشور بکوشند.

مجموعه‌ی مقاله‌ها و سخنرانی‌های ارائه شده در این کارگاه که شامل اثرات عوامل زمین‌شناسی، فرآیندهای کاروتاژ و مطالعات ژئوفیزیکی بر پایداری چاه‌ها، چالش‌های موجود در حفاری، آزمایش پمپاژ، روش‌های کنترل ماسه‌دهی چاه‌ها و جنبه‌های حقوقی و مالکیتی بهره‌برداری از چاه‌های شرب می‌باشد، برای طیف وسیعی از کارشناسان و مدیران در بخش‌های مهندسی و توسعه، بهره‌برداری، دفاتر تحقیقات، بحران و پدافند غیرعامل در شرکت‌های آب و فاضلاب استان‌ها و هم‌چنین شرکت‌های آب منطقه‌ای، سازمان جهاد کشاورزی، دانشگاه‌ها، مراکز علمی و پژوهشی و سایر دستگاه‌های اجرایی کشور قابل استفاده و استناد است. امید است انتشار این مجلد میراث ماندگار و یادگاری در مدیریت چاه‌های آب شرب، مرجعی برای پژوهشگران، مدیران و کارشناسان و گامی در ارتقای سطح دانش فنی، انتقال تجربه‌ها و بهبود مدیریت پایدار چاه‌های شرب کشور باشد.

برگزاری این کارگاه علمی و کاربردی، مرهون نگاه مدیریت مدبرانه‌ی آقای هوشنگ ملایی، معاون محترم توسعه‌ی مدیریت، منابع انسانی و پشتیبانی شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور، آقای حسین عطایی‌فر، معاون محترم مرکز تحقیقات، توسعه‌ی فناوری و ارتباط با صنعت شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور، سرکار خانم مریم ترکشوند، معاون محترم برنامه‌ریزی و توسعه‌ی سرمایه‌گذاری و تلاش‌های آقای محمد جعفرزاده، معاون محترم منابع انسانی و دفتر تحقیقات شرکت آب و فاضلاب استان البرز،

آقای مجتبی صیادی، دبیر محترم اجرایی، آقای مجید خلقی، دبیر محترم علمی، آقای سعید طبیبی، مدیر محترم دفتر توسعه‌ی مدیریت و تحقیقات شرکت آب و فاضلاب استان البرز، آقایان داوود رهنما نسب، علی برخوردار و سرکار خانم‌ها آرزو کرمی مقدم، سمیرا بوستانی و سحر ربیع‌زاده کارشناسان محترم دفتر تحقیقات شرکت آب و فاضلاب استان البرز، آقای علی رضا آشوری، مدیر محترم روابط عمومی، سرکار خانم طاهره بیگی، آقایان سید میثم حسینی و سید علی رضا عبادی کارشناسان محترم روابط عمومی آن شرکت است که با مساعی و مشارکت فعال آنان، فرآیند برگزاری شایسته‌ی این رویداد تخصصی به انجام رسید و نمونه‌ای ارزشمند از همکاری‌های اثربخش در عرصه‌ی صنعت آب و فاضلاب کشور را به جلوه درآورد. هم‌چنین از سرکار خانم نوشین معصومی و آقای حسن زحمتکش که در تدوین و ویرایش این مجموعه همکاری نمودند، تشکر و قدردانی می‌شود.

حمیدرضا نامداری

مدیرعامل و رییس هیئت مدیره
شرکت آب و فاضلاب استان البرز

مجید قنادی

مدیرکل مرکز تحقیقات، توسعه‌ی فناوری و ارتباط با صنعت
شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور

فهرست

بخش اول. اهداف برگزاری کارگاه و معرفی استانداردها

- ۷..... لزوم اقدامات پیشگیرانه پایدارسازی چاه‌های شرب
- ۱۴..... جایگاه استانداردسازی و ارتقاء کیفی در برنامه‌ی پایدارسازی منابع آب زیرزمینی

بخش دوم. مطالعات زمین‌شناسی و ژئوفیزیک در پایدارسازی چاه‌های شرب

- ۲۴..... نقش عوامل زمین‌شناسی در پایداری چاه‌های آب شرب و ارتباط آن با پدیده فرونشست
- ۲۸..... فواید مطالعات ژئوفیزیک در مکان‌یابی چاه آب

بخش سوم. مباحث مرتبط با چاه‌ها و آزمایش پمپاژ

- ۴۰..... چالش‌های فراروی عملیات حفاری چاه‌ها
- ۴۵..... ارائه تجربیات پایداری‌سازی چاه‌های آب شرب در شرکت آب و فاضلاب استان البرز
- ۴۹..... کاربرد چاه‌پیمایی در افزایش بهره‌وری چاه‌های آب شرب
- ۵۶..... اهمیت توسعه‌ی آزمایش پمپاژ چاه‌های عمیق آب

بخش چهارم. کنترل ماسه‌دهی در چاه‌های شرب

- ۶۲..... بررسی ماسه‌دهی چاه‌های آب شرب در مقیاس آزمایشگاهی
- ۶۸..... گراول پک و توسعه در چاه‌های آب شرب

- ۸۸..... کنترل ماسه‌دهی چاه‌های شرب باتکیه بر زمان پمپاژ (مطالعه‌ی موردی چاه‌های روستاهای شهرستان اسلامشهر)
- ۹۷..... راهنمای جامع بهره‌برداری و احیای چاه‌های آب در آبخوان‌های آبرفتی با رویکرد کاهش ماسه‌دهی از طراحی تا احیا

بخش پنجم. لوله‌های جدارچاهی و انسدادهای زیستی در چاه‌های شرب

- ۱۲۰..... بررسی جامع انتخاب اسکرین چاه‌های آب زیرزمینی براساس استانداردهای بین‌المللی
- ۱۲۶..... بررسی شناسایی لایه‌های زیستی در چاه‌های شرب

بخش ششم مباحث حقوقی ، مالکیتی ، فرآیند تجهیز و بهره‌برداری چاه‌های شرب

- ۱۳۳..... جنبه‌های حقوقی و مالکیتی در بهره‌برداری از چاه‌های آب شرب
- ۱۳۹..... مبانی مهم در نصب منصوبات و تجهیز چاه‌های آب شرب

بخش اول

اهداف برگزاری کارگاه و معرفی استانداردها

لزوم اقدامات پیشگیرانه در پایدارسازی چاه های شرب

مجتبی صیادی

عضو کمیته منابع آب مرکز تحقیقات شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور و مدرس دانشگاه

چکیده

پایداری و عملکرد بلندمدت چاه های آب شرب به طور مستقیم تحت تأثیر کیفیت اجرای مراحل احداثی پیش از بهره برداری است. این مقاله با رویکرد تلفیق مدیریت دارایی ها و مدیریت دانش، بخش های مختلف مکان یابی، حفاری و نصب لوله جدار را بررسی و تحلیل می کند. نتایج تحلیل نشان می دهد که حدود ۷۰ تا ۷۵ درصد از ریسک ناپایداری چاه ها در مراحل احداثی شکل می گیرد. در حالی که سهم مرحله بهره برداری تنها ۲۵ تا ۳۰ درصد است. در این میان، مکان یابی، حفاری و نصب لوله جدار بدلیل ماهیت غیربازگشت و ذخیره های بودن، بیشترین سهم را در ناپایداری دارند (۵۵٪ از کل ریسک). در مقابل توسعه چاه و آزمایش پمپاژ گرچه دارای اهمیت اند، اما برگشت پذیر و قابل اصلاح هستند. یافته ها همچنین نشان می دهد که اعمال اقدامات پیشگیرانه شامل: انتخاب مناسب بهینه، طراحی مبنی بر چرخه عمر پایش همزمان حفاری، اجرای اصولی توسعه چاه و تفسیر دقیق نتایج آزمایش پمپاژ می توانند تا ۶۰٪ از ریسک ناپایداری سازه ای و ۴۰٪ از احتمال شکست عملکردی در فاز بهره برداری را کاهش دهند. همچنین، این رویکرد باعث ۳۰٪ افزایش عمر مفید چاه و کاهش چشمگیر هزینه های نگهداشت سال های اولیه خواهد شد. این مقاله بر لزوم اولویت بخشی به تصمیم گیری علمی و ثبت دانش تجربی در مراحل غیربازگشت اصلاح تاکید دارد.

واژه های کلیدی: پایداری چاه، اقدامات پیشگیرانه، مدیریت دارایی ها، مدیریت دانش

Abstract

The stability and long-term performance of drinking water wells are directly influenced by the quality of execution of construction stages before operation. This paper, with an integrated approach of asset management and knowledge management, examines and analyzes various sections of site selection, drilling, and casing installation. The analysis results show that about ۷۰ to ۷۵ percent of well instability risk forms during the construction stages, while the share of the operation phase is only ۲۵ to ۳۰ percent. Among these, site selection, drilling, and casing installation, due to their irreversible and non-recoverable nature, have the largest share in instability (۵۵% of total risk). In contrast, well development and pumping tests, although important, are reversible and correctable. The findings also show that applying preventive measures including: optimal proper selection, lifecycle-based design with simultaneous drilling monitoring, principled well development execution, and precise interpretation of pumping test results can reduce structural instability risk by up to ۶۰% and functional failure probability in the operation phase by ۴۰%. Also, this approach leads to a ۳۰% increase in the useful life of the well and a significant reduction in maintenance costs during the initial years. This paper emphasizes the necessity of prioritizing scientific decision-making and recording experiential knowledge during irreversible correction stages.

Keywords: Well stability, preventive measures, asset management, knowledge management.

۱- مقدمه

اقدامات پیشگیرانه در پایدارسازی چاه های شرب در طول مراحل حفاری و عملیات بهره برداری یکی از مسائلی است که باید در تمامی مراحل به طور جدی مورد توجه قرار گیرد. این اقدامات به معنای جلوگیری از مشکلاتی مانند کاهش آبدهی، آلودگی منابع آب یا تخریب ساختار چاه است. در این راستا، چندین ارکان مهم وجود دارند که نقش حیاتی در حفظ پایداری چاه های شرب دارند. این ارکان شامل عوامل فنی، زیست محیطی، مدیریتی و اقتصادی هستند که در ادامه به تفصیل توضیح داده می شوند:

اقدامات پیشگیرانه در پایدارسازی چاه های شرب نیازمند توجه جامع و هماهنگ به تمام ارکان مربوطه است. انتخاب مکان مناسب، استفاده از تجهیزات پیشرفته، مدیریت منابع آب، مراقبت از ساختار چاه، حفظ کیفیت آب، و رعایت مسائل زیست محیطی از ارکان اصلی در حفاری و نگهداری چاه های شرب هستند. اجرای درست این ارکان می تواند به حفظ منابع آبی پایدار و استفاده بهینه از چاه ها کمک کند.

۳- مدیریت دانش در اقدامات پیشگیرانه در پایدارسازی چاه های آب شرب

مدیریت دانش در این زمینه به معنای استفاده بهینه از اطلاعات، تجربیات و داده های موجود به منظور بهبود تصمیم گیری ها، حفاظت بهتر از منابع آبی و افزایش کارایی است. این فرآیند شامل جمع آوری، ذخیره سازی، پردازش و به اشتراک گذاری اطلاعات در خصوص چاه های آب شرب و منابع آبی است.

۴- عناصری که در مدیریت دانش برای اقدامات پیشگیرانه پایدارسازی چاه ها نقش دارند

- ✓ جمع آوری داده ها
- ✓ تحلیل داده ها
- ✓ پایش مستمر
- ✓ به اشتراک گذاری دانش
- ✓ آموزش و توانمندسازی

۵- مزایای استفاده از مدیریت دانش در اقدامات پیشگیرانه در پایدارسازی چاه های آب شرب

- بهبود کیفیت و کمیت آب
- کاهش هزینه ها
- افزایش بهره وری
- تصمیم گیری بهتر

در بسیاری از مناطق ایران، آب زیرزمینی اصلی ترین منبع تأمین آب شرب محسوب می شود. با توجه به اقلیم خشک و نیمه خشک کشور، افزایش جمعیت، توسعه کشاورزی و برداشت های بی رویه، فشار مضاعفی بر منابع زیرزمینی وارد شده است. در این میان، پایداری چاه های آب شرب که در اکثر مناطق حیاتی ترین منبع تأمین محسوب می شوند، با مخاطرات فنی و مدیریتی جدی مواجه است. مطالعات میدانی نشان داده اند که درصد بالایی از ناپایداری های سازه ای و عملکردی چاه ها ناشی از ضعف در مراحل طراحی و احداث، تصمیم گیری های غیرسیستمی، و عدم بهره گیری از تجربیات گذشته است. در سطح جهانی، استفاده از اقدامات پیشگیرانه در مراحل پیش از بهره برداری، نظیر مکان یابی اصولی، حفاری کنترل شده، سمپاسیون فنی، و توسعه هدفمند چاه، به عنوان یکی از راهکارهای مؤثر در کاهش ریسک و افزایش عمر مفید مطرح است. با این حال در ایران این اقدامات غالباً به صورت پراکنده، بدون چارچوب مدیریتی یکپارچه و بدون مستندسازی کافی اجرا می شوند. این خلاءها ضرورت بهره گیری از رویکردهای نوین مدیریتی را نشان می دهد. مدیریت دارایی ها با تمرکز بر چرخه عمر، هزینه-فایده و نگهداشت پیشگیرانه، و مدیریت دانش با هدف ثبت، انتقال و بکارگیری تجربیات تجاری گذشته می تواند پایداری برای تصمیم گیری علمی و فنی در مراحل طراحی و اجرای چاه ها فراهم کنند.

۲- تعریف اقدامات پیشگیرانه در پایدارسازی چاه های شرب

مجموعه تدابیر فنی، مدیریتی و زیست محیطی که منجر به پایدارسازی کمی، کیفی و سازه ای آب شرب شود.

-اهداف اقدامات پیشگیرانه در پایدارسازی چاه های شرب:

- کاهش ریسک
- افزایش عمر مفید چاه ها
- تأمین آب پایدار (کمی و کیفی)
- مدیریت دارایی ها
- مدیریت دانش
- افزایش رضایتمندی مشتریان

- پایداری منابع آب
این اقدامات پیشگیرانه یک فرآیند پیچیده است که نیازمند نظارت دقیق، تعمیر و نگهداری مناسب، و مدیریت مؤثر

جدول ۱- درصد اهمیت هریک از مراحل عملیات احداثی چاه های شرب در حفظ سرمایه ها و کاهش هزینه ها

ردیف	مرحله	بیان تأثیر در کاهش هزینه ها و حفظ سرمایه	درصد تقریبی از کل هزینه
۱	مطالعات اولیه و مکان یابی	جلوگیری از حفاری بی نتیجه، جابجایی مکان بهینه	۵٪
۲	طراحی فنی	جلوگیری از طراحی نادرست و کاهش هزینه های اصلاحی	۵٪
۳	حفاری	انتخاب صحیح ابزار و مدیریت نادرست منابع، جلوگیری از هدررفت منابع	۳۵٪
۴	لوله گذاری و نصب تجهیزات	تضمین استحکام چاه و جلوگیری از فروریزش یا آلودگی	۲۰٪
۵	توسعه چاه	پایش کارایی چاه، بهبود ثبت آب و عملکرد سیستم	۱۰٪
۶	آزمایش پمپاژ	تناسب ظرفیت واقعی چاه و جلوگیری از اضافه برداشت	۱۰٪
۷	مستندسازی و گزارش نویسی	جلوگیری از غفلت در بهره برداری، نگهداری و توسعه های آینده	۱۰٪
	جمع کل		۱۰۰٪

جدول ۲- درصد اهمیت تلفیقی و مقایسه ای مراحل عملیات احداثی و بهره برداری از چاه ها در حفظ سرمایه ها و کاهش هزینه ها

احداث و اجرای چاه	بهره برداری از چاه
مطالعه و طراحی اولیه (۱۰٪)	نصب تجهیزات ایمن و تابلو برق هوشمند (۱۰٪)
حفاری اصولی و لوله گذاری مناسب (۳۰٪)	مانیتورینگ سطح ایستایی و دبی برداشت (۱۵٪)
توسعه و پمپاژ دقیق و علمی (۲۰٪)	بهره برداری کنترل شده براساس نتایج پمپاژ (۱۵٪)
جمع کل = ۶۰٪	سرویس و نگهداری دوره ای پیشگیرانه (۱۵٪)
	جمع کل = ۴۰٪

اطلاعات و دانش است. مدیریت دانش در این زمینه می تواند به سازمان ها کمک کند تا تصمیمات بهتری اتخاذ کنند، از مشکلات آتی پیشگیری کنند و منابع آبی را به طور پایدار و بهینه بهره برداری نمایند. این فرآیند به ویژه در مناطقی که با کمبود منابع آبی مواجه هستند، از اهمیت ویژه ای برخوردار است.

۶- نقش اقدامات پیشگیرانه در پایداری سازی چاه های آب شرب با رویکرد مدیریت دارایی ها

این نقش که با رویکرد مدیریت دارایی ها (Asset Management) می تواند یکی از راهکارهای مؤثر برای بهبود بهره برداری از منابع آبی و افزایش عمر مفید چاه ها باشد. مدیریت دارایی ها به طور کلی شامل برنامه ریزی، نظارت، نگهداری و بهینه سازی دارایی ها (در اینجا چاه ها و منابع آب) به گونه ای است که بهره وری و کیفیت آن ها حفظ شود و هزینه ها کاهش یابد. در زمینه چاه های آب شرب، این رویکرد می تواند به بهبود عملکرد سیستم های آبرسانی و جلوگیری از هدررفت آب کمک کند.

جدول ۳- جدول نهایی ریسک مراحل اجرای چاه آب شرب با شاخص رنگی (منطق توزیع)

فاز اصلی	درصد ریسک از کل چرخه عمر چاه	منطق توزیع ریسک (فنی و اجرایی)	شاخص رنگ ریسک
احداث چاه	۶۰٪	بیشترین خطاها در این فاز برگشت ناپذیر یا پرهزینه برای اصلاح هستند. شامل محل یابی، حفاری، لوله گذاری و توسعه است.	
بهره برداری	۴۰٪	ریسک بهره برداری به شرط نگهداری به شرط نگهداری مناسب، قابل کنترل و اصلاح پذیر است. اما سهل انگاری بلندمدت می تواند به فرسایش و افت دبی منجر شود.	

جدول ۴- جدول ریسک فازهای احداث و بهره برداری در پایداری و عمر مفید چاه شرب

ردیف	مرحله اجرایی	درصد ریسک	منطق فنی توزیع ریسک	شاخص ریسک (رنگ)
۱	مکان یابی و طراحی اولیه	۲۰٪	محل یابی اشتباه= غیر قابل اصلاح، اثر مستقیم بر کیفیت / کمیت چاه	
۲	حفاری و تثبیت دیواره	۳۰٪	حیاتی ترین و پرریسک ترین مرحله فنی؛ خطا باعث ریزش یا انحراف ساختاری	
۳	نصب لوله جدار و اسکرین ها	۱۵٪	نصب غلط= ورود ماسه، افت دبی، اثر بر طول عمر پمپ و چاه	
۴	سمانتاسیون (سیمان کاری جداره)	۱۰٪	اجرای ضعیف= نفوذ آلودگی سطحی، در اکثر مواقع قابل بهسازی	
۵	توسعه چاه (شستشو+ گراول پک)	۱۰٪	توسعه ناقص= ماسه دهی یا افت دبی، ولی معمولاً قابل تکرار است	
۶	آزمایش پمپاژ	۱۵٪	سنجش اشتباه= ظرفیت طراحی نادرست پمپ و بهره برداری غیر اصولی	
جمع کل		۱۰۰٪		

۷- فرصت های موجود در شرکت های آب و فاضلاب

- کارشناسان مجرب
- بهره گیری از تجربیات
- وجود حفاران مجرب (به لحاظ علمی، حرفه ای و تجربی)
- دستورالعمل ها
- ردیف های اعتباری

- مجموعه اطلاعات کمی و کیفی

- وجود مطالعات بالادستی

- همکاری سایر دستگاه های ذی مدخل

- کاربست اقدامات پیشگیرانه منجر به کاهش مشکلات چاه ها

می شود که عبارتند از:

- مشکلات سازه ای (انحراف، بریدگی)

- مشکلات کمی

- مشکلات کیفی

- مشکلات تلفیقی که در نهایت منجر به پایداری چاه و همین

امر موجب افزایش عمر مفید چاه ها می شود.

۸- اهم اقدامات پیشگیرانه

اهم اقدامات پیشگیرانه شامل: ابعاد مدیریتی، ابعاد سازه ای و

ساختاری، ابعاد کمی و ابعاد کیفی می باشد. که ابعاد کمی

شامل افزایش آیدهی و در نتیجه موجب افزایش عمر مفید چاه

می شود که در نهایت سبب پایداری چاه شرب خواهد شد.

همچنین ابعاد کیفی نیز ارتقاء شاخص های کیفی را شامل می

شود که در نتیجه باز هم منجر به افزایش عمر مفید چاه و

پایداری چاه شرب می شود.

۹- مراتب اقدامات پیشگیرانه

الف: فنی و مهندسی: این نوع از اقدامات شامل: طراحی

مناسب چاه ها (منجر به مطالعات زمین شناسی و ژئوفیزیک می

شود)، حفاری استاندارد چاه ها، اجرای لوله جدارچاهی و شبکه

بندی مناسب استاندارد و توسعه چاه ها (گراول پک، شستشو و

آزمایش پمپاژ چاه ها) می باشند.

ب: پایش و مانیتورینگ چاه ها: این نوع از اقدامات شامل: نصب

سنسورهای دیجیتال (برای اندازه گیری سطح آب های

زیرزمینی)، کیفیت سنجی آنالین، تعیین شاخص های کیفی و

انجام مدل سازی های کیفی در سامانه GIS و بهره گیری از

سامانه های هشدار سریع می باشند.

ج: حفاظت چاه ها: این نوع از اقدامات شامل: رعایت حرایم

بهداشتی و کیفی چاه ها، حفاظت فیزیکی چاه ها ، کنترل

آلودگی، بهسازی و سماتاسیون چاه ها می باشند.

د: نگهداری و بازسازی چاه ها: مشتمل بر پایش های دوره ای

ست که منجر به احیاء و بازسازی چاه ها می شود که در نتیجه

: ترمیم لوله های جدار چاهی و همینطور رفع انسدادهای موجود

در شبکه های جداسازی (فیزیکی، شیمیایی، بیولوژیکی و

بیوفیلیم) را موجب می شود.

ذ: اقدام مدیریتی: این دسته از اقدامات مشتمل بر: نظام بهره

برداری بهینه، اجرای آموزش های دوره ای و تخصصی، انجام

طرح های پژوهشی مرتبط با چاه ها، مدیریت دانش و انتقال

تجربیات و فرهنگ سازی عمومی می باشند.

۱۰- ارکان اثرگذار بر اقدامات پیشگیرانه

- عوامل انسانی

- عوامل مالی و اعتباری

- عوامل سازه ای

- کنترل عوامل طبیعی

عوامل انسانی به دودسته، عوامل مستقیم و غیر مستقیم دسته

بندی می گردند. در عوامل مستقیم مدیران و کارشناسان نقش

دارند که تخصص و تجربه آن ها تأثیرگذار می باشد که منجر

به اراده و تصمیم گیری برای عدم ساده انگاری، نقش علل و

معلول پدیده ها، انجام کار به صورت تیم ورک (مجموعه ای

از کارشناسان) می شود. و اما در عوامل غیر مستقیم مشاورین و

پیمانکاران نقش دارند که طراحی و انجام عملیات حفاری

ساختاری چاه را عهده دار هستند که در این امر استفاده از مواد

سازه ای مناسب (عملیات حفاری چاه) منجر به کنترل عوامل

اثرگذار طبیعی شده و در نهایت پایداری سازی چاه ها را به همراه

دارد.

۱۱- مراحل اقدام پیشگیرانه

شامل موارد زیر می باشند:

- قبل حفاری

- حین حفاری

- پمپاژ و تجهیز

- بهره برداری

مراحل اقدام پیشگیرانه در پایدار سازی چاه های

شرب

الف: در مرحله قبل از عملیات حفاری، مکانیابی صورت می

گیرد و شرایط از نظر کمی و کیفی بررسی می گردد. از نظر

کمی، شرح خدمات کاربردی که الزامات زمین شناسی و

هیدروژئولوژی و در نهایت مطالعات ژئوفیزیک بررسی و

صورت می گیرد. و از نظر کیفی، تهیه نقشه های پهنه بندی

کیفی، تعیین شاخص های کیفی (IRWQIGs IRWQIST)

، نقشه های آسیب پذیری، تعیین حریم بهداشتی چاه که منجر

به آینده نگری کیفی حفر چاه های جدید می شود، بررسی

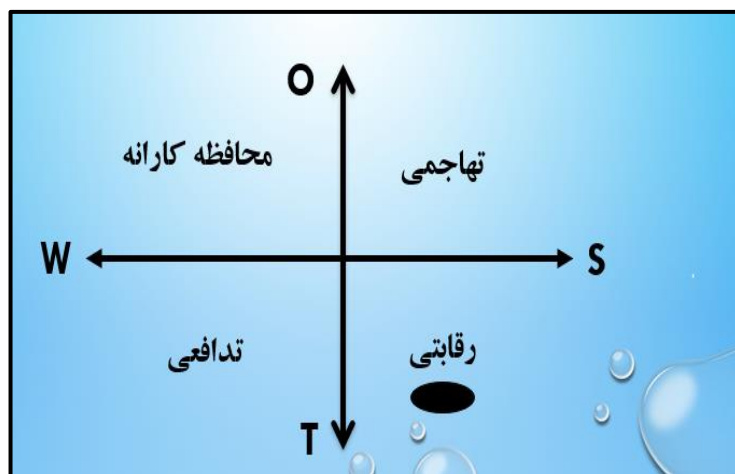
**شکل ۱- وضعیت چاه ها در مدل چهارخانه ای
براساس (SWOT)**

ردیف	تهدیدات (T)	فرصت ها و قوت ها (S,O)	ضعف ها (W)
۱	فرونشست زمین	وجود نیروهای متخصص در صنعت آب و فاضلاب	کمبود نیروهای متخصص از نظر دانش حفاری و بهره برداری از چاه ها
۲	خشکسالی های سنوات گذاشته	وجود ردیف اعتبارات	آسب پذیری
۳	تغییرات تنش های تحت الارضی تکنیکی	بهره گیری از تجربیات	عدم بروزرسانی تجهیزات و فناوری های جدید
۴	انسدادهای (هیدروشیمی، هیدروفیزیکی و هیدروبیولوژیکی)	طرح های پژوهشی متنوع در حوزه منابع آبی	عدم الزام کافی به نتایج پیشنهادی در مطالعات چاه ها
۵	آلودگی های صنعتی و کشاورزی	توجه به جایگاه واقعی آب در عرصه های سیاسی، اقتصادی و فرهنگی کشور	عدم مشارکت سایر دستگاه های ذی مدخل در حفاظت از چاه ها (نظیر بنیاد مسکن، جهاد کشاورزی و سایر دستگاه ها)
۶	برداشت غیرمجاز و حفر چاه های غیر مجاز	امکان استفاده از فناوری های نوین	هزینه بالای حفاری، نگهداری چاه ها و عدم کنترل بهینه در زمان بهره برداری از چاه ها
۷	اجباری بودن نقاط انتخابی حفر چاه ها	دوره های آموزشی	عدم وجود رشته های حفاری در دانشگاه های علمی و کاربردی در خصوص حفاری و بهره برداری از چاه ها
۸	تغییرات اقلیمی	امکان بهره برداری از نقشه های پهنه بندی شاخص های کیفی در مکان بایی بهینه چاه ها	
۹	درگیری های اجتماعی در خصوص مالکیت منابع آب		

**جدول ۵- بررسی تهدیدات و فرصت ها (SWOT) در
پایداری چاه های شرب**

میگردند. همچنین در راستای مکانیابی کیفی، گستره مطالعاتی و نقاط اجباری بررسی می گردند که سبب پیشنهاد و طراحی ساختمان چاه می شوند و در این راستا انتخاب و الویت بندی نقاط حفاری که شامل: تملک زمین و مستندات قانونی، اخذ مجوز و تخصیص از آب منطقه ای، متره برآورد صورت می پذیرد که در نهایت موجب انتخاب پیمانکار حفاری می شود.

ب: مرحله عملیات حفاری شامل چهار روش حفاری ست که عبارتند از: روش حفاری روتاری که خود شامل فرآیند: گمانه، کاروتاژ، برفو، لوله گذاری و مشبک سازی می باشد که در نهایت منجر به توسعه چاه و آزمایش پمپاژ می شود. روش حفاری ضربه ای که خود شامل: حفاری چاه، کنترل آبدهی لوله گذاری و مشبک سازی می باشد و در نهایت منجر به توسعه چاه و آزمایش پمپاژ می شود. روش حفاری دستی که شامل: حفر میله، حفر گالری، کول گذاری میله و گالری های جانبی می باشد که در نهایت منجر به پمپاژ می شود. روش حفاری فلمن و شبه فلمن که شامل: حفاری میله با قطر بیش از ۲ متر، قالب بندی و بتون ریزی درجا، حفر گالری شعاعی، نصب لوله در گالری می باشد که منجر به آزمایش پمپاژ می شود.



منابع

- تشیعی، م. (۱۳۸۴). استقرار نظام نگهداری و تعمیرات پیشگیرانه تاسیسات آب شرب کشور. مجله مهندسی آب و فاضلاب، ۱۰(۱)، صص ۲۰-۱۱.
- جدیریگی، س. و همکاران. (۱۳۹۳). مروری بر عوامل کاهش آلودگی چاه‌های عمیق و نیمه‌عمیق. مجله منابع آب ایران، ۹(۳)، صص ۲۷-۳۶.
- شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور. (۱۳۹۵). مدیریت دارایی در سیستم‌های آب و فاضلاب: معرفی نرم‌افزار CUPSS. تهران: دفتر نگهداری و بهره‌برداری از تأسیسات.
- سازمان حفاظت محیط زیست آمریکا (EPA). (۲۰۱۰). نقشه‌های حفاظتی برای جلوگیری از آلودگی چاه‌های آب شرب. ترجمه: دفتر حفاظت آب‌های زیرزمینی، وزارت نیرو.
- Amini, A., Rashid, S., & Karimzadeh, R. (۲۰۲۱). Risk assessment and management of water well drilling in semi-arid regions. *Hydrogeology Journal*, ۲۹(۵), ۱۵۳۹-۱۵۵۱.
- Jalali, M. (۲۰۲۰). Groundwater resources management in arid and semi-arid regions: Challenges and solutions. *Environmental Earth Sciences*, ۷۹(۱۲), ۲۸۱.
- Kowsari, M., Rezaei, M., & Mosavi, S. M. (۲۰۱۹). Evaluation of Preventive Measures in Well Construction to Enhance Longevity and Reduce Risks. *Journal of Sustainable Water Resources Management*, ۵(۴), ۳۲۱-۳۳۵.

جایگاه استانداردسازی و ارتقاء کیفی در برنامه‌ی پایداری منابع آب زیرزمینی

حسین عطایی فر

معاون مرکز تحقیقات شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور

چکیده

این مقاله به بررسی جایگاه استانداردسازی و ارتقای کیفیت در برنامه پایداری منابع آب زیرزمینی می‌پردازد. بهره‌گیری از استانداردها، ضوابط، معیارهای فنی و دستورالعمل‌ها در حوزه آب به‌ویژه حفاری، تجهیز و بهره‌برداری چاه‌های آب شرب، نقش اساسی در تضمین کیفیت، ایمنی، کاهش هزینه‌ها و توسعه پایدار دارد. نتایج نشان می‌دهد که اجرای طرح‌ها بر پایه استانداردهای معتبر، علاوه بر کاهش خطاهای طراحی و اجرایی، موجب افزایش عمر مفید تاسیسات و ارتقاء اعتماد عمومی به کیفیت آب می‌شود. همچنین بروزرسانی مستمر استانداردها بر اساس تجربیات و الزامات بین‌المللی، راهکاری کلیدی برای تاب‌آوری تاسیسات آب در برابر تغییرات اقلیمی و مخاطرات طبیعی است. از سوی دیگر، استفاده از استانداردها باعث ایجاد وحدت رویه میان نهادهای مشاور و پیمانکار شده و اخلاقیات حقوقی و فنی را به حداقل می‌رساند. به‌طور کلی می‌توان گفت استانداردسازی به‌عنوان یک الزام حرفه‌ای و قانونی تضمین‌کننده کارایی، پایداری و بهره‌وری اقتصادی پروژه‌های آبی کشور است.

واژه‌های کلیدی: استانداردسازی منابع آب، ارتقای کیفیت آب، مدیریت پایدار آب زیرزمینی، تاب‌آوری زیرساخت‌های آبی، توسعه پایدار

Abstract

This article examines the role of standardization and quality enhancement in the sustainable management of groundwater resources. The application of standards, regulations, technical criteria, and guidelines in the water sector especially in the drilling, equipping, and operation of drinking water wells plays a crucial role in ensuring quality, safety, cost reduction, and sustainable development. The findings indicate that implementing projects based on recognized standards not only minimizes design and operational errors but also extends the service life of facilities and strengthens public confidence in drinking water quality. Moreover, the continuous revision of standards based on national and international experiences is identified as a key strategy for improving the resilience of water facilities against climate change and natural hazards. In addition, the adoption of standards fosters consistency among clients, consultants, and contractors, reducing technical and legal disputes during project execution. Overall, standardization should be regarded not only as a legal and professional requirement but also as a vital instrument for achieving efficiency, sustainability, and long-term reliability in water sector projects.

Keywords: Standardization, Quality enhancement, Groundwater management, Drinking water wells, Sustainable development

۱- مقدمه

بهره‌گیری از استانداردها، ضوابط، معیارهای فنی، راهنماها و دستورالعمل‌ها در طرح‌های آب به ویژه در حفاری، تجهیز، بهره‌برداری، احیای چاههای آب شرب بسیار ضروری است. طبق گزارش توسعه جهانی آب سازمان ملل متحد در سال ۲۰۲۲، نیمی از آب برداشت شده برای مصارف خانگی برای جمعیت جهان و ۷۰ درصد آب شیرین تامین برای کشاورزی، از آب‌های زیرزمینی است.

در کشور ما، با توجه به تأمین سهم بیش از ۷۰ درصدی آب مصرفی در مناطق شهری و روستایی کشور با ظرفیت میلیون‌ها مترمکعب آب در سال و تبعات حاصل از وقوع خشکسالی‌های متوالی، ایجاب می‌کند به فرآیند استانداردسازی در این بخش مهم و گلوگاهی، توجه هر چه بیشتری شود.

۲- ضرورت‌های استانداردسازی در بخش آب

۱. تضمین کیفیت و ایمنی

اجرای طرح‌ها بر اساس استانداردهای معتبر باعث کاهش خطاهای طراحی و اجرایی می‌شود.

ایمنی تأسیسات، کارکنان و مصرف‌کنندگان نهایی تضمین می‌گردد.

جلوگیری از مخاطرات بهداشتی و زیست‌محیطی ناشی از آب آلوده.

۲. همسان‌سازی و یکنواختی و ایجاد وحدت رویه

ایجاد زبان مشترک فنی میان کارفرما، مشاور، پیمانکار و ناظر.

امکان مقایسه طرح‌ها و تجهیزات در مقیاس ملی و استانی

کاهش اختلافات حقوقی و فنی در مراحل قرارداد و اجرا.

۳. بهینه‌سازی اقتصادی

-انتخاب مصالح، تجهیزات و روش‌های اجرایی استاندارد برای کاهش هزینه‌های نگهداری و تعمیرات.

-افزایش عمر مفید تأسیسات و جلوگیری از استهلاک آنها.

-کمینه نمودن هزینه‌ها و بهینه شدن پروژه‌ها.

۴. رعایت الزامات قانونی و نهادی

-رعایت ضوابط ملی (وزارت نیرو، سازمان حفاظت محیط زیست، سازمان برنامه و بودجه در اجرا و بهره‌برداری از تأسیسات.

-کسب مجوزهای لازم برای بهره‌برداری.

۵. ارتقای پایداری و توسعه پایدار

-کاهش مصرف انرژی و مواد شیمیایی در تأسیسات تصفیه آب.

-به حداقل رساندن اثرات منفی زیست‌محیطی و حفاظت از منابع طبیعی.

-افزایش تاب‌آوری تأسیسات در برابر تغییرات اقلیمی و حوادث غیرمترقبه.

۶. ارتقای اعتماد عمومی

-تضمین دسترسی مردم به آب سالم و بهداشتی.

-بهبود خدمات دهی به مردم در سطح مناطق شهری و روستایی کشور.

به این صورت استفاده از استانداردها و ضوابط فنی در طرح‌های آب به ویژه در بخش چاههای آب شرب نه تنها یک الزام قانونی و حرفه‌ای است، بلکه عامل کلیدی در تضمین کیفیت، ایمنی، پایداری و بهره‌وری اقتصادی پروژه‌ها محسوب می‌شود. شایان ذکر است بخشنامه‌ها و فهرست خدمات هم مرتبط با موضوع به طور مستمر هر ساله صادر می‌شود که کلیه علاقمندان می‌توانند با مراجعه به پایگاه‌های اطلاعاتی مراجع، از آخرین موارد صادر و منتشر شده مطلع شوند.

۳- مراحل بهره‌گیری از استانداردها، ضوابط، معیارهای فنی و دستورالعمل‌ها در طرح‌های آب و فاضلاب

معمولاً به صورت مرحله‌ای و نظام‌مند انجام می‌شود تا طرح از نظر ایمنی، کارایی، اقتصادی بودن و پایداری قابل اتکا باشد. به طور کلی، این مراحل را می‌توان چنین دسته‌بندی کرد:

۱. نیازسنجی و شناسایی و گردآوری منابع استاندارد و ضوابط: مرحله نیازسنجی توسط دفاتر تخصصی شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور با همکاری مدیران و کارشناسان خبره شرکت‌های آب و فاضلاب، انجام می‌شود که شامل مراحل زیر است:

۵- روند تهیه و تدوین ضوابط و معیارها

• بررسی و نهایی شدن فهرست اولویت ها در کمیته های تخصصی

• اعلام و دریافت پروپوزال ها برای تهیه و تدوین ضابطه مورد نظر و تصویب طرح پیشنهادی جامع.

• تعیین ناظرین و بررسی مرحله بندی ضابطه تهیه شده تا مرحله نهایی تصویب در کمیته تخصصی

• ارسال نسخه تایید شده ضابطه به سازمان برنامه و بودجه برای دریافت کد مربوطه.

بازنگری و به روز رسانی استانداردها و ضوابط

• دریافت نکته نظرات از حوزه های کارفرمایی، شرکت های مشاور، پیمانکار و بازرسی فنی در ارتباط با نیاز به اصلاح یا ارتقای استانداردها و ضوابط با توجه به طی شدن دوره ای از بهره گیری آن ها.

• به روز رسانی استانداردها و ضوابط بر اساس آخرین استانداردها و تجربیات عملی.

۶- استانداردها، ضوابط و دستورالعمل های مرتبط با چاه های آب

• دریافت نکته نظرات از حوزه های کارفرمایی، شرکت های مشاور، پیمانکار و بازرسی فنی در ارتباط با نیاز به اصلاح یا ارتقای استانداردها و ضوابط با توجه به طی شدن دوره ای از بهره گیری آن ها.

• به روز رسانی استانداردها و ضوابط بر اساس آخرین استانداردها و تجربیات عملی.

الف- استانداردها، ضوابط و دستورالعمل های داخلی

الف- ۱. استانداردهای ملی ایران (ISIRI)

-استاندارد ۱۳۶۱۲: روش های دستی تعیین سطح آب زیرزمینی در چاه- سال انتشار ۱۳۸۹ و سال بازنگری ۱۴۰۱

• هدف از تدوین این استاندارد، تعیین روش ها و تشریح حداقل درستی لازم برای اندازه گیری سطح آب درون چاه ها با استفاده از متر فولادی مدرج، کابل برق و هواگذر است. این استاندارد، روش ها و درستی ابزارهای اندازه گیری سطح آب در چاه های جاری را نیز در برمی گیرد.

-جمع آوری آخرین نسخه استانداردها و ضوابط ملی (مانند نشریات سازمان برنامه و بودجه، مقررات ملی ساختمان، استانداردهای مؤسسه استاندارد ایران) و ضوابط و معیارهای منتشر شده توسط سازمان برنامه و بودجه با در نظر گرفتن دستورالعمل های تدوین شده در وزارت نیرو و شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور.

-شناسایی آخرین استانداردهای بین المللی مرجع ISO، AWWA، WHO که در ارتباط با هر بخش منتشر شده است.

۲. اعلام نیازها به دفتر توسعه ای نظام های فنی، بهره برداری و دیسپاچینگ برقایی

-اعلام نیازها به دفتر توسعه ای نظام های فنی، بهره برداری و دیسپاچینگ برق (طرح تهیه ضوابط و معیارهای فنی صنعت آب کشور) و ارسال اولویت استانداردها به سازمان ملی استاندارد ایران و ضوابط و معیارهای اولویت دار به سازمان برنامه و بودجه.

-هدف اصلی طرح، تهیه ضوابط و معیارهای فنی مورد نیاز بخش آب و آبفای کشور به منظور بهینه کردن فعالیت های این بخش و افزایش بهره وری جامعه از آب با استفاده از این ضوابط و معیارهای فنی می باشد که برای انجام مطالعات، طراحی، اجرا، بهره برداری، نگهداری و ارزیابی پروژه های مختلف کاربرد دارد.

۴- روند تهیه و تدوین استانداردها

• تعیین روش تهیه استاندارد با و تدوین استاندارد یا انتخاب و بومی سازی استانداردهای بین المللی در دفتر تدوین استانداردها با حضور نمایندگان وزارت نیرو و شرکت های تابعه.

• تهیه استاندارد با استفاده کامل از استانداردهای بین المللی و یا تدوین استاندارد با استفاده از مستندات داخلی در صورت عدم وجود استاندارد بین المللی و یا ضرورت کاملاً بومی بودن استاندارد در کارگروه های فنی

• بررسی و نهایی شدم پیش نویس استاندارد در کمیسیون های تخصصی و اصلاح و نهایی شدن و دریافت کد استاندارد

-استاندارد ۲۲۵۱۱: انتخاب و مستندسازی چاه های آب موجود برای توصیف مشخصات و پایش محدوده محیط زیستی - راهنما- سال انتشار ۱۳۹۶ و سال بازنگری ۱۴۰۱

•هدف از تدوین این استاندارد، استفاده از چاه های موجود برای توصیف مشخصات و پایش محدوده محیط زیستی می باشد. هم چنین موضوع های مهم زیر در دامنه کاربرد این استاندارد قرار دارد:

-معیارهای تعیین مطلوبیت چاه های موجود برای تعیین مشخصه های هیدروژئولوژیکی و پایش کیفیت آب های زیرزمینی

-انواع داده های مورد نیاز برای مستندسازی مطلوبیت چاه های موجود و مزایا و معایب نسبی در چاه های کم عمق و عمیق موجود.

-استاندارد ۲۱۳۶۰: کیفیت آب- انتخاب دستگاه های نمونه برداری و تخلیه چالش آب های زیرزمینی-راهنما- سال انتشار ۱۳۹۵ و سال بازنگری ۱۴۰۱

•هدف از تدوین این استاندارد، توصیف ویژگی ها و اصول عملیاتی دستگاه های نمونه برداری و تخلیه در چاه های پایش آب زیرزمینی است و معیارهای انتخاب دستگاه های مناسب را برای کاربردهای خاص فراهم می کند.

-استاندارد ۲۰۲۵۶: آب های زیرزمینی- تعیین ظرفیت ویژه و برآورد قابلیت انتقال در چاه های کنترلی- سال انتشار ۱۳۹۵ و سال بازنگری ۱۳۹۹

•هدف از تدوین این استاندارد، تعیین روشی برای انجام آزمون ظرفیت ویژه، محاسبه ظرفیت ویژه چاه های کنترلی و تخمین قابلیت انتقال در پیرامون چاه های کنترلی است. ظرفیت ویژه، آبدهی چاه بر حسب واحد افت سطح آب در مدت زمان مشخص، بعد از آغاز عملیات پمپاژ است.

-استاندارد ۲۲-۱۱۶۱۲: کیفیت آب -نمونه برداری -قسمت ۲۲-طراحی و نصب ایستگاههای پایش کیفیت آب زیرزمینی - راهنما - سال انتشار ۱۳۹۵ و سال بازنگری ۱۴۰۱

•هدف از تدوین این استاندارد، تعیین روشی برای طراحی، ساخت و نصب ایستگاههای پایش کیفیت آب های زیرزمینی است تا به این وسیله اطمینان حاصل شود که نمونه های برداشت شده از آب های زیرزمینی، معرف کل آب های زیرزمینی آن قسمت هستند.

-استاندارد ۲۰۱۶۷: آب زیرزمینی- نگهداری و احیاء چاه های پایشی آب زیرزمینی- راهنما- سال انتشار ۱۳۹۴ و سال بازنگری ۱۴۰۳

•هدف از تدوین این استاندارد، تعیین راهنمایی برای انتخاب و انجام برنامه نگهداری و احیاء چاه های پایشی آب زیرزمینی است. در این استاندارد، اطلاعاتی از علائم و مشکلات یا نقص ها ارائه می کند که نشان دهنده نیاز به نگهداری و احیاء است.

-استاندارد ۲۰۱۵۲: کیفیت آب - طراحی، نصب و راه اندازی چاه های پایش آب زیرزمینی- آیین کار- سال انتشار ۱۳۹۴ و سال بازنگری ۱۴۰۳

•هدف از تدوین این استاندارد، ارائه روش اجرایی برای طراحی و نصب چاه های پایش آب زیرزمینی رایج و متعارف (بخش مشبک و صافی شنی) برای ساختارهایی از محدوده آبخوان غیریکپارچه (به عنوان مثال: ماسه و شن) به طوری که توزیع اندازه دانه به گونه ای باشد که تا ۵۰٪ آن از یک الک با مش ۲۰۰ عبور نماید و ۲۰٪ مواد آن به اندازه رس (به عنوان مثال: ماسه های ریز گل و لای مانند با مقداری خاک رس) باشد.

-استاندارد ۱۱۹۶۰: برآوردهای آب سنجی - آزمایش های پمپاژ برای چاه های آب- ملاحظات و رهنمودهایی برای طراحی، اجرا و استفاده - سال انتشار ۱۳۸۸ و سال بازنگری ۱۴۰۱

•هدف از تدوین این استاندارد، تعیین ویژگی هایی است که در زمان طراحی و اجرای یک آزمایش پمپاژ باید در نظر گرفته شده و اندازه گیری شوند. به علاوه این استاندارد، مجموعه رهنمودهای جهت کار صحرائی با موضوعات گوناگون آبخوان ها، شرایط آب زیرزمینی، تکنولوژی قابل دسترس و مفاهیم قانونی را نیز شامل می شود. استاندارد موجود، اجزاء اصلی مورد نیاز هر آزمایش پمپاژ را مشخص می کند. هم چنین نشان می دهد که چطور اجزاء اصلی آزمایش پمپاژ ممکن است به دلیل شرایط خاص محلی دچار تغییر شوند. این استاندارد برای انواع آزمایش پمپاژ های معمول، که در آن ها آب از کل فواصل دارای لوله های مشبک، منفذدار یا فاقد پوشش چاه بهره برداری می شود، کاربرد دارد.

-استاندارد ۱۲۲۹۳: روش های اندازه گیری میزان بده (دبی) چاه های آب- ملاحظات و رهنمودهایی برای طراحی، اجرا و استفاده - سال انتشار ۱۳۸۸ و سال بازنگری ۱۴۰۳

•هدف از تدوین این استاندارد، روش هایی برای اندازه گیری میزان بده (دبی) چاه های آب است. این استاندارد یک بخش اصلی از مجموعه استانداردهایی است که ویژگی های هیدرولیکی سامانه های آبخوان را به وسیله آزمون های یک یا چند چاهی در محل تعیین می نماید.

-استاندارد ۱۳۵۴۹: خاک- تعیین چگالی خاک و سنگ در محل به روش جایگزینی آب در چاهک آزمون - روش آزمون- سال انتشار ۱۳۹۶ و سال بازنگری ۱۴۰۳

•هدف از تدوین این استاندارد، تعیین چگالی برجای خاک و سنگ در محل است. مناسب ترین کاربرد این روش های آزمون برای چاهک های آزمون با حجم تقریبی بین $0.08m^3$ و $2/83m^3$ است.

-استاندارد ۱۳۵۵۰: خاک- تعیین چگالی خاک و سنگ در محل به روش جایگزینی ماسه در چاهک آزمون - روش آزمون- سال انتشار ۱۳۹۶ و سال بازنگری ۱۴۰۱

•هدف از تدوین این استاندارد، تعیین چگالی برجای خاک و سنگ در محل است. در این آزمون ها، از ماسه واسنجی شده (کالیبره شده) و ابزار ریختن ماسه برای تعیین حجم چاهک آزمون استفاده می شود. در این روش های آزمون برای مصالح مورد آزمون ها که نوعا دارای دانه های بزرگتر از ۷۵mm هستند واژه سنگ به کار می رود.

-استاندارد ۵۲۰۲: پمپ های گریز از مرکز - کلاس III - ویژگی های فنی- سال انتشار ۱۳۷۸ و سال بازنگری ۱۳۹۷

•هدف از تدوین این استاندارد، ارائه ویژگی های فنی و مقررات پمپ های گریز از مرکز با کلاس III یک طبقه و چند طبقه با ساختمان افقی یا قائم (کوپله شده یا یکپارچه) با هر محرکه و هرگونه نصبی برای کاربرد عمومی است. در این استاندارد، نکات طراحی مرتبط با نصب، تعمیر، نگهداری و ایمنی اینگونه پمپ ها است.

-استاندارد ۷۸۱۷: پمپ های رودتودینامیکی-آزمون های پذیرش عملکرد هیدرولیکی -رتبه ۲، ۳- سال انتشار ۱۳۹۲ و سال بازنگری ۱۴۰۱

•هدف از تدوین این استاندارد، تعیین آزمون های پذیرش عملکرد هیدرولیکی پمپ های رودتودینامیکی (پمپ های گریز از مرکز، جریان مختلط و محوری) است. این استاندارد برای

استفاده در آزمون پذیرش پمپ مانند مدارهای تولیدکنندگان یا آزمایشگاههای مستقل تهیه شده است.

الف-۲. ضوابط و دستور عمل های سازمان برنامه و بودجه و وزارت نیرو

- دستورالعمل نامگذاری و حفاری چاه های آب- نشریه ۱۸۱: سال انتشار ۱۳۷۷

•هدف از تدوین این دستورالعمل، ایجاد وحدت رویه برای به کارگیری دستگاهها و روشهای حفاری متفاوت برای مقاصد مختلف (حفر چاههای اکتشافی، مشاهده ای، پیژومتر، بهره برداری) و سایر موارد است.

دستورالعمل تعیین محل و نظارت بر حفر چاههای آب در آبرفت و سازندهای سخت و تهیه گزارش حفاری (چاههای بهره برداری، اکتشافی، پیژومترها و مشاهده ای)- نشریه ۵۷۷: سال انتشار ۱۳۹۲

•هدف از تدوین این دستورالعمل، تعیین محل انواع چاههای آب در آبخوانهای آبرفتی و سازند سخت و نحوه نظارت بر حفر آن ها است. حجم قابل توجه برداشت از منابع آب زیرزمینی در کشور از طریق چاهها به ویژه در بخش کشاورزی صورت می گیرد که بیانگر نقش مهم و انکارناپذیر آب زیرزمینی در توسعه زیرساخت های کشور می باشد و درحال حاضر عمده آب زیرزمینی مصرفی با استفاده از تکنیک های حفاری مختلف از طریق حفر چاه های غیرعمیق و عمیق تامین می شود که ضرورت تعیین محل و نظارت بر حفر چاهها را در محل های مختلف اعم از آبرفت و سازند سخت دوچندان می کند.

-دستورالعمل تعیین محدوده (حریم) کمی چاه ها و قنوات- ضابطه ۷۴۷: سال انتشار ۱۳۹۷

•هدف از تدوین این ضابطه، ارائه رهنمودی جامع با استفاده از استانداردهای داخلی و خارجی و تجارب کارشناسی در زمینه تعیین حریم کمی منابع آب زیرزمینی (چاه، قنات) می باشد. در این دستورالعمل با استفاده از فرمول های تجربی و معادلات هیدرولیکی، مدل های محاسباتی کامپیوتری ارائه خواهد شد که باعث افزایش سرعت و دقت در تعیین حریم کمی منابع آب زیرزمینی خواهد شد. علاوه بر آن به سابقه و تاریخچه موضوع، و تعاریف مربوط به حریم از دیدگاه های حقوقی و فنی اشاره می شود.

-دستورالعمل احیا، توسعه و بهسازی چاههای آب (کشاورزی و شرب) - نشریه ۶۴۵: سال انتشار ۱۳۹۲

•هدف از تدوین این دستورالعمل، ارائه متدولوژی توسعه چاههای آب که در آینده حفر خواهد شد و همچنین احیا و بازیابی چاه های آب موجود در حال بهره برداری است. در بخش اول ضمن پرداختن به انتخاب روشهای حفاری چاههای آب در آبرفت و سازندهای سخت به رعایت نکات فنی مهم در زمان حفر و تجهیز چاه های آب، رعایت نکات مهم در زمان انتخاب و نصب اسکرین، شستشوی چاه، روشهای توسعه چاه، انجام عملیات آزمایش پمپاژ به منظور محاسبه افت در لوله جدار و آبخوان، تعیین آبدهی ویژه، مجاز و بحرانی، تعیین عمق و نصب پمپ، انتخاب پمپ و موتور مناسب و در نهایت تجهیز چاه آب و روش های نگهداری از آن اشاره شده است. در بخش دوم، مزایای بازیابی چاههای آب، عوامل موثر در کاهش بازدهی چاههای آب، شامل انواع جرم گرفتگی، خوردگی و روش های شناخت عوامل موثر در کاهش آبدهی چاهها مثل ویدئومتری مورد بررسی قرار گرفته و در پایان ضمن اشاره به روشهای مناسب جهت بازیابی چاههای آب شامل روشهای مکانیکی، شیمیایی و هیدرولیکی به نحوه پاکسازی چاه ناشی از انجام روش های مذکور، انجام مجدد عملیات ویدئومتری و تجهیز مجدد چاه اشاره شده است.

-دستورالعمل تهیه بیلان منابع و مصارف آب و تدقیق مولفه های آن مبتنی بر روش شناسی موجود- نشریه ۲۰۹-ن: سال انتشار ۱۴۰۱

•هدف از تدوین این دستورالعمل، کاهش خطاهای مترتب بر ارزیابی هریک از مؤلفه های بیلان آب و افزایش دقت بیلان منابع و مصارف آب در واحدهای هیدرولوژیکی، با بهره گیری از تجربه های کارشناسی است.

-دستورالعمل رفتارسنجی کمی آب های زیرزمینی - نشریه ۲۶۰: سال انتشار ۱۳۹۳

•هدف از تدوین این دستورالعمل، بررسی و تعیین میزان اثرات عوامل مختلف در رفتار آبخوان ها است که در بررسی های کمی منابع آب زیرزمینی از جمله اندازه گیری های آبدهی نوسانات سطح آب زیرزمینی به منظور تعیین میزان تخلیه آبخوان ها و تغییرات حجم ذخیره آن ها در طول زمان کاربرد دارد.

a الگوریتم ها، سیستم ها و محیط های رایانه ای با کیفیت مناسب این پارامترها را استخراج نموده و مطالعات هیدرولوژیک حوضه های آبریز را انجام داد.

-دستورالعمل رفتارسنجی کیفی آب های زیرزمینی- نشریه ۱۸۷: سال انتشار ۱۳۷۸

•هدف از تدوین این دستورالعمل، ارائه مراحل رفتارسنجی کیفی منابع آب زیرزمینی، ایجاد و توسعه شبکه رفتارسنجی، تعیین محل، تراکم و طراحی چاه های رفتارسنجی، رفتارسنجی منابع آلودگی، معیارهای نمونه برداری از چاه های رفتارسنجی و ارزیابی نتایج حاصل است.

-دستورالعمل کاربرد روش های ردیابی در مطالعات کارست و سازندهای سخت - نشریه ۵۴۶: سال انتشار ۱۳۸۹

•هدف از تدوین این دستورالعمل، ارائه کاربرد روش های ردیابی در مطالعات کارست و سازندهای سخت می باشد که با هدف مطالعات کمی و کیفی ردیابی آب های زیرزمینی در کارست و سازندهای سخت تهیه شده است.

-دستورالعمل آماربرداری از منابع آب - وسایل و روش های اندازه گیری- نشریه ۳۳۰: سال انتشار ۱۳۸۴

•هدف از تدوین این دستورالعمل، تشریح آماربرداری از منابع آب شامل برگهای شناسایی و اندازه گیری منابع و ایستگاههای مختلف آبی اعم از سطحی و زیرزمینی و شیوه ثبت اطلاعات در آنها به طور جامع و استاندارد است. همچنین بعضی از روشهای اندازه گیری ارتفاع سطح آب، سرعت جریان و محاسبه بده در منابع آب سطحی و زیرزمینی نیز در این دستورالعمل ارائه شده است.

-راهنمای حفاظت کمی و کیفی منابع آب زیرزمینی و تجهیزات بهره برداری از آنها- نشریه ۱۸۲: سال انتشار ۱۳۷۹

•هدف از تدوین این راهنما، ارائه روش های حفظ و حراست کمی و کیفی منابع زیرزمینی (حفاظت از چاه، قنات و چشمه) است.

-راهنمای راهنمای بررسی پیشروی آب های شور در آبخوان های ساحلی و روش های کنترل- نشریه ۲۷۷: سال انتشار ۱۳۸۳

•هدف از تدوین این راهنما، تشریح پدیده پیشروی آب های شور، روش های بررسی، تعیین ضخامت، شیب مرز مشترک

دستورالعمل‌های United States Geological Survey (USGS) بر عوامل ژئوتکنیکی و هیدرولوژیکی مؤثر بر پایداری چاه تمرکز دارد.

۳. استاندارد مرحله اول تا سوم ارزیابی سایت از لحاظ زیست محیطی ASTM E1527 این سری استانداردها از استانداردهای اساسی در بررسی آلودگی بالقوه خاک و آب‌های زیرزمینی قبل از حفر چاه آب است که هدف اصلی آن، شناسایی شرایط محیطی و احتمال وجود مواد خطرناک یا فرآورده‌های نفتی در محدوده یک ملک است. قبل از حفاری، اطمینان از عدم آلودگی محل در اثر کاربری‌های گذشته زمین (صنعتی، کشاورزی، محل دفن زباله و غیره) بسیار مهم است. استاندارد مرحله اول ارزیابی سایت از لحاظ زیست محیطی، شامل نمونه‌برداری‌ها نمی‌شود ولیکن چارچوبی را برای تصمیم‌گیری در مورد نیاز به نمونه‌برداری‌ها برای فاز بعد مطابق استاندارد مرحله دوم ارزیابی سایت از لحاظ زیست محیطی ASTM E1527 و انجام نمونه‌برداری‌ها و آزمایش‌ها در صورت وجود نگرانی در مرحله اول است. با استفاده از استاندارد مرحله دوم، نمونه‌برداری‌ها، آزمایش‌ها و داده‌های تحلیلی در مورد کیفیت خاک و آب زیرزمینی در محل سایت انجام می‌شود. در صورت تأیید آلودگی با استفاده از استاندارد مرحله سوم ESA (احیا)، می‌توان اقدام اصلاحی یا طرح اصلاحی را برای محل مورد نظر طراحی و اجرا نمود.

۴. دستورالعمل اجرایی برای احداث چاه NGWA (National Ground Water Association) این مجموعه بهترین شیوه‌ها را برای پایداری چاه، نصب لوله جدار و روش‌های تزریق با استاندارد چاه آب، اجرای صحیح، یکپارچگی ساختاری و عملکرد طولانی مدت چاه‌های آب را ارائه می‌دهد. این کتابچه در سال ۱۹۷۵ توسط انجمن ملی آب زیرزمینی منتشر و در سال‌های ۱۹۹۸ و ۲۰۱۷ مورد بازنگری قرار گرفته است. این کتاب با جامعیت موضوع، علاوه بر اینکه برای پیمانکاران در زمینه روش‌های احداث چاه، قابل استفاده است همچنین به طور گسترده توسط بازرسان چاه در ایالت‌های مختلف آمریکا نیز در حوزه روش‌های فعلی ساخت چاه، استفاده می‌شود.

۵. دستورالعمل AWWA ۱۰۰ استاندارد Water Wells – ANSI/AWWA A100 یکی از مراجع مهم بین‌المللی در طراحی، احداث، بهره‌برداری و احیای چاه‌های آب (در بخش‌های شهری و صنعتی) برای قطر نامی

آب شور و شیرین، طول ناحیه آغشته به آب شور و مکانیزم‌های کنترل آن، ضوابط محاسباتی پیشروی آب‌های شور دریا به آبخوان‌های ساحلی و نحوه کنترل آن است.

– راهنمای بررسی پیشروی آب‌های شور در آبخوان‌های ساحلی و روش‌های کنترل – نشریه ۲۷۷: سال انتشار ۱۳۸۳

• هدف از تدوین این راهنما، تشریح پدیده پیشروی آب‌های شور، روش‌های بررسی، تعیین ضخامت، شیب مرز مشترک آب شور و شیرین، طول ناحیه آغشته به آب شور و مکانیزم‌های کنترل آن، ضوابط محاسباتی پیشروی آب‌های شور دریا به آبخوان‌های ساحلی و نحوه کنترل آن است.

الف-۳. ضوابط و دستور عمل‌های شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور

– دستورعمل انتخاب و نصب لوله جدار، اسکرین، گراول پک در چاه‌های آب شرب – نشریه OP317: سال انتشار ۱۴۰۰

• هدف از تدوین این دستور عمل، نحوه انتخاب مناسب لوله هادی، لوله جدار و شن انبانی (گراول پک) در چاه‌های آب شرب در راستای تعدیل مسائل مشکلات پیش روی و افزایش عمر مفید بهره‌برداری از چاه‌ها است.

– دستورعمل مراحل اجرای برنامه پایش کیفی منابع آب – سال انتشار ۱۳۷۷

• هدف از تدوین این دستور عمل، ارائه برنامه پایش کیفی منابع آب سطحی و زیرزمینی در راستای شناسایی هرگونه آلودگی است.

ب- استانداردها و دستورعمل‌های خارجی

۱. استاندارد ISO ۲۲۴۷۵-۱

این استاندارد، توصیه‌هایی برای نمونه‌برداری و آزمایش با توجه به شرایط چاه و اصول فنی برای نمونه‌برداری از خاک، سنگ و آب‌های زیرزمینی را به عنوان بخشی از بررسی‌ها و آزمایش‌های ژئوتکنیکی ارائه می‌دهد. این استاندارد روش‌های جمع‌آوری نمونه‌های با کیفیت بالا، تعیین ترکیب لایه‌ها و ارزیابی شرایط آب‌های زیرزمینی را تشریح می‌کند.

۲. استاندارد پایداری چاه و یکپارچگی چاه ISO ۱۶۵۳۰-۱

این استاندارد، الزامات حفظ یکپارچگی چاه در طول مراحل چرخه عمر آن را ارائه می‌دهد. شایان ذکر است

چاه‌های بین ۸ اینچ (~۲۰۰ میلی‌متر) تا ۳۰ اینچ (~۷۵۰ میلی‌متر) است.

- بخش‌های اصلی و مفاد کلیدی این استاندارد شامل ویژگی عمومی، بررسی زمین‌شناسی و هیدرولوژیکی و کیفیت آب، اجزای مورد استفاده در احداث چاه (استاندارد لوله جدار، اسکرین، گراول پک)، روش‌های حفاری و نصب لوله جدار و اسکرین و اجرای گراول پک چاه، روش‌های توسعه فیزیکی و شیمیایی چاه، آزمایش پمپاژ، گندزدایی آب تا مرحله خارج از مدار بهره برداری کردن چاه است.

۶- دستور عمل حفاظت و پایش آب‌های زیرزمینی دستورالعمل‌های سازمان حفاظت محیط زیست EPA بر ایجاد پروتکل‌های نظارتی برای جلوگیری از آلودگی و تضمین کیفیت آب تاکید دارد. بعلاوه استانداردهای انجمن آب و فاضلاب آمریکا AWWA توصیه‌هایی را برای طراحی، نگهداری و پایش بلندمدت چاه ارائه می‌دهد.

۷- دستور عمل ۱۷-۱۰۲ AWWA E این استاندارد حداقل الزامات مربوط به پمپ‌های توربین عمودی شناور را شرح می‌دهد. این پمپ‌ها برای پمپاژ آب شیرین در نظر گرفته و برای محدوده توان محرکه از ۵ اسب بخار (۳/۸ کیلووات) تا ۲۵۰ اسب بخار (۱۸۶/۵ کیلووات) قابل اجرا است.

۸- دستور عمل‌ها و راهنماهای مورد استفاده برای مدل‌سازی آب‌های زیرزمینی مدل‌سازی آب‌های زیرزمینی فرآیند شبیه‌سازی جریان آب و انتقال آلاینده‌ها در محیط متخلخل با استفاده از مدل‌های ریاضی است که توسط داده‌های میدانی پشتیبانی می‌شوند. دستور عمل‌ها و راهنماهای مهم در این بخش، شامل موارد زیر است:

۸-۱- دستورالعمل‌های انجمن بین‌المللی هیدروژئولوژیست‌ها و آژانس بین‌المللی انرژی اتمی IAH / IAEA - راهنماهای روش‌شناختی برای مدل‌سازی هیدروژئولوژیکی.

۸-۲- راهنمای مدل‌سازی آب‌های زیرزمینی سازمان حفاظت محیط زیست ایالات متحده (EPA/۵۴۰/S-۹۲/۰۰۵) - چارچوبی برای مدل‌سازی انتقال آلاینده‌ها.

۸-۳- کد عددی استاندارد برای جریان آب‌های زیرزمینی (USGS MODFLOW) با استفاده از دستور عمل‌های فنی سازمان زمین‌شناسی آمریکا و با استناد از سری تکنیک‌های تحقیقات منابع آب (Technical Water-Resources Investigations).

۸-۴ - راهنمای استاندارد برای کاربرد مدل جریان آب‌های زیرزمینی در یک سایت - انتشار سال ۲۰۱۸ - ASTM D۵۴۴۷-۰۴

۸-۵- راهنمای استاندارد برای کالیبراسیون کاربرد مدل جریان آب‌های زیرزمینی - انتشار سال ۲۰۱۷ - ASTM D۵۹۸۱-۹۶

۸-۶- راهنمای استاندارد برای تعریف شرایط اولیه در مدل‌سازی جریان آب‌های زیرزمینی - انتشار سال ۲۰۱۸ - ASTM D۵۶۰۹-۹۴

۸-۷- استانداردهای مدل‌سازی آب‌های زیرزمینی - ASTM D۵۶۰۹, D۵۹۸۱, D۵۴۴۷

۸-۸- راهنمای USGS MODFLOW

۸-۹- راهنمای مدل‌سازی آب‌های زیرزمینی EPA (برای اصلاح و ارزیابی ریسک).

۹- راهنمای حفاظت از منابع آب زیرزمینی

۹-۱- راهنمای حفاظت از منابع آب - AWWA G۳۰۰: این راهنما، چارچوبی برای حفاظت از منابع آب آشامیدنی، از جمله ارزیابی آسیب‌پذیری آب‌های زیرزمینی و اثرات کاربری زمین ارائه می‌دهد.

۹-۲- آب‌های زیرزمینی (راهنمای شیوه‌های تأمین آب)- AWWA M۲۱: هیدرولوژی آب‌های زیرزمینی، آزمایش آبخوان، اصول مدل‌سازی، طراحی چاه و حفاظت از کیفیت آب‌های زیرزمینی را ارائه می‌دهد.

۱۰- راهنمای خارج از مدار بهره برداری کردن منابع آب زیرزمینی

۱۰-۱- راهنمای استاندارد برای از خارج از مدار کردن چاه‌های آب - انتشار سال ۲۰۱۷ - ۹۹-۲۰۹۹-۵۲۹۹ ASTM D - استاندارد فنی که بیشتر به عنوان مکمل راهنمای EPA کاربرد دارد.

۱۰-۲- راهنمای الزامات خارج از مدار کردن چاه‌های آب: AWWA A۱۰۰-۲۰

۷- نتیجه گیری

با توجه به روند توسعه بهره‌گیری از منابع آب زیرزمینی به ویژه حفر، تجهیز، بهره‌برداری و احیای چاه‌های آب شرب، ضروری است نسبت به تکمیل و به‌روز نمودن استانداردها و مجموعه ضوابط و دستور عمل‌ها با مشارکت متخصصین فن از

یک طرف از محل مطالعه تا بازنشست و خارج نمودن چاه از مدار بهره برداری و بهره گیری از فناوری ها نوین برای این بخش مهم اقدام شود.

منابع

-سازمان ملی استاندارد ایران - پایگاه اطلاع رسانی <https://standard.inso.gov.ir>

-طرح تهیه ضوابط و معیارهای فنی صنعت آب کشور- دفتر توسعه نظام های فنی، بهره برداری و دیسپاچینگ برقابی-شرکت مدیریت منابع آب ایران- پایگاه اطلاع رسانی <https://waterstandard.wrm.ir>

- AWWA، ASTM و NGWA پایگاه های اطلاع رسانی-
- ISO: International Organization for Standardization
- AWWA: American Water Works Association
- EPA: United States Environmental Protection Agency
- ASTM: American Society for Testing and Materials
- NGWA: National Ground Water Association
- WHO: World Health Organization
- USGS: United States Geological Survey
- IAH: International Association of Hydrogeologists
- IAEA: International Atomic Energy Agency

بخش دوم

مطالعات زمین شناسی و ژئوفیزیک

در پایدارسازی چاه‌های شرب

نقش عوامل زمین‌شناسی در پایداری چاه‌های آب شرب و ارتباط آن با پدیده فرو نشست

امیر شمشکی

مدیرکل دفتر مخاطرات زمین‌شناسی، زیست محیطی و مهندسی

چکیده

پایداری چاه‌های آب یکی از مهم‌ترین چالش‌های بهره‌برداری از منابع آب زیرزمینی در ایران است. عواملی همچون جنس و ضخامت لایه‌های زمین‌شناسی، خاک‌های رسی انبساطی و تراکم‌پذیر، خاک‌های واگرا و همچنین آب‌ها و خاک‌های خورنده و رسوب‌گذار، در کاهش راندمان و عمر مفید چاه‌ها نقش تعیین‌کننده‌ای دارند. بررسی‌های میدانی در استان البرز نشان می‌دهد که در مناطق ساوجبلاغ، نظرآباد و اشتهارد، مشکلات مانند ماسه‌دهی، له شدگی لوله، جدار نشست زمین و آلودگی آب، رابطه مستقیمی با شرایط زمین‌شناسی دارند. این مقاله با مرور مبانی نظری و ارائه نمونه‌های کاربردی از البرز به تبیین نقش زمین‌شناسی در پایداری چاه‌ها و ارتباط آن با فرو نشست پرداخته است.

واژه‌های کلیدی: پایداری چاه آب، فرونشست زمین، زمین‌شناسی مهندسی، آب زیرزمینی، آلودگی آب

Abstract

The stability of water wells is one of the major challenges in groundwater exploitation in Iran. Key factors such as the lithology and thickness of geological layers, expansive and compressible clay soils, dispersive and collapsible soils, and corrosive and sedimentary waters play a decisive role in reducing the efficiency and lifespan of wells. Field observations in Alborz Province, particularly in Savojbolagh, Nazarabad, and Eshtehard, reveal that problems such as sand production, casing collapse, ground subsidence, and water contamination are directly linked to geological conditions. This paper reviews theoretical aspects and presents practical case studies from Alborz to explain the role of geology in well stability and its relationship with subsidence.

Keywords: water well stability, land subsidence, engineering geology, groundwater, water pollution.

۱- مقدمه

منابع آب زیرزمینی نقش اصلی در تأمین آب شرب و کشاورزی ایران دارند. اما بهره برداری بیش از ظرفیت و فقدان مطالعات زمینشناسی پیش از حفاری موجب شده است که بسیاری از چاهها با مشکلات متعدد روبهرو شوند. از دیدگاه زمین شناسی مهندسی، نوع و رفتار خاک ها و سنگ ها مهمترین عامل تعیینکننده در عمر مفید چاه ها هستند.

۲- عوامل زمین شناسی مؤثر بر پایداری چاه ها

الف: خاک های رسی انبساطی و تراکم پذیر

این خاک ها در تماس با آب منبسط میشوند و فشار شدیدی بر لوله جدار وارد می کنند. در زمان افت سطح آب، تراکم رس ها باعث فرونشست و لهیدگی جداره می شود. نمونه البرز: در منطقه نظرآباد، افت شدید سطح آب باعث نشست زمین و بیرونزدگی لوله های جدار شده که در برخی موارد منجر به توقف بهره برداری چاه ها گردیده است.

ب: خاک های واگرا

سیلت ها و ماسه ریزه ها در اثر تماس با آب به سرعت شسته یا ساختار آن ها فرو می ریزد.

نمونه البرز: در اشتهارد (فتح آباد)، خاک های واگرا با غلظت

بالای سدیم سبب شستشوی شدید اطراف چاه ها و ورود ذرات ریز به داخل لوله جداره شدند که راندمان چاهها را به شدت کاهش داد.

ج: آب ها و خاک های خورنده و رسوبگذار

آب های سولفاته و کارآب بندی موجب خوردگی لوله ها و آب های کربناته باعث رسوبگذاری در جدار چاه می شوند.

نمونه البرز: در برخی نقاط ساوجبلاغ، وجود آب های سولفاته سبب پوسیدگی سریع لوله ها و نیاز به جایگزینی زود هنگام آنها گردیده است.

د: رخدادهای زمین شناسی (زمین لرزه و زمین افزایش)

فعالیت های تکنیکی می تواند به جابجایی و ترک خوردگی لایه ها منجر شود.

نمونه البرز: در جنوب کوهستان البرز مرکزی، حرکت های تکنیکی موجب انحراف مسیر جریان آب و کاهش آبدهی برخی چاه ها شده است.

ذ: ارتباط زمین شناسی و فروشست

فروشست زمین نتیجه مستقیم افت سطح آب زیرزمینی و تراکم خاک های رسی است.

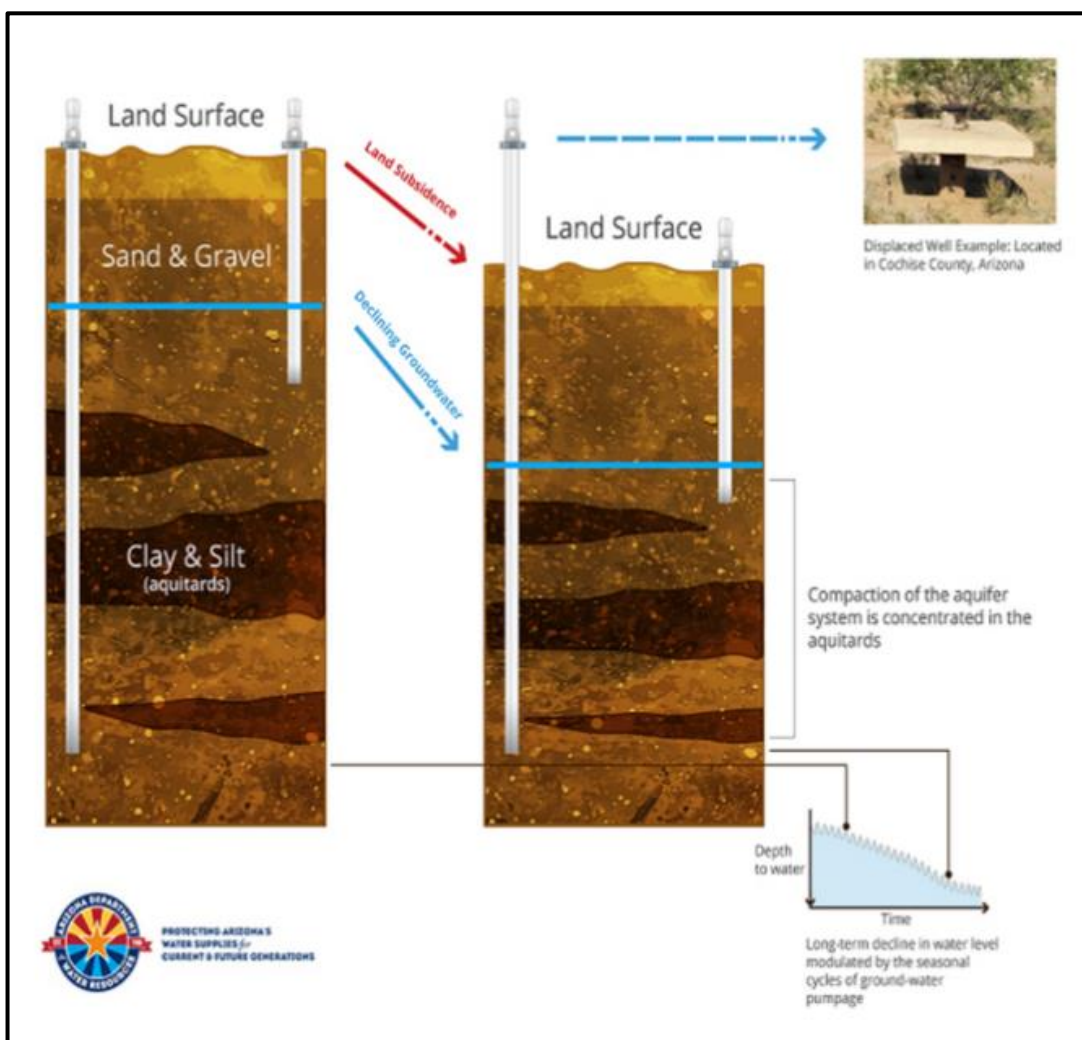
نمونه البرز: در نظرآباد و ساوجبلاغ، فروشست های نقطه ای و خطی مشاهده شده که علاقه بر آسیب به چاه ها، چاه های روستایی و تأسیسات کشاورزی را نیز دچار ناترازی کرده است.

۳- مطالعه موردی: استان البرز

نظرآباد: افت سطح آب های زیرزمینی در سال های اخیر باعث نشست زمین تا بیش از ۳۰ سانتی متر در برخی نقاط شده است. در چندین چاه، ماسه دهی و شکستگی لوله جدار به دلیل تراکم رس ها گزارش شده است.

ساوجبلاغ: وجود خاک های رسی تراکم پذیر همراه با برداشت بی رویه از آبخوان، عامل اصلی کاهش عمر مفید چاه ها بوده است. در بسیاری از مزارع، راندمان پمپاژ تا ۴۰٪ کاهش یافته است.

اشتهارد: خاک های واگرا با غلظت بالای سدیم، فرسایش شدید و شستشوی اطراف چاه ها را به دنبال داشته اند. در این منطقه ماسه دهی مداوم سبب شده عمر برخی چاه ها کمتر از ۱۰ سال باشد.



شکل ۱- ارتباط افت سطح آب زیرزمینی، تراکم رس‌ها و فروشست در البرز

۴- نتیجه گیری

یافته‌ها نشان می‌دهد که پایداری چاه‌های آب رابطه‌ای مستقیم با ویژگی‌های زمین‌شناسی منطقه دارد. در استان البرز، وجود رس‌های تراکم‌پذیر، سیاست‌های واگرا و آب‌های خورنده مهم‌ترین عوامل تخریب چاه‌ها و وقوع فروشست بوده‌اند. این موارد نه تنها باعث کاهش عمر مفید چاه‌ها می‌شوند، بلکه خسارت‌های اقتصادی و اجتماعی قابل توجهی نیز بر جای می‌گذارند. بنابراین، مطالعه دقیق زمین‌شناسی و هیدروژئولوژی پیش از حفر چاه و مدیریت علمی بهره‌برداری از آبخوان‌ها، شرط اصلی پایداری و جلوگیری از بحران‌های زیست‌محیطی است.

۵- پیشنهادات اجرایی در راستای پایداری چاه‌ها

- انتخاب محل مناسب حفر چاه بر اساس مطالعات ژئوفیزیک و حفاری آزمایشی.

- طراحی علمی لوله جدار و فیلتر متناسب با دانه‌بندی خاک.
- مدیریت پرداخت از آبخوان و پایش افت سطح آب زیرزمینی.
- توجه به رخدادهای زمین‌ساختی و طراحی چاه در مناطق امن تر.
- پایین نشست زمین به وسیله ابزار دقیق و تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی خطر.
- بهسازی خاک‌های رسی انبساطی با آهک‌پاشی یا سیمان پاشی.
- تثبیت خاک‌های زمینه از طریق تزریق و تراکم دینامیکی.
- مقابله با آب‌های خورنده با انتخاب لوله‌های مقاوم و تزریق مواد بازدارنده.

منابع

- اداره کل منابع آب استان البرز. (۱۴۰۲). گزارش مطالعات پایش تراز آب زیرزمینی دشت‌های استان البرز. کرج: وزارت نیرو.
- پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری. (۱۴۰۱). "بررسی اثرات فرونشست زمین بر سازه‌های آبی در دشت کرج". مجله آب و خاک، ۳۶(۲)، ۴۵-۵۸.
- سازمان زمین‌شناسی کشور. (۱۴۰۰). نقشه‌های زمین‌شناسی مهندسی استان البرز. تهران: انتشارات سازمان زمین‌شناسی.
- عابدینی، م. و رضایی، ا. (۱۳۹۹). "مکانیسم تخریب چاه‌های آب در خاک‌های رسی انبساطی". دومین کنفرانس ملی مهندسی ژئوتکنیک ایران، تهران.
- مؤسسه تحقیقات آب. (۱۴۰۲). "راهنمای طراحی فیلتر چاه‌های آب در خاک‌های متلاشی‌شونده". نشریه فنی شماره ۲۴۵، تهران.
- Ahmadi, H., & Samani, A.N. (۲۰۲۳). "Land subsidence due to groundwater withdrawal in arid regions: A case study of Alborz Province, Iran". Environmental Earth Sciences, ۸۲(۴), ۲۱۵.
- Fitts, C.R. (۲۰۲۲). Groundwater Science (۳rd ed.). Academic Press.
- Hu, R., & Ye, M. (۲۰۲۱). "Experimental study on the stabilization of expansive soils for well construction". Geotechnical and Geological Engineering, ۳۹(۳), ۲۱۰۵-۲۱۱۸.
- National Research Council. (۲۰۲۰). Groundwater and Soil Conservation: Strategies for Sustainable Development. National Academies Press.
- Sadeghi, M., et al. (۲۰۲۳). "Geological factors affecting well stability in the Quaternary sediments of central Iran". Journal of Hydrology, ۶۰۵, ۱۲۷-۱۳۵.
- Sterrett, R.J. (۲۰۲۱). Groundwater and Wells (۴th ed.). Johnson Screens.
- Wang, H.F., & Anderson, M.P. (۲۰۲۲). Introduction to Groundwater Modeling: Finite Difference and Finite Element Methods. W.H. Freeman and Company.

فواید مطالعات ژئوفیزیک در مکان‌یابی چاه آب

مهشید ابطحی، مینا مهدی زاده

دکتری مدیریت کسب و کار، شرکت مهندسين مشاور صحراکاو

دانشجوی کارشناسی ارشد هیدروژئولوژی، شرکت مهندسين مشاور صحراکاو

چکیده

منابع آب زیرزمینی تأمین‌کننده بخش قابل توجهی از آب شرب، کشاورزی و صنایع هستند. روش‌های سنتی مکان‌یابی چاه آب که غالباً مبتنی بر تجربیات محلی یا فرضیات زمین‌شناسی کلی هستند که اغلب با عدم قطعیت بالا و نتایج ناموفق همراه‌اند. مطالعات ژئوفیزیک به عنوان یک ابزار کلیدی علمی، غیرمخرب، سریع و نسبتاً کم‌هزینه، می‌تواند در مکان‌یابی چاه‌های آب، با کاهش ریسک حفاری و افزایش بهره‌وری منابع آبی نقش بسیار مهمی ایفا می‌کند و با ارائه یک چشم‌انداز در رابطه با ساختار زیرسطحی و شکستگی‌ها و تا حدی کیفیت آب (مانند میزان شوری) مدیریت منابع آب را تسهیل می‌گرداند. در شرایط فعلی کم‌آبی و فشار روزافزون بر منابع زیرزمینی، سرمایه‌گذاری در مطالعات ژئوفیزیکی نه تنها توجیه‌پذیر بلکه الزامی است. این مطالعات با کاهش ریسک حفاری، صرفه‌جویی اقتصادی و افزایش احتمال موفقیت، افزایش بهره‌وری و کیفیت آب، و همچنین امکان اجرا در سازندهای سخت نقشی کلیدی در بهره‌برداری پایدار از آب زیرزمینی دارند.

واژه‌های کلیدی: مکان‌یابی چاه آب، ژئوفیزیک، الکتریک، ژئوالکتریک، چاه فلمن.

Abstract

Groundwater resources provide a significant portion of drinking water, agriculture, and industries. Traditional methods of locating water wells, which are often based on local experiences or general geological assumptions, are often associated with high uncertainty and unsuccessful results. Geophysical studies, as a key scientific tool, non-destructive, rapid, and relatively inexpensive, can play a very important role in locating water wells by reducing drilling risk and increasing water resource productivity, and by providing a perspective on subsurface structure and fractures and, to some extent, water quality (such as salinity), it facilitates water resource management. In the current conditions of water scarcity and increasing pressure on groundwater resources, investment in geophysical studies is not only justified but also mandatory. These studies play a key role in the sustainable exploitation of groundwater by reducing drilling risk, saving money and increasing the probability of success, increasing water productivity and quality, and also enabling implementation in hard formations.

Keywords: Water well location, Geophysics, Electric, Geoelectric, Felman well

۱- مقدمه

منابع آب زیرزمینی تأمین کننده بخش قابل توجهی از آب شرب، کشاورزی و صنایع هستند و در بسیاری از مناطق به ویژه نواحی نیمه خشک، نقش حیاتی دارند. بهره برداری از منابع آب زیرزمینی نیازمند شناخت مناطق و نواحی مستعد آن است. روش های سنتی مکان یابی چاه آب که غالباً مبتنی بر تجربیات محلی یا فرضیات زمین شناسی کلی هستند که اغلب با عدم قطعیت بالا و نتایج ناموفق همراه اند.

مطالعات ژئوفیزیک به عنوان یک ابزار کلیدی علمی، غیرمخرب، سریع و نسبتاً کم هزینه، می تواند در مکان یابی چاه های آب، با کاهش ریسک حفاری و افزایش بهره وری منابع آبی نقش بسیار مهمی ایفا می کند و با ارائه یک چشم انداز در رابطه با ساختار زیرسطحی و شکستگی ها و تا حدی کیفیت آب (مانند میزان شوری) مدیریت منابع آب را تسهیل می گرداند. این روش ها با اندازه گیری خواص فیزیکی زمین، اطلاعات نسبتاً دقیقی درباره ساختارهای زیرسطحی فراهم می آورند و امکان شناسایی نواحی آبدار، شکستگی ها، گسل ها، لایه های نفوذپذیر و عمق سطح ایستابی را فراهم می سازند.

مطالعات نشان داده اند که درصد بالایی از حفاری های بی نتیجه در پروژه های آبرسانی روستایی و کشاورزی، ناشی از نبود مطالعات پیش حفاری دقیق است. استفاده از روش های ژئوفیزیکی نه تنها احتمال موفقیت در یافتن منابع آب زیرزمینی را افزایش می دهد، بلکه با کاهش تعداد حفاری های آزمون و خطا، از نظر اقتصادی نیز بسیار مقرون به صرفه تر است. به ویژه در مناطق با لیتولوژی پیچیده یا ساختارهای کارستی، مطالعات ژئوفیزیکی می توانند اطلاعات کلیدی برای تعیین موقعیت و عمق بهینه حفاری ارائه دهند. همچنین با استفاده از مطالعات ژئوفیزیک، می توان به بهینه سازی مکان یابی چاه ها پرداخت و از حفر چاه های غیرضروری و هزینه بر جلوگیری نمود. این امر نه تنها به صرفه جویی در هزینه ها کمک می کند، بلکه منجر به حفظ منابع آب نیز می گردد.

۲- اهمیت انتخاب صحیح محل حفر چاه آب زیرزمینی

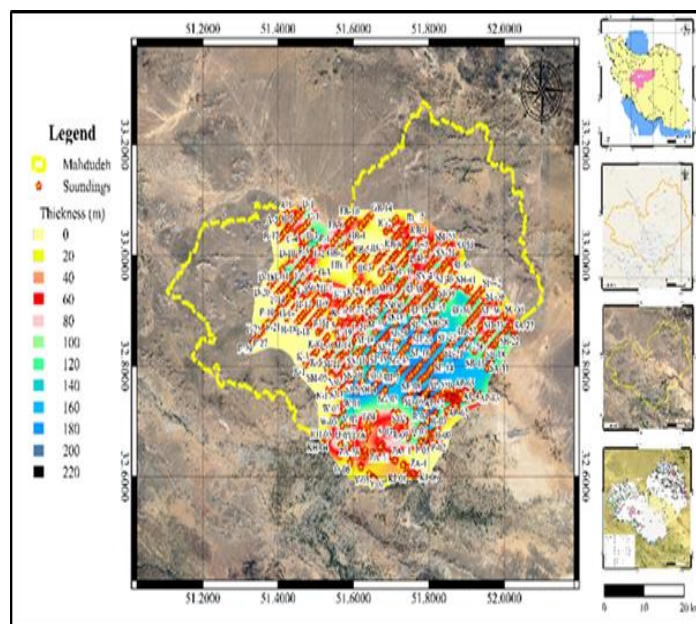
-پیشگیری از حفاری ناموفق
انتخاب نادرست محل حفاری یکی از دلایل اصلی شکست در بهره برداری از منابع آب زیرزمینی است. حفاری چاه در موقعیتی که فاقد لایه های آبدار یا دارای سنگ های نفوذناپذیر (مانند شیل یا رس اشباع نشده) است، منجر به اتلاف منابع مالی و زمانی می شود. به گفته ی Fitts، در بسیاری از مناطق خشک، بیش از ۳۰٪ از چاه های حفر شده بدون برداشت مؤثر باقی می ماند که عمدتاً ناشی از عدم دقت در مکان یابی است.

-بهره برداری پایدار از منابع آب
مکان یابی چاه ها در نواحی با بیشترین تغذیه طبیعی سفره یا در نزدیکی زون های شکسته و نفوذپذیر باعث بهره برداری پایدارتر و کاهش افت سطح آب خواهد شد. همچنین، در مناطقی که آبخوان ها به صورت محلی محدود و گسسته اند، انتخاب مکان نامناسب ممکن است موجب برداشت از بخشی با تخلیه سریع و ناپایدار گردد.

مطالعه ای توسط Moeck نشان داد که انتخاب محل بهینه چاه می تواند میزان بهره برداری موفق از یک آبخوان کارستی را تا حدود ۷۰٪ افزایش دهد، در حالی که مکان یابی بدون تحلیل ژئوفیزیکی منجر به برداشت کمتر از ۲۰٪ ظرفیت آبخوان شده است.

-جلوگیری از آلودگی سفره های آب و چاه
چاه هایی که بدون در نظر گرفتن مسیر حرکت آب زیرزمینی یا خصوصیات زمین شناسی منطقه حفر می شوند، می توانند منجر به ورود آلاینده ها به سفره های زیرزمینی شوند، به ویژه اگر در مجاورت مناطق فاضلاب، زباله های صنعتی یا گسل های نفوذپذیر باشند. به همین دلیل، مکان یابی چاه باید بر پایه تحلیل هیدروژئولوژیکی و ژئوفیزیکی دقیق انجام شود (Domenico and Schwartz, ۱۹۹۸).

-مدیریت منطقه ای منابع آبی
در مقیاس بزرگ تر، انتخاب بهینه محل چاه ها به جلوگیری از پدیده هایی مانند افت شدید سطح آب، نشست زمین، شور شدن آب زیرزمینی، و تداخل چاه ها کمک می کند. به عنوان نمونه، در دشت اصفهان، مطالعات نشان داده اند که مکان یابی نامناسب چاه ها بدون مطالعات ژئوفیزیکی و هیدروژئولوژیکی، موجب افت شدید سطح ایستابی، فرونشست زمین، و تداخل بهره برداری بین چاه ها شده است (شکل ۱).



شکل ۱- نقشه هم‌ضخامت لایه آبدار در مطالعات ژئوالکتریک به روش مقاومت ویژه الکتریکی در گستره دشت محدوده اصفهان-برخوار و مناطق شرقی اصفهان

اقتصادی، در چند دهه اخیر نقش پررنگی در مکان‌یابی بهینه چاه‌های آب زیرزمینی داشته‌اند. این مطالعات با اندازه‌گیری خواص فیزیکی زیرسطح زمین، امکان تهیه تصویری سه‌بعدی از ساختارهای هیدروژئولوژیکی را فراهم می‌سازند. فواید این مطالعات عبارت‌اند از:

– کاهش ریسک حفاری ناموفق

بزرگ‌ترین مزیت مطالعات ژئوفیزیکی، کاهش احتمال حفاری چاه در نواحی فاقد منابع آبی است. روش‌هایی ژئوفیزیکی مانند مقاومت ویژه می‌توانند به دقت لایه‌های آبدار، شکستگی‌های پر آب، و عمق سطح ایستابی را آشکار کنند. در مطالعه‌ای توسط Kirsch اشاره شده که تلفیق داده‌های ژئوالکتریک و لرزه‌ای باعث کاهش شکست حفاری تا حدود ۷۰٪ در پروژه‌های مناطق خشک شده است.

– ارزیابی کیفی منابع آبی (شوری / هدایت الکتریکی)
برخی روش‌های ژئوفیزیکی مانند TEM، SP و SNMR قادرند به‌طور غیرمستقیم یا مستقیم شوری، هدایت الکتریکی، و کمک می‌کند.

– شناسایی ساختارهای هیدروژئولوژیکی مهم (شکستگی، گسل، حفره‌های کارستی)

– پشتیبانی از طراحی سیستم‌های آبیاری و توزیع

انتخاب محل بهینه برای چاه‌ها همچنین بر طراحی شبکه‌های آبیاری، هزینه پمپاژ، مسیر خطوط انتقال، و بهره‌وری کلی پروژه آبیاری تأثیر می‌گذارد. چاه‌هایی که در مکان بهینه نسبت به زمین‌های زراعی یا مصرف‌کنندگان قرار دارند، هزینه‌های زیرساختی و مصرف انرژی را به شدت کاهش می‌دهند.

انتخاب مکان مناسب برای حفر چاه آب زیرزمینی، نه تنها بر موفقیت پروژه حفاری و میزان برداشت مؤثر تأثیر دارد، بلکه نقش کلیدی در پایداری منابع آب، کاهش مخاطرات زیست‌محیطی و اقتصادی، و افزایش بهره‌وری در مصرف آب دارد. بهترین حالت آن است که این فرآیند شامل استفاده ترکیبی از مطالعات زمین‌شناسی، ژئوفیزیکی و مدل‌سازی هیدروژئولوژیکی دقیق باشد.

۳- فواید مطالعات ژئوفیزیکی در مکان‌یابی چاه‌های آب زیرزمینی

مطالعات ژئوفیزیکی به‌عنوان ابزارهای غیرمخرب، سریع و حتی حجم آب موجود در سفره‌ها را تخمین بزنند. این مسئله به انتخاب منابع آبی با کیفیت مناسب برای شرب یا کشاورزی

رویکرد امروزه به عنوان یک ابزار کلیدی در مدیریت پایدار منابع آب زیرزمینی در جهان و ایران شناخته می شود.

۴- معرفی روش های ژئوفیزیکی

این روش ها بر پایه سنجش تغییرات فیزیکی مانند مقاومت ویژه، چگالی و ویژگی های موجی انجام می گیرند و می توانند حوزه های پرفراوانی شکستگی، نواحی آبدار، و ویژگی های مرتبط با منابع زیرزمینی را به دقت شناسایی کنند. یکی از ویژگی های مطالعات ژئوفیزیک امکان اجرای آن در شرایط مختلف است. روش های ژئوفیزیک را می توان با توجه به ویژگی مورد سنجش به ۴ دسته زیر تفکیک نمود:

- روش های ژئوالکتریک (Methods Geoelectrical):

۱. مقاومت ویژه ظاهری (Resistivity)
۲. قطبش القایی (Induced Polarization)
۳. پتانسیل خودزا (Self Potential)

- روش های مبتنی بر پتانسیل (Potential Methods):

۱. ژئومغناطیس (Geomagnetic)
۲. گرانی سنجی (Gravity)
۳. رزونانس مغناطیسی سطحی (SNMR/MRS)

- روش های الکترومغناطیس (EM):

۱. مگنتوتلوریک (MT)
۲. امواج فرکانس پایین (VLF)
۳. رادار نفوذ به زمین (GPR)

- روش های لرزه ای (Seismic Methods):

۱. روش لرزه ای بازتابی (Reflection)
۲. روش لرزه ای انکساری (Refraction)
۳. روش های درون چاهی (Downhole)

روش هایی مانند ERT، VLF و لرزه ای (Seismic) توانایی بالایی در شناسایی زون های شکسته، گسل ها، و ساختارهای کارستی دارند که اغلب مسیرهای اصلی جریان و ذخیره آب هستند. حفاری بدون شناخت این ناپیوستگی ها می تواند منجر به شکست یا آسیب به سازه چاه شود.

- پوشش وسیع و سرعت بالای بررسی

مطالعات ژئوفیزیکی، به ویژه در مقایسه با حفاری های آزمایشی، زمان کمتر، هزینه پایین تر و پوشش وسیع تری از منطقه را فراهم می کنند. به عنوان مثال، یک پروفیل ERT یا TEM در چند ساعت می تواند صدها متر از سطح زمین را ارزیابی کند؛ در حالی که حفر هر چاه آزمایشی نیاز به زمان، مجوز و هزینه بالایی دارد.

- پشتیبانی از برنامه ریزی بلندمدت و مدل سازی منابع آب

داده های ژئوفیزیکی می توانند در مدل سازی هیدروژئولوژیکی سه بعدی و تهیه نقشه های پتانسیل منابع آب زیرزمینی استفاده شوند. این اطلاعات برای برنامه ریزی منابع آب، پیش افت سطح ایستابی، و مقابله با بحران هایی مانند نشست زمین حیاتی هستند.

- سازگاری با محیط های مختلف زمین شناسی

ژئوفیزیک کاربرد گسترده ای در انواع محیط های زمین شناسی دارد: از رسوبات آبرفتی گرفته تا زمین های آتشفشانی، کارستی و رسوبی. با تنظیم صحیح پارامترهای برداشت و انتخاب روش مناسب (مثلاً TEM در نواحی شنی یا ERT در نواحی سنگی)، می توان در اکثر شرایط زمین شناسی به نتایج قابل اطمینان رسید. استفاده از روش های ژئوفیزیکی در مکان یابی چاه های آب، یک رویکرد علمی و داده محور است که علاوه بر کاهش هزینه و خطای حفاری، امکان دسترسی به آب با کیفیت، در عمق و موقعیت مناسب را فراهم می سازد. این



شکل ۱- برداشت ژئوالکتریک

♦ با مطالعات ژئوفیزیکی: مطالعاتی مانند ERT، TEM یا SNMR قبل از حفاری، به شناسایی دقیق لایه‌های آبدار، شکستگی‌ها و گسل‌های نفوذپذیر کمک می‌کنند. طبق گزارش Kirsch، نرخ موفقیت حفاری در پروژه‌هایی که از تلفیق ژئوفیزیک استفاده کرده‌اند، به بیش از ۸۰٪ رسیده است.

۲. هزینه و صرفه‌جویی اقتصادی

♦ بدون مطالعات ژئوفیزیکی: هزینه حفاری یک چاه در ایران (با در نظر گرفتن تجهیزات، نیروی انسانی و حمل و نقل) ممکن است بین ۱ تا ۵ میلیارد تومان با توجه به شرایط محیطی باشد. در صورت عدم موفقیت، تمام این هزینه از بین می‌رود. همچنین، حفاری چندباره برای آزمون و خطا هزینه‌ها را به صورت تصاعدی افزایش می‌دهد.

♦ با مطالعات ژئوفیزیکی: هزینه اجرای یک پروفیل ERT با ۱۰ سونداژ برای یک منطقه بین ۵۰ تا ۱۰۰ میلیون تومان با توجه به شرایط منطقه‌ای است، اما با هدایت حفاری به محل مناسب، موجب صرفه‌جویی در ده‌ها یا صدها میلیون تومان هزینه‌های حفاری ناموفق می‌شود. که به نسبت هزینه مطالعات ژئوفیزیکی به کل هزینه پروژه، معمولاً کمتر از ۵٪ است، اما در کاهش ریسک بیش از ۷۰٪ مؤثر است.

لازم به ذکر است که مطالعات ژئوفیزیک علاوه بر کاربرد در مکان‌یابی چاه آب می‌تواند در بهینه‌سازی چاه و همچنین رفع مشکلات چاه‌های موجود نیز موثر باشد به این صورت که متخصص ژئوفیزیک با توجه به داده‌های بدست آمده و تحلیل آنها با محاسبه دقیق عمق آب زیرزمینی و ساختار لایه‌های زیرزمینی و حریم چاه‌ها و گسل‌ها و شکستگی‌های موجود در منطقه جهت احیای چاه‌ها راه‌حل‌هایی از قبیل کف‌شکنی، جابه‌جایی و ... را ارائه کند.

۵- مقایسه مکان‌یابی چاه آب با و بدون مطالعات ژئوفیزیکی

۱. احتمال موفقیت حفاری

♦ بدون مطالعات ژئوفیزیکی: مکان‌یابی سنتی معمولاً بر اساس تجربیات محلی، مشاهده‌های سطحی، نقشه‌های زمین‌شناسی قدیمی یا حتی شهود محلی انجام می‌شود. این رویکرد در مناطقی با زمین‌شناسی پیچیده (مانند نواحی کارستی یا شکستگی‌دار) بسیار پرریسک است. بر اساس مطالعه‌ای توسط Fitts، نرخ موفقیت حفاری چاه در چنین شرایطی ممکن است به کمتر از ۴۰٪ به‌ویژه در نواحی خشک یا نیمه‌خشک کاهش یابد.

در جدول ۱-، مهم ترین مزایا و محدودیت های رایج ترین روش های ژئوفیزیکی آورده شده است:

جدول ۱ - مقایسه روش های ژئوفیزیکی به همراه کاربرد و مزایا و محدودیت های هر روش

روش ژئوفیزیکی	روش کار	کاربردها	مزایا	محدودیت ها
مقاومت ویژه الکتریکی (ERT/VES)	اعمال جریان الکتریکی به زمین و اندازه گیری اختلاف پتانسیل و بررسی توزیع مقاومت ویژه در زیر سطح	ارزیابی عمق و ضخامت سفره ها، آشکارسازی آب شور یا لایه های رسی، مشخص کردن محدوده گسل و شکستگی	دقت بالا در تفکیک لایه ها، مناسب برای اعماق متوسط، مقرون به صرفه	حساس به نویز الکتریکی، کاهش دقت در خاک های هدایتی (مثلاً رسی)، نیازمند مفسر متخصص
پتانسیل خودزا (SP)	ثبت جریان های طبیعی زمین در اثر حرکت آب و واکنش های الکتروشیمیایی؛ تمرکز بر مسیرهای جریان زیر سطحی	تعیین مسیر و شیب جریان آب زیرزمینی، شناسایی نواحی تغذیه و زهکشی سفره	پس و بدون نیاز به تزریق جریان، روش ساده، کم هزینه، مناسب برای مسیر جریان آب	حساس به منابع طبیعی نویز، دقت پایین، تأثیر پذیری بالا از عوامل محیطی
رزونانس مغناطیسی سطحی (SNMR/MRS)	استفاده از اصول رزونانس مغناطیسی برای اندازه گیری مستقیم پروتون های آب؛ ارزیابی حجم و نفوذ پذیری سفره ها	تشخیص مستقیم حضور آب، برآورد ضخامت و مشخصه های آبخوان - مناسب تا عمق حدود ۱۵۰ متر	تنها روش مستقیم برای تخمین حجم آب آزاد، بدون شبه تفسیر؛ اطلاعات کیفی ارزشمند	پوشش عمق محدود، حساس به نویز ژئومغناطیسی، گران قیمت، تجهیزات پیچیده
القای الکترومغناطیسی (TEM/TDEM)	ارسال پالس الکترومغناطیسی و ثبت پاسخ گذرا؛ حساس به ترکیب و هدایت لایه ها	بررسی عمق و کیفیت آب (شوری)، تفکیک لایه های رسا مانند رس و آب شور، پوشش عمیق تر تا صدها متر	مناسب برای نواحی مرتفع یا پوشیده، امکان اجرای سریع در محیط هایی مانند باغ یا زمین ناهموار، نفوذ بالا، مناسب برای تخمین شوری آب	نیاز به تجهیزات خاص، گران تر نسبت به ERT، تداخل نویز.
رادار نفوذی زمین (GPR)	ارسال و دریافت امواج الکترومغناطیسی با فرکانس بالا جهت تصویرسازی لایه های نزدیک سطح (تا ۱۵ متر)	شناسایی تغییرات لایه ای، شکاف زمین، حفره های پر آب	رزولوشن بالا در لایه های کم عمق، ثبت سریع داده ها، نمایش آنی نتایج، مناسب برای زمین های خشک و ماسه ای	نفوذ کم در خاک های مرطوب یا رسی، نیاز به بستر صاف، حساس به نویز
لرزه نگاری (Seismic)	تولید و ثبت امواج لرزه ای؛ سرعت موج ها متغیر براساس تراکم/ناپیوستگی لایه ها	تعیین عمق بستر سنگی، تشخیص سفره ها و شکستگی ها، تحلیل ساختار لایه ای خاک	مناسب برای بررسی بستر سنگی، ساختارهای پیچیده، اطلاعات مکانیکی جهت طراحی چاه و سازه	لایه های کم ضخامت با سرعت کمتر از لایه بالایی شناسایی نمی شوند، پرهزینه، نیازمند تفسیر تخصصی بالا

۳. چالش‌ها و ریسک‌های محتمل

♦ بدون مطالعات ژئوفیزیکی: بالاترین ریسک آن است که در منطقه غیرآبدار حفاری انجام گردد که با عدم موفقیت حفاری نیاز به حفاری مجدد می‌باشد که برای حفاری مجدد نیز مجدداً این ریسک وجود دارد. ریسک دوم برخورد به گسل یا آب‌شور است که می‌تواند تمام زحمات را نابود سازد. چالش سوم افت سطح آب پس از حفره چاه و پایین بودن دبی از مقدار دبی مورد نیاز است. از نظر زمان رسیدن به نتیجه نهایی بسیار زمانبر است. چالش دیگری سازندهای سخت هست که با روش‌های سنتی احتمال حفاری موفق در آن‌ها بشدت پایین است.

♦ با مطالعات ژئوفیزیکی: با استفاده از مطالعات ژئوفیزیک ریسک عدم موفقیت حفاری به زیر ۵٪ می‌رسد که منجر به کاهش قابل توجه هزینه‌ها می‌گردد. همچنین می‌تواند محل گسل و میزان شوری آب را پیش‌بینی نمود. از امکان نیز میسر

می‌شود که محل حفر چاه را با توجه به دبی مورد نیاز تعیین کرد و همچنین شرایط حفاری را پیش‌بینی نمود. از لحاظ زمان رسیدن به نتیجه نهایی با انجام مطالعات ژئوفیزیک با حداقل اتلاف وقت نتیجه حاصل می‌گردد. یکی از نقاط قوت این روش آن است که سازندهای سخت نیز بخوبی می‌تواند پاسخگو باشد.

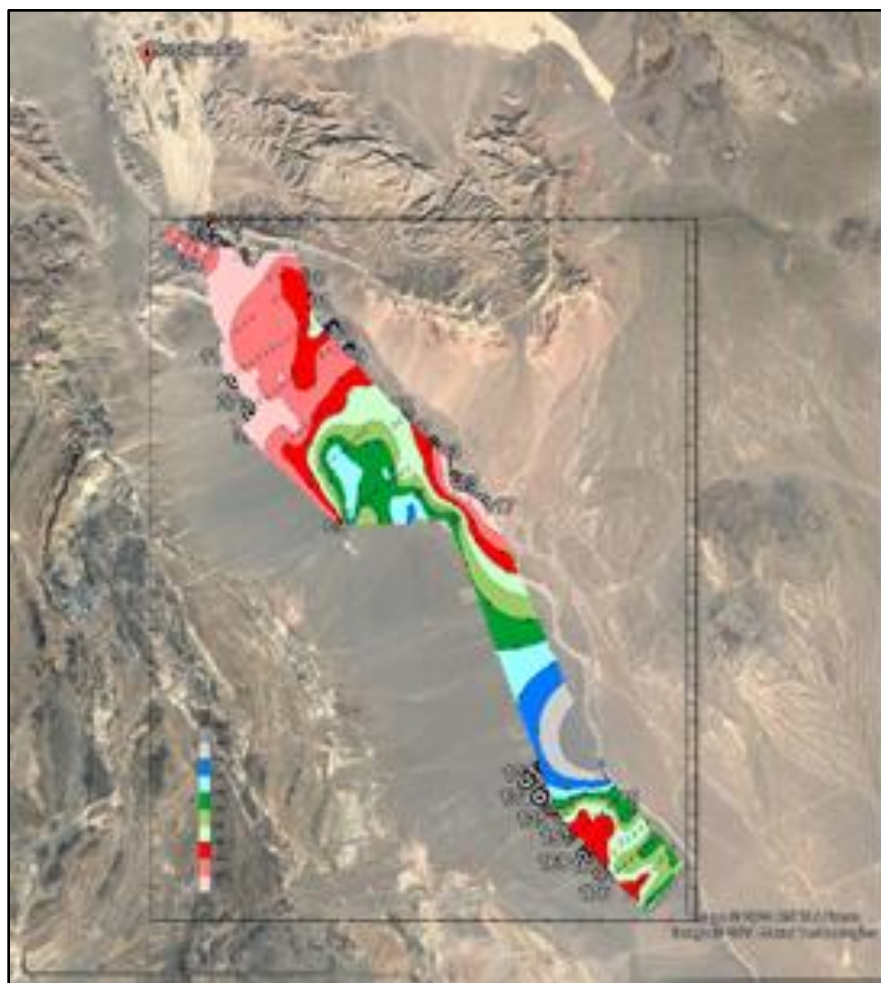
جدول ۲ - جدول مقایسه چالش‌های موجود در مطالعات با و بدون مطالعات ژئوفیزیکی

معیار	بدون مطالعات ژئوفیزیک	با مطالعات ژئوفیزیک
احتمال موفقیت در حفاری	۳۰٪-۵۰٪	۷۵٪-۹۰٪
هزینه متوسط کل پروژه	بالا (بخصوص در صورت شکست و نیاز به تکرار)	کم با صرفه‌جویی بلند مدت
زمان متوسط پروژه تا رسیدن به نتیجه	بالا (بخصوص در صورت شکست و نیاز به تکرار)	۷۰٪ کاهش زمان از حالت نرمال
تعداد چاه‌های شکست خورده در ایران	بالا (مناطق خشک و نیمه خشک)	پایین‌تر (در پروژه‌های دارای پیش‌مطالعه)
امکان بررسی کیفی (مثلاً شوری آب)	امکان پذیر نیست	وجود دارد
وابستگی به اطلاعات محلی	بسیار بالا	پایین (مبتنی بر داده و تحلیل آنها)
ریسک زیست‌محیطی (مثلاً فرونشست یا آلودگی)	بالا	پایین‌تر (با امکان ارائه روش‌هایی برای جلوگیری)

۶- بررسی چند مطالعه موردی

شده که لایه آبدار در محل بعضی از سونداژها وجود ندارد و در انتها نقشه هم مقاومت عرضی لایه آبدار تهیه و براساس نتایج، نقاط پیشنهادی برای حفر چاه ارائه شد (شکل ۲).

در مطالعات ژئوفیزیک انجام شده در محدوده میل نادر در استان سیستان و بلوچستان، جهت تعیین لایه‌های زیرسطحی و لایه آبدار ۱۷۶ سونداژ الکتریک با طول فرستنده جریان (AB) تا حداکثر ۶۰۰ متر برداشت شده که با استفاده از آنها نقشه هم مقاومت ویژه ظاهری در اعماق مختلف و مقاطع مقاومت ویژه ظاهری و ژئوالکتریک رسم گردید. پس از تهیه مقاطع مشخص



شکل ۲- نقشه هم مقاومت ویژه عرضی بدست آمده در مطالعات ژئوفیزیک محدوده میل نادر سیستان و بلوچستان

حفر چاه اکتشافی پیشنهاد گردید که در صورت نتایج حاصله، چاه دهانه گشاد (فلمن) در آن محل حفر گردد (شکل ۳).

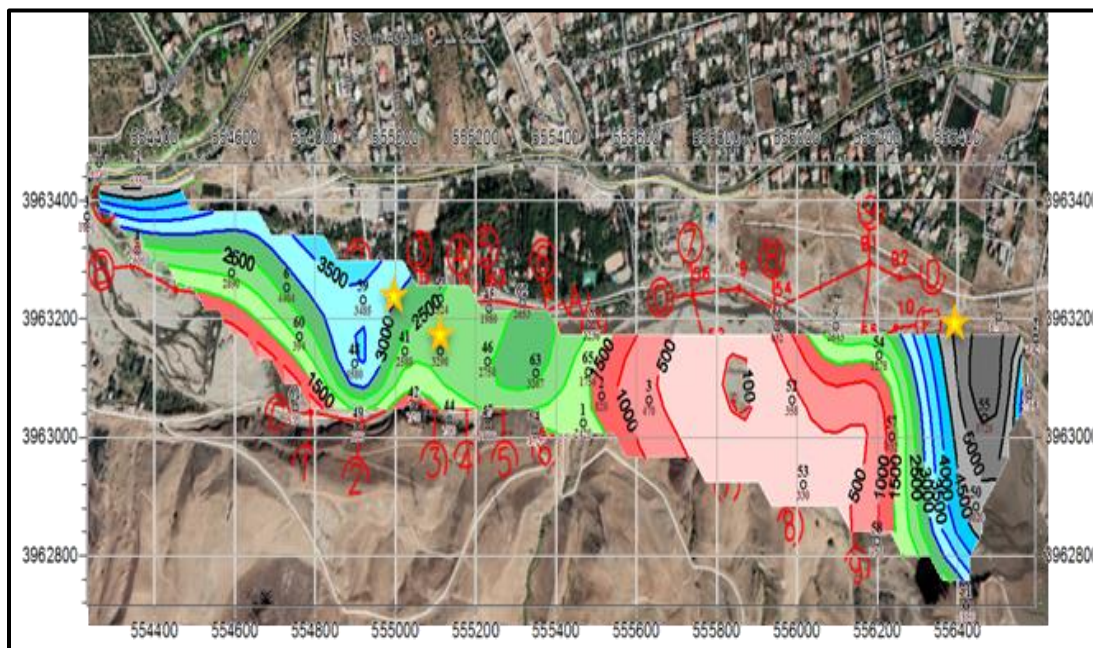
در محدوده جاجرود ۴۰ سونداژ الکتریک با حداکثر طول فرستنده جریان ۸۰۰ متر برداشت شد به منظور مکان‌یابی چاه فلمن انجام شد که در طی این مطالعات نقشه‌های هم مقاومت ویژه ظاهری در اعماق مختلف بدست آمد و سپس از تفسیر سونداژها، مقاطع مقاومت ویژه ظاهری و ژئوالکتریک و نقشه مقاومت عرضی تهیه شد. با توجه به توفی بودن جنس سنگ کف و کم بودن ضخامت رسوبات آبرفتی و نحوه توزیع آبرفت، حفر چاه عمیق توجیه ناپذیر اعلام شد. همچنین براساس تمامی اطلاعات بدست آمده و زمین‌شناسی منطقه، ۳ نقطه برای

پس از تفسیر سونداژها و تهیه مقاطع مقاومت ویژه ظاهری و ژئوالکتریک، محل سونداژ S-۳۰ به عنوان محل پیشنهادی

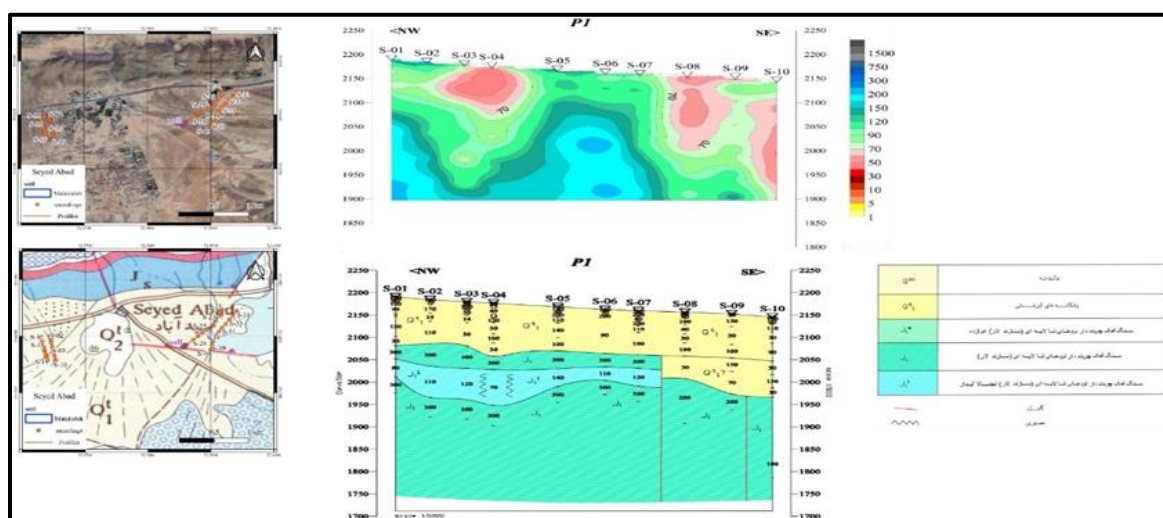
در طی برداشت ۴۰ سونداژ الکتریک با طول فرستنده جریان ۱۰۰۰ متر در محدوده شهر سیدآباد به جهت مکان‌یابی چاه آب،

لایه آبدار وجود دارد در فاصله کمتر از ۴۰ متر گسل دیده شده در مقطع مقاومت ویژه ظاهری موجب قطع لایه آبدار شده و در محل سونداژ S-۰۸ مقاومت ویژه حاکی از عدم وجود لایه آبدار می‌باشد.

برای حفر چاه اعلام گردید و تاکید شد که حفاری به هیچ عنوان به صورت روتاری همراه با گل، به علت آهکی بودن لایه‌ها صورت نگیرد و در صورت نیاز به حفاری روتاری فقط فوم جهت استفاده پیشنهاد می‌گردد (شکل ۴). همانگونه که در شکل ۵ مشخص است با این وجود که در محل سونداژ S-۰۷



شکل ۳- نقاط پیشنهادی جهت حفر چاه فلمن بر روی نقشه مقاومت عرضی بر روی تصویر ماهواره‌ای

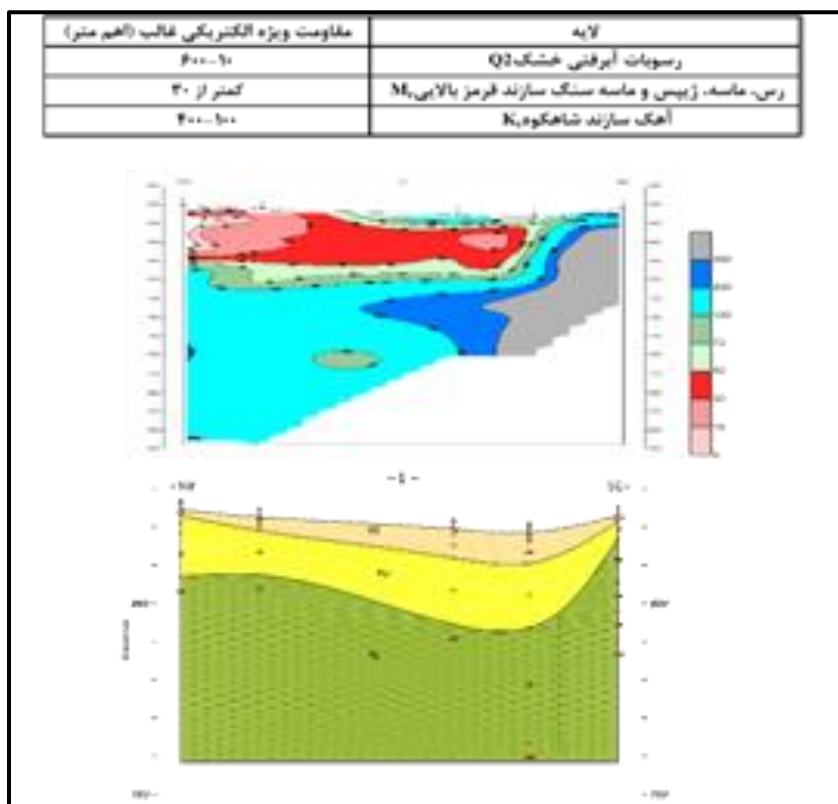


شکل ۴- مقاطع مقاومت ویژه ظاهری P_1 و ژئوالکتریک P_1 محدوده شهر سید آباد و نقشه محل موقعیت پیشنهادی چاه آب در تصویر ماهواره‌ای و نقشه زمین‌شناسی

۱۰۰۰ متر نتیجه بدست آمده از تفسیر و تهیه مقاطع مقاومت ویژه ظاهری و ژئوالکتریک این بود که در این محدوده لایه آبدار

در مطالعه ژئوفیزیک سد رودخانه گاز خور و بیابانک انجام شده تعداد ۱۲ سونداژ با طول فرستنده جریان (AB) حداکثر

وجود ندارد (شکل ۵).



شکل ۵- یکی از مقاطع مقاومت ویژه ظاهری و ژئوالکتریک و گستره مقاومت ویژه الکتریکی آنها در محدوده رودخانه سد گاز خور

۷- نتیجه گیری

در شرایط فعلی کم آبی و فشار روزافزون بر منابع زیرزمینی، سرمایه گذاری در مطالعات ژئوفیزیکی نه تنها توجیه پذیر بلکه الزامی است. این مطالعات با کاهش ریسک حفاری، صرفه جویی اقتصادی و افزایش احتمال موفقیت، افزایش بهره وری و کیفیت آب، و همچنین امکان اجرا در سازندهای سخت نقش کلیدی در بهره برداری پایدار از آب زیرزمینی دارند.

منابع

- حیدریان، محمدحسن و طوفان تبریزی، بهرام، اکتشاف زونهای کارستی آبدار با استفاده از روش ژئوالکتریک مطالعه موردی منطقه سمیرم واقع در استان اصفهان، اولین کنفرانس ملی مهندسی اکتشاف منابع زیرزمینی، شاهرود، ۱۳۹۲.
- خلیلی نفت چالی، آتنا و خاشعی سیوکی، عباس، آشنایی با روش های آب بایی، دومین کنگره ملی آبیاری و زهکشی ایران، اصفهان، ۱۳۹۵.
- داودآبادی فراهانی، میثم و آقاجانی، حمید، کاربرد روشهای ژئوفیزیکی در اکتشاف منابع آب، همایش ملی علوم مهندسی آب و فاضلاب، کرمان، ۱۳۹۱.
- عباس نیا، مجید و نودری، هانیه، ژئوفیزیک و اکتشاف آبهای زیرزمینی، همایش ملی راهکارهای پیش روی بحران آب در ایران و خاورمیانه، شیراز، ۱۳۹۳.
- Butler, D. K., Near-Surface Geophysics, Society of Exploration Geophysicists, SEG, ۲۰۰۵.

-Domenico, P.A., Schwartz, F.W., Physical and Chemical Hydrogeology, ۲nd Edition, John Wiley & Sons

Inc., New York, 1998

- Fitts, Charles R. Groundwater Science, 2nd Ed., Elsevier, 2013.
- Hertrich, M., Imaging of groundwater with nuclear magnetic resonance, Elsevier, 2008.
- Kirsch, R., Groundwater Geophysics, Springer, 2009.
- Kirsch, R., Yaramanci, U., Geophysical characterisation of aquifers, Springer, 2009.
- Loke, M. H., Tutorial: 2-D and 3-D Electrical Imaging Surveys, Researchgate, 2001.
- Reynolds, J. M., An Introduction to Applied and Environmental Geophysics, Wiley, 2011.
- Sharma, P. V., Environmental and Engineering Geophysics, Cambridge University Press, 1999.
- Yaramanci, U., Magnetic resonance technology for hydrogeology, Society of Exploration Geophysicists, 2017.

بخش سوم

مباحث مرتبط با حفاری چاه ها و آزمایش پمپاژ

چالش‌های فراروی عملیات حفاری چاه‌ها

ابوالفضل سوری، محسن سوری

مدیرعامل شرکت حفاری جیحون رود آریا
کارشناس ارشد هیدروژئولوژی شرکت حفاری جیحون رود آریا

چکیده

پس از مطالعه و مکان‌یابی و صدور مجوز حفاری با توجه به نوع زمین از دستگاه حفاری با توانایی مناسب جهت حفاری اقدام خواهد شد. از آنجا که صدور مجوز حفاری منوط به مالکیت محل می‌باشد. گاهی به علت ضرورت یا بحران آبی جابجایی چاه در محدوده مخازن و با فاصله کم از چاه موجود انتخاب می‌شود که این امر در مناطق ریز دانه بسیار مخرب و سبب کوتاه شدن عمر مفید چاه می‌گردد لذا انجام مطالعات دقیق و شناسائی نقاط مورد نظر قبل از بحران ضروری است. بدو با معرفی تکنیک‌های حفاری و کاربرد آن‌ها خلاصه‌ای به استحضار می‌رسد.
واژه‌های کلیدی: حفاری چاه، مجوز حفاری، مکان‌یابی، بحران آب، مطالعات زمین‌شناسی.

Abstract

Prior to the drilling process, site-specific studies and location assessments are conducted, and drilling permits are issued based on land ownership and the geological characteristics of the area. A drilling rig with appropriate technical capabilities is then deployed according to the type of soil and terrain. In some cases, due to urgent needs or water crises, the drilling location is shifted within the aquifer boundary and in close proximity to existing wells. However, in areas with fine-grained soils, this can have destructive consequences and significantly reduce the operational lifespan of the well. Therefore, it is essential to conduct detailed investigations and identify optimal drilling sites before the onset of any crisis. This report provides a brief overview of various drilling techniques and their practical applications.

Keywords: Well Drilling, Drilling Permit, Site Selection, Water Crisis, Geological Studies.

۱- مقدمه

با توجه به رشد روزافزون جمعیت، توسعه شهرها و روستاها و افزایش نیاز به منابع پایدار آب، استحصال بهینه از سفره‌های زیرزمینی به یکی از چالش‌های اصلی در مدیریت منابع آبی کشور تبدیل شده است. فرآیند حفاری و بهره‌برداری از چاه‌های آب، نیازمند رعایت دقیق اصول علمی، فنی و مدیریتی است تا از اتلاف سرمایه و تخریب منابع جلوگیری شود. متأسفانه در بسیاری از مناطق، به دلیل نبود مطالعات دقیق مکان‌یابی، نادیده گرفتن شرایط زمین‌شناسی، حفاری بدون مجوز، یا استفاده از تجهیزات نامناسب، شاهد کاهش عمر مفید چاه‌ها، افت سطح آب زیرزمینی، و پدیده‌هایی نظیر فرونشست و تخریب آبخوان‌ها هستیم. هدف از این مقاله، بررسی فرآیند حفاری، عوامل تأثیرگذار بر کاهش عمر چاه‌ها و ارائه راهکارهایی جهت بهبود بهره‌برداری و مدیریت علمی این منابع حیاتی است. در این راستا، با معرفی انواع دستگاه‌های حفاری، مراحل استحصال آب، بررسی عوامل فنی و مدیریتی مؤثر بر عمر چاه و ارزیابی چالش‌های موجود، تلاش می‌شود تا راه‌حلی جامع و کاربردی برای ارتقاء کیفیت حفاری و بهره‌برداری ارائه گردد.

۲- انواع دستگاه حفاری کاربردهای آن‌ها

- دستگاه حفاری ضربه ای سبک جهت حفاری در آبرفت و با عمق کم (اسپید استار ۷۱، رستون ۲۲).

- دستگاه حفاری سنگین جهت حفاری در آبرفت و لایه های سخت و عمق بالا (رستون ۶۰، منگولد، SL۳۶)

- دستگاه روتاری: حفاری با گل بنتونیت در کلیه زمین های آبرفتی، ریزشی و سنگی در هر قطر و عمق انجام می شود و با تغییر در وضعیت زمین با تعویض مته از آبرفتی به سخت بر و یا نگینی یا الماسه قابل اجرا می باشد.

- دستگاه حفاری روتاری ضربه ای: ترکیبی از دستگاه های قبلی می باشد که علاوه بر حرکت دورانی توسط کمپرسور و چکش و ضربه زدن به سرشته موجب سرعت حفاری می شود و بخصوص در لایه های سخت مؤثر است. ضمناً علاوه بر حفاری با گل با آب و کف هم حفاری می کند که در زمین های با سفره آبی ضعیف، و در سازند های آهکی به منظور جلوگیری از نفوذ گل حفر در شکاف ها و منافذ کاربرد دارد.

- دستگاه حفاری روتاری با گردش گل معکوس. و هوا فشرده در زمان اجرای عملیات حفاری توجه به نکات مهم در هر مرحله به استحضار می رسد.



شکل ۱- انواع دستگاه حفاری

۳- روند استحصال آب از سفره های زیرزمینی

با هدف رسیدن به دلایل کوتاه بودن عمر مفید چاه ها لازم است پروسه استحصال آب از سفره های زیرزمینی مورد بررسی قرار گیرد:

- مطالعه و بررسی جهت مکان یابی محل چاه توسط کارفرما
- حفاری، لوله گذاری، گراول پکینگ و پمپاژ توسط پیمانکار
- تجهیز چاه بر اساس میزان آبدهی چاه
- بهره برداری و انتقال به شبکه و مخازن

۱- لازم به ذکر است قصور و کاستی در هر بخش از ۴ مرحله فوق اثر سوء آن بر روی چاه خواهد بود در بخش مطالعات همراه با گسترش شهرها و روستاها مطالعاتی به منظور تعیین محل مناسب برای حفر چاه پیش بینی نگردیده است و از آنجا که شرط حفاری در هر نقطه برای مکان تحت مالکیت کارفرما

مجاز حفر صادر می گردد. بنابراین با خارج شدن هر چاه از چرخه بهره برداری جابجائی در همان محل و فاصله نه چندان مناسب انجام می شود که این مورد در نواحی با بافت ریز دانه موجب تخلیه لایه ها از رسوبات و در دراز مدت سبب رانش، تخریب چاه و گاهی از بین رفتن منصوبات درون چاهی خواهد شد. در این بخش می بایست حفاری تا سنگ کف صورت گیرد. حداقل برای آب و فاضلاب ها (آب شرب) در نقاط خارج از محدوده مخازن نیز مشکل اساسی، وجود چاه های غیر مجاز و معمولاً با عمقی بالاتر از عمق مورد نظر کارفرما (آب و فاضلاب) می باشد که این امر نیز موجب آسیب جدی خواهد شد. نمونه در چاه سعید آباد حفاری با عمق ۱۵۰ متر و چاه غیر مجاز متعلق به کشاورزان با عمق ۱۸۰ متر عملاً کار مطالعه و بررسی جهت تعیین محل مناسب صورت نمی گیرد چون اکثر دشت ها ممنوعه است و فقط امر جابجائی انجام می شود (به طور قانونی) ولی به صورت غیر قانونی و غیر مجاز

همچنان از سفره ها برداشت می شود. متأسفانه امور نظارتی امکان کنترل برداشت را نداشته و موضوع عرضه و تقاضا مطرح است که هر سال میزان مصرف بالا می رود ولی برای عرضه به دلایل خشکسالی، برداشت غیرمجاز، عدم تغذیه سفره و برداشت بیش از حد مجاز سبب نشت و فرونشست و فروچاله گردیده ایم که موجب از بین رفتن آبخوان و تخریب چاه ها می شود. در دو دهه قبل طبق تحقیقات سازمان زمین شناسی بر روی دشت ها با مطالعه میزان نشست دشت ها اعلام گردید اگر به ازاء ۱ سانتی متر نشست در سطح ۱ متر آبخوان برای همیشه از بین خواهد رفت با توجه به فرونشست های شدید عملاً سفره آبی هر سال کوچکتر و کوچکتر می شود و این نشانه اساسی در کوتاهی عمر چاه ها می باشد. در بخش حفاری چاه متناسب با شرایط محل حفر آبرفت، ریزشی، سازند و یا آهک نوع دستگاه توسط کارفرما مشخص می گردد.

۲- در بخش حفاری، لوله گذاری، مشبک، گراول پکینگ و پمپاژ توسط شرکت حفاری انجام می شود شرکت حفار با مجوز دریافتی از کارفرما، نظارت مشاور، ناظر عالی و ناظر مقیم اجرای عملیات را به عهده دارد اما مواردی که امکان قصور و کوتاهی در انجام آن می تواند موجب کوتاه شدن عمر چاه شود توجه خاص به شستشو و پیستون زنی، نوع و ضخامت لوله، نوع مشبک و پمپاژ چاه می باشد که مشخصات فنی و زمان انجام با نظر کارفرما انجام می شود و شرکت حفار مجری خواسته کارفرما می باشد. در این بخش گاهی به علت عدم تأمین اعتبار کافی در موارد ذکر شده تغییراتی ایجاد می شود و زمان آن کمتر از نیاز پروژه خواهد بود مثلاً ساعت شستشو با پمپ دستگاه، پیستون زنی و پمپاژ این موارد در خصوص چاه های بافت ریزدانه می تواند باعث عدم فیلتراسیون کامل چاه و متعاقباً ماسه دهی و تخریب چاه شود ضمن اینکه عوامل دیگر در طول پروسه این روند را می تواند تسریع کند.

لوگ لوله گذاری و تعیین محل نصب پمپ که به علت افت سطح آب زیرزمینی و یا افزایش عمق تغییر می کند و این مورد در چاه های با لایه های ریز دانه سبب آسیب جدی به چاه می شود. نوع لوله فولادی، U.P.V.C یا V.Wire با توجه به نوع زمین و لایه های حفاری شده حائز اهمیت می باشد. در لوله های فولادی ضخامت لوله و آلیاژ می بایست مد نظر قرار گیرد در لوله های U.P.V.C طبق استاندارد بر اساس عمق ضخامت تعریف می شود. چون رزوه های لوله متناسب با افزایش عمق می بایست قدرت گیرش و نگهداری را داشته باشد.

در لوله های U.P.V.C و V.Wire به علت بالا بودن ردیف مشبک و همچنین شبکه های افقی در زمان افت سطح آب مین کمتری از آبدگیری لوله از دسترس خارج شود در صورتیکه در لوله های فولادی مشبک به صورت طولی و سطح گیری از شبکه را می پوشاند و در موقع افت سطح آب بخش بیشتری از سطح شبکه غیرقابل استفاده می گردد.

۳- در بخش تجهیز: چنانچه منصوبات مناسب با میزان آبدهی چاه استفاده نشود و یا پمپ در مکان مناسب جهت برداشت قرار نگیرد می تواند باعث کوتاه شدن عمر چاه شود در چاه هایی با بافت ریزدانه محل قرار گرفتن پمپ و آرایش مشبک در بخش پایینی بسیار دشوار است. در زمان شروع به کار پمپ به علت جریان سریع آب چنانچه پمپ در مقابل لوله مشبک و یا فاصله کم قرار گیرد سبب به هم ریختگی لایه شده و باعث ماسه دهی چاه خواهد شد در این بخش با کم کردن ردیف مشبک در زیر پمپ و افزایش تدریجی مشبک می تواند جریان تند استارت را به جریان خطی تبدیل کند و از روان شدن ماسه جلوگیری شود.

۴- در بخش بهره برداری: با افزایش تقاضای مشترکان به منظور تأمین آب مورد نیاز و یا خارج شدن چاهی از مدار تولید بر روی چاه های فعال مورد بهره برداری فشار مضاعف و یا برداشت خارج از ظرفیت انجام می شود که اثرات سوء عملکرد بر روی چاه خواهد بود و عمر مفید پایین خواهد آمد.

در پایان، نتیجه قصور در بررسی عملکرد استحصال آب، عکس العمل آن مستقیماً بر روی چاه خواهد بود و معمولاً در زمان خرابی چاه شرکت حفار به عنوان متهم ردیف اول مورد مواخذه قرار می گیرد. در صورتیکه تنها بخشی که در آن حفار هیچگونه نظر شخصی را اعمال ننموده و با نظارت کارفرما کار را انجام می دهد مقصر اصلی ماجرا خواهد بود در صورتیکه مادامی که چاه، حفاری، لوله گذاری قائم و قابل نصب پمپ انجام می شود و با نصب منصوبات پمپاژ بعد از چند روز تا صاف شدن آب و قابل قبول بودن کیفیت آن توسط ناظر تأیید می گردد در حقیقت تحویل قطعی می باشد اما در زمان دوره تضمین هر اشتباه و یا مشکلی پیش آید، تماماً به پیمانکار انتقال داده می شود امید است با همکاری و همیاری و همدلی بتوانیم در اجرای وظایف و رفع مشکلات عمل نمائیم.

۴- نتیجه گیری

در نتیجه بررسی فرآیند حفاری و بهره برداری از چاه های آب، مشخص شد که کوتاه شدن عمر مفید چاه ها ناشی از مجموعه ای از عوامل زنجیره ای در تمامی مراحل اجرای پروژه

می باشد. از نبود مطالعات مکان یابی علمی و بی توجهی به شرایط زمین شناسی تا انتخاب نادرست نوع دستگاه حفاری، نقص در لوله گذاری و گراول پکینگ، عدم تناسب منصوبات با ویژگی های چاه، و بهره برداری خارج از ظرفیت، همگی نقش مؤثری در افت کارایی و تخریب زود هنگام چاه دارند. از سوی دیگر، محدودیت های قانونی و مالکیتی و ضعف نظارت بر برداشت های غیرمجاز نیز این چالش ها را تشدید کرده اند. برای حفظ منابع آب زیرزمینی و افزایش عمر مفید چاه ها، لازم است

بازنگری جدی در نظام صدور مجوز، مطالعات زمین شناسی پیش از بحران، نظارت فنی دقیق بر حفاری، و آموزش مستمر پیمانکاران و بهره برداران انجام گیرد. همچنین، شفاف سازی نقش ها و مسئولیت ها در پروژه های حفاری می تواند از انتقال غیرمنصفانه بار مسئولیت به پیمانکاران جلوگیری کند. اتخاذ رویکردی جامع و هم افزا میان کارفرما، مشاور، ناظر و مجری حفاری، ضامن حفظ منابع آبی و کاهش خسارات ناشی از بهره برداری نادرست خواهد بود.

منابع

- شرکت مدیریت منابع آب ایران، ۱۴۰۰، راهنمای فنی حفاری و تجهیز چاه های آب زیرزمینی.
- سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۱۳۹۸، گزارش مطالعات فرونشست دشت های کشور.
- وزارت نیرو، ۱۴۰۲، استانداردهای طراحی، اجرا و بهره برداری از چاه های آب شرب.
- آبنمای کشور، ۱۴۰۱، آیین نامه نظارت بر حفاری و بهره برداری از چاه های آب.
- World Bank. (۲۰۲۱). Groundwater Management in Water-Stressed Regions.
- FAO. (۲۰۲۰). Sustainable Groundwater Development: Best Practices and Tools.

تجربیات پایداری‌سازی چاه‌های آب شرب در شرکت آب و فاضلاب استان البرز

علی جوادی

معاونت مهندسی و توسعه شرکت آب و فاضلاب استان البرز

چکیده

پایداری‌سازی چاه‌های آب به‌عنوان یکی از ارکان اصلی مدیریت منابع آب زیرزمینی در شرایط کنونی کشور، اهمیتی حیاتی دارد. استان البرز که طی سال‌های اخیر شاهد رشد سریع جمعیت و توسعه شهری بوده است، با مشکلات متعدد در زمینه بهره‌برداری از چاه‌های آب مواجه می‌باشد. مهم‌ترین مشکلات شامل کاهش آبدهی به دلیل افت شدید آب‌زیرزمینی، بروز گرفت جداره ناشی از نوسانات جابجایی و خوردگی، ماسه‌دهی و ورود ذرات معلق به درون چاه و افزایش آلودگی‌های میکروبی از جمله نارسایی‌ها است. این مشکلات اگر بصورت علمی مدیریت نشوند، می‌توانند موجب کاهش عمر مفید چاه‌ها، افزایش هزینه‌های نگهداری و تهدید سلامت عمومی شوند. شرکت آبفا البرز در راستای رفع این معضلات اقدام به اجرای مجموعه‌ای از عملیات پایداری‌سازی نموده است. در این پژوهش، ضمن بررسی فرآیند طراحی، اجرا و پایش عملیات، روش‌هایی چون تسمه‌گذاری فولادی ST^{۵۲}، سیمانسیون چند مرحله‌ای با دوغاب سیمان پرتلند، نصب لوله هادی، اجرای فونداسیون بتنی و آزمایش‌های دقیق پمپاژ معرفی می‌شوند. همچنین مطالعه موردی چاه مهرشهر ارائه شده که نشان می‌دهد اجرای صحیح این اقدامات منجر به افزایش عمر مفید چاه‌ها، بهبود کیفیت آب شرب و کاهش هزینه‌های بلند مدت می‌گردند.

واژه‌های کلیدی: پایداری‌سازی چاه، سیمان‌کاری، تسمه‌های فولادی، لوله‌ی هادی، شرکت آب استان البرز، مدیریت منابع آب زیرزمینی

Abstract

Well stabilization is considered one of the fundamental components of groundwater resource management in today's context. Alborz Province, which has experienced rapid population growth and urban development in recent years, faces several challenges in the operation of drinking water wells. The main issues include discharge reduction due to declining groundwater levels, casing failure caused by lateral pressure and corrosion, sand pumping and intrusion of suspended particles, and increasing chemical contamination, particularly nitrate. If not scientifically managed, these problems may reduce the service life of wells, increase maintenance costs, and threaten public health.

To address these challenges, the Alborz Water and Wastewater Company has carried out a series of stabilization measures. This paper reviews the planning, implementation, and monitoring processes, highlighting techniques such as ST^{۵۲} steel strapping, multi-stage cementation using Portland cement slurry, conductor casing installation, concrete foundation anchoring, and detailed pumping tests. A case study of the Mehrshahr well demonstrates that these measures extended well service life, improved drinking water quality, and reduced long-term

Keywords: Well stabilization, Cementation, Steel straps, Conductor casing, Alborz Water Company, Groundwater management.

۱- مقدمه

- ماسه‌دهی و ورود ذرات ریز، که موجب گرفتگی پمپ و کاهش کیفیت آب می‌شود.

- آلودگی‌های شیمیایی، به‌ویژه افزایش غلظت نترات ناشی از نفوذ پساب‌های خانگی و کودهای کشاورزی.

- پیامدهای زیست‌محیطی، مانند فرونشست زمین و کاهش پایداری اکوسیستم.

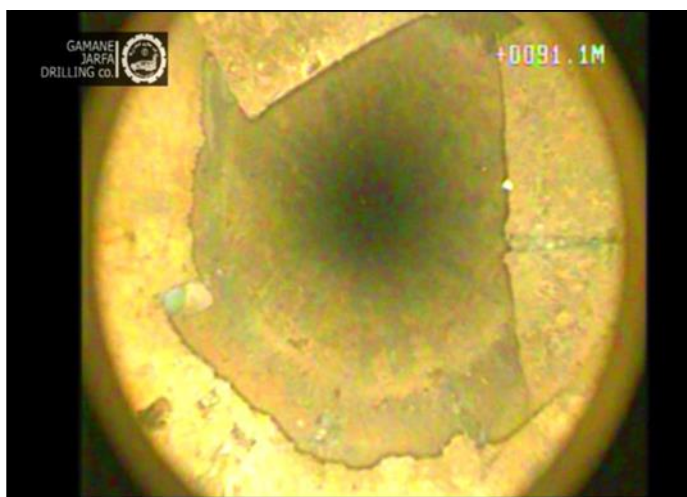
پایداری‌سازی چاه‌ها نه تنها به‌معنای تقویت جداره و افزایش عمر آن‌هاست، بلکه نقش مؤثری در مدیریت پایدار منابع آب و حفاظت از سلامت عمومی جامعه دارد. شرکت آبفا البرز در طی سال‌های اخیر پروژه‌های متعددی در این زمینه اجرا کرده و توانسته است الگوی مناسبی برای سایر استان‌ها ارائه نماید.

ایران از دیرباز با مشکل کم‌آبی و محدودیت منابع سطحی روبه‌رو بوده است. در بسیاری از مناطق کشور، چاه‌های آب تنها منبع تأمین آب شرب و کشاورزی به‌شمار می‌روند. استان البرز به دلیل موقعیت جغرافیایی ویژه، تمرکز جمعیتی و رشد سریع شهرنشینی، بیش از ۷۰ درصد آب شرب خود را از طریق چاه‌هایی با آب زیرزمینی تأمین می‌کند.

اما این چاه‌ها در دهه‌های اخیر با تهدیدهای مختلفی روبه‌رو بوده‌اند:

- بریده‌گی و تخریب جداره: ناشی از فشارهای جانبی زمین و خوردگی فلزی.

- افت سطح ایستابی: به دلیل برداشت بی‌رویه و کاهش بارندگی‌های سالانه.



شکل ۱ - فرآیند کلی طرح‌ریزی و اجرای پروژه‌های تأمین آب در شرکت آبفا البرز (برگرفته از گزارش)

۲- روش کار

۱. مطالعات مقدماتی

- مکان‌یابی به کمک مطالعات ژئوفیزیک (ژئوالکتریک و لرزه‌ای).
- بررسی کیفیت آب‌های اطراف شامل نترات، سختی، هدایت الکتریکی.

- تحلیل جمعیتی و الگوی مصرف آب.

۲. طراحی فنی و اخذ مجوزها

- نصب تسمه‌های فولادی ST۵۲ با ابعاد استاندارد و جوشکاری طبق API ۱۱۰۴
- سماتانسون چندمرحله‌ای با دوغاب سیمان پرتلند برای آب‌بندی.
- نصب لوله هادی برای کاهش ورود ذرات معلق.
- اجرای فونداسیون بتنی برای مهار لوله جدار.
- ۵. آزمایش و پایش
- شست‌وشوی کامل چاه برای حذف ذرات ریز.
- آزمایش پمپاژ مرحله‌ای برای تعیین ضریب بهره‌دهی آبخوان.
- آزمایش پمپاژ ۲۴ ساعته برای تعیین دبی بهینه.
- آزمایش‌های کیفی شامل سنجش نیترات، PH، سختی و هدایت الکتریکی.

- طراحی چاه با توجه به عمق و ویژگی‌های زمین‌شناسی.
- انتخاب قطر و ضخامت لوله‌های جدار بر اساس استاندارد API ۵L PSL۲
- تنظیم اسناد پیمان و اخذ مجوزهای قانونی.
- ۳. حفاری و تجهیز چاه
- اجرای گمانه اولیه با دستگاه‌های روتاری و ضربه‌ای، کاروتاژ و چاه‌پیمایی برای شناسایی دقیق لایه‌ها.
- نصب لوله‌های جدار فولادی.
- اجرای گراول‌پک برای جلوگیری از ماسه‌دهی.

۴. اقدامات پایدارسازی



شکل ۲ - دستورالعمل چاه مهرشهر (گرفته از

تسمه‌گذاری و لوله جدار در گزارش)

۳- بحث و تجزیه و تحلیل تحلیل فنی

- تسمه‌گذاری فولادی مانع ریزش و بریده‌گی جدار شد.
- سیمان‌تانسون مانع نفوذ آلودنده‌ها گردید.
- لوله هادی موجب کاهش ماسه‌دهی و تثبیت جریان آب شد.
- مقایسه هزینه‌ها نشان داد اجرای پایدارسازی حدود ۴۰٪ ارزان‌تر از حفاری مجدد است.

تحلیل زیست‌محیطی و اجتماعی

- جلوگیری از نفوذ پساب و کاهش آلودگی به سفره.
- کاهش احتمال بیماری‌های ناشی از نیترات.
- افزایش رضایت و اعتماد عمومی نسبت به خدمات شرکت آبفا.

مطالعه موردی: چاه مهرشهر

چاه شماره ۶۶ مهرشهر با مشکل بریدگی جدار مواجه شد. اقدامات اجرا شده شامل:

تحلیل اقتصادی

- هزینه پایدارسازی در کوتاه‌مدت بالاست.
- در بلندمدت موجب صرفه‌جویی و جلوگیری از حفر چاه جدید می‌شود.

- ۱. نصب تسمه‌های فولادی ST۵۲.
- ۲. اجرای سیمان تانسون کامل.
- ۳. نصب لوله هادی.
- ۴. تدوین دستورالعمل‌های بومی برای پایدارسازی.
- ۵. بررسی روش‌های نوین مانند liner installation و resin injection.

۶- نتیجه‌گیری و پیشنهادات

دستاوردها

۱. افزایش عمر مفید چاه‌ها تا بیش از ۱۰ سال.
۲. بهبود کیفیت آب و کاهش آلاینده‌ها.
۳. غلظت نیترات به زیر حد مجاز ملی رسید.
۳. کاهش هزینه‌های نگهداری و بهره‌برداری.
۴. افزایش اعتماد اجتماعی به خدمات.

۷- پیشنهادات آینده

- توسعه سامانه‌های پایش هوشمند برای دبی و کیفیت آب.
- استفاده از مواد نوین با مقاومت بیشتر در برابر خوردگی.

منابع

- مقررات ملی ساختمان، مبحث ۱۶ (تأسیسات بهداشتی).
- استانداردهای API ۱۱۰۴ و PSL۲ / L۵۰ مربوط به لوله‌های فولادی و جوشکاری.
- Bear, J. (۱۹۷۹). *Hydraulics of Groundwater*. McGraw-Hill.
- Driscoll, F.G. (۱۹۸۶). *Groundwater and Wells*. Johnson Filtration Systems.
- Todd, D.K., & Mays, L.W. (۲۰۰۵). *Groundwater Hydrology*. Wiley.

کاربرد چاه‌پیمایی در افزایش بهره‌وری چاه‌های آب شرب

ابوالقاسم غفاری خشک‌ناب

کارشناس ارشد آب‌های زیرزمینی (متخصص کاروتاژ)

چکیده

عملیات چاه‌پیمایی کاربردی‌ترین و کم هزینه‌ترین روش شناسایی طبقات زمین می‌باشد. پایین رفتن سطح ایستابی در اکثر دشت‌های کشور، پیشروی آب‌های شور و شور شدن چاه‌ها در بعضی دشت‌ها و بالا رفتن شدید هزینه‌های حفاری و تکمیل ساختمان چاه و بهره‌برداری از آن ایجاب می‌کند به چاه به عنوان یک سازه مهندسی پر هزینه نگریسته شود. چاه‌پیمایی یک متد بسیار دقیق برای طراحی و تکمیل آگاهانه چاه می‌باشد و انجام آن نسبت به هزینه احداث چاه و میزان تأثیرگذاری در بهره‌وری و کیفیت چاه‌پیمایی نه تنها مقرون به صرفه، بلکه دارای هزینه بسیار اندک می‌باشد. به عبارتی چاه‌پیمایی را می‌توان به مثابه روشن نمودن چراغ در اتاق تاریکی دانست. نگارنده با دارا بودن بیش از ۲۵ سال تجربه در زمینه حفاری و چاه‌پیمایی و انجام آزمایش کاروتاژ بیش از یک هزار و پانصد حلقه چاه (عمدتاً آب شرب و مطالعات)، تجربیات و دانسته‌های خود را در این نوشتار به کار گرفته است.

واژه‌های کلیدی: چاه‌پیمایی، کاروتاژ، نفوذپذیری، آبدهی چاه، سلف پتانسیل.

Abstract

Well logging represents one of the most effective and economical techniques for characterizing subsurface formations. The progressive decline of groundwater tables across many plains in the country, the encroachment of saline water and subsequent salinization of wells in certain regions, along with the escalating costs of drilling, well construction, and operation, highlight the necessity of treating wells as costly engineering structures. In this context, well logging serves as a highly precise tool for the informed design, development, and completion of wells. Considering its minimal expense relative to overall drilling costs and its substantial impact on both productivity and water quality, well logging is not only cost-effective but also indispensable. It may be likened to switching on a light in an otherwise dark room, enabling well-informed decisions in groundwater development. Drawing upon more than ۲۵ years of professional experience in drilling and well logging, and with over ۱,۵۰۰ geophysical logging tests conducted (primarily on drinking-water supply and research wells), the author presents his insights and expertise in this paper.

Keywords: Well logging, geophysical, logging, aquifer permeability, well, performance, self-potential.

۱- مقدمه

با افزایش بهره‌برداری از چاه‌های آب، در اکثر دشت‌ها سطح ایستابی به شدت افت کرده و استحصال آب از طبقات پایینی که نسبت به طبقات بالایی فشرده‌تر و دارای نفوذپذیری کمتر می‌باشند، صورت می‌پذیرد. لذا برداشت آب در چنین شرایطی مستلزم طراحی دقیق بوده و به روش سنتی قدیمی و صرفاً با کندن یک چاه با مشخصات فنی ضعیف، کاربردی و پایدار نخواهد بود.

چاه‌پیمایی مطالعه ژئوفیزیکی درون چاهی است که بلافاصله پس از حفاری گمانه با قطر مناسب و به منظور تفکیک لایه‌های زمین از نظر دانه‌بندی، نفوذپذیری، کیفیت سیال موجود در طبقات زمین و نیز جنس طبقات انجام می‌گیرد. ادامه عملیات و تکمیل ساختمان چاه از نظر عمق مناسب، مسدود نمودن لایه‌های با کیفیت سیال نامطلوب، مهار آب‌های سطحی آلوده کننده، مقدار مشبک مورد نیاز، محل تعبیه لوله‌های مشبک و نیز جای مناسب پمپ بهره‌برداری بر اساس نتایج کاروتاژ انجام می‌پذیرد. با ورود دستگاه‌های دیجیتالی به عرصه مطالعه آب، داده‌ها با دقت بیش‌تری ثبت می‌شود که این به نوبه خود موجب ارتقاء طراحی چاه‌های آب می‌گردد. بخشی از مزایای این نوع دستگاه‌ها نسبت به دستگاه‌های آنالوگ قدیمی به این شرح است:

- ۱- داشتن دقت زیاد در ثبت داده‌ها و عمق
- ۲- امکان ارسال الکترونیکی نتایج
- ۳- ذخیره داده‌ها به صورت رقمی و اعداد (بدون دخالت اپراتور دستگاه)
- ۴- امکان برداشت لاگ‌های نرمال کوتاه و بلند
- ۵- امکان رسم نمودار با مقیاس و فرمت‌های متفاوت
- ۶- امکان برداشت همه داده‌ها با یک بار ران کردن سوند

۲- تعریف بهره‌وری

استفاده بهینه از امکانات موجود و میزان خروجی و سود نسبت به هزینه‌ها را بهره‌وری می‌گویند. بهره‌وری چاه آب به طراحی آن بستگی دارد. طراحی صحیح چاه باعث افزایش طول عمر، کاهش هزینه‌ها و استحصال بهینه آب متناسب با نیاز کارفرما و شرایط منطقه می‌شود.

۳- ضرورت انجام چاه‌پیمایی

عمده دلایل انجام کاروتاژ عبارتند از:

- ۱- آلودگی ناشی از ورود پساب شهری و... به چاه
- ۲- ماسه دهی و کم بودن عمر چاه‌ها
- ۳- شور شدن سفره‌ها
- ۴- افت شدید سطح ایستابی و بالا رفتن هزینه برداشت
- ۵- گران شدن خدمات حفر چاه و منصوبات بهره‌برداری
- ۶- تبدیل شدن چاه به یک سازه مهندسی و پر هزینه

۴- اهداف عملیات چاه‌پیمایی

از نتایج کاروتاژ برای ادامه عملیات و نحوه تکمیل ساختمان چاه استفاده شده و برخی از اهداف عبارتند از:

- ۱- شناسایی چاه‌های فاقد آبدهی و جلوگیری از ادامه حفاری
- ۲- تشخیص حصول و یا عدم حصول آبدهی مورد انتظار در اوایل پروژه و پیشنهاد ادامه حفاری در صورت نیاز
- ۳- تشخیص چاه‌های دارای آب شور و غیر قابل مصرف
- ۴- شناسایی لایه جداکننده برای مهار آب‌های سطحی آلوده
- ۵- شناسایی لایه‌های مستعد ماسه‌دهی
- ۶- تشخیص مقدار و محل نصب لوله‌های مشبک
- ۷- تفکیک لایه‌های شور از لایه‌های شیرین



شکل ۱- تصاویر انجام عملیات چاه پیمایی با دستگاه دیجیتالی

۵-روش و مراحل انجام کار

در سیستم حفاری روتاری که اکثر چاه‌ها به این روش حفر می‌گردد ابتدا گمانه با قطر مناسب تا عمق نهایی حفاری شده و بلافاصله عملیات چاه پیمایی با ابزار آلات متشکل از کابل مخصوص، لپ تاپ و نرم افزار، دستگاه پردازش داده، ریموت، سوند و دستگاه کاروتاژ دارای وینچ که بر روی ماشین نصب گردیده است، انجام می‌پذیرد. سوند تا عمق نهایی و انتهای گمانه رانده می‌شود. برداشت داده‌ها با حرکت سوند در جهت بالا به پایین و در ادامه از پایین به بالا انجام می‌گیرد. برداشت گامای طبیعی، مقاومت تک نقطه‌ای، مقاومت نرمال کوتاه و مقاومت نرمال بلند به صورت همزمان و در یک جهت و پتانسیل خودزا به صورت مستقل در جهت دیگر انجام می‌پذیرد. (معمولاً در حرکت از بالا به پایین لاگ سلف پتانسیل و در حرکت پایین به بالا مقاومت‌ها و گامای طبیعی برداشت می‌شود). داده‌ها پس از پردازش، به صورت اعداد ذخیره شده و با استفاده از نرم افزارهای تخصصی، به نمودار تبدیل شده و مورد تفسیر قرار می‌گیرد. در خاتمه الگوی تکمیل ساختمان چاه و نحوه تعبیه لوله مشبک ارائه می‌گردد.

۶-لاگ‌های متداول در کاروتاژ چاه‌های آب

دستگاه‌های دیجیتالی مورد استفاده برای انجام عملیات کاروتاژ قادر به برداشت داده‌های زیر هستند:

- سلف پتانسیل یا پتانسیل خودزا

لاگ پتانسیل خودزا شامل ثبت مداوم پتانسیل‌های طبیعی در قسمت‌های مختلف چاه نسبت به یک نقطه ثابت در روی زمین و نزدیک چاه است (معمولاً داخل چاله گل یا یک نقطه نزدیک دهانه چاه). این پتانسیل بین سیال داخل چاه و مواد جامد اطراف چاه به وجود می‌آید. لاگ پتانسیل خودزا برای تعیین ضخامت و مرز طبقات، جداسازی طبقات متخلخل از طبقات ناتراوا، میزان رس موجود در بین ذرات تشکیل دهنده رسوبات، تشخیص لایه‌های سنگی از جمله کربناته و آذرین بدون نفوذپذیری به کار می‌رود. پتانسیل خودزا از اختلاف ولتاژ جزئی در مرزهای تماس بین سیال داخل چاه و مواد جامد اطراف چاه حاصل می‌شود. این اختلاف پتانسیل نسبت به یک نقطه ثابت که از طریق اتصال به زمین در نزدیک چاه تامین می‌شود، اندازه‌گیری شده و بر حسب میلی ولت می‌باشد. منشاء پتانسیل خودزا عمدتاً حرکت سیال در داخل رسوبات متخلخل

(الکتروکنیتیک) و پدیده الکتروشیمیایی در مرز تماس گل حفاری با زون آغشته و آلوده به گل حفاری می‌باشد. بخش عمده پتانسیل خودزا مربوط به پدیده الکتروشیمیایی است و در اثر فعل و انفعالات سیال موجود در طبقات زمین و سیال گل حفاری با درجه شوری و غلظت‌های متفاوت از مواد تشکیل دهنده که در کنار هم در داخل گمانه قرار دارند، ایجاد می‌شود. کانی‌های رسی و مواد تشکیل دهنده سیال‌ها نیز با یونیزه شدن موجب ایجاد اختلاف پتانسیل در مقابل لایه‌های مختلف نسبت به نقطه ثابت روی زمین می‌شوند. زون‌های آلوده و آغشته با گل حفاری و نیز فاصله زون بکر یا تمیز از گمانه، بسته به عمق چاه، تحت فشار بودن و یا آزاد بودن سفره آب زیرزمینی، عمق سطح ایستابی، غلظت گل حفاری، میزان نفوذپذیری طبقه مورد نظر و... دارای ضخامت متفاوتی هستند لذا شعاع تجسس سوند دستگاه کاروتاژ و نیز قطر گمانه حفاری بایستی طوری انتخاب شود که اختلاف پتانسیل ایجاد شده در زون آلوده و آغشته و تمیز را به طور دقیق تجسس و اندازه‌گیری نماید. در چاه‌های دارای آب شور و لب شور بهتر است گمانه با قطر کم و در صورت امکان با قطر ۸ اینچ حفاری گردد تا زون آغشته با گل حفاری و تمیز از شعاع تجسس سوند دورتر واقع نشود و نیز بهتر است برای تهیه گل حفاری از آب شیرین استفاده شود تا میزان اختلاف شوری بین سیال گل حفاری و آب سفره به حداکثر برسد.

– مقاومت تک نقطه‌ای

لاگ مقاومت نقطه‌ای ساده‌ترین و قدیمی‌ترین سیستم لاگینگ است که میزان مقاومت لایه‌های اطراف گمانه را نسبت به عبور جریان الکتریسته اندازه‌گیری می‌نماید. به دلیل تک نقطه‌ای بودن این لاگ نسبت به لاگ‌های دیگر دارای شعاع تجسس کم و دقت اندازه‌گیری در تعیین مرز لایه‌ها می‌باشد. جریان توسط مولد در داخل سوند ایجاد می‌گردد و در داخل سیال و اطراف چاه از طریق یونیزه شدن سیال گل حفاری و آب زیرزمینی هدایت می‌شود. هر قدر مواد جامد و میزان شوری گل حفاری و آب زیرزمینی بیش‌تر باشد یونیزه شدن آسان‌تر بوده و جریان به سهولت هدایت می‌شود لذا شعاع تجسس به همان نسبت کاهش پیدا می‌کند. نتیجه آن که هر قدر میزان شوری و مواد جامد داخل گل حفاری کمتر باشد، شعاع تجسس سوند افزایش یافته و دقت داده‌ها بالا می‌رود. به همین دلیل بهتر است برای تهیه گل حفاری از آب شیرین استفاده شود. هدایت الکتریکی در لایه‌های رسی علاوه بر یونیزه شدن سیال، از طریق باردار شدن کانی‌های رسی نیز انجام می‌پذیرد. در لایه رسی دو مکانیسم انتقال جریان وجود داشته و جریان با

سهولت بیشتری هدایت می‌شود. لذا مقاومت در مقابل لایه رسی کمتر از طبقات دارای رس کمتر و یا بدون دانه رس می‌باشد. بیشترین مقاومت در مقابل لایه‌های سنگی سخت و بدون نفوذپذیری و نیز مقابل لایه‌های شن و ماسه سنگی بدون دانه رس و اشباع با سیال شیرین می‌باشد. تفکیک و تشخیص این دو لایه از همدیگر با استفاده از مقدار مقاومت و تفسیر همزمان و ترکیبی با لاگ‌های دیگر و لحاظ نمودن میزان شوری گل حفاری انجام می‌پذیرد. این لاگ بهترین لاگ برای تعیین مرز لایه‌ها بوده و اما به دلیل شعاع نفوذ کم جریان و تجسس کوتاه آن برای تعیین میزان نفوذپذیری کاربرد کمی دارد. به دلیل شعاع تجسس کم برای شناسایی لایه‌های با ضخامت کم نیز دقت بالایی دارد و جزو لاگ‌های ضروری در چاه‌پیمایی است.

– مقاومت نرمال

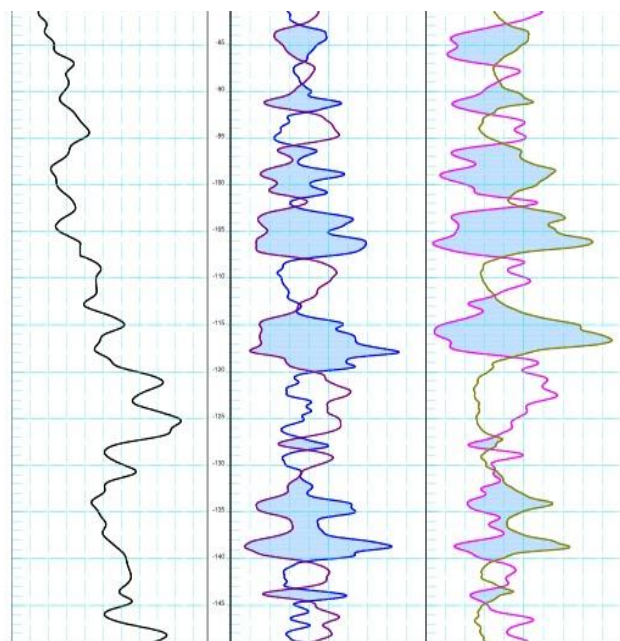
یکی از مقاومت‌های مهم که با دستگاه دیجیتال امکان برداشت آن وجود دارد، لاگ‌های نرمال کوتاه و نرمال بلند می‌باشد. مقاومت نرمال معمولاً با فواصل متفاوت الکترودها (۱۶ و ۳۲ اینچ) اندازه‌گیری می‌شود. فاصله متفاوت الکترودها موجب تفاوت در شعاع تجسس شده و نهایتاً میزان مقاومت ثبت شده متفاوتی را ارائه می‌دهند. اگر پلانی از چاه در نظر گرفته شود، زون یک مرکز پلان گل حفاری بسته به قطر چاه ۸ تا ۱۷ اینچ می‌باشد. زون دوم کیک حفاری با ضخامت کم و باز بسته به متغیرهای چاه و گل حفاری می‌باشد. زون سوم بعد از کیک حفاری قرار داشته و منطقه‌ای است که گل حفاری کاملاً به آن نفوذ کرده است. زون چهارم با فاصله بیش‌تر از گمانه واقع شده و مقدار گل حفاری نفوذ کرده به این قسمت نسبت به زون سوم کمتر است و فواصل بین دانه‌ها در این بخش عمدتاً با آب زیرزمینی پر شده است. زون پنجم و دورترین بخش نسبت به گمانه، زون بکر یا زون تمیز می‌باشد. گل حفاری به این بخش نفوذ نکرده است و تمامی تخلخل آن با سیال سفره پر شده است. مقاومت‌های تک نقطه‌ای، نرمال کوتاه و نرمال بلند در انتقال و هدایت جریان الکتریسته سهم متفاوتی از این زون‌ها دارند. هر چند ضخامت زون آلوده و آغشته بسته به فاکتورهای متعدد و متغیرهای چاه از جمله عمق و شوری گل حفاری متفاوت است، اما تفاوت در میزان سهم هر کدام از لاگ‌ها از زون‌های مختلف و با لحاظ نمودن یکسان نبودن مقاومت گل حفاری و سفره، موجب ثبت مقاومت متفاوت نسبت به هم می‌شوند و این تفاوت اساس تفسیر و تفکیک لایه‌ها از همدیگر می‌باشد. لاگ‌های نرمال کوتاه و نرمال بلند در کنار هم بیشتر برای تعیین دانه‌بندی، جنس طبقات، نفوذپذیری و میزان رس موجود در طبقات به کار

می‌رود و برای تعیین مرز لایه‌ها و شناسایی لایه‌های نازک به دلیل شعاع تاثیر زیاد، از دقت کمتری برخوردار است.

- گامای طبیعی

یکی از لاگ‌های مورد استفاده در کاروتاژ چاه‌های آب، لاگ گامای طبیعی است. بعضی از عناصر در طبیعت و ایزوتوپ‌های آنها دارای فعالیت هسته‌ای هستند و پرتوهای آلفا با بار مثبت، بتا با بار منفی و گاما با بار خنثی ساطع می‌کنند. توان نفوذ پرتو آلفا و بتا کم است و نمی‌توانند در طبقات نفوذ کنند اما توان نفوذ پرتو گاما بیش‌تر است و به راحتی می‌تواند از داخل طبقات و مواد جامد و گل عبور کرده و توسط گیرنده‌ها ثبت شود. لذا این پرتو برای استفاده در کاروتاژ انتخاب شده است. لاگ نوترون نیز می‌تواند در چاه‌پیمایی مورد استفاده قرار بگیرد و اطلاعات خوبی از زون اشباع را می‌توان از این لاگ به دست آورد. به دلیل محدودیت خاص، این لاگ و لاگ گاما-گاما در ایران در صنعت آب کشورمان مورد استفاده قرار نمی‌گیرند. برای بهره‌مندی از این دو لاگ، بایستی منبع آن در روی سوند تعبیه شود و با استفاده از تشعشعات و گسیل پرتو به سمت دیواره‌های چاه و اندازه‌گیری برگشت آن، اطلاعات بسیار مفیدی به دست آورد. در زون‌های اشباع شده لاگ نوترون کمکی زیادی به تشخیص و میزان تخلخل می‌نماید و لاگ گاما-گاما برای سنجش میزان فشردگی طبقات به کار می‌رود و به این دلیل به لاگ گاما-گاما، لاگ چگالی یا دانسیته هم می‌گویند. گامای طبیعی همان پرتوهای ساطع شده از اجسام و طبقات زمین است که توسط سنسور و گیرنده روی سوند اندازه‌گیری می‌شود یعنی هیچ نوع منبع گاما در روی سوند وجود نداشته و هیچ نوع پرتویی از طرف سوند به سمت اطراف و داخل چاه فرستاده نمی‌شود. یکی از فاکتورهای مهم در تعبیر و تفسیر لاگ‌های هسته‌ای، ماهیت آماری پرتوهای رادیو اکتیو می‌باشد. برای این کار یک ثابت زمانی تعریف می‌شود. ثابت زمانی عبارت است از زمانی که در طول آن از تعداد پالس‌های تشعشعی میانگین گرفته می‌شود و تنظیم آن در تمام دستگاه‌های کاروتاژ اهمیت دارد و این عمل توسط یک خازن و یک مقاومت تامین می‌گردد. این میانگین به عنوان مقدار گاما در یک نقطه از چاه لحاظ می‌گردد. سرعت لاگینگ می‌تواند روی دقت این میانگین تاثیر داشته باشد. اگر فاصله ثبت نمونه مقدار مشخص و ثابتی باشد، تعداد اعداد لحاظ شده در میانگین‌گیری در سرعت‌های مختلف متفاوت خواهد بود. لذا انجام لاگینگ هسته‌ای با سرعت کم نسبت به سرعت بالا از دقت بیشتری برخوردار است. گامای طبیعی ساطع شده از طبقات زمین عمدتاً حاصل پرتو پتاسم، توریوم و اورانیوم است. این عناصر در داخل

فلدسپارها و میکاها وجود دارند و نیز رس‌ها طی فرآیند تبادل یونی و جذب سطحی موجب می‌شوند این عناصر رادیو اکتیو بیشتر در طبقات رسی تجمع کنند. لذا میزان گامای طبیعی ساطع شده در مقابل لایه‌های رسی بیش‌تر از لایه‌های فاقد رس است. مهم‌ترین کاربرد لاگ گامای طبیعی در آب‌شناسی، برای تشخیص رسوبات دارای رس و نیز فاقد رس می‌باشد. دانه‌های رس سبب کاهش تخلخل و نفوذپذیری طبقات می‌شود. در مورد میزان گامای ساطع شده از طبقات قابل ذکر است در بعضی مناطق مثل اکثر قسمت‌های استان تهران و البرز وجود رسوبات با منشاء آذرین نیز موجب افزایش گامای طبیعی در لایه‌های درشت دانه و نفوذپذیر می‌شود. سازند کرج در ارتفاعات استان البرز و تهران و وجود توفیت و گلاکونیت در این سازند موجب افزایش میزان گامای طبیعی این رسوبات شده است. از طرفی جنس سخت توفیت‌ها موجب شده در طول زمان زمین‌شناسی و فرسایش آن، رسوبات دانه درشتی تشکیل دهند. لذا شناخت مفسر از زمین‌شناسی منطقه و تجربه کافی در تفسیر لاگ‌ها جهت دور بودن از خطای بزرگ ضروری است. و تفسیر صرفاً از روی لاگ گامای طبیعی می‌تواند عکس واقعیت را در ذهن مفسر تداعی نماید. این لاگ در کنار لاگ‌های دیگر قابل استناد بوده و در مناطقی که رسوبات منشاء آذرین ندارند (مثل استان سمنان) جزو بهترین لاگ‌ها برای تشخیص لایه‌های رسی، ماسه سنگی، نفوذپذیری و نیز تشخیص مرز لایه‌ها می‌باشد.



نمودار ۱ - چاه‌پیمایی و لایه‌های آبدار مشخص شده با رنگ آبی با استفاده از لاگ‌های گامای طبیعی و مقاومت‌ها در یکی از چاه‌های آب استان سمنان

زمین‌شناسی منطقه، محل وقوع چاه و عوامل خارجی اطراف چاه و نیز لحاظ نمودن شرایط هیدرولیکی و هیدروژئولیکی و حوزه آبریز و آبخیز منطقه و با کنار هم قرار دادن لاگ‌های به دست آمده از کاروتاز، تجربیات خود از چاه‌های اطراف و چاه‌های مشابه از نظر فنی و اولویت‌بندی به لاگ‌ها با لحاظ نمودن موارد بالا، اقدام به تعبیر و تفسیر نماید. تفسیر علاوه بر داشتن تجربه، دانش زمین‌شناسی و آب‌شناسی یک نوع مهارت است که بایستی در طول زمان به دست بیاید چون رفتار لاگ‌ها در مواردی غیر از انتظار ما در آن لایه و منطقه مورد نظر است.

۸- اثرات هندسی

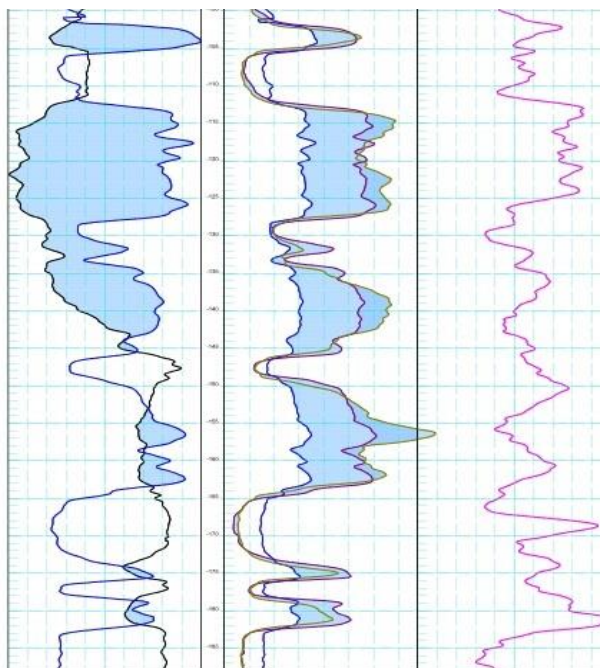
آنومالی‌های روی لاگ‌ها را که در اثر تغییرات محیطی ایجاد می‌شود، اثرات هندسی می‌گویند و در تعبیر و تفسیر لاگ‌ها بایستی مورد توجه قرار گیرد. برخی از اثرات هندسی به شرح ذیل هستند:

۱- اثر شعاع تجسس: تفسیر درست لاگ‌ها منوط به داشتن درک صحیح از شعاع زون مورد مطالعه است. بایستی لحاظ شود که کدام لاگ از چه زون‌هایی متأثر شده و هر زون چه سهمی را در داده‌های به دست آمده دارد. بدیهی است این شعاع در هر لاگ نسبت به عمق، لیتولوژی، میزان تحت فشار بودن سفره، میزان شوری آب سفره و گل حفاری، چگالی گل حفاری و... متفاوت است.

۲- اثر ضخامت لایه: حجم مواد تحت اندازه‌گیری سوند در یک نقطه مشخص به ضخامت لایه نیز بستگی دارد. در لایه‌های نازک بخشی از سنگ‌های بالا و پایین لایه مورد نظر نیز در اندازه‌گیری مشارکت داشته و عدد به دست آمده حاصل اثر همه آنهاست و این اثر در لاگ‌های مختلف متفاوت است. با افزایش شعاع تجسس، این اثر نیز بیشتر می‌شود و از دقت لاگ کاسته می‌شود. لذا برای تشخیص لایه‌های نازک، لاگ‌های با شعاع تاثیر کمتر مورد استناد و توجه بیشتر قرار می‌گیرد و مفسر بایستی اثر آن را روی لاگ‌های با شعاع تجسس بیشتر لحاظ نماید.

۳- اثر قطر گمانه و گل حفاری: هر قدر قطر گمانه کمتر باشد، سوند و سنسورها و الکترودهای اندازه‌گیری به دیواره چاه نزدیک‌تر بوده و اثر گل حفاری کمتر می‌شود. لذا دقت لاگ-های گمانه‌ها با قطر کمتر از لاگ‌های گمانه‌های با قطر بیش‌تر، بیش‌تر است. اثر قطر چاه در لایه‌های بالیتولوژی و کیفیت سیال مختلف، متفاوت است.

۴- اثر حفاری: حفاری موجب بهم ریختگی اطراف گمانه از نظر تخلخل و... می‌شود و مفسر باید اثرات آن را در تفسیر لحاظ نماید.



نمودار ۲ - چاه پیمایی و لایه‌های آبدار مشخص شده با رنگ آبی با استفاده از لاگ سلف پتانسیل و مقاومت‌ها در یکی از چاه‌های آب شرب استان تهران

۷- تفسیر لاگ‌های چاه پیمایی

لاگ‌های چاه پیمایی در کنار هم مورد استناد و تفسیر قرار می‌گیرند. مفسر بایستی تجربه و دید زمین‌شناسی کافی در مورد منطقه داشته باشد. لاگ سلف پتانسیل بسیار حساس می‌باشد و در داخل شهر و کنار تاسیسات برقی، ترانس برق، ریل راه آهن، جاده پر تردد، ایستگاه رادیویی، دکل‌های برق فشار قوی و... دقت خود را از دست می‌دهد. لذا با آنکه در محل‌های دور از شهر و دور از تاسیسات دست بشر، لاگ سلف پتانسیل جزو بهترین لاگ‌ها برای تشخیص شوری، نفوذپذیری و... می‌باشد، در داخل شهر و کنار تاسیسات فلزی و... بایستی با احتیاط به آن استناد کرد. لاگ گامای طبیعی نسبت به عوامل خارج از چاه حساس نیست اما منشاء رسوبات تشکیل دهنده محل چاه و تشکیلات بالادستی منطقه بسیار مهم و تعیین کننده است. در مواردی که به دفعات نیز اتفاق می‌افتد در مقابل لایه‌های درشت دانه و پر آب نیز مقدار بیشتری را نشان می‌دهد چنانچه مفسر از زمین‌شناسی منطقه اطلاع کافی نداشته باشد، ممکن است یک لایه درشت دانه اشتباهاً لایه رسی نفوذناپذیر تفسیر گردد. لاگ‌های گاما از عوامل خارج از چاه تاثیر چندانی نمی‌پذیرند و در شرایط عادی جزو بهترین لاگ برای تفسیر و تشخیص لایه‌های زمین می‌باشند. پس مفسر بایستی ضمن لحاظ نمودن

۹- نتیجه گیری

کاهش ماسه‌دهی چاه در اثر کاهش گرادیان هیدرولیکی و مزایای دیگر و نهایتاً موجب افزایش بهره‌وری می‌شود.

با انجام عملیات الکتروکاروتاژ که هزینه آن در مقایسه با هزینه حفاری و بهره‌برداری بسیار اندک بلکه ناچیز می‌باشد، می‌توان با شناخت و تفکیک لایه‌های زمین به صورت آگاهانه به ادامه عملیات و تکمیل ساختمان چاه اقدام نمود. تکمیل آگاهانه چاه موجب کاهش هزینه، افت کم سطح آب در طول بهره‌برداری و نهایتاً کاهش هزینه استحصال آب، افزایش طول عمر چاه،

منابع

- داده‌های چاه‌پیمایی چاه‌های آب شرب استان تهران و البرز در طول بیش از ۱۰ سال
- داده‌های چاه‌پیمایی گمانه‌های مطالعاتی اطراف پالایشگاه تهران در زون با احتمال آلودگی به مواد نفتی
- داده‌های چاه‌های کشاورزی مواجه با مشکل شوری در استان قم و برخی مناطق استان تهران
- آراین‌فر، ع، (۱۳۹۶). چاه‌پیمایی و پتروفیزیک کاربردی. انتشارات آبیژ، تهران.
- انصاری، ع، (۱۳۷۶). چاه‌پیمایی در هیدروژئولوژی. انتشارات دانشگاه یزد، یزد.
- صمدی، ل، (۱۳۹۵). حفاری و نمودارهای چاه‌پیمایی (اصول و روش‌ها). انتشارات جهاد دانشگاهی واحد دانشگاه خوارزمی، تهران.
- کلاگری، ع، (۱۳۷۱). اصول اکتشافات ژئوفیزیکی. انتشارات تبریز، تهران.
- رمضی، ح، (۱۳۷۷). چاه‌پیمایی. انتشارات صنم، تهران.
- رمضی، ح، (۱۳۹۴). چاه‌پیمایی. انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران.
- موحد، ب، (۱۳۷۸). مبانی چاه‌پیمایی. انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران.

اهمیت توسعه آزمایش پمپاژ چاه‌های عمیق آب شرب

نورالدین پیری

کارشناس زمین شناسی و متخصص چاه پیمایی (کاروتاژ الکتریک)

چکیده

توسعه چاه فرآیندی است که پس از اتمام حفاری و لوله‌گذاری چاه انجام می‌شود. هدف اصلی آن حذف ذرات ریزدانه (سیلت و رس) از سازند آبدار در مجاورت مشبک‌های چاه و دیواره چاه است. در طول فرآیند حفاری، به دلیل استفاده از گل حفاری یا ورود ذرات ریز، منافذ سازند آبدار و گراول‌پک (در صورت وجود) مسدود می‌شوند. توسعه چاه با ایجاد تلاطم و نوسان در جریان آب، این ذرات را به داخل چاه کشانده و سپس از آن خارج می‌کند. آزمایش پمپاژ فرآیند اندازه‌گیری واکنش آبخوان و چاه به پمپاژ آب با دبی مشخص است. این آزمایش یکی از اساسی‌ترین ابزارها در هیدروژئولوژی و مهندسی آب زیرزمینی است و در نهایت مشخص می‌شود که راهبرد اتخاذ شده براساس نتایج حاصل از چاه پیمایی (کاروتاژ الکتریک) تا چه حد نتیجه بخش بوده است

واژه های کلیدی: آزمایش پمپاژ ، توسعه چاه ، گزارش آزمایش پمپاژ ، کاروتاژ الکتریک، چاه پیمایی

Abstract

Well development is a process performed after drilling and casing a well. Its primary goal is to remove fine-grained particles (silt and clay) from the water-bearing formation adjacent to the well screen and wellbore. During the drilling process, the pores of the water-bearing formation and the gravel pack (if present) become clogged due to the use of drilling mud or the ingress of fine particles. Well development dislodges these particles and draws them into the well by creating turbulence and oscillation in the water flow, then removes them. a pumping test is a process of measuring the response of an aquifer and a well to pumping water at a specific discharge rate. This test is one of the most fundamental tools in hydrogeology and groundwater engineering. Ultimately, it determines the effectiveness of the strategy adopted based on the results obtained from well logging (electrical logging).

Keywords: Pumping Test, Well Development, Pumping Test Report, Electrical Logging, Well Logging

۱- مقدمه

دستگاه آزمایش دارد در اینجا ابتدا به توسعه چاه بوسیله دستگاه آزمایش پمپاژ می پردازیم.

۲- اهداف شستشو و پیستون زنی چاه با دستگاه حفاری

شستشوی و پیستون زنی (Surging or Swabbing) چاه با دستگاه حفاری یکی از روش های توسعه و احیای چاه (Well Development) است که هدف اصلی آن افزایش و بهبود آبدهی چاه و افزایش عمر مفید پمپ و چاه است. این عملیات با ایجاد نوسانات فشار در ستون آب داخل چاه، باعث حرکت ذرات ریز و رسوبات از داخل سازند آبدی و مجاری فیلتر و مشبک های چاه به داخل چاه شده و سپس این مواد از چاه خارج می شوند.

آزمایش پمپاژ یکی از مهمترین مراحل پس از حفر چاه است که برای ارزیابی ، دقیق ظرفیت بهره برداری ، مشخصات هیدرولیکی سفره آب زیر زمینی ، و تعیین عملکرد چاه انجام شود. این آزمایش نقش تعیین کننده ای در طراحی سیستم بهره برداری ، انتخاب پمپ مناسب ، ارزیابی پتانسیل آبدی منطقه و پایش کیفی منابع آبی دارد.

در این مبحث قصد داریم به مسائلی پردازیم که در حال حاضر رعایت نمی گردد و منشا ایجاد مشکلات مختلفی در عملکرد چاه و همچنین منصوبات آزمایشی می گردد. با نظر به اینکه توسط منصوبات آزمایش پمپاژ هم عملیات شستشو و توسعه چاه انجام می گیرد و هم آزمایش پمپاژ ، اما بلحاظ ارتباط مستقیمی که توسعه چاه توسط دستگاه حفاری بر عملکرد



شکل ۱- شستشوی پیستون

۳- چالش ها و الزامات توسعه چاه با دستگاه حفاری

در صورتی که کاتینگ های ناشی از عملیات حفاری کاملاً از چاه خارج نگردد ، در بسیاری از موارد دستگاه آزمایش پمپاژ قادر

به تخلیه آن نخواهد بود و در مواردیکه حجم این بار زیاد باشد موجب گل گرفتن پمپ توربینی و در نتیجه عدم عملکرد آن می گردد. در چنین مواردی ناگزیر به نصب پمپ در اعماق بالاتر خواهیم بود. با این ترفند ما چاه را شستشو و پمپاژ خواهیم کرد. اما چندین متر از چاه که برای آن بابت حفاری، تهیه و نصب لوله جدار ... هزینه گردیده است از دست می دهیم و مهم تر اینکه ساختار ساختمان طراحی شده برای چاه از بین رفته و مشکلات زیر را به وجود می آورد.

(۱) در صورت گل گرفتن پمپ در مواردی ناگزیر به بالا کشیدن و تعمیر و سرویس می گردد

(۲) در قسمت انتهایی چاه بخشی طراحی می گردد به عنوان رسوب گیر که وظیفه آن ته نشین شدن ذرات ریز در طی سال ها کارکرد پمپ شناور می باشد که در این مرحله عملاً از بین رفته است.

(۳) عدم امکان نصب پمپ توربینی آزمایشی در محل هایی که از قبل طراحی شده است (در قسمتهای که لوله جدار ساده است و بخصوص در قسمت رسوبگیر) که این امر می تواند در مواردی که چاه دارای ماسه دهی می باشد این امر در عمر چاه می تواند موثر باشد.

(۴) عدم امکان نصب پمپ شناور در بعضی از محل هایی که در ساختمان چاه طراحی شده است.

(۵) با نظر به اینکه در پمپ های شناور، الکتروپمپ در قسمت انتهایی قرار گرفته است و از طرف دیگر این پمپ ها از طریق گردش آب در قسمت الکتروموتور خنک می شوند، بارها پیش آمده است که قسمت الکتروموتور پمپ شناور در گل فرو رفته و گردش آب در آن حین کارکرد میسر نگردیده و موجب سوختن الکتروموتور پمپ شناور گردیده است.

قطع موقت عملیات پمپاژ (کلاج زنی) آب موجود در لوله کالمن به داخل چاه برگشته و با ایجاد تلاطم و آشفته گی موجب جدا شدن ذرات موجود در اسکرین و گراول پک و همچنین خلل و فرج اطراف چاه می گردد، پس از پمپاژ مجدد ذرات جدا شده از چاه خارج می گردد. لازم است این عملیات به کرات انجام پذیرد تا زمانی که در آن دور موتور آب گل آلود و یا کدر نشود، سپس دور موتور را بالاتر برده و با برداشت

آبدهی بیشتر از چاه مجدداً آب گل آلود و یا کدر می شود در این دور و دورهای بالاتر نیز به ترتیب فوق انجام می گردد.

۵- نکات قابل توجه در حین عملیات شستشو و توسعه چاه توسط پمپ توربینی

باید دقت نمود در چاه هایی که مشکل ماسه دهی دارند عملیات توسعه به شکل فوق نمی باشد، بلکه اولاً بجای عملیات کلاج زنی می بایست با بالا بردن ساعت کارکرد موتور پمپ در هر دور عملیات توسعه پله ای را انجام داد از سوی دیگر میزان آبدهی برداشتی را حداکثر تا سقف مینیم یکی از عوامل زیر لحاظ نمود و از بالا بردن دور موتور اجتناب کرد.

(۱) مجوز برداشت

(۲) آبدهی مورد نیاز

(۳) حداکثر آبدهی که در آن دور موتور ماسه دهی بصورت تصاعدی اضافه شود

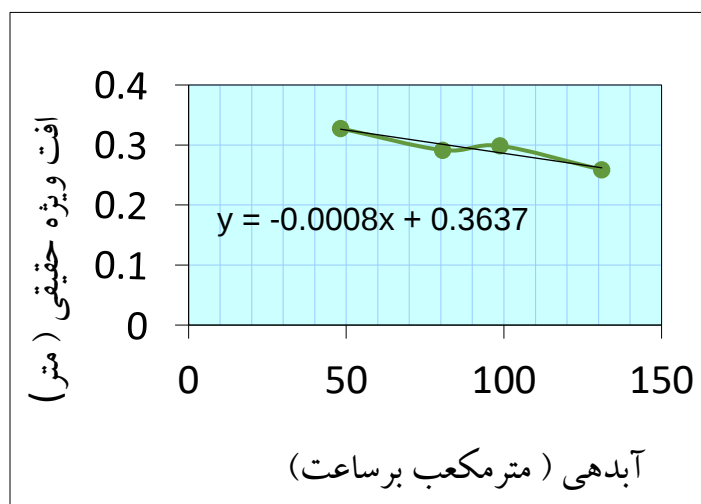
۶- آزمایش پمپاژ

-اهم اهداف آزمایش پمپاژ

- (۱) تعیین ظرفیت بهره برداری مجاز چاه
- (۲) محاسبه ضریب هیدرو دینامیکی چاه
- (۳) برآورد افت سطح ایستابی و بررسی رفتار سفره آب
- (۴) ارزیابی کارایی و عملکرد چاه افت ناشی از چاه (well loss)
- (۵) مشخص کردن پمپ مناسب از نظر دبی و هد
- (۶) آگاهی از تغییرات شیمیایی یا کیفی آب در حین پمپاژ (مهم در منابع شرب)

۷- چالش ها و الزامات آزمایش پمپاژ چاه های عمیق

با عنایت به اینکه یکی از اهداف مهم آزمایش پمپاژ تعیین ضرایب هیدرو دینامیکی چاه هست و از آن جمله ضریب افت سفره (C) و ضریب افت شبکه (B) میباشد، بنابر این هرگاه داده های کارگاهی ما اشتباه باشد در ضرایب فوق نمود پیدا می نماید.



نمودار ۱- تعیین ضرایب هیدرودینامیکی چاه



خروج آب به داخل منهول هم فاقد دقت لازم می باشد و در چنین شرایطی آبدهی گزارش شده اشتباه می باشد. جهت حل این مشکل لازم است، آبدهی چاه بوسیله نصب ونتوری متر و

یا استفاده از دبی سنج آلتراسونیک انجام شود. در حال حاضر در پروژه های آب و فاضلاب دیده می شود لوله ترمی در پشت لوله جدار جهت اندازه گیری سطح آب نصب می گردد. لازم به توضیح است که اولاً در هنگام نصب گل حفاری وارد لوله ترمی شده بنحوی که در زمان توسعه هم خارج نمی گردد بنابراین، این سطح نمی تواند سطح پیژومتریکی آب باشد و سطوح دینامیک اندازه گیری شده در چنین شرایطی جهت محاسبات آزمایش پمپاژ کارایی ندارد. زیرا در آزمایش پمپاژ، ما افت شبکه را حساب می کنیم در حالی که این اندازه گیری

بطور مثال به کرات پیش آمده که ضرایب B و C منفی بدست آمده و وقتی ضریب C منفی باشد راندمان چاه بالای صد درصد بدست می آید و این اشتباه است. پس از بررسی مسئله مشخص می شود که برداشت های دبی و یا سطوح ایستابی و دینامیک اشتباه گزارش شده است. با توجه به اینکه اکثر چاه های آب و فاضلاب در محیط های شهری و در داخل محوطه مخزن ها قرار دارند و عمدتاً راه خروج آب استحصال را نداشته، ناگزیر می بایست از شیلنگ های مخصوص جهت هدایت آب به داخل منهول استفاده نمود. با استفاده از این شیلنگ ها امکان قرائت آبدهی چاه از طریق خط کش جت و یا ستون اریفیس میسر نمی باشد. بنابراین قرائت جت در محل

در پشت شبکه انجام شده است . بنابر این جهت اندازه گیری
دقیق سطح آب لازم است اولاً لوله ترمی مناسب در داخل چاه
همزمان با نصب منصوبات آزمایشی نصب کرد و از سوی دیگر
از آبسنج با دقت استفاده نمود.

شکل ۲- سنجش آب

منابع :

- دستورالعمل آزمایش های پمپاژ - نشریه شماره ۱۷- ن وزارت نیرو معاونت امور آب و آبفا
- کتاب هیدرولوژی کاربردی دکتر امین علیزاده استاد دانشگاه فردوسی مشهد

بخش چهارم

کنترل ماسه‌دهی در چاه‌های شرب

بررسی ماسه‌دهی چاه‌های شرب در مقیاس آزمایشگاهی

مجید خلقي، مهدی اطلاعی

استاد گروه مهندسی آبیاری و آبادانی دانشگاه تهران-کرج

دانش آموخته کارشناسی ارشد رشته علوم و مهندسی آب دانشگاه تهران

چکیده

یکی از مسائل مهم در چاه‌های آب، بحث ماسه‌دهی است که تقریباً سالانه هزینه گزافی را بر کشور تحمیل می‌کند. ماسه‌دهی چه در بدنه سفره آب زیرزمینی و نشست آن و در نتیجه تخریب چاه و چه در فرایند انتقال آب از چاه، باعث خسارت‌های فنی و اقتصادی می‌شود. در این مقاله پدیده ماسه‌دهی و عوامل تاثیرگذار بر آن در مقیاس آزمایشگاهی بررسی شده است. در این مطالعه ابتدا طرح مدل تجربی (Experimental Model) با ابعاد $180 \times 140 \times 20$ سانتیمتر تهیه و سپس در محل آزمایشگاه تحقیقات آب دانشگاه تهران، گروه مهندسی آبیاری و آبادانی در کرج ساخته شد. سپس طراحی آزمایشات با در نظر گرفتن شبکه بندی افقی و عمودی لوله‌های جدار با عرض شکاف ۲ و ۳ میلی‌متر، فیلتر شنی با دانه بندی ۳-۴ میلی‌متر و آبدهی متفاوت در محدوده ۰/۳ تا ۰/۶ لیتر بر ثانیه و محیط متخلخل ریزدانه و درشت دانه در نظر گرفته شد و در مجموع ۷۹ آزمایش انجام گرفت. نتایج نشان می‌دهد که با در نظر گرفتن شرایط یکسان از نظر فیلتر شنی، نوع دانه بندی و میزان پمپاژ، شبکه بندی عمودی به میزان ۷۸٪ ماسه‌دهی کمتری نسبت به شبکه بندی افقی را نشان داد. بدیهی است این نتیجه در مقیاس آزمایشگاهی ذکر شده مطرح است و در صورتی که ادامه تحقیق با مدل تجربی بزرگ مقیاس ولی همچنان آزمایشگاهی صورت گیرد پتانسیل کاربرد نتایج به مراتب بیشتر خواهد شد.

واژه‌های کلیدی: ماسه‌دهی، مدل آزمایشگاهی، الگوی شیار لوله جدار، فیلتر شنی، دبی پمپاژ، مقیاس آزمایشگاهی، فرونشست سفره آب زیرزمینی

Abstract

One of the critical issues in water wells is sand production, which imposes substantial annual costs on the country. Sand production, whether occurring within the structure of the aquifer due to its subsidence and consequent destruction of the well, or during the water extraction process, causes significant technical and economic damage. In this study, the phenomenon of sand production and the influencing factors were investigated at laboratory scale. Initially, an experimental model with dimensions of $180 \times 140 \times 20$ cm was designed and constructed at the Water Research Laboratory of the Department of Irrigation and Reclamation Engineering, University of Tehran, Karaj.

The experimental setup included the design of well screen perforation patterns (both horizontal and vertical) with 2 mm and 3 mm slot widths, a gravel pack with 3-4 mm grain size, varying discharge rates in the range of 0.3 to 0.6 liters per second, and fine-grained and coarse-grained porous media. In total, 79 experiments were conducted. The results show that, under identical conditions in terms of gravel pack, grain size, and pumping rate, the vertical screen perforation pattern resulted in 78% less sand production compared to the horizontal pattern. Clearly, this result pertains to the mentioned laboratory scale, and it is expected that if the research is continued using a larger-scale but still experimental model, the potential applicability of the results would be significantly enhanced.

Keywords: Sand production, Experimental model, Screen slot pattern, Gravel pack, Pumping rate, Laboratory scale, Aquifer collapse

۱- مقدمه

اگرچه تکنیک های مرسوم کنترل شن می تواند به طور مؤثر از تولید شن جلوگیری کند، اما ممکن است بهره وری چاه های نفت را نیز محدود کند. فناوری کنترل شن با شکست و فشرده سازی، توزیع فشار و جریان در دهانه چاه را تغییر می دهد، در حالی که فناوری انحراف رزین فوم پلیمری، ناهمسان گردی نفوذپذیری مخزن را کاهش داده و ناحیه نشست نفت در مخزن را افزایش می دهد و هم به هدف کنترل شن و هم افزایش تولید دست می یابد. زنگ و همکاران طی تحقیقات خود در ماسه دهی چاه های نفت در سال ۲۰۲۲، روش جدیدی در نوع آزمایش ماسه دهی به صورت ستاپ آزمایشگاهی شامل چاه های افقی و عمودی و استفاده از لوله مشبک با ابعاد متفاوت و فیلترهای شنی بصورت ترکیبی با لوله مشبک و بدون استفاده از فیلتر ارائه دادند. نتایج آن ها نشان داد که روش ترکیبی کنترل شن (استفاده از لوله مشبک و فیلتر شنی بصورت همزمان) تأثیر قابل توجهی در کاهش ماسه دهی در هر دو نوع چاه افقی و عمودی دارد و تأثیر روش ترکیبی کنترل ماسه دهی در چاه های افقی به دلیل مسیرهای جریان بیشتر، قابل توجه تر می باشد. در مقیاس آزمایشگاهی، برتری قابل توجهی در بهره وری کنترل ماسه دهی با استفاده از چاه های افقی و روش کنترل ماسه دهی با فیلترهای شنی مشاهده نگردید. البته بایستی توجه داشت که این مطالعه در مقیاس آزمایشگاهی انجام شده و ممکن است نتایج آن در شرایط واقعی و میدانی متفاوت باشد. بنابراین، با توجه به توصیه ی نویسندگان مقاله، اثر ابعاد آزمایشگاهی و انسداد چاه بر نفوذ بسته بندی با سنگریزه به داخل مخزن نیاز به بررسی بیشتری دارد.

ماسه دهی چاه های آب از دیرباز از مسائل مهم بهره برداری و مدیریت آب های زیرزمینی بوده است. براین اساس در کشورهایی پیشرو در استفاده از آب های زیرزمینی و چاه، توسط سازمان ها و ارگان های مختلف، دستورالعمل، راهنما و استانداردهائی برای مراحل مختلف از مراحل مختلف حفاری، لوله گذاری، توسعه و تجهیز چاه تهیه شده است. بدیهی است که مطالعات منتج به این دستورالعمل ها، بطور خاص برای آن کشور، ایالت و استان و برگرفته از شرایط خاص سفره آب زیرزمینی آن منطقه بوده و کارائی آن نمیتواند بطور گسترده و عمومی مورد استفاده کشورهای دیگر با شرایط مختلف باشد. بر این اساس، تحقیقات گذشته در بررسی ماسه دهی بخصوص چاه های آب در کشورهای مختلف بسیار محدود است و بخصوص در بررسی ماسه دهی در مقیاس آزمایشگاهی که مرجع قابل استنادی طبق بررسی ما بدست نیامد. علاوه بر این اکثر مقالات بطور کلی گوئی ارائه شده است و نتایجی که بتواند مورد استفاده قرار گیرد کمتر دیده می شود. برخلاف چاه های آب، بررسی ماسه دهی چاه های نفت با توجه به اقتصاد نفت در سطح جهان، تحقیقات گسترده ای برای علل و کنترل و پیشگیری آن انجام شده و می شود. با این وجود در این مقیاس، سعی می شود به دلیل حجم نشده مقاله فقط به دو مورد کار آزمایشگاهی اشاره می شود. اکس جیو و همکاران (۲۰۲۴) (در تحقیق خود ذکر کردند که تولید شن در چاه های نفت به طور جدی بر تولید نفت و گاز در میداین نفتی تأثیر می گذارد.

۲- مواد و روش ها

در این بخش ابتدا به ساخت ستاپ آزمایشگاهی (مدل تجربی) پرداخته می شود و سپس طراحی آزمایشات مورد بحث قرار خواهد گرفت.

طراحی مدل تجربی در مقیاس آزمایشگاهی

مشخصات کلی مدل

مدل آزمایشگاهی سه بعدی با ابعاد $180 \times 140 \times 20$ سانتیمتر از جنس پلکسی گلاس ۱۰ میلیمتری ساخته شد حجم مؤثر محفظه شبیه سازی سفره: ۳۳۶ لیتر (شکل ۱)



شکل ۱- مدل تجربی آزمایشگاهی

محیط متخلخل:

ریزدانه

جنس: ماسه طبیعی

میانگین قطر مؤثر (D₅₀): ۰,۸ mm

ضریب یکنواختی (C_u): ۱,۸

ضریب نفوذپذیری: ۲,۳ × ۱۰^{-۳} cm/s

سیستم پمپاژ:

پمپ سانتریفیوژ Pedrollo مدل HF۳۲

محدوده دبی: ۰,۱ - ۱,۵ لیتر/ثانیه

دقت کنترل: ± ۰,۰۱ لیتر/ثانیه

وسیله اندازه گیری ماسه خروجی

ترازوی دیجیتال GF-۶۰۰۰ fh AND GF-۶۰۰۰ دقت ۱ گرم

سیستم ثبت داده های آنلاین با نرم افزار LabVIEW

پروتکل آزمایش

مراحل آماده سازی

نصب لوله جدار

این مدل شامل اجزای اصلی زیر است:

سیستم لوله گذاری:

جنس: استیل ۳۱۶ ضدزنگ

قطر داخلی: ۱۰ سانتیمتر

ضخامت: ۱,۵ میلیمتر

طول مؤثر: ۱۲۰ سانتیمتر

لوله های جدار مشبک

لوله جدار با شبکه بندی افقی و عمودی و مقیاس شبکه ها براساس استاندارد شرکت آب و فاضلاب و تعداد آن براساس مقیاس واقعی به نسبت به ابعاد لوله در مدل تجربی

فیلتر شنی

جنس: سیلیس رودخانه ای

دانه بندی: ۳ - ۴ میلیمتر (مطابق استاندارد ASTM C۳۳)

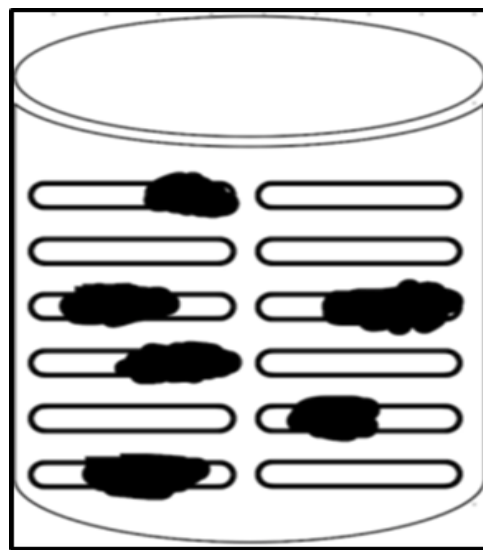
ضخامت لایه: ۱۵ سانتیمتر

چگالی خشک: ۱,۰۵g/cm^۳

قرارگیری دقیق در مرکز محفظه	زمان پایدارسازی: ۳۰ دقیقه قبل از هر آزمون
آببندی کامل با چسب سیلیکونی صنعتی	نتایج جانبی
اشباع سازی محیط متخلخل	تغییرات هیدرولیکی
آبرسانی از پایین به بالا به مدت ۲۴ ساعت	افت هد: ۱۲٪ در لوله های افقی ۵٪ در عمودی
اجرای آزمایش	الگوی فرسایش:
شرایط پایه	افقی: فرسایش موضعی
دمای محیط: $25 \pm 1^{\circ}\text{C}$	عمودی: فرسایش یکنواخت
زمان پایدارسازی: ۳۰ دقیقه قبل از هر آزمون	مشاهدات کیفی
<u>پروتکل تست:</u>	تشکیل گودال فرسایش در پایین لوله های افقی
میزان دبی پمپاژ (۰.۳، ۰.۴، ۰.۵، ۰.۶ لیتر در ثانیه)	رسوب گذاری در خروجی پمپ
مدت هر آزمایش: ۶۰ دقیقه	<u>طراحی آزمایشات:</u>
نمونه برداری: هر ۶۰ دقیقه	چهار دبی پمپاژ (۰.۳، ۰.۴، ۰.۵، ۰.۶ لیتر در ثانیه)
اندازه گیری ها	دو نوع لوله مشبك عمودی - افقی و نوع نو - کارکرده و
وزن ماسه های خروجی	ضخامت شبکه ها ۲ و ۳ میلیمتر (در مجموع ۸ لوله) محیط
ثبت تغییرات هد هیدرولیکی	متخلخل ریز دانه (۰.۸ میلیمتر) و متوسط (ترکیبی از قطر ۰.۸ تا
تصویربرداری از الگوی فرسایش	۳ میلیمتر) لازم به ذکر است که به منظور اینکه شرایط نزدیک
تحلیل داده ها	به واقعیت باشد، و براساس فرض اینکه لوله نو ماسه دهی
کنترل کیفی	کمتری از لوله کارکرده دارد، بطور مصنوعی و با استفاده از
کالیبراسیون روزانه تجهیزات	تجهیزات آزمایشگاهی شبکه های لوله ها دارای گرفتگی شد.
تکرار آزمایش	در مجموع ۶۴ آزمایش در این تحقیق انجام شد.
محاسبه خطای استاندارد	
<u>نتایج</u>	
داده های کمی ماسه دهی	
نسبت عملکرد ماسه دهی: شبکه بندی عمودی نسبت به افقی	
اجرای آزمایش	
شرایط پایه	
دمای محیط: $25 \pm 1^{\circ}\text{C}$	



شکل ۳- میزان فرسایش اطراف لوله جدار

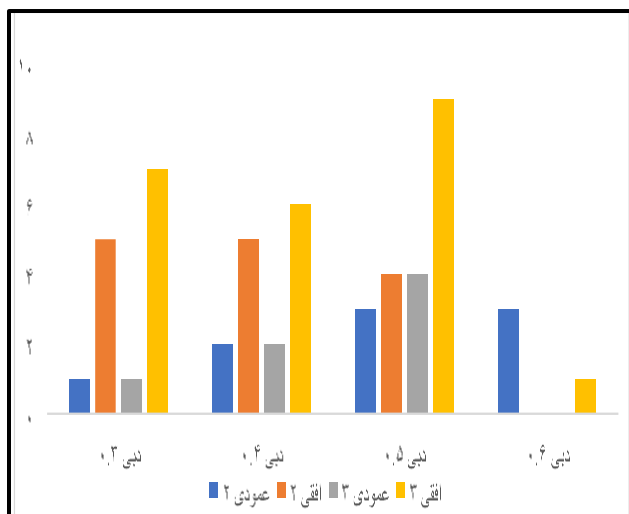


شکل ۲- شبکه های دارای گرفتگی در لوله های کارکرده

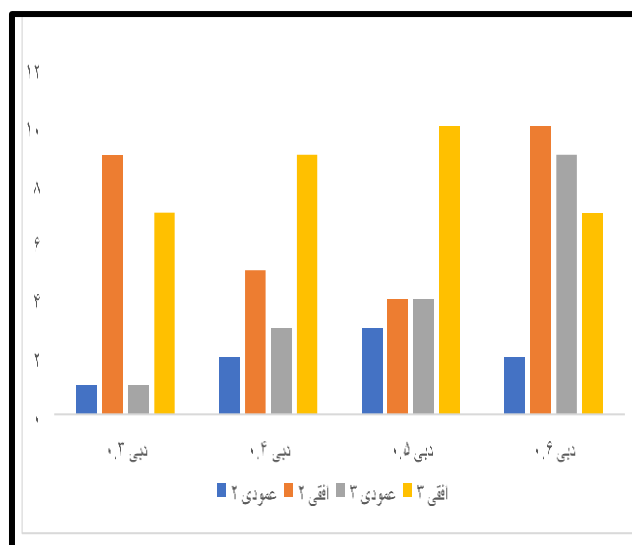
۳- نتایج

در این بخش، نتایج آزمایشات بطور مختصر ارائه می شود. با توجه به نتایج بدست آمده از سری اول آزمایشات که در آن از محیط متخلخل ریز دانه و لوله نو استفاده شده بود، مشاهده گردید که بیشترین میزان ماسه دهی برابر با ۱۰ گرم در حالت شبکه ی افقی با عرض شبکه ۳ میلیمتر و با دبی ۰.۵ لیتر بر ثانیه و کمترین میزان ماسه دهی نیز برابر با ۱ گرم، متعلق به عمودی با عرض شبکه ۲ میلیمتر و دبی ۰.۳ لیتر بر ثانیه است.

نمودار ۱



نمودار ۲ - میزان ماسه دهی در بافت ریز دانه و لوله کارکرده



نمودار ۱ - میزان ماسه دهی در بافت ریز دانه و لوله نو

نتیجه نهائی که میتوان از این تحقیق استخراج کرد، تفاوت معنی دار میزان کمتر شدن ماسه دهی در شبکه بندی عمودی تا میزان ۷۸ درصد نسبت به افقی لوله های جدار دارد. نتیجه جالب توجه این است که میزان ماسه دهی در لوله های کار کرده علیرغم پیش فرض به تولید ماسه دهی بیشتر، نشان داد که میزان ماسه دهی کمتر است.

۴- بحث و نتیجه گیری

لازمه ساخت ستاپ آزمایشگاهی، طراحی و انجام آزمایشات، شرایط آزمایش و کالیبراسیون مدل تجربی در هر آزمایش در مجموعه ۶۴ آزمایش، حوصله، دقت و عشق به پژوهش تیم تحقیقاتی می باشد. هزینه گزاف ساخت مدل تجربی و عدم هوشمند بودن آن در تولید سری داده ها، میزان مینیاتوری دبی پمپاژ و میزان ماسه خروجی در هر بازه زمانی بار دیگر به اهمیت دقت این تحقیق تاکید دارد. نتایج جالب توجه این پژوهش کاربردی، را میتوان کارائی به مراتب بهتر شبکه بندی عمودی در تولید میزان کمتر ماسه دهی نسبت به شبکه بندی افقی نام برد. به نتایج آزمایشات در این دستاورد میتوان بیان کرد که لوله های جدار با شبکه های افقی، ماسه دهی بیشتری می توانند داشته باشند. زمانی که هد هیدرولیکی سیستم در چاه حین

برداشت به تعادل می رسد، به علت عبور آب از یک مقطع ثابت در آن ناحیه، هرچه مساحت سطح در راستای افق بیشتر باشد عامل عبور ماسه (بیشتر) در آن ناحیه می گردد. زمانی که شبکه های لوله جدار عمودی است، آب برای ورود به چاه ملزم به عبور در نواحی ای که شبکه لوله جدار وجود دارد می شود و چون راستای شبکه ها عمودی هستند بعلت کاهش سطح مقطع در راستای افق، آب نیز با سرعت کمتری وارد چاه شده و ماسه دهی نیز به تبع آن کاهش می یابد. بدیهی است که نتایج حاصل از این پژوهش در مقیاس کار در مدل تجربی آزمایشگاهی (با ابعاد ذکر شده)، می تواند قابل استفاده باشد و در صورتی که بخواهیم در شرایط واقعی به نتایج مطلوبی برسیم، می بایست در گام بعدی مدل تجربی (مجددا در محیط آزمایشگاهی) ولی اینبار به صورت بزرگ مقیاس (large scale) و تقریباً نزدیک به مقیاس میدانی انجام شود. بدیهی است ساخت مدلی تجربی آزمایشگاهی بزرگ مقیاس مستلزم حمایت مالی بخش صنعت آب کشور است. ولی با توجه به دستاوردهای تحقیق در کاهش ماسه دهی و پیشگیری و کنترل آن، میزان نفع ملی کشور در حل مسئله ماسه دهی چاه های آب، نسبت به میزان هزینه های تحقیق ناچیز است.

منابع

- اطلاعی، مهدی، ۱۴۰۳، بررسی ماسه دهی چاه های آب، به منظور کنترل و پیش گیری، پایان نامه دوره کارشناسی ارشد رشته علوم و مهندسی آب، تحت راهنمایی دکتر مجید خلقی استاد دانشگاه تهران.
- Zhang, Y., W Wang, P Zhang, G Li, S Tian, J Lu (۲۰۲۲), A solution to sand production from natural gas hydrate -deposits with radial wells: Combined gravel packing and sand screen, J. Mar. Sci. Eng. ۲۰۲۲, ۱۰(۱), ۷۱ ; <https://doi.org/10.3390/jmse10010071>.
- Xujiao He, , Zhanxi Pang, Lixin Ren, , Liangdong Zhao, Xinqian Lu, Yanwei Wang and Pengcheng Liu (۲۰۲۴) A critical review on analysis of sand producing and sand-control technologies for oil well in oilfields, Frontiers in Energy Research, ۲۴May ۲۰۲۴, <https://doi.org/10.3389/fenrg.2024.1399033>

گراول پک و توسعه در چاه‌های آب شرب

علی هاشمی نژاد

کارشناس بهره‌برداری چاه‌ها، شرکت تأمین و تصفیه آب و فاضلاب تهران

چکیده

بطور طبیعی هدف مالکین یا بهره‌برداران چاه‌ها، حصول حداکثر بهره‌وری اقتصادی و برداشت آب همراه با حداکثر کمیت و کیفیت ممکن است. این اهداف، همواره توسط عوامل منفی متعددی تهدید می‌شوند. کاهش توان تولید، یا عدم حصول حداکثر توان ممکن، تغییر کیفیت آب، کدورت و ماسه دهی و تلفات انرژی در فرآیند استحصال، برخی از مشکلاتی است که بهره‌بردار چاه با آنها مواجه می‌شود. دانش و فنون مربوط به حفر و تجهیز چاه‌ها، با تلاش متخصصین، محققین و تولیدکنندگان در سراسر جهان با هدف کاهش مشکلات و بهبود عملکرد چاه‌ها توسعه پیدا کرده و در کنار تربیت نیروی متخصص، با تدوین استانداردها، دستورالعمل‌ها، شیوه‌نامه‌ها و سایر مستندات فنی، امکان ایجاد و نگهداری بهینه چاه‌ها را فراهم نموده است. بدیهی است که یک چاه با اجزاء و بخش‌های مختلف و با مراحل متعدد اقدامات فنی، تحت تأثیر مجموعه پیچیده‌ای از نکات فنی قرار دارد که رعایت هر یک ضروری بوده و سهل انگاری در هر مرحله از کار، نتیجه‌ای جز بروز اشکالات در چاه ندارد. از جمله مراحل و اقدامات مرتبط با احداث یک چاه، گراول ریزی و نیز توسعه چاه است که مستقیماً و به شدت بر آینده چاه اثرگذار خواهد بود. عمده اقدامات مربوط به این دو فعالیت، در کشورهای مختلف دنیا مفصلاً مورد مطالعه و تحقیق قرار گرفته و استانداردها و دستورالعمل‌های متعددی تنظیم شده است که البته بر اساس شرایط فنی و نوع ساختار زمین‌شناسی و الزامات زیست‌محیطی و سایر عوامل با یکدیگر تفاوت‌هایی دارند. امید است تلاش‌ها و مطالعات دانشمندان و متخصصان داخلی نیز به زودی به تدوین استانداردهای جامعی برای کاربرد در شرایط کشورمان منجر شود. تا آن زمان فعلاً به بررسی استانداردها و مطالعات انجام شده در سایر نقاط جهان می‌پردازیم و حتی المقدور امکان به کارگیری هریک را در مورد حفر چاه در کشور بررسی می‌کنیم.

واژه‌های کلیدی: توسعه چاه، بسته‌بندی با شن، استخراج آب، عملکرد چاه، استانداردهای فنی.

Abstract

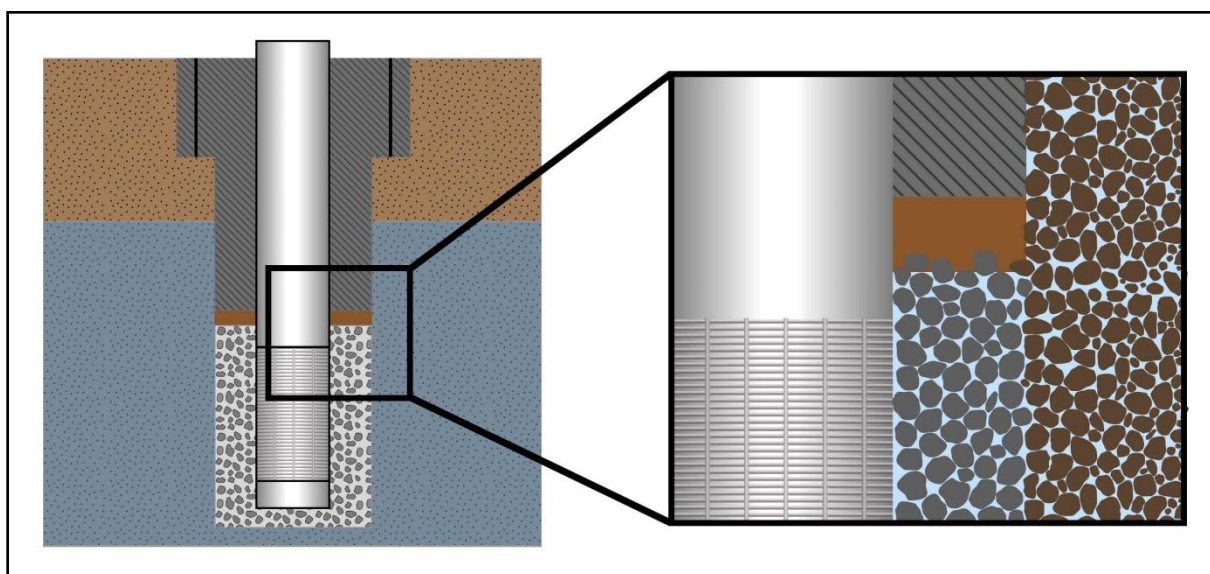
Naturally, the objective of well owners or operators is to achieve maximum economic efficiency and extract water with the highest possible quantity and quality. These goals are constantly threatened by various negative factors. A decline in production capacity, failure to achieve maximum possible yield, changes in water quality, turbidity and sand production, and energy losses during the extraction process are among the issues that well operators may face. The knowledge and technologies related to well drilling and equipping have been developed by the efforts of specialists, researchers, and manufacturers worldwide, with the aim of minimizing problems and improving well performance. Along with the training of specialized personnel, the development of standards, guidelines, protocols, and other technical documents has enabled the optimal construction and maintenance of wells it is evident that a well, with its various components and multiple technical stages, is influenced by a complex set of technical considerations. Adhering to each of these is essential, as negligence at any stage may result in defects in the well. Among the critical stages and actions associated with well construction are gravel packing and well development, which directly and significantly impact the future performance of the well. The major procedures related to these two operations have been extensively studied and researched in various countries, and numerous standards and guidelines have been developed. These, of course, differ based on technical conditions, geological structures, environmental requirements, and other factors. It is hoped that the efforts and studies of domestic scientists and specialists will soon lead to the formulation of comprehensive national standards applicable to our country's conditions. Until then, we will examine international standards and studies and, as much as possible, evaluate the feasibility of applying each to well drilling in our country.

Keywords: Well Development, Gravel Packing, Water Extraction, Well Performance, Technical Standards.

۱- مقدمه

ایجاد و احداث چاه‌های آب طی مراحل گوناگونی صورت می‌گیرد که انجام و کیفیت اجرای هر مرحله بستگی به کاربرد چاه، محل حفر، هزینه، تکنولوژی و مواد در دسترس، سطح دانش و تخصص مجری، نیازهای مالک یا بهره‌بردار و عوامل متعدد دیگر دارد. کاربرد تجهیزات نوین و فن‌آوری به‌روز، استفاده از مواد اولیه استاندارد و با کیفیت و دقت در فرآیندهای اجرائی، مسلماً هزینه بیشتری به مالک تحمیل خواهد کرد و البته با افزایش کمی و کیفی تولید و افزایش طول عمر مفید چاه و کاهش هزینه‌های تولید آب و نگهداری، صرفه و صلاح مالکین چاه را تأمین می‌کند.

خلاصه مراحل احداث چاه (البته با تغییراتی که به تصمیم کارشناسان و فن‌آوری در دسترس بستگی دارد) شامل موارد زیر است: مکانیابی، مراحل اداری اخذ مجوزها، حفاری با قطر کم (گمانه)، اقدامات تشخیصی (بررسی نمونه‌ها و کاروناز^۱)، طراحی، حفاری تا قطر نهایی^۲، نصب لوله جدار و مشبک، گراول ریزی، شستشو، توسعه^۳، آزمایش پمپاژ، ایجاد بخش‌های حفاظت بهداشتی (گروت^۴، اتاقچه، قطعه سرچاهی^۵).



شکل ۱- شمای ساده شده چاه، با بزرگنمایی روی لوله جدار و اسکرین، گراول پک، فرماسیون مجاور چاه و گروتینگ

پس از حفر چاه، بخصوص در آبرفت‌ها، به منظور پایدارسازی جدار چاه و نیز حفاظت پمپ و منصوبات داخل چاه، لوله جدار^۶ در داخل فضای حفاری شده قرار می‌گیرد. به جای لوله جدار در بخش‌هایی از چاه که براساس طراحی برای ورود آب در نظر گرفته شده است، لوله مشبک^۷ از انواع مختلف (پانچ

شده، برشی^۸ دستی یا ماشینی، کرکره‌ای^۹، پل^{۱۰}، تیپ جانسون^{۱۱} و ...) نصب می‌شود که البته نوع آن توسط طراح با در نظر گرفتن محاسن و معایب هر یک و برای هر پروژه بطور خاص انتخاب می‌شود. همچنین جنس لوله جدار و مشبک و نیز مشخصات فنی آن براساس نوع کاربرد و وفق طراحی انتخاب

^۱ Screen

^۲ Slotted

^۳ Louvered

^۴ Bridge

^{۱۱} V-Wired, Wire Wrapped, Johnson Screen

^۵ Well logging.

^۶ Ream

^۷ Development

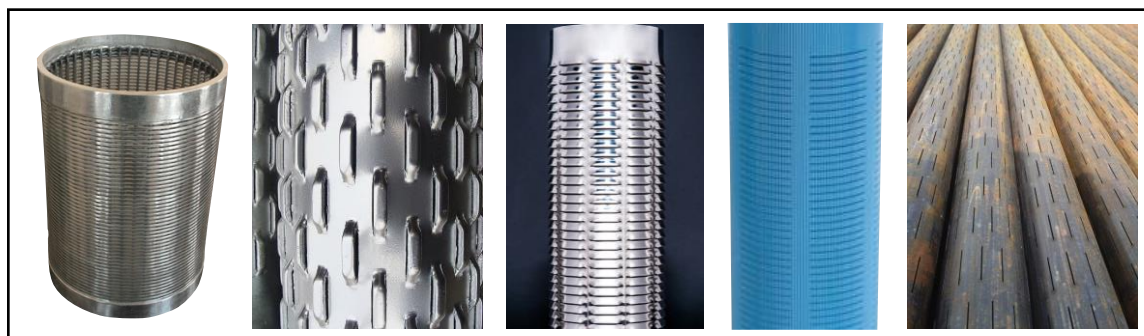
^۸ Grouting

^۹ Well-head

^{۱۰} Casing

امکانپذیر خواهد بود. بدیهی است که این موارد با شرط طراحی و اجرای علمی و فنی چاه مطرح می‌شود و در مورد چاه‌هایی که بدون رعایت اصول فنی ایجاد می‌شوند، اساساً قابل طرح نیست. انجام بسیاری از مراحل محاسبه و طراحی فنی، مستلزم رویکرد علمی و بکارگیری فنون و تجهیزات مناسب است. به عبارت دیگر طراحی و حفاری چاه باید بعنوان یک موضوع کاملاً تخصصی به رسمیت شناخته شده و فن‌آوری و تجهیزات مرتبط با آن باید با دانش روز منطبق و توسعه داده شود.

می‌شود. نوع و کیفیت اتصال لوله‌ها و نیز نحوه قراردادن آنها در چاه نیز موضوع مباحث جدی فنی است. پس از لوله‌گذاری، گراول ریزی^{۱۲} انجام می‌شود و طی آن ساختار کلی چاه کامل شده و فضای پیرامونی^{۱۳} لوله مشبک با گراول پک پر می‌شود تا علاوه بر تثبیت مواد فرماسیون آبخوان، امکان حصول حداکثر تخلخل و بهترین شرایط هیدرولیکی چاه فراهم شود. نوع، کیفیت و ابعاد گراول مورد استفاده یکی از مهمترین مشخصات فنی مربوط به طراحی چاه و تابع استانداردهای مربوطه است. در واقع تعیین ابعاد گراول مورد استفاده در یک چاه که خود به ابعاد مواد تشکیل دهنده آبخوان بستگی دارد، پایه و اساس تعیین سایر اندازه‌های فنی چاه خواهد بود. به عبارت دیگر، قطر حفاری و به تبع آن ضخامت لایه گراول و نیز ابعاد شکاف‌های مشبک یا اسکرین چاه، تنها پس از تعیین دانه‌بندی گراول



شکل ۲- انواع مشبک مورد استفاده در چاه‌های آب

۲- تعیین ابعاد مواد تشکیل دهنده آبرفت

به هیچ عنوان امکان تشخیص عمق دقیقی که نمونه از آن برداشت شده وجود ندارد. به منظور بدست آوردن نمونه‌های واقعی قابل اعتماد، روش‌های حفاری که تا حدودی امکان نمونه برداری مناسب را فراهم می‌کنند عبارتند از:

(۱) حفاری ضربه‌ای^{۱۴} که نمونه‌ها تا حدودی مناسب هستند لیکن اجرای این روش محدودیت‌هایی دارد. اغلب دستگاه‌های حفاری ضربه‌ای موجود در کشور بسیار قدیمی و از نظر عمق حفاری بسیار محدود هستند. همچنین سرعت حفاری کم و سر و صدای آزار دهنده آنها معمولاً مانع بکارگیری در مناطق شهرست.

(۲) مغزه‌گیری^{۱۵} اگر چه قادر است بهترین و قابل اعتمادترین نمونه‌های فرماسیون را فراهم کند، لیکن انجام آن بویژه در اعماق زیاد هزینه بالایی را به مالک چاه تحمیل می‌کند.

برای تعیین محدوده ابعادی ذرات تشکیل دهنده آبرفت یا فرماسیون آبخوان، ضروریست که نمونه‌های قابل اعتماد و دقیق از آبخوان برداشت شود. نمونه‌برداری عملاً از طریق حفاری امکانپذیر است و لذا روش حفاری اهمیت قابل توجهی پیدا می‌کند. لازم است که حفار طبق نظر طراح و کارشناس پروژه، از اعماق مختلف با فواصل تعیین شده، با حداکثر دقت و در حجم کافی نمونه‌برداری کند. یادآوری این نکته ضرورت دارد که نمونه‌برداری از خرده‌های^{۱۶} حفاری در روش حفاری دورانی با گردش مستقیم سیال^{۱۷} که متداولترین شیوه حفاری در کشور ما است، به هیچ عنوان قابل اعتماد نیست و چنین نمونه‌هایی اساساً کاربرد چندانی در طراحی چاه ندارد. در این روش حفاری، خرده‌ها معمولاً بیش از اندازه خرد شده و بعلاوه

^{۱۵} DC Rotary (Direct Circulation Rotary Drilling)

^{۱۶} Percussion Drilling

^{۱۷} Core Sampling

^{۱۲} Gravel packing

^{۱۳} Annular space

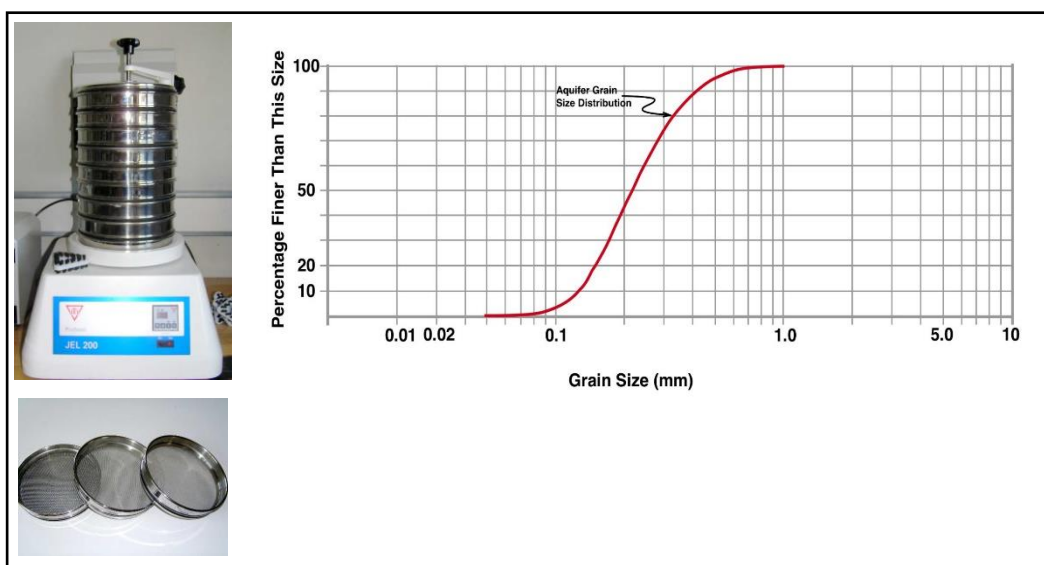
^{۱۴} Cuttings

همراه داشته باشد که البته در حال حاضر در کشور ما در دسترس نیست.

پس از نمونه برداری و آماده سازی نمونه ها، با استفاده از غربال هایی با مش استاندارد مواد تشکیل دهنده هر نمونه براساس اندازه، تفکیک و وزن تجمعی زیر غربال اندازه گیری شده و منحنی تجمعی وزنی هر نمونه بصورت نیمه لگاریتمی ترسیم می شود^{۲۰} (درصد وزنی نسبت به سایز ذرات).

۳) حفاری با کف^{۱۸} که تجهیزات مربوط به آن عموماً به منظور حفاری در سازند سخت به کشور ما وارد شده و چندان مناسب حفاری در آبرفت نیستند.

۴) حفاری به روش دورانی با گردش معکوس سیال^{۱۹} که حداقل از ۴ دهه قبل در اغلب نقاط دنیا متداولترین شیوه حفاری در آبرفت است، می تواند علاوه بر تأمین نمونه های مناسب برای طراحی چاه، سرعت و کیفیت حفاری را نیز به



نمودار ۱- آنالیز غربال و منحنی سایز ذرات نمونه

شروع بهره برداری، ذرات درشت آبخوان، پشت گراول حفظ و نگه داشته شود. اینکه ذرات با چه اندازه ای امکان عبور از گراول را داشته باشند و چه ابعادی از ذرات ثابت نگه داشته شوند، عامل تفاوت و موضوع بحث هر یک از استانداردهاست.

همچنین انتخاب مشبک مورد استفاده در چاه از نظر ابعاد شکاف ها یا منافذ، تابع ابعاد گراول پک است و به نحوی انتخاب می شود که قادر به نگه داشتن ذرات گراول بوده و امکان عبور ذرات دانه ریز در زمان توسعه را فراهم کند. البته علاوه بر ابعاد منافذ اسکرین، سایر خصوصیات از جمله شکل، جنس و درصد سطح باز^{۲۱} یا تخلخل اسکرین نیز از جهات گوناگون در طراحی چاه دارای اهمیت است.

بطور کلی دو نوع اجرای گراول پک در چاه ها کاربرد دارد:

در منحنی ذرات فرماسیون، کشیدگی افقی منحنی به معنای تنوع اندازه ذرات و شیب تند آن به مفهوم یکنواختی و هم اندازه بودن نسبی ذرات است. در این منحنی در محور عمودی درصد وزنی زیر غربال برای هر یک از ابعاد مواد تشکیل دهنده فرماسیون قابل مشاهده است. بر اساس نوع استاندارد و مرجع محاسبه، نقاط مختلفی از منحنی غربال برای محاسبه سایز ذرات گراول مورد استفاده قرار می گیرند.

اگرچه نحوه محاسبه در استانداردهای مختلف یکسان نیست و در هر کشوری، بر اساس شرایط زمین شناسی منطقه تنظیم و تعریف شده است، لیکن منطق کلی حاکم بر همه استانداردها عبارت است از اینکه بخش دانه ریز مواد تشکیل دهنده آبخوان در زمان اجرای عملیات توسعه امکان عبور از فضای بین ذرات گراول را داشته و طی فرآیند پمپاژ از چاه خارج شود و پس از

^{۲۰} Sieve Analysis
^{۲۱} Open area

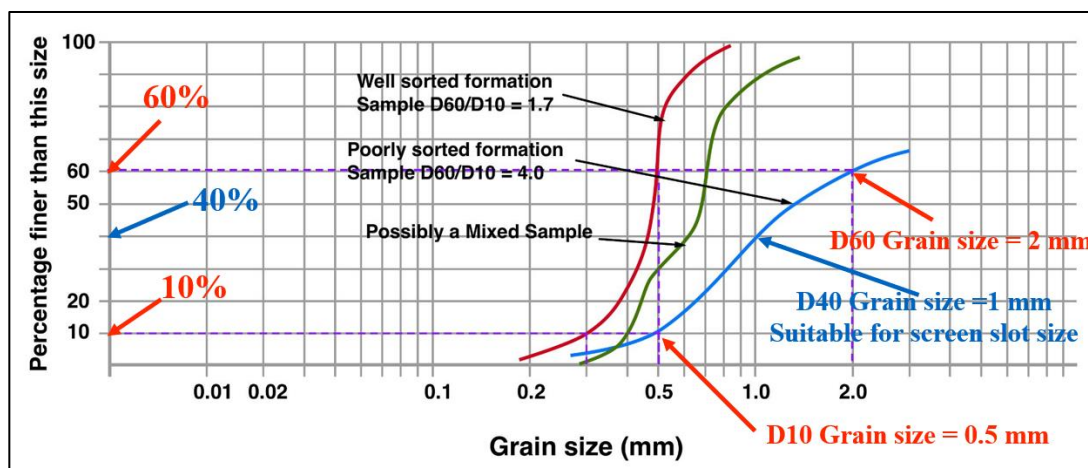
^{۱۸} Foam Drilling
^{۱۹} RC Rotary (Reverse Circulation Rotary Drilling)

الف) گراول پک طبیعی^{۲۲} ب) گراول پک مصنوعی^{۲۳}

الف) گراول پک طبیعی:

کاربرد گراول پک طبیعی به این معناست که پس از نصب لوله جدار و مشبک، گراول پک طی فرآیند توسعه از مواد طبیعی فرماسیون آبخوان و بدون به کارگیری مواد خارج از چاه، ایجاد

شود. برای اینکه آبخوان، مناسب ایجاد گراول پک طبیعی باشد، باید در منحنی غربال نمونه آبخوان D_{10}^* بزرگتر از 0.25 میلی متر و نیز دارای دانه بندی ضعیف باشد^{۲۴}. به عبارت دیگر نسبت D_{60} به D_{10} آن (که ضریب یکنواختی^{۲۵} U شناخته می شود) بیش از ۳ باشد.



نمودار ۲- منحنی قرمز مربوط به نمونه آبخوان با دانه بندی ضعیف و دارای شرایط ایجاد گراول پک طبیعی است.

منحنی آبی نمونه آبخوان با شرایط اجرای گراول پک مصنوعی

تشکیل دهنده آبخوان دانه بندی نسبتاً منظم داشته باشد. (۳) آبخوان لایه های متنوع داشته باشد. (۴) آبخوان ناهمگن^{۲۶} باشد. اجرای گراول پک مصنوعی امکان استفاده از مشبک با شکاف های بزرگتر را فراهم می کند و در عین حال احتمال ماسه دهی و نیز انسداد مشبک را کاهش می دهد. همچنین با توجه به اینکه تراوایی^{۲۷} گراول پک بیش از مواد طبیعی آبخوان است، شعاع موثر چاه افزایش پیدا می کند. همچنین زمان توسعه چاه ممکن است کاهش پیدا کند.

البته استفاده از گراول پک مصنوعی نیاز به قطر حفاری بیشتری در مقایسه با گراول طبیعی دارد که باعث افزایش هزینه حفاری خواهد شد. همچنین تأمین مواد مناسب و با کیفیت برای گراول پک مصنوعی موضوع مهمی است که همیشه به سادگی در دسترس نیست.

براساس نظر David Banks، Bruce Misstear و Lewis Clark سائز شکافهای اسکرین در این حالت معادل سائز D_{40} خواهد بود. البته این فاکتور برای اسکرین های کوچک مناسب نیست و زمینه انسداد اسکرین را فراهم می کند. همچنین نامبردگان توصیه می کنند چنانچه سائز منافذ اسکرین کمتر از نیم میلیمتر محاسبه شد، اساساً گراول مصنوعی به کار برده شود.

ب) گراول پک مصنوعی:

استفاده از گراول پک مصنوعی بدین معناست که فضای پیرامونی لوله مشبک با استفاده از شن با دانه بندی محاسبه شده و با شرایط کیفی مشخص که توسط حفار تهیه شده است، پر شود. گراول پک مصنوعی زمانی مورد استفاده قرار می گیرد که: (۱) مواد تشکیل دهنده آبخوان ریزدانه باشد. (۲) مواد

^{۲۵} Uniformity coefficient

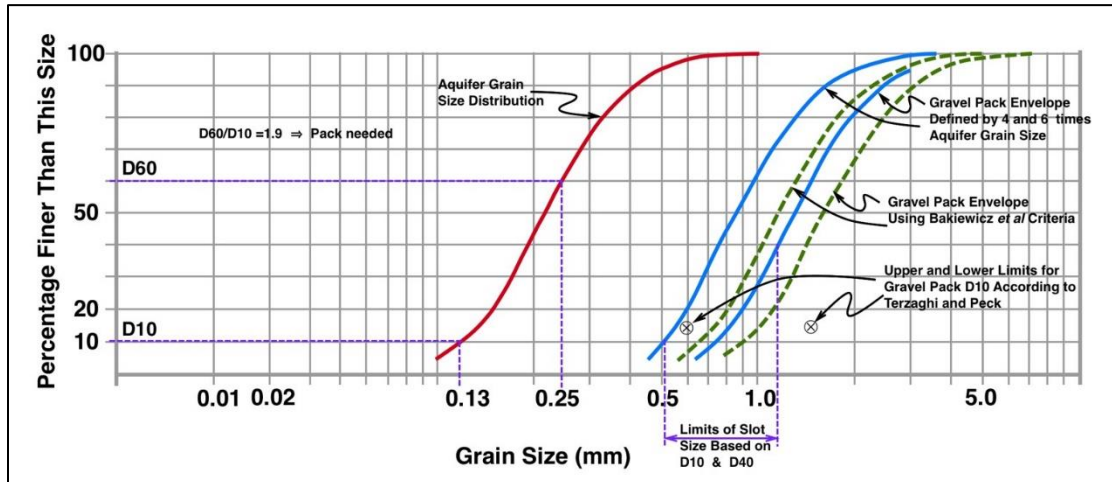
^{۲۶} Heterogenic

^{۲۷} Permeability

^{۲۲} Natural gravel pack

^{۲۳} Artificial gravel pack

^{۲۴} Poorly sorted



نمودار ۳- منحنی قرمز مربوط به نمونه آبخوان و منحنی آبی مربوط به ابعاد تعیین شده برای گراول بر اساس توصیه
Bruce Misstear, David Banks, Lewis Clark

The Australian Industry Training
۱۹۹۷ Committee گراول پک یکنواخت بر اساس ۵ برابر
اندازه مواد آبخوان را توصیه می کند.

Bruce Misstear, David Banks, Lewis
۲۰۰۶ Clark معتقدند خطا در نمونه برداری از آبخوان بسیار
رایج و دستیابی به نمونه های قابل اعتماد نیز امری مشکل است
لذا توصیه می کنند که منحنی توزیع ذرات اندازه ذرات گراول پک
مشابه منحنی توزیع ذرات آبخوان و در محدوده ۴ تا ۶ برابری
اندازه ذرات آبخوان باشد. همچنین شکاف های مشبک بین
D۱۰ تا D۴۰ گراول پک باشد. در صورت یکنواختی گراول
پک، عدد پایین تر ارجح است.
برای تعیین اندازه ذرات گراول پک بر اساس استاندارد
DIN۴۹۲۴:

$$U = \frac{D_{60}}{D_{10}}$$

$$F_g = 5 + U \leftarrow 1 < U < 5 \text{ برای}$$

$$F_g = 10 \leftarrow 5 \leq U \text{ برای}$$

$$D_s = d_g \times F_g$$

که:

Ds قطر ذرات گراول پک، dg قطر ذرات آبخوان، Fg
فاکتور اسکرین و U ضریب یکنواختی است.

یکی از مهمترین نکات در طراحی چاه، محاسبه ابعاد گراول
مورد نیاز چاه است که بر اساس منحنی غربال نمونه های
فرمسیون انجام می شود و اغلب روش های محاسبه آن بر مبنای
کارهای Terzaghi و Peck در زمینه طراحی فیلتر در مکانیک
خاک بر می گردد:

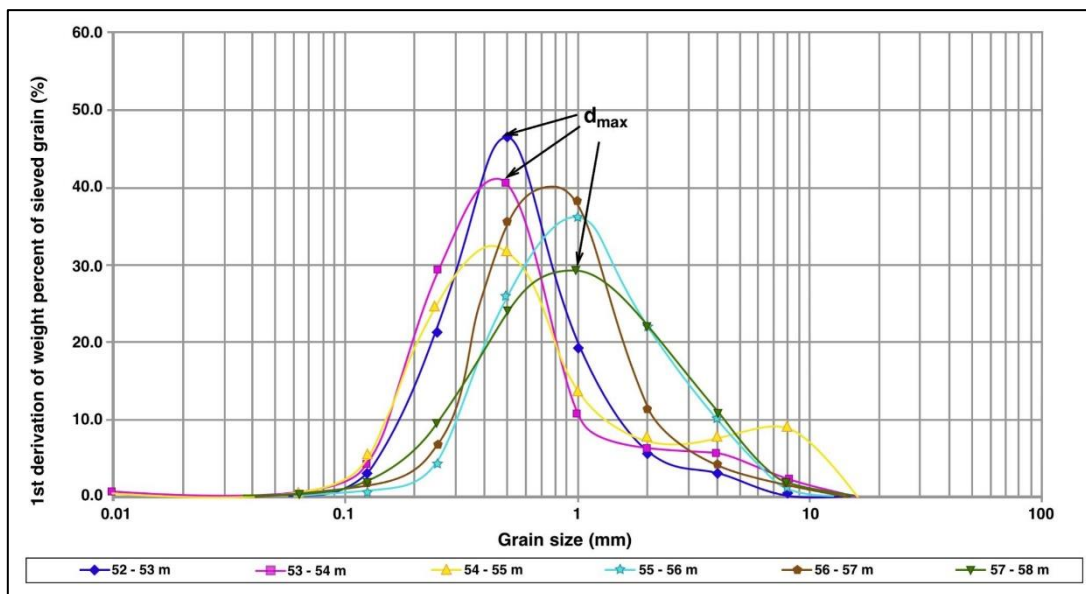
$$\frac{Gravel\ pack\ D_{15}}{Aquifer\ D_{85}} < 4$$

$$< \frac{Gravel\ pack\ D_{15}}{Aquifer\ D_{15}}$$

توافق عمومی در مورد گراول پک چنین است:

- ۱) یکنواخت باشد و ضریب یکنواختی آن مشابه
آبخوان باشد.
- ۲) به نسبت مشخصی از ذرات آبخوان درشت تر باشد.
- ۳) بر اساس ریزدانه ترین لایه آبخوان طراحی می شود.
در اینجا به برخی روش های محاسبه ابعاد گراول پک
مصنوعی اشاره می شود.

۱۹۹۰ Roscoe Moss Co. ابعاد گراول را بر مبنای
D۵۰ ذرات آبخوان محاسبه و D۵۰ ذرات گراول را بین ۵ تا
۶ برابر D۵۰ آبخوان در نظر گرفته و منحنی دانه بندی گراول
را به موازات منحنی آبخوان ترسیم می کند.



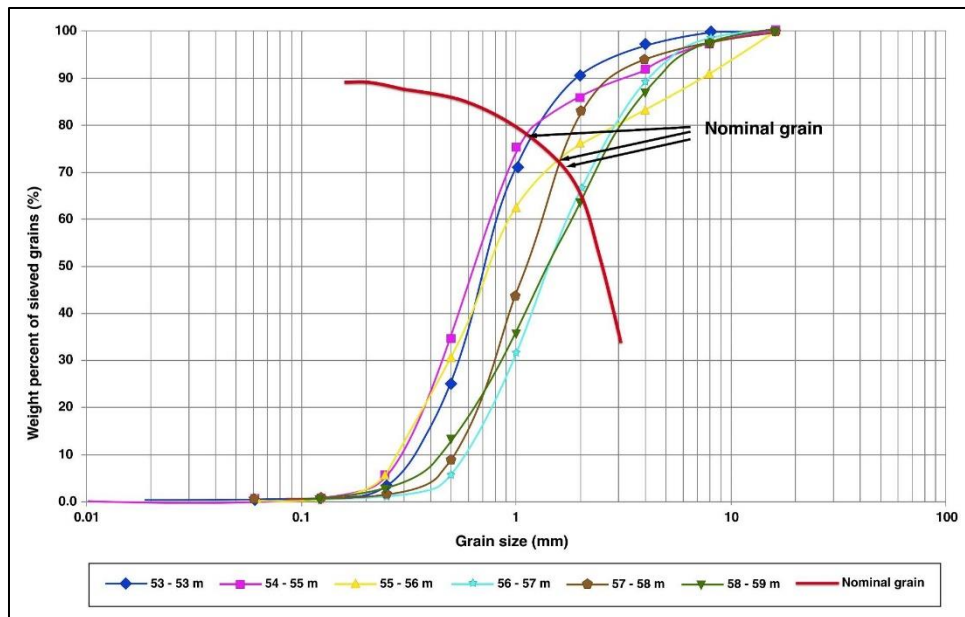
نمودار ۴- تعیین ابعاد d_g بر اساس دستورالعمل DVGW-۱۱۳ آلمان. استفاده از قله منحنی در نمودار درصد وزنی ذرات

درمجموع این اتفاق نظر وجود دارد که ابعاد بهینه گراول پک در محدوده ۴ تا ۶ برابر ابعاد ذرات آبخوان است. گراول ریزتر با کاهش منافذ، منجر به کاهش نفوذپذیری می‌شود. همچنین ذرات گراول بزرگتر از این محدوده ابعادی تا ۱۲ برابر اندازه ذرات آبخوان، با افزایش احتمال پل بستن ذرات دانه ریز، کاهش نفوذپذیری را به همراه خواهد داشت. گراول درشت‌تر از ۱۲ برابر اندازه آبخوان اگرچه منجر به افزایش نفوذپذیری خواهد شد، لیکن قادر به نگه داشتن فرماسیون نبوده و عبور شدید ذرات آبخوان از گراول را به همراه خواهد داشت.

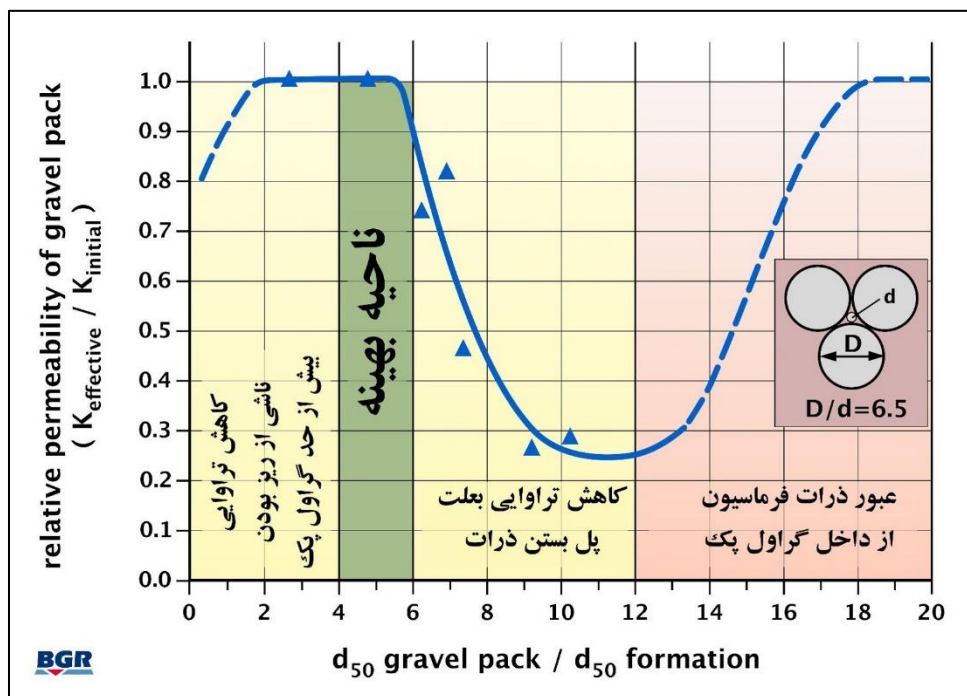
بر اساس دستورالعمل DVGW-۱۱۳ آلمان برای تعیین اندازه ذرات آبخوان به جای منحنی تجمعی وزنی ذرات زیر غربال نمونه آبخوان، از منحنی توزیع وزن زیر غربال به اندازه ذرات (غیر تجمعی) استفاده می‌شود. در این حالت منحنی شبیه نرمال خواهد بود. در این روش:

$$d_g = (d_{max} + d_{next}) / 2$$

اگر روی منحنی چند نقطه ماکزیمم وجود داشته باشد، نقطه پایین‌تر ملاک قرار می‌گیرد و اگر هیچ نقطه ماکزیمم واضحی وجود نداشته باشد، D_{30} معادل d_g در نظر گرفته می‌شود. اندازه d_g از روش BIESKE نیز بر اساس منحنی تجمعی غربال و منحنی تجربی تقاطع با آن قابل تخمین است. در این روش منحنی تجربی BIESKE بر نمودار غربال منطبق شده و نقطه تقاطع منحنی تجربی با منحنی هریک از نمونه‌های مواد آبخوان، معادل d_g برای آن نمونه خواهد بود.



نمودار ۵- تعیین ابعاد dg بر اساس روش BIESKE



نمودار ۶- محدوده بهینه ابعاد گراول پک

ضخامت لایه گراول پک

از ۱۵۰ میلیمتر ممکن است در فرآیند توسعه به‌ویژه در حذف کیک گل^{۲۸} ناشی از حفاری دورانی مستقیم^{۲۹} اختلال ایجاد کند. توصیه استاندارد DIN ۴۹۲۴ در مورد ضخامت لایه گراول پک به شرح جدول ۱ است.

Bruce Misstear, David Banks, Lewis Clark توصیه می‌کنند که ضخامت لایه گراول پک کمتر از ۷۵ میلیمتر و بیش از ۱۵۰ میلیمتر نباشد. گراول پک نازکتر از ۵۰ میلیمتر ممکن است نقش نگدارنده فرماسیون را انجام دهد ولی فیلتر قابل اعتمادی نیست. همچنین گراول پک ضخیم‌تر

جدول ۱- ضخامت گراول پک بر اساس توصیه DIN ۴۹۲۴

ضخامت گراول پک	
ابعاد ذرات (mm)	ضخامت گراول پک (mm)
< ۲	≥ ۵۰
۲ — ۸	≥ ۸۰
۸ — ۳۱.۵	≥ ۱۰۰

کیفیت گراول پک

بیشتر باشد. مقدار مواد آلی باید کمتر از نیم درصد باشد و گراول باید شسته و عاری از آلودگی باشد. سطح دانه‌های گراول باید صاف و مدور باشد. به هیچ وجه استفاده از مواد شکسته یا خرد شده مجاز نیست.

برابر استاندارد DIN ۴۹۲۴ ضروریست مواد مورد استفاده به‌عنوان گراول پک، از جنس کوارتز خالص با حداقل خلوص ۹۶٪ سیلیکات باشد. مجموع مقادیر ناخالصی شامل رس، آهک، فلدسپار، آهن، خرده و شکسته نباید از ۴٪ کل گراول



شکل ۳- نمونه گراول با کیفیت استاندارد DIN ۴۹۲۴

^{۲۹} DC-Rotary Drilling

^{۲۸} Mud-cake

ابعاد منافذ در استانداردها و دستورالعمل‌های مختلف، متفاوت است اگرچه در هر حال، تابع اصول شرح داده شده انتخاب می‌شود.

الف) اسکرین در گراول پک طبیعی:

در صورت استفاده از گراول پک طبیعی Bruce Misstear, David Banks, Lewis Clark توصیه می‌کنند که در اغلب شرایط، شکافهای اسکرین به شکل محافظه‌کارانه و بر اساس D₄₀ و با در نظر گرفتن حداقل ۶ نمونه از مواد آبخوان انتخاب شود. در آبخوان هموزن با دانه‌بندی ضعیف محدوده آزادتری مانند D₅₀ قابل انتخاب است. در آبخوان هتروژن انتخاب ابعاد شکاف‌ها براساس آنالیز بخشهای دانه ریز آن انجام می‌شود. در آبخوان با تنوع لایه‌های مختلف، ممکن است برای هر عمق، اسکرین با اندازه شکافهای متفاوت انتخاب شود. در این صورت اسکرین ریزتر باید حدود ۱ متر در لایه با دانه‌بندی درشت‌تر امتداد داده شود تا از پمپاژ مواد دانه ریز جلوگیری شود.

ب) اسکرین در گراول پک مصنوعی:

در شرایط اجرای گراول پک مصنوعی، Driscoll ۱۹۸۶ توصیه می‌کند که سائز شکافهای اسکرین بر اساس D₁₀ مواد گراول پک انتخاب شود. American society of civil engineering ۱۹۹۶ نیز توصیه مشابهی دارد. The national ground water association ۱۹۹۸ بر همین شرایط تأکید دارد. اما The American water work association ۱۹۹۸ اندازه مناسب شکاف‌های اسکرین را بر اساس D₀ تا D₁₅ مواد گراول پک تعیین می‌کند که در اینصورت اسکرین قادر خواهد بود که بین ۸۵٪ تا ۱۰۰٪ گراول پک را نگه دارد. The Australian drilling industry training committee ۱۹۹۷ اندازه شکافهای اسکرین ۲۰٪ کوچکتر از ریزترین ذرات گراول پک تأکید می‌کند تا ۱۰۰٪ مواد گراول را بیرون اسکرین نگه دارد. Bakiewics et al ۱۹۸۵ توصیه می‌کنند که سائز شکافهای اسکرین بزرگتر از D₁₀ گراول و کوچکتر از نصف D₈₅ گراول باشد با این فرض که اگر اسکرین D₈₅ گراول را نگه دارد، گراول می‌تواند اجزاء ریزتر را نگه دارد. البته بعداً یک ضریب اطمینان ۲ به این توصیه اضافه شد که به عبارت دیگر به معنای توصیه D₄₀ گراول برای تعیین ابعاد منافذ اسکرین است. نهایتاً Bruce Misstear, David

گراول مورد استفاده در چاه باید از طریق لوله شن‌ریز یا ترمی از کف چاه به سمت بالا تزریق شود. به این منظور هم‌زمان با ریختن گراول، لوله ترمی از پایین‌ترین قسمت چاه به تدریج به بالا کشیده می‌شود. چنانچه تزریق گراول با لوله ترمی و با دقت کافی انجام نشود، احتمال پل بستن و پر شدن ناقص فضای پیرامونی وجود دارد. همچنین در صورت سقوط آزاد گراول به داخل چاه امکان تفکیک ابعادی و لایه لایه شدن گراول وجود دارد. در مورد آبخوانی که ابعاد دانه‌های فرماسیون تنوع و تفاوت چشمگیر دارد و لایه‌های ضخیم با دانه‌بندی مختلف وجود دارد، می‌توان برای هر لایه از آبخوان بر اساس منحنی غربال آن لایه، گراول پک با ابعاد مختلف انتخاب نمود. با این وجود باید یادآوری شود که اجرای این شیوه گراول‌پک بسیار مشکل است و علاوه بر زمان توسعه چاه امکان برهم خوردن نظم لایه‌های گراول پک وجود دارد. در هر صورت چنانچه این شیوه گراول پک مورد نظر است، باید به منظور کاهش احتمال آسیب و نیز پیشگیری از ماسه‌دهی، گراول مربوط به لایه ریزدانه، حدود یک متر در لایه درشت دانه بالایی و پایینی امتداد داده شود. در مورد آبخوانی که لایه‌های نازک با دانه‌بندی متنوع دارد، باید گراول با یک دانه‌بندی واحد و بر مبنای ریزترین لایه آبخوان استفاده شود. علاوه بر گراول ریزی دور لوله جدار، امکان استفاده از گراول پیش ساخته همراه با اسکرین یا گراول پریپک نیز وجود دارد. معمولاً در این حالت، ذرات گراول در مجاورت اسکرین درشت‌تر و در سمت آبخوان ریزتر قرار گرفته‌اند. اگر چه نصب این نوع لوله‌ها بسیار مشکل بوده و امکان صدمه به گراول بسیار بالاست و اجرای آن در بسیاری موارد اصولاً غیرممکن است. لذا این نوع گراول کاربرد آن در چاه‌های بهره‌برداری بسیار محدود و اغلب در چاه‌های مشاهده‌ای به کار برده می‌شود.

تعیین ابعاد منافذ لوله مشبک^{۳۰}

ابعاد شکاف‌ها یا منافذ لوله مشبک یا اسکرین تابع ابعاد ذرات گراول پک بوده و لذا بر مبنای منحنی غربال تعیین می‌شود. اندازه منافذ باید ضمن نگه داشتن ذرات گراول‌پک، در همکاری با گراول، به ذرات دانه ریز آبخوان که حین عملیات توسعه تخلیه می‌شوند، اجازه عبور دهد تا در حین پمپاژ به داخل چاه وارد شده و به همراه آب از طریق پمپ تخلیه شوند. حدود

^{۳۰} Screen Slot Width

Banks, Lewis Clark معیار D۴۰ گراول را برای ابعاد ماکزیمم شکاف های اسکرین توصیه می کنند اما اگر گراول پک همگن مورد استفاده قرار گیرد، عدد محافظه کارانه D۱۰ را مینا قرار می دهند. در صورت استفاده از استاندارد DIN۹۲۴ و دستورالعمل DVGW-۱۱۸ که بر مبنای این استاندارد تدوین شده است، اندازه شکاف های اسکرین به شرح جدول زیر خواهد بود:

جدول ۲- ابعاد توصیه شده منافذ اسکرین بر اساس دستورالعمل DVGW-۱۱۸

اندازه منافذ توصیه شده اسکرین (DVGW-۱۱۸)	
اندازه ذرات گراول پک بر اساس استاندارد (mm) DIN۹۲۴	اندازه شکاف های اسکرین (mm)
۰,۷۱ – ۱,۲۵	۰,۳ – ۰,۵
۱,۰ – ۲,۰	۰,۵ – ۰,۷۵
۲,۰ – ۳,۱۵	۱,۰ – ۱,۵
۳,۱۵ – ۵,۶	۲,۰ – ۲,۵
۵,۶ – ۸,۰	۳,۰ – ۴,۰
۸,۰ – ۱۶	۴,۰ – ۵,۰

پس از تعیین اندازه ذرات گراول پک و اندازه منافذ اسکرین و با توجه به ضخامت لایه گراول پک، با آگاهی از قطر لوله جدار و اسکرین می توان قطر نهایی حفاری را تخمین زد. توجه به این نکته ضروریست که افزایش قطر حفاری رابطه خطی با میزان

آبدهی چاه نداشته و افزایش آبدهی از طریق افزایش قطر در مقایسه با افزایش هزینه های احداث چاه منطقی نیست.

جدول ۳- درصد تغییر میزان آبدهی چاه به ازای تغییر قطر

Effect of increase in well diameter on well yield							
Well diameter (cm)	10	15	20	30	45	60	90
Percent increase	0	5%	10%	15%	23%	28%	38%
		0	5%	10%	18%	23%	33%
			0	5%	13%	18%	28%
				0	5%	13%	23%
					0	5%	15%
						0	10%

کنترل حفار یا طراح چاه نیستند، لیکن افت سطح آب ناشی از ساختمان چاه، تحت تأثیر شرایط حفر و شستشو و توسعه چاه بوده و امکان کنترل و محدود کردن آن وجود دارد. راندمان چاه عبارت است از افت پمپاژ ناشی از اثر آبخوان تقسیم بر کل افت پمپاژ و بدیهی است که کاهش سهم افت چاه به کاهش افت کلی منجر شده و لذا راندمان چاه افزایش پیدا می‌کند.

$$\text{Well efficiency} = \frac{\text{Aquifer loss}}{\text{Total loss}}$$

به این ترتیب واضح است که یکی از اهداف توسعه چاه، کاهش افت فیلتر یا افت چاه است که منجر به بهبود راندمان چاه خواهد شد. باید توجه داشت که افت چاه یا افت فیلتر (که با عنوان افت شبکه نیز نامیده شده است) تحت تأثیر عوامل گوناگونی ایجاد می‌شود و وابسته به یک عامل منفرد نیست.

بنابراین تنها عامل مؤثر واقعی در تعیین قطر حفاری، ضخامت لایه گراول و نیز قطر لوله جدار مورد نیاز خواهد بود. قطر لوله جدار نیز بستگی به ابعاد منصوبات داخل چاه با در نظر گرفتن سرعت جریان آب در اطراف الکتروپمپ خواهد داشت. به عبارت دیگر ضرورت دارد که در زمان طراحی چاه، تخمینی از میزان تقریبی آبدهی آینده چاه وجود داشته و بر مبنای آن، توان الکتروموتور و به تبع آن قطر پمپ و الکتروموتور بطور تقریبی پیش‌بینی شود و سپس با در نظر گرفتن سرعت مجاز جریان آب اطراف الکتروموتور (که معمولاً بین ۰/۵ تا ۲ متر بر ثانیه در نظر گرفته می‌شود) قطر لوله جدار برآورد شود.

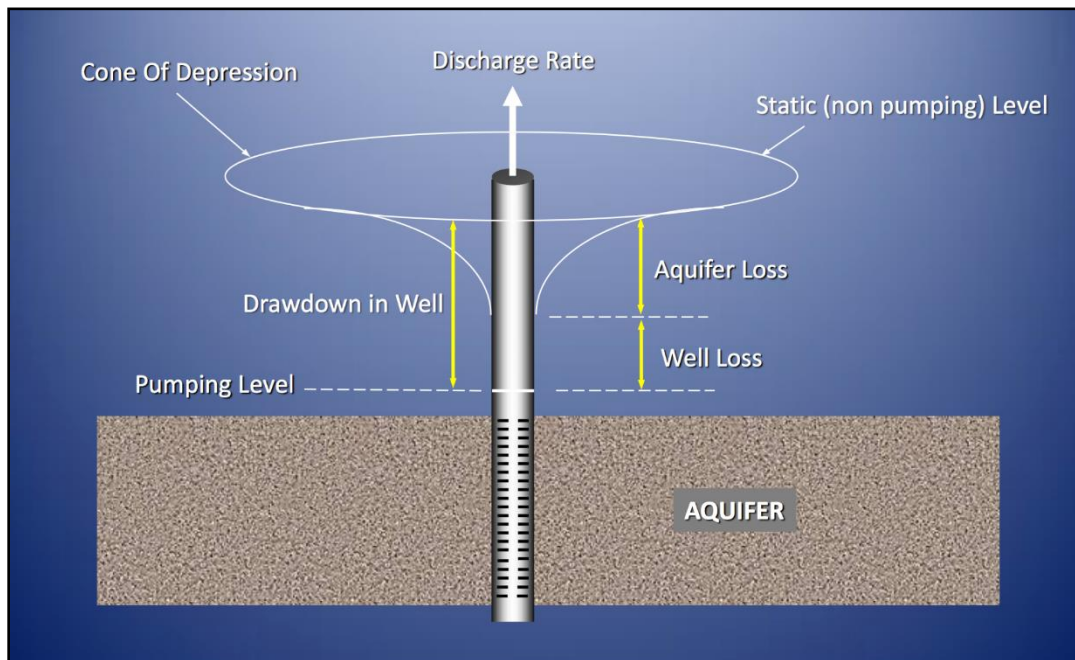
۳- توسعه چاه^{۳۱}

پس از تکمیل ساختمان چاه و بعد از انجام فرآیند شستشوی آن (که به منظور تخلیه باقیمانده خرده‌های^{۳۲} حفاری و حذف گل حفاری از چاه و در برخی روش‌ها، برای تسهیل گراول‌ریزی صورت می‌گیرد)، عملیات توسعه چاه آغاز می‌شود. اهداف اصلی توسعه چاه عبارتند از:

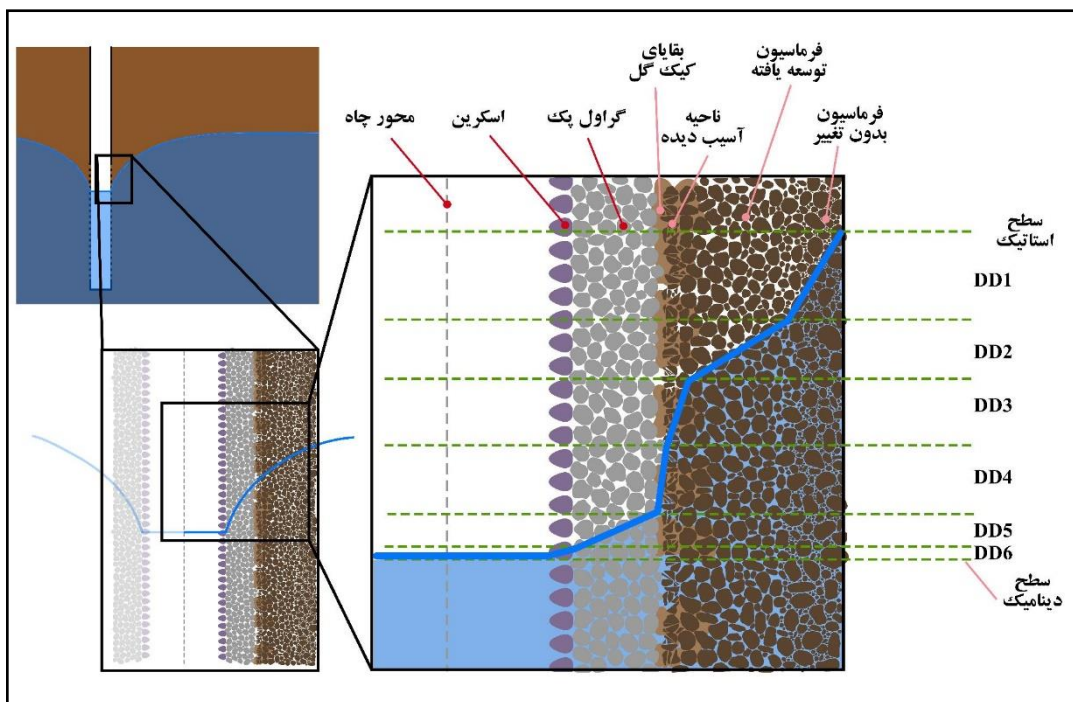
- (۱) بازیابی آبخوان به دنبال آسیب ناشی از حفاری
 - (۲) کاهش افت هد از طریق افزایش تخلخل
 - (۳) افزایش راندمان چاه
 - (۴) کاهش افت پمپاژ و کاهش هزینه استحصال
 - (۵) بازیابی و احیاء چاه به دنبال انسداد تدریجی
- فرآیند توسعه چاه در نواحی مختلفی در اطراف چاه تأثیر می‌گذارد که شامل گراول پک، کیک گل^{۳۳} (که به علت تهاجم گل حفاری بخصوص با محتوای رس بالا ایجاد می‌شود)، ناحیه آسیب دیده^{۳۴} ناشی از حفاری (بخشی از مواد تشکیل دهنده آبخوان که به دلیل تماس با سرشته حفاری تخریب، شکسته یا بافت طبیعی آن بهم می‌خورد) و بخشی از فرماسیون آبخوان در مجاورت چاه هستند.
- در چاه‌های حفاری شده در آبرفت، در هنگام پمپاژ و برداشت آب، سطح آب داخل چاه نسبت به سطح آب استاتیک آبخوان پایین رفته و با تشکیل مخروط افت در سطح دینامیک آب قرار می‌گیرد. میزان افت سطح آب در زمان پمپاژ، تابع هیدرولیک چاه و آبخوان خواهد بود. عوامل مؤثر در افت سطح آب به دو دسته کلی شامل کیفیت آبخوان، و کیفیت فیلتر (یا ساختمان چاه) قابل تقسیم هستند. تفکیک میزان اثر هر یک از این دو عامل توسط آزمایش پمپاژ چاه امکانپذیر است. کیفیت آبخوان و خصوصیات هیدرولیکی آن معمولاً تابع زمین‌شناسی و خصوصیات مواد تشکیل دهنده آبخوان بوده و اساساً تحت

^{۳۳} Mud cake
^{۳۴} Damaged zone

^{۳۱} Well development
^{۳۲} Cuttings



شکل ۴- مخروط افت و تفکیک افت پمپاژ به افت آبخوان و افت چاه



شکل ۵- تفکیک افت فیلتر به اجزاء تشکیل دهنده آن شامل افت در اسکرین، افت در گراول پک، افت در کیک گل، افت در ناحیه آسیب دیده، افت در فرماسیون مجاور چاه

برای کاهش اثر افت فیلتر اقدامات گوناگونی انجام می‌شود که هر یک مربوط به یک جزء از عوامل ایجاد کننده افت است. همانگونه که در تصویر ۵ مشاهده می‌شود، افت سطح آب در مخروط افت تا نزدیکی چاه تحت تأثیر خصوصیات هیدرولیکی آبخوان (هدایت هیدرولیکی) رخ می‌دهد. در مجاورت چاه، افت قابل تجزیه به عوامل ایجاد کننده آن است. DD^۱ و DD^۲ ناشی از افت در فرمسیون آبخوان است که البته در فواصل مختلف از چاه به درجات مختلفی تحت تأثیر توسعه چاه قرار می‌گیرد. DD^۳ افت در ناحیه آسیب دیده و DD^۴ افت ناشی از کیک گل حفاریست. DD^۵ افت در گراول پک و DD^۶ افت در منافذ لوله اسکرین چاه است. برای ایجاد یک چاه بهینه، تلاش می‌شود که همه این اجزاء به حداقل ممکن کاهش داده شوند. DD^۶ و DD^۵ با رعایت اصول صحیح طراحی و انتخاب کیفیت و ابعاد مناسب، قابل کنترل هستند. سایر اجزاء افت، طی فرآیند توسعه چاه کنترل می‌شوند. با توجه به نوع و نحوه اثر و زمان شکل‌گیری هر یک از عوامل مخرب، توسعه چاه نیز در مراحل مختلف و به انحاء مختلفی انجام می‌گیرد. بنا براین توسعه چاه در سه مرحله کلی به شرح زیر انجام می‌شود:

(۱) پیش توسعه^{۳۵}

(۲) توسعه اولیه^{۳۶}

(۳) توسعه نهایی^{۳۷}

در واقع فرآیند توسعه چاه از ابتدای حفاری چاه آغاز می‌شود.

الف: پیش توسعه

این مرحله شامل کلیه اقداماتی است که در حین عملیات حفاری به منظور به حداقل رساندن صدمات ناشی از حفر، به‌ویژه کنترل سیال حفاری و کاهش تهاجم گل^{۳۸} و کاهش ایجاد کیک گل صورت می‌گیرد. مهمترین این اقدامات به حداقل رساندن چگالی^{۳۹}، کاهش لزوجت^{۴۰} و کاهش محتوای شن در سیال حفاریست. کاهش چگالی و لزوجت سیال تنها از طریق بهبود روش های حفاری و بکارگیری تجهیزات و

امکانات جدید امکانپذیر خواهد بود. همچنین کاهش محتوای شن سیال به شدت به چگالی و ویسکوزیته آن و نیز تجهیزات جداسازی خرده‌های حفاری وابسته است.

ب: توسعه اولیه

توسعه اولیه اقداماتی است که بلافاصله پس از خاتمه عملیات حفاری و لوله‌گذاری و توسط امکانات دستگاه حفاری انجام می‌شود. این اقدامات شامل به گردش در آوردن^{۴۱} سیال رقیق شده، تخلیه^{۴۲}، انواع پیستون زدن^{۴۳}، ارلیفت^{۴۴} و واترجت^{۴۵} است. بطور معمول در روش حفاری دورانی مستقیم، پس از لوله گذاری، عملیات شستشوی چاه صورت می‌گیرد که شامل رقیق کردن تدریجی گل حفاری و پمپاژ آن به داخل چاه است که به تدریج باقیمانده خرده‌های حفاری و گل حفاری را از چاه خارج می‌کند. شستشو تا مرحله پمپاژ آب خالص و عاری از گل و خرده‌های حفاری ادامه پیدا می‌کند. در واقع اجرای این مرحله به علت ضعف ذاتی تکنیک حفاری دورانی مستقیم در خروج خرده‌های حفاری از چاه بخصوص در اقطار حفاری بالا انجام می‌شود. با افزایش سطح مقطع حفاری چاه با افزایش قطر حفاری، سرعت جریان گل به سمت بالا در داخل چاه کم شده و برای اینکه سیال حفاری قادر به حمل خرده‌های حفاری باشد، به ناچار چگالی و لزوجت گل حفاری افزایش داده می‌شود. با تشدید غلظت گل، جدا شدن خرده‌ها از گل حفاری در مخزن گل نیز مختل می‌شود و در نتیجه گل حفاری در حالی مجدداً به داخل چاه پمپاژ می‌شود که حاوی بخش بزرگی از خرده‌های حفاریست. تنها پس از لوله‌گذاری با کاهش سطح مقطعی که در آن سیال حفاری به سمت بالا جریان می‌یابد، سرعت جریان افزایش پیدا می‌کند و امکان رقیق شدن گل و خارج شدن خرده‌های حفاری از چاه فراهم می‌شود.

- پیستون زدن تکي Single Swab: در این روش معمولاً یک قطعه Plunger که به انتهای رشته حفاری بسته می‌شود هزمان با تزریق آب از رشته حفاری^{۴۶} (مجموعه سوزنهای حفاری دورانی)، با دامنه و سرعت مختلف به بالا و پایین حرکت داده می‌شود. ممکن است پیستون به‌جای رشته حفاری به انتهای کابل بسته شود (در مورد دستگاه‌های حفاری ضربه‌ای) در

^{۴۱} Circulating

^{۴۲} Bailing

^{۴۳} Swabbing

^{۴۴} Air-lift

^{۴۵} Water-jet

^{۴۶} String

^{۳۵} Pre-development

^{۳۶} Preliminary development

^{۳۷} Final development

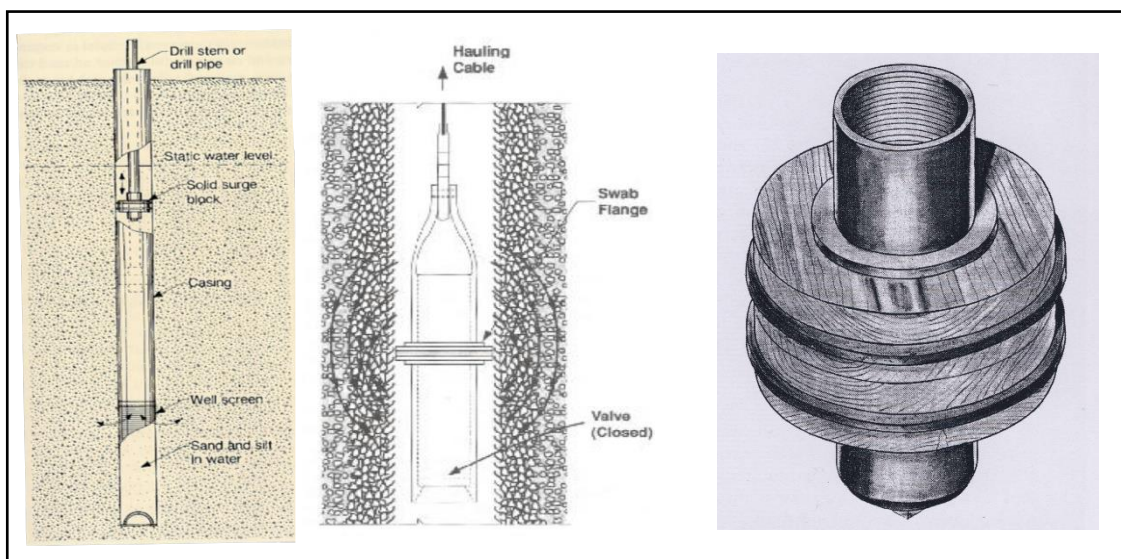
^{۳۸} Mud invasion

^{۳۹} Density

^{۴۰} Viscosity

شود. پیستون زدن در هر بخش اسکرین چاه در چند نوبت تکرار می‌شود تا نتایج مطلوب کسب شود.

اینصورت برای تخلیه مواد اضافی از چاه از بیلر^{۴۷} استفاده می‌شود. به منظور عملکرد صحیح و پیشگیری از صدمه به چاه لازم است دامنه و سرعت حرکت پیستون به دقت کنترل شود. مواد زائدی که در چاه می‌ریزد باید مرتباً با وسایل مناسب تخلیه



شکل ۶- سمت راست نمونه پیستون، وسط پیستون متصل به کابل همراه با بیلر، سمت چپ پیستون متصل به رشته حفاری

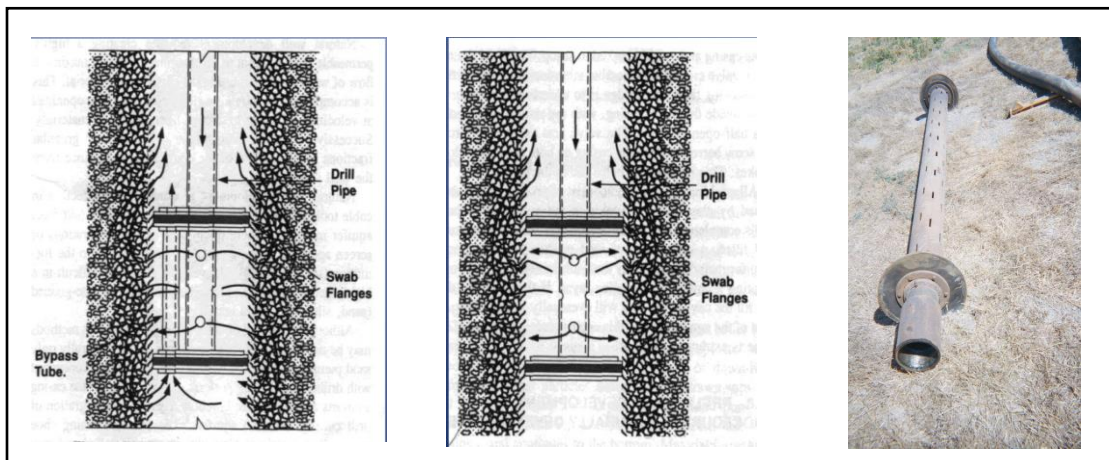
به کار می‌روند، از طریق اندازه‌گیری مقدار ذراتی که از چاه بیرون کشیده می‌شوند، تشخیص داده می‌شود. در هر دو روش پیستون زنی تکی و دوبل، از آنجا که حرکت شدید پیستون با سمت بالا و پایین ممکن است منجر به اعمال فشار یا مکش بیش از حد مقاومت شعاعی لوله جدار شود و احتمال صدمه به جدار وجود دارد، لذا گاهی یک لوله کنارگذر^{۴۹} در پیستون قرار داده می‌شود تا بخشی از فشار وارده به سیال امکان فرار و تخلیه داشته باشد.

- پیستون زدن دوبل Double Swab: در این شیوه، از دو پکر^{۴۸} جداگانه که در دو انتهای یک لوله سوراخکاری شده قرار داده شده‌اند استفاده می‌شود که در انتهای رشته حفاری نصب می‌شوند. به این ترتیب، آب که از داخل رشته حفاری تزریق می‌شود از داخل منافذ بین دو پکر خارج شده و از خلال مشبک چاه به داخل گراول پک و فضای پیرامونی نفوذ می‌کند. همزمان حرکت بالا و پایین پیستون نیز اجراء می‌شود. موثر بودن این شیوه مانند همه روشهایی که در توسعه و یا بهسازی چاه‌ها

^{۴۹} Bypass

^{۴۷} Bailer

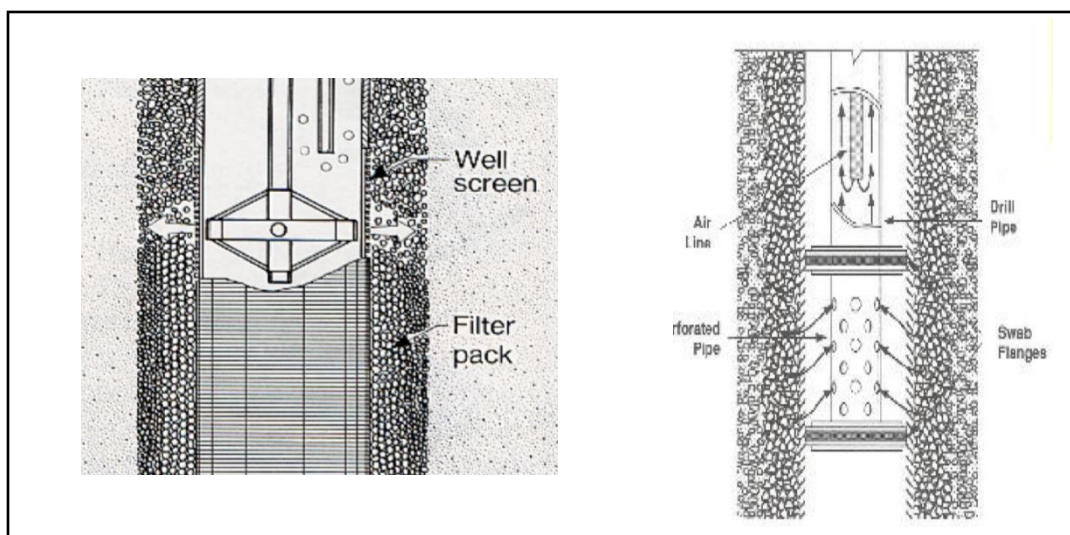
^{۴۸} Packer



شکل ۷- سمت راست نمونه پیستون دوبل، وسط کاربرد پیستون دوبل در چاه، سمت چپ کاربرد پیستون دوبل با بایپس

-استفاده از واترجت Water-jet: در این شیوه با استفاده از نازل‌های ویژه، آب با دبی و فشار مشخص به داخل منافذ لوله مشبک چاه تزریق می‌شود. نیروی وارده باعث جابجایی ذرات گراول پک و تا حدودی فرماسیون مجاور چاه شده و ضمن متحرک کردن ذرات دانه ریز، با ایجاد جریان معکوس به سمت زمین از پل بستن ذرات و انسداد منافذ جلوگیری می‌کند. پس از اجرای واترجت و یا همزمان با آن، ذرات ریز متحرک شده از طریق ایرلیفت یا روش‌های مشابه تخلیه می‌شوند.

- پیستون زدن دوبل با ایرلیفت همزمان Double Swab with Simultaneous Airlift یا به عبارتی پیستون دوبل با گردش معکوس سیال شامل مجموعه دو پکر و لوله سوراخکاری شده بین آنها مشابه روش پیستون زنی دوبل است با این تفاوت که یک رشته لوله با قطر کمتر در داخل لوله اصلی قرار گرفته و با تزریق هوا و با استفاده از فرآیند ایرلیفت، باعث جریان رو به بالا شده و بنابراین، در فضای بین دو پکر جریان آب از فرماسیون به داخل چاه برقرار می‌شود. در نتیجه همزمان با عمل پیستون زدن و حرکت بالا و پایین پیستون، آب به همراه ذرات جدا شده به خارج از چاه پمپاژ می‌شود.

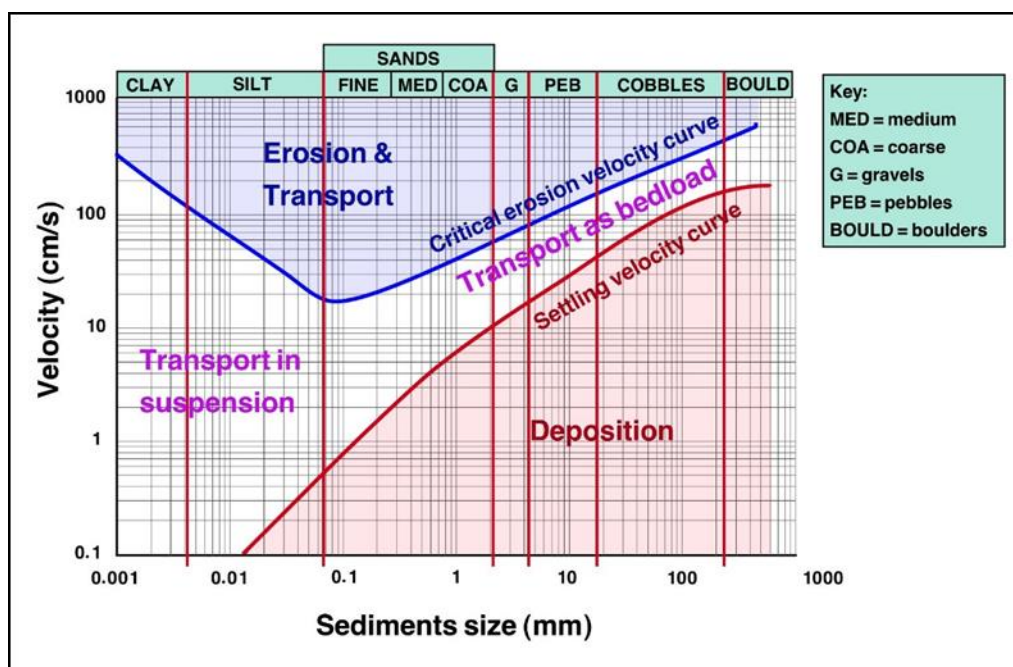


شکل ۸- سمت راست پیستون دوبل با ایرلیفت همزمان، سمت چپ استفاده از واترجت

-توسعه نهایی

توسعه نهایی چاه بوسیله برنامه وسیعی شامل پمپاژ، ایجاد نیروی موج^{۵۰}، شستشو و تخلیه چاه انجام می‌شود تا حتی‌الامکان همه ذرات ریزدانه (سیلت و رس) از فضای بین ذرات گراول پک و فرماسیون مجاور چاه حذف و تخلیه شود. همچنین طی این فرآیند با تخلیه ذراتی که طی طراحی گراول پک و اسکرین هدف‌گذاری شده‌اند، دانه‌بندی از درشت به کوچک در فضای پیرامون چاه شکل می‌گیرد و چاه به بهترین شرایط هیدرولیکی ممکن می‌رسد. عملیات توسعه نهایی چاه با استفاده از یکی از شیوه‌های مرسوم پمپاژ که تشریح خواهد شد انجام می‌شود. پمپ مورد استفاده در توسعه چاه باید بتواند نیروی لازم برای به حرکت درآوردن و تخلیه محدوده ابعادی مشخصی از ذرات

را ایجاد کند. نیروی ایجاد شده توسط پمپ به‌عنوان تابعی از سرعت آب ورودی به چاه از خلال منافذ یا شکاف‌های اسکرین یا مشبک چاه قابل درک است. آب در حال ورود به چاه در هر سرعت مشخصی قادر به حمل ذرات در اندازه‌های مشخص خواهد بود. بنابر این دبی پمپ باید به نحوی انتخاب شود که بتواند در فیلتر چاه، سرعت مناسب جریان آب برای حمل ذرات هدف را تأمین کند. دبی یا به عبارت دیگر سرعت کمتر قادر به حمل ذرات به میزان کافی نبوده و توسعه کامل چاه انجام نخواهد شد و سرعت بیش از حد منجر به تخریب ساختار چاه و افت راندمان خواهد شد. رابطه بین سرعت حرکت آب و اندازه ذراتی که توسط آن حمل می‌شوند در نمودار Hjulström قابل مشاهده است.



نمودار ۲- نمودار Hjulström نشان دهنده رابطه سرعت جریان آب با اندازه ذرات قابل حمل

انتظار آینده چاه را پمپاژ نماید. در اینجا به برخی از روش‌های توسعه نهایی چاه اشاره می‌شود:
- پمپاژ پلکانی Step Pumping: در این روش پمپ توربینی مطابق آنچه قبلاً تشریح شد در حداکثر عمق ممکن در چاه نصب می‌شود. پمپاژ با حداکثر ۲۰٪ ظرفیت پمپ آغاز شده و

در متداول‌ترین شکل توسعه چاه، از یک پمپ توربینی از نوع نصب با شفت و غلاف^{۵۱}، یک الکتروموتور هالوشافت^{۵۲} یا موتور دیزل همراه با جعبه دنده برای تغییر دور موتور، استفاده می‌شود. در این حالت پمپ علاوه بر تأمین ارتفاع پمپاژ مورد نیاز چاه، باید بتواند حداقل دبی معادل ۱۵۰٪ توان تولید مورد

^{۵۱} Oil lubricated shaft

^{۵۲} Hollow-shaft electromotor

^{۵۰} Surge

می‌شود تا جایی که پس از کلاچ‌گیری، آب در حال پمپاژ، ماده جامد قابل توجهی نداشته باشد. در اینصورت پمپاژ با ۴۰٪ ظرفیت پمپ آغاز می‌شود. به عبارت دیگر پله‌هایی هر یک به فاصله ۲۰٪ ظرفیت پمپ انتخاب و مرحله به مرحله دبی پمپ اضافه می‌شود و در هر مرحله، کل فرآیند پمپاژ و توقف ناگهانی آن به دفعات تکرار می‌گردد. این روند تا رسیدن به ظرفیت نهایی پمپ و حصول آب صاف پس از آخرین کلاچ‌گیری ادامه پیدا می‌کند.

همزمان با اندازه‌گیری مواد جامد خروجی از چاه، تا رفع نسبی جامدات و پمپاژ آب صاف ادامه یافته، سپس با قطع نیرو از پمپ (به عنوان مثال با کلاچ‌گیری) ستون آب لوله آبد به داخل چاه آزاد شده و پس از آن مجدداً پمپاژ با همان دبی ادامه پیدا می‌کند. هدف از قطع نیرو یا کلاچ‌گیری ایجاد جریان معکوس آب از چاه به سمت آبخوان است تا موج (Surge) ایجاد شده، ضمن ارتعاش و بهبود حرکت ذرات دانه‌ریز، مانع از پل بستن و انسداد مجاری عبور آب شود. این مراحل به دفعات تکرار



شکل ۹- توسعه چاه با استفاده از پمپ توربینی

دیگر بستگی دارد). در این روش توسعه کاملتر و نتایج حاصله مطلوبتر خواهد بود.

-پمپاژ پلکانی در اعماق مختلف Step Pumping in various depths: در این شیوه توسعه، مشابه روش پمپاژ پلکانی، ابتدا پمپ در حداکثر عمق ممکن نصب شده و تمامی فرآیند توسعه چاه مشابه روش پلکانی انجام می‌شود. پس از خاتمه تمام پله‌های پمپاژ، پمپ در عمق کمتری نصب می‌شود و تمامی مراحل پمپاژ پلکانی مجدداً در این عمق جدید تکرار می‌شود. تغییر عمق نصب پمپ و تکرار توسعه ممکن است به دفعات انجام شود (عمق محل نصب دوم به بعد و دفعات آن، به طول و کیفیت لوله مشبک، طراحی چاه، هزینه و عوامل متعدد

به مراتب آسانتر است) در یک محفظه مکش شامل لوله سوراخکاری شده و محصور بین دو پکر، متمرکز می‌شود. به این ترتیب نیروی مکش پمپ در ناحیه کوچک بین دو پکر محدود شده و سرعت جریان آب

پالس^{۵۵}، ضربانهای متوالی گاز ازت ایجاد شده، نیروی قابل توجهی از چاه به سمت آبخوان اعمال می‌شود که با تولید موج ضربه و نیز ارتعاش و کاویتاسیون موضعی، به حرکت و تخلیه ذرات دانه‌ریز از فضای پیرامونی چاه کمک می‌کند. این روش که در فرآیند احیاء و بهسازی چاه‌ها نیز کاربرد دارد، معمولاً منتج به توسعه کامل تر و مطلوب تر چاه می‌گردد. عموماً همزمان با پمپاژ، ذرات جامد خروجی از چاه نیز نمونه‌برداری و اندازه‌گیری می‌شوند و بعلاوه تغییرات سطح آب در مراحل مختلف ثبت می‌شوند تا تحلیل دقیقتری از نتایج حاصله در دسترس باشد.

-پمپاژ با محفظه مکش در اعماق مختلف Chamber Pumping in various depths. در این روش توسعه چاه،

ناحیه مکش پمپ (اعم از پمپ توربینی یا الکتروپمپ غوطه‌ور^{۵۳} ESP، گرچه اجرای این روش با استفاده از الکتروپمپ ESP قابل توجهی در هر بخش از لوله مشبک ایجاد می‌کند. پس از تکمیل پمپاژ و توسعه هر مقطع از مشبک، محفظه مکش به بخش بالاتر انتقال داده شده و در مقطع جدید، توسعه انجام می‌شود. در صورت استفاده از الکتروپمپ ESP نرخ پمپاژ از طریق تغییر دور پمپ در محدوده مجاز الکتروموتور و با استفاده از درایو فرکانس متغیر^{۵۴} تغییر داده می‌شود.

- پمپاژ با محفظه مکش در اعماق مختلف همزمان با تفنگ گازی Chamber Pumping in various depths during pulses

از نظر نحوه پمپاژ این روش مشابه پمپاژ با محفظه مکش بوده و الکتروپمپ ESP به همان شیوه، مکش و جریان آب را در یک ناحیه هدف، متمرکز می‌کند. اما در این روش همزمان با پمپاژ، با استفاده از یک تفنگ گازی یا مولد



شکل ۱۰- از سمت راست: ۱) مجموعه تجهیز پمپاژ موضعی و تفنگ گازی، ۲) تفنگ گازی یا ژنراتور پالس، ۳) محفظه تفنگ گازی و محفظه مکش، ۴) مجموعه تجهیزات در حین ورود به چاه

فرم‌اسیون خواهد شد. در نهایت پس از اجرای عملیات توسعه، چنانچه طراحی گراول پک و لوله مشبک چاه و نیز طراحی و اجرای عملیات توسعه چاه به درستی صورت گرفته باشد، فرم‌اسیون مجاور چاه منظم شده و ذرات آن با نزدیک شدن به چاه از ریز به درشت قرار خواهند گرفت و بهترین شرایط

در همه روش‌های توسعه نهایی چاه، ایجاد جریان دو طرفه از آبخوان به چاه و از چاه به آبخوان ضروریست. این جریان دوطرفه ممکن است توسط حرکت پیستون، یا نیروی وارده توسط ژنراتور پالس ایجاد شود. موج معکوس مانع از پل بستن ذرات حمل شده توسط آب در پشت گراول پک یا مواد

^{۵۴} VFD: Variable Frequency Drive
^{۵۵} Air-Shock or Hydro-pulse generator

^{۵۳} Electro Submersible Pump or SEP: Submersible Electro-pump

هیدرولیکی چاه فراهم خواهد شد. همچنین باقیمانده گل حفاری و کیک گل تا جای ممکن حذف شده و مقاومت در برابر جریان آب به چاه به حداقل خواهد رسید. در صورتیکه نیروهای مکانیکی وارده در حین اجرای روشهای مختلف توسعه قادر به پاکسازی مناسب بقایای کیک گل نباشند، ممکن است گروهی از مواد شیمیایی (اغلب یکی از انواع پلی فسفات ها) برای تسهیل جداسازی گل حفاری بکار گرفته شوند.

۴- نتیجه گیری

یک چاه کامل، مجموعه ای از طراحی، فعالیت ها، مواد اولیه و فرآیندهاست و کیفیت نهایی آن بستگی به هر یک از این اجزاء دارد. با طراحی دقیق، بکارگیری روشها و تجهیزات مدرن و

مواد اولیه با کیفیت، می توان انتظار داشت که چاه بهترین عملکرد کمی و کیفی و حداکثر طول عمر اقتصادی را داشته باشد. از جمله مراحل و فرآیندهای مهم در ایجاد چاه، طراحی و اجرای گراول پک، طراحی لوله جدار و اسکرین، و انجام عملیات توسعه چاه است که دقت در اجرای آن و رعایت اصول فنی، می تواند باعث شود که کمترین مشکلات بهره برداری، از قبیل ماسه دهی، آسیب ساختاری، افت آبدهی و تغییر کیفی بروز کند. این مراحل هر یک در جای خود، به اقدامات دیگری به عنوان پیش نیاز وابسته هستند. بنابراین ضروریست ضمن ارتقاء دانش، در زمینه بهبود تجهیزات، روش ها، مواد اولیه و مقررات گام های موثر برداشته شود.

منابع

- Sterrett, Robert J., Groundwater and Wells, ۳rd Ed., Johnson Screens, New Brighton, MN, ۲۰۰۷
- Misstear, Bruce., Banks, David., Clark, Lewis., Water Wells and Boreholes, John Wiley & Sons, LTD., ۲۰۰۶
- Smith, Stuart A., Comeskey, Allen E., Sustainable Wells Maintenance, Problem Prevention, and Rehabilitation, CRC Press, ۲۰۱۰
- Bloersch, Fredrick., Groundwater M^{۲۱} AWWA Manual, ۴th Ed., AWWA, ۲۰۱۴
- Houben, Georg., Treskatis, Christoph., Water Well Rehabilitation and Reconstruction, MC GrawHill, ۲۰۰۷

کنترل ماسه‌دهی چاه‌های شرب باتکیه بر زمان پمپاژ (مطالعه‌ی موردی: چاه‌های روستاهای شهرستان اسلامشهر)

پرویز عبدی، نوشین معصومی

مدیر شرکت آب و فاضلاب شهرستان اسلامشهر
پژوهشگر (دکتری مدیریت محیط زیست)

چکیده

ماسه‌دهی به عنوان یک ریسک مخاطره آمیز در حفر چاه‌ها و تأمین آب شرب در پهنه‌هایی با زمین‌شناسی رسوبی و بافت خاک دانه ریز شناخته می‌شود. در این راستا این پژوهش نیز با هدف بررسی میزان ماسه‌دهی در چاه‌های تأمین آب شرب شهرستان اسلامشهر انجام شد. بدین منظور ده چاه که عمده نیازهای شرب این شهرستان را تأمین می‌کنند، انتخاب و مورد بررسی قرار گرفت. نمونه‌های مورد نیاز در چهار زمان در فصل‌های متفاوت برداشت شد. به این صورت که ماسه‌دهی آب در زمان استارت پمپ، یک، چهار، هشت و دوازده ساعت پس از شروع پمپاژ جمع‌آوری گردید. پس از انجام آنالیز داده‌های آزمایشگاهی و مطالعات ساختمان چاه‌ها نتیجه‌گیری شد که ماسه‌دهی چاه‌های واقع در نواحی شمال غرب، جنوب شرقی و جنوب غربی محدوده مطالعاتی نسب به دیگر چاه‌های آب شرب روستاهای شهرستان اسلامشهر بیشتر بوده و در زمان شروع پمپاژ میزان ماسه‌دهی آن‌ها زیاد و پس از گذشت زمان برداشت تا ۴ ساعت بعد از شروع به کار پمپ، میزان ماسه‌دهی کم شده است. بعد از این زمان، با افزایش زمان برداشت آب، میزان ماسه‌دهی چاه نیز افزایش پیدا می‌کند به طوری که بعد از گذشت ۱۲ ساعت از کار پمپ میزان ماسه‌دهی چاه بیشتر از زمان اولیه شروع به کار پمپ می‌باشد و برای برداشت آب باید این بازه‌های زمانی را مد نظر قرار داد.

واژه‌های کلیدی: دبی پمپاژ، اسلامشهر، فرونشست، ماسه‌دهی.

Abstract

Sand production is known as a hazardous risk in well drilling and drinking water supply in areas with sedimentary geology and fine-grained soil texture. In this regard, the present study was conducted with the aim of investigating the amount of sand production in the drinking water supply wells of Eslamshahr County. For this purpose, ten wells that supply the main drinking water needs of this county were selected and examined. The required samples were collected at four different times in various seasons. In such a way that sand production of water was collected at the time of pump start, and then after one, four, eight, and twelve hours from the start of pumping. After performing laboratory data analysis and studying the structure of the wells, it was concluded that the sand production of wells located in the northwest, southeast, and southwest areas of the study region is higher compared to other drinking water wells in the villages of Eslamshahr County. At the beginning of pumping, the amount of sand production is high, and after the passage of time up to 4 hours after the start of the pump operation, the sand production decreases. After this time, with the increase in water extraction time, the amount of sand production also increases, so that after 12 hours of pump operation, the amount of sand production becomes higher than the initial start time of the pump, and these time intervals should be considered for water extraction.

Keywords: Pumping discharge, Eslamshahr, land subsidence, sand production

۱- مقدمه

از لحاظ زمین شناسی، رسوبات ماسه ای از جمله آبخوان های مهم و با ارزش به شمار می روند که در بسیاری از نقاط به علت آبدهی مناسب، در این نهشته ها چاه های نیمه عمیق و عمیق حفر می گردد. بهره برداری از منابع آب زیرزمینی در سازندهای ماسه ای ریزدانه در اغلب کشورهای جهان نظیر آمریکا، ژاپن، هلند و غیره با مشکل ماسه دهی مواجه بوده است در کشور ما نیز در مناطقی که دارای لایه های آبدار ماسه ای است مشکل ماسه دهی چاه ها از مواردی است که بهره گیری از این منابع خدادادی را به چالش می کشاند. این پدیده در استان های مازندران، سواحل دریای خزر، استان گلستان، کرمان، مشهد و استان تهران گزارش شده است.

فرآیند ماسه دهی چاه ها عمدتاً در مناطق انتهایی دشت های رسوب گذاری یعنی بخش دیستال صورت می پذیرد. منظور از ناحیه دیستال، ناحیه دور از مبدأ شروع فرسایش است. حرکت مواد در زمین براساس شرایط لیتولوژیکی سفره ها (رسوبات دانه ریز سیلتی و ماسه ای) بوده و این وضعیت امکان حرکت این مواد در امتداد گرادیان را نیز فراهم می آورد و این خود سبب ایجاد شرایط ماسه دهی چاه می شود. نهایتاً در اثر نفوذ مقداری آب به داخل بافت ماسه ای، شاهد شروع ماسه دهی هستیم.

۲- محدوده مورد مطالعه

شهرستان اسلامشهر در ۳۰ کیلومتری جنوب غربی تهران واقع شده است؛ این شهرستان با شهرهای بهارستان در غرب، شهریار در شمال غرب، تهران در شمال و ری در جنوب و جنوب غربی همسایه است. این شهرستان در ناحیه شمال غرب فلات مرکزی و در موقعیت جغرافیایی بین ۵۰ درجه و ۹ دقیقه تا ۵۳ درجه و ۹ دقیقه طول شرقی و بین ۳۴ درجه و ۵۳ دقیقه تا ۳۶ درجه و ۲۱ دقیقه عرض شمالی و روی آبرفت های سیلابی و مخروط افکنه سیلاب های جاری شده از دامنه های جنوبی البرز مرکزی واقع شده است. به خاطر همواری و مسطح بودن منطقه؛ اراضی کشاورزی و چاه های متعددی که برای کشاورزی و شرب حفاری شده اند دیده می شود که سالیانه حجم قابل ملاحظه ای از منابع آب های زیرزمینی را استحصال می نمایند.



شکل ۱- نقشه موقعیت محدوده مورد مطالعه

۳- مواد و روش ها

حال جهت بررسی وضعیت ماسه دهی چاه ها نمونه های مربوط؛ در محل با هماهنگی واحد پژوهش و تحقیقات شرکت آب و فاضلاب روستایی استان تهران در سر چاه های مورد مطالعه نمونه هایی برداشت و مقدار ماسه ها پس از زماندهی لازم برای ته نشست، اندازه گیری و وزن شد. سپس برآورد و نسبت وزن ماسه به حجم برآورد گردید. نمونه های مربوط به ماسه دهی چاه های نمونه در طول زمان چهار فصل (به مدت یک سال) جمع آوری شد (جدول ۱) تا به لحاظ تفاوت بارندگی در این محدوده که شامل زمستان با بارندگی بالا و تابستان با بارندگی اندک است، اثرات بارش های جوی روی وضعیت کمی سفره ها مورد بررسی قرار گیرد. میانگین بارندگی در شهرستان مورد بررسی ۲۳۱ میلی متر گزارش شده است. تجهیزات نمونه برداری که برای اندازه گیری ماسه دهی چاه ها استفاده شد عبارتند از: فلنج های فلزی ۲۰۰ میلیمتری، فلنج های فلزی ۱۵۰ میلیمتری، فلنج های جوش ۱۵۰ پلی اتیلن ۱۱۰ اتمسفر، لوله ۱۶۰ پلی اتیلن ۱۰ اتمسفر، مخزن ۵۰۰ لیتری- پلی اتیلن. برداشت آب با این لوازم و تجهیزات موجود، از سر چاه های آب شرب ۱۰ روستا از روستاهای محدوده مطالعاتی شهرستان

جدول ۲- موقعیت چاه های روستاهای مورد

بررسی

ردیف	اسم روستا	نام شهرستان	نام دهستان	مختصات جغرافیایی
-	-	-	-	Y X
۱	نوروز آباد	اسلامشهر	احمد آباد	۳۹۴۵۹۵۲ ۵۱۹۸۴۳
۲	احمد آباد مستوفی	اسلامشهر	احمد آباد	۳۹۴۵۲۴۷ ۵۱۹۸۲۳
۳	حسن آباد خالصه	اسلامشهر	احمد آباد	۳۹۴۱۳۰۰ ۵۱۷۶۵۰
۴	فیروز بهرام	اسلامشهر	فیروز بهرام	۳۹۴۲۵۲ ۵۲۲۲۷۴
۵	گلدسته	اسلامشهر	فیروز بهرام	۳۹۴۰۶۵۵ ۵۲۴۵۵۲
۶	بهمن آباد	اسلامشهر	احمد آباد	۳۹۳۷۷۸۵ ۵۱۷۹۱۵
۷	ملک آباد	اسلامشهر	ده عباس	۳۹۳۸۷۵۵ ۵۲۴۲۹۵
۸	ده عباس	اسلامشهر	ده عباس	۳۹۳۵۵۷۵ ۵۲۵۳۷۸
۹	شانه	اسلامشهر	ده عباس	۳۹۳۸۷۵۰ ۵۲۶۱۵۰
۱۰	علی آباد طبانچه	اسلامشهر	ده عباس	۳۹۳۱۱۹۷ ۵۱۸۶۰۶

۴- بحث و نتایج

میزان ماسه دهی از زمان شروع پمپ هم زیادتر می گردد. در چاه آب شرب روستاهای واقع در شمال، غرب، مرکز و جنوب غربی محدوده مطالعاتی، میزان ماسه دهی چاه ها دانه درشت تر بوده اما میزان آن کمتر می باشد. میزان ماسه دهی در فصول مختلف سال متفاوت بوده و این تا حدی به تغذیه سفره ها توسط بارش ارتباط دارد. براساس نتایج بدست آمده ، ماسه دهی در فصول دارای بارندگی؛ کمتر بوده و در فصول کم آبی و فصول خشکسالی؛ میزان ماسه دهی افزایش پیدا می کند. اغلب بالاترین نرخ ماسه دهی مربوط به ۱۲ ساعت کار پمپ و کمترین آن مربوط به ۴ ساعت بعد از کار پمپ می باشد. حال در بین ده چاه مورد بررسی، چاه روستای ملک آباد بعد از ۱۲ ساعت کار پمپ در تمامی ماه ها، بالاترین نرخ ماسه دهی و چاه روستای حسن آباد در شهریور ماه بعد از این ۱۲ ساعت، کمترین نرخ ماسه دهی را داشته اند. لازم به ذکر است در مجموع آبان ماه کمترین مقدار ماسه دهی و شهریور ماه بالاترین نرخ ماسه دهی را داشته است.

اسلامشهر. در طول زمان تحقیق انجام شد. موقعیت چاه ها نمایش داده شده است. در مرحله اول یک بررسی کلی توسط نگارندگان این تحقیق در سطح شهرستان اسلامشهر روی منابع آب زیرزمینی انجام گردید و پس از بررسی مشخص گردید که در سطح شهرستان اسلامشهر به دلیل عدم وجود منابع آب سطحی، نیازهای مصرفی آب اهالی در زمینه شرب، کشاورزی و صنعت تماماً از منابع زیرزمینی و از طریق چاه ها عمیق مورد استحصال و مورد استفاده قرار میگیرد که این موضوع نشاندهنده اهمیت موضوع پژوهش می باشد. در این مراحل اندازهگیری و سنجش مقدار ماسه ها نسبت به حجم برداشت شده محاسبه شد و هر مرحله از آزمایش و نمونه گیری شامل پنج مرحله: استارت اولیه پمپ، بعد از یک ساعت کار پمپ، بعد از چهار ساعت کار پمپ، بعد از ۸ ساعت کار پمپ، بعد از ۱۲ ساعت کار پمپ بود که در بازه زمانی مذکور انجام گردید.

جدول ۱- زمان نمونه برداری از چاه های نمونه

مرحله	ماه	سال
اول	بهمن	۱۳۹۸
دوم	خرداد	۱۳۹۹
سوم	شهریور	۱۳۹۹
چهارم	آبان	۱۳۹۹



جدول ۳- ماسه دهی بهمن ماه در چاه های منتخب

اسم روستا	ماسه دهی آب (g/m^3)					افت چاه (m)	دبی پمپاژ (lit/s)	دبی برداشت (lit/s)
	زمان استارت	بعد از ۱ ساعت	بعد از ۴ ساعت	بعد از ۸ ساعت	بعد از ۱۲ ساعت			
نوروز آباد	۰/۸	۰/۵۸	۰/۵۴	۰/۵۵	۰/۷	۱۳/۹	۴۴	۵
احمد آباد مستوفی	۰/۹	۰/۷	۰/۷۴	۰/۷۵	۱	۷/۶۷	۵۰	۱۵
حسن آباد خالصه	۱/۱	۰/۷	۰/۶	۰/۶۵	۱/۱۵	۳۲/۷	۲۵	۸
فیروز بهرام	۰/۸	۰/۷	۰/۵	۰/۶	۰/۷	۱۱	۵۶	۱۲
گلدسته	۰/۸	۰/۶	۰/۵	۰/۵۵	۰/۷۵	۳/۲۳	۳۰	۱۵
بهمن آباد	۰/۷	۰/۶۳	۰/۵۱	۰/۵۳	۰/۶۲	۱۰/۴۸	۴۰	۵
ملک آباد	۱/۳	۱/۱	۱/۰۵	۱/۰۵	۱/۴	۷۰/۶۷	۶	۵
ده عباس	۱/۱	۰/۹	۰/۸	۰/۸۵	۱/۱	۵۱	۱۵	۱۰
شاتره	۱/۳	۱/۱	۱	۱/۱	۱/۳	۸۲/۴۳	۱۷	۱۵
علی آباد طیانچه	۰/۹	۰/۶۵	۰/۷	۰/۷	۰/۸	۱۵/۰۷	۲۶	۱۰

جدول ۴- ماسه دهی خرداد ماه در چاه های منتخب

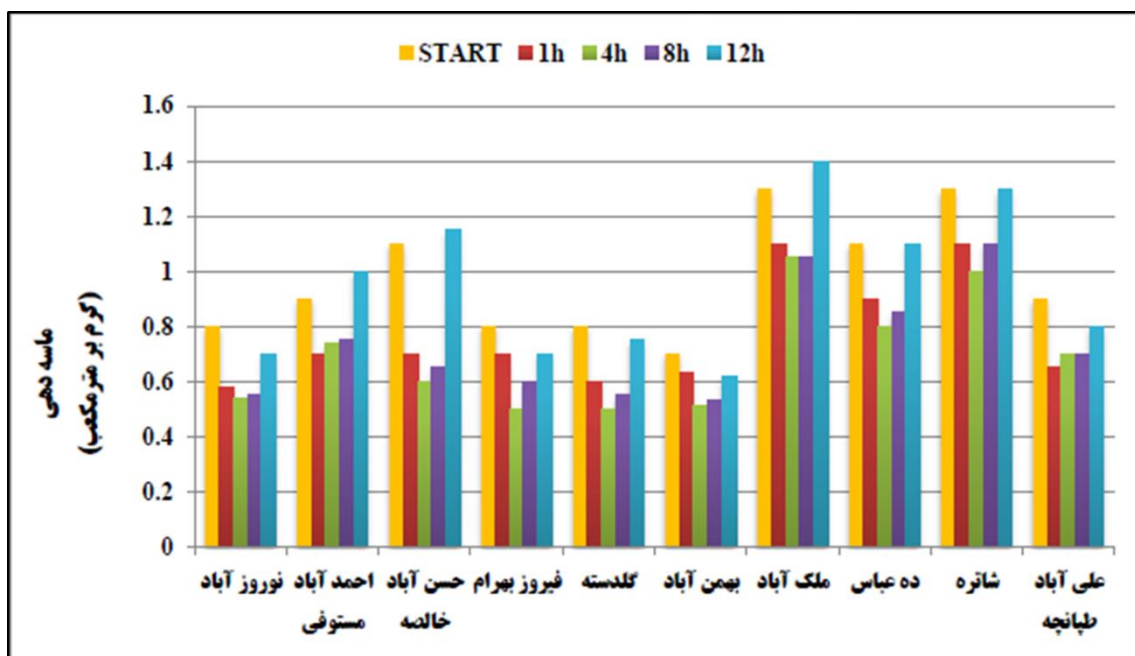
اسم روستا	ماسه دهی آب (g/m^3)					افت چاه (m)	دبی پمپاژ (lit/s)	دبی برداشت (lit/s)
	زمان استارت	بعد از ۱ ساعت	بعد از ۴ ساعت	بعد از ۸ ساعت	بعد از ۱۲ ساعت			
نوروز آباد	۰/۸۳	۰/۶۱	۰/۵۴	۰/۸۱	۰/۹	۱۳/۹	۴۴	۵
احمد آباد مستوفی	۰/۹	۰/۷۵	۰/۸	۰/۸۵	۰/۹۵	۷/۶۷	۵۰	۱۵
حسن آباد خالصه	۱/۱	۰/۷۹	۰/۶۱	۱	۰/۱۸	۳۲/۷	۲۵	۸
فیروز بهرام	۰/۸	۰/۷۲	۰/۵	۰/۶۵	۰/۷۴	۱۱	۵۶	۱۲
گلدسته	۰/۸۲	۰/۷	۰/۶	۰/۷۴	۰/۸	۲۳/۳	۳۰	۱۵
بهمن آباد	۰/۷۸	۰/۶۸	۰/۵۴	۰/۵۶	۰/۷	۱۰/۴۸	۴۰	۵
ملک آباد	۱/۵	۱/۱۵	۱/۰۵	۱/۱۵	۱/۵۵	۷۰/۶۷	۶	۵
ده عباس	۱/۲	۱	۰/۹۵	۱	۱/۳	۵۱	۱۵	۱۰
شاتره	۱/۴	۱/۱	۱	۱/۱	۰/۵	۸۲/۴۳	۱۷	۱۵
علی آباد طیانچه	۰/۹۵	۰/۷	۰/۷۶	۰/۹	۱	۱۵/۰۷	۲۶	۱۰

جدول ۵- ماسه دهی شهر یور ماه در چاه های منتخب

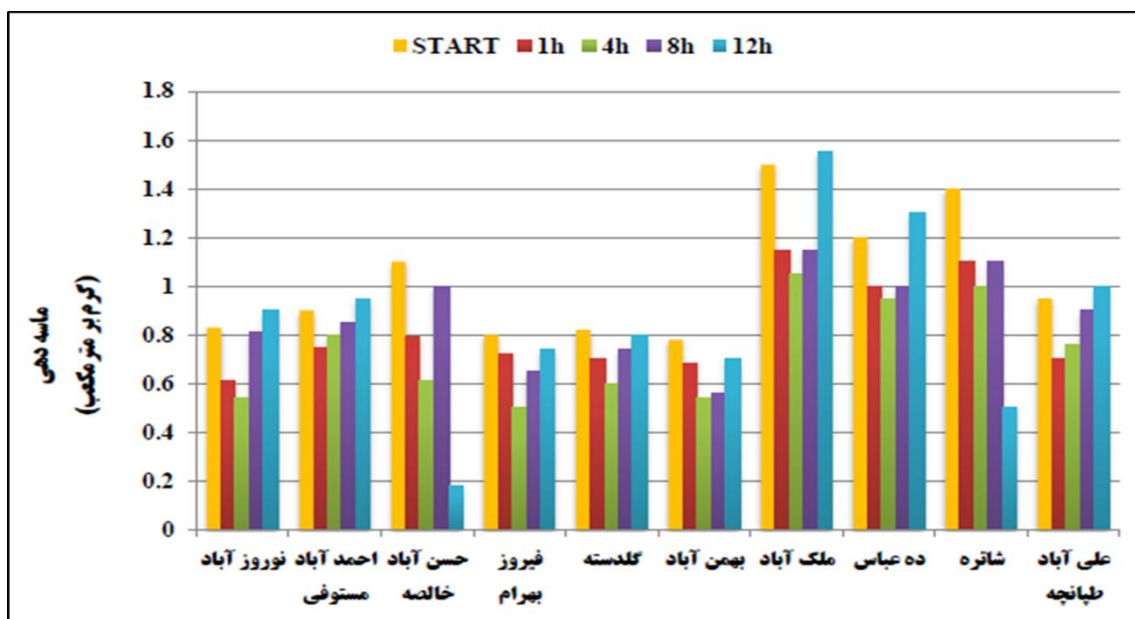
اسم روستا	ماسه دهی آب (g/m ³)					افت چاه (m)	دبی پمپاژ (lit/s)	دبی برداشت (lit/s)
	زمان استارت	بعد از ۱ ساعت	بعد از ۴ ساعت	بعد از ۸ ساعت	بعد از ۱۲ ساعت			
نوروز آباد	۰/۸۳	۰/۶۴	۰/۵۵	۰/۶	۰/۹	۱۳/۹	۴۴	۵
احمد آباد مستوفی	۰/۹۲	۰/۷۵	۰/۸۱	۰/۸۵	۱/۱	۷/۶۷	۵۰	۱۵
حسن آباد خالصه	۱/۱	۰/۸۵	۰/۸	۰/۹	۱/۳	۳۲/۷	۲۵	۸
فیروز بهرام	۰/۸	۰/۷۵	۰/۶	۰/۶۸	۰/۷۵	۱۱	۵۶	۱۲
گلدسته	۰/۸۳	۰/۷۵	۰/۶۴	۰/۷	۰/۸۴	۲۳/۳	۳۰	۱۵
بهمن آباد	۰/۸	۰/۷	۰/۶۵	۰/۷۴	۰/۸	۱۰/۴۸	۴۰	۵
ملک آباد	۱/۴	۱/۱	۱/۱	۱/۳	۱/۵	۷۰/۶۷	۶	۵
ده عباس	۱/۳	۱/۱	۱	۱	۱/۳۴	۵۱	۱۵	۱۰
شاتره	۱/۴	۱/۰۵	۱	۱/۲	۱/۵	۸۲/۴۳	۱۷	۱۵
علی آباد طپانچه	۱	۰/۸	۰/۸	۱/۰۲	۱/۱	۱۵/۰۷	۲۶	۱۰

جدول ۶- ماسه دهی آبان ماه در چاه های منتخب

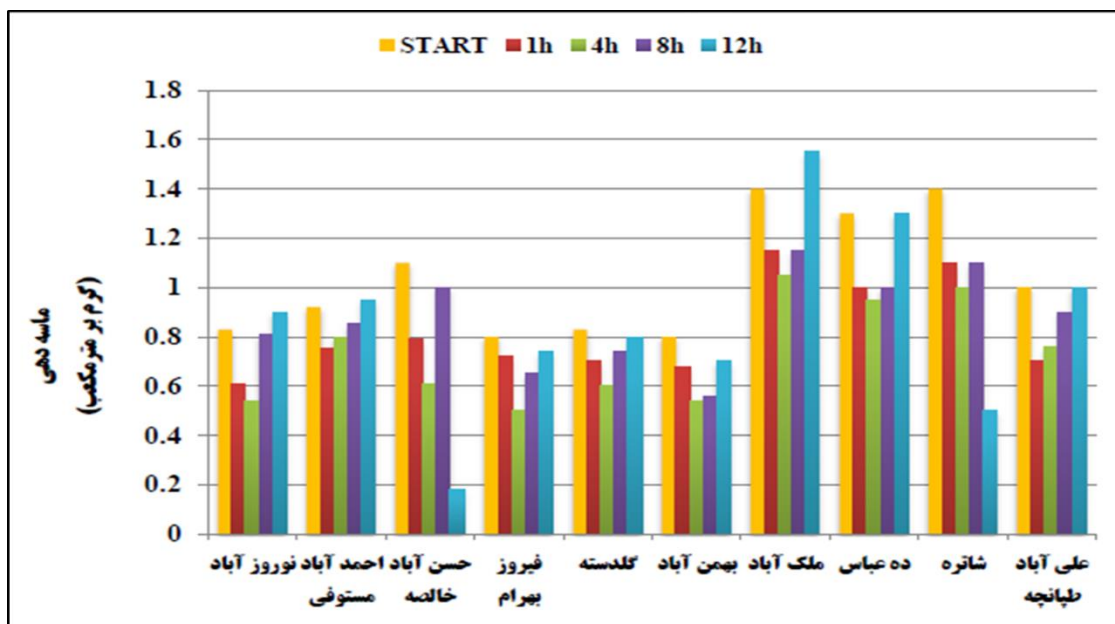
اسم روستا	ماسه دهی آب (g/m ³)					بافت زمین چاه	افت چاه (m)	دبی پمپاژ (lit/s)	دبی برداشت (lit/s)
	زمان استارت	بعد از ۱ ساعت	بعد از ۴ ساعت	بعد از ۸ ساعت	بعد از ۱۲ ساعت				
نوروز آباد	۰/۸۱	۰/۶	۰/۵۲	۰/۶	۰/۶۶	دشت (آبرفتی)	۱۳/۹	۴۴	۵
احمد آباد مستوفی	۰/۸۶	۰/۷۷	۰/۷	۰/۷۲	۰/۸۵	دشت (آبرفتی)	۷/۶۷	۵۰	۱۵
حسن آباد خالصه	۱/۱	۰/۷۵	۰/۶۲	۰/۸۷	۱	دشت (آبرفتی)	۳۲/۷	۲۵	۸
فیروز بهرام	۰/۸	۰/۷۲	۰/۵۴	۰/۶	۰/۷۲	دشت (آبرفتی)	۱۱	۵۶	۱۲
گلدسته	۰/۷۸	۰/۶	۰/۵۳	۰/۶۵	۰/۷	دشت (آبرفتی)	۲۳/۳	۳۰	۱۵
بهمن آباد	۰/۷	۰/۶	۰/۵۲	۰/۶	۰/۶۶	دشت (آبرفتی)	۱۰/۴۸	۴۰	۵
ملک آباد	۱/۳	۰/۹	۱	۱	۱/۴	دشت (آبرفتی)	۷۰/۶۷	۶	۵
ده عباس	۱	۰/۸	۰/۷۵	۰/۸۹	۱/۰۵	دشت (آبرفتی)	۵۱	۱۵	۱۰
شاتره	۱/۲	۱	۰/۹	۱/۰۵	۱/۱	دشت (آبرفتی)	۸۲/۴۳	۱۷	۱۵
علی آباد طپانچه	۱	۰/۷	۰/۶۵	۰/۷۳	۰/۸	دشت (آبرفتی)	۱۵/۰۷	۲۶	۱۰



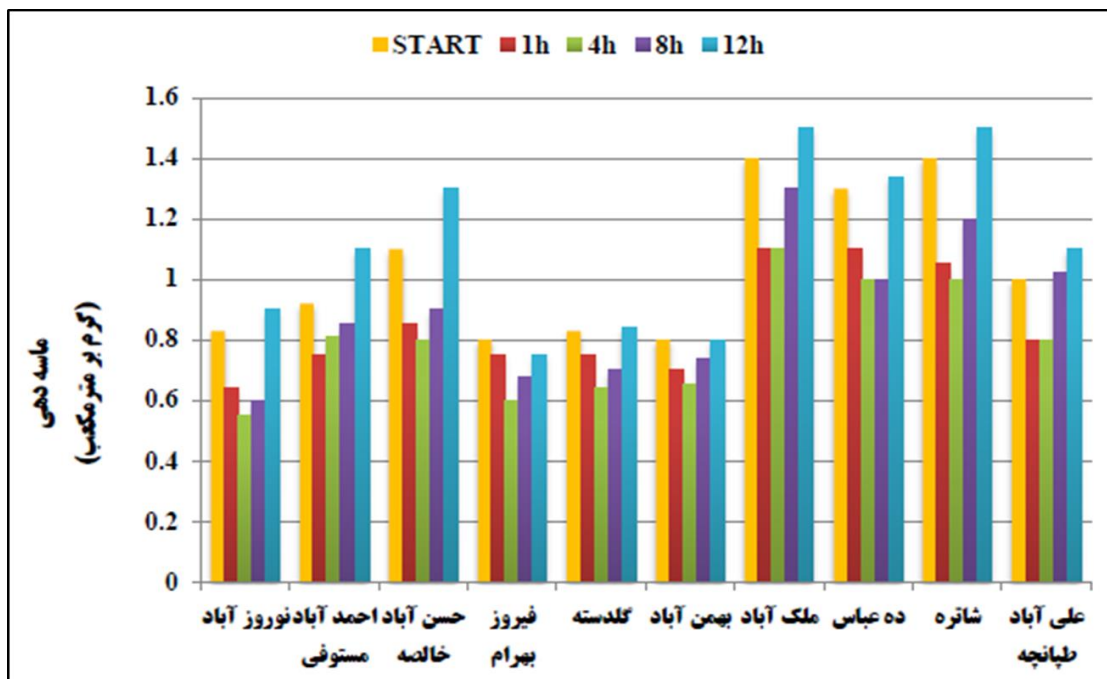
نمودار ۱- مقایسه ماسه دهی در چاه های منتخب برای بهمن ماه



نمودار ۲- مقایسه ماسه دهی در چاه های منتخب برای خرداد ماه



نمودار ۳- مقایسه ماسه دهی در چاه های منتخب برای شهریور ماه



نمودار ۴- مقایسه ماسه دهی در چاه های منتخب برای آبان ماه

۵- پیشنهادات:

استراحت مناسب که بعد از هر ۸ ساعت کار پمپ است به چاه داده شود.

- به صورت کاربردی میتوان پیشنهاد داد که برای جلوگیری از وقوع ماسه دهی در چاه، قطر برقوی چاه افزایش داده شود تا بتوان چاه را مناسب ایزوله نمود، گراول پکینگ چاه به طور صحیح و مناسب انجام شود.

- حتی المقدور از حفر چاه در مناطق جنوب غربی و قسمتی از نوار غربی و جنوب شرقی شهرستان صرف نظر شود.

- در صورت نیاز از نواحی دیگر منطقه مثل نواحی مرکزی و شمالی محدوده مطالعاتی برای حفر چاه اقدام کرد.

- برای جلوگیری از نشست زمین و فشرده شدن سفره آب زیرزمینی در اثر بیلان منفی بین ورودی و خروجی آب به سفره و جلوگیری از ماسه دهی زیاد چاه؛ پیشنهاد می گردد زمان

منابع

- احمدی، ح.، ۱۳۹۱. ژئومرفولوژی کاربردی، جلد دوم، انتشارات دانشگاه تهران، ۷۰۶ ص.
- حسینی، ا.، خانی، م.، صیادی، م.، قدمی، و. و خستو، ح.، ۱۳۸۹. بررسی وضعیت آلودگی میکروبی در منابع آب زیرزمینی روستاهای شهرستان اسلامشهر، فصلنامه علوم و تکنولوژی محیط زیست، جلد ۱۲، شماره ۱، ص ۱۹۵-۲۰۰.
- شرکت آب و فاضلاب روستایی استان تهران، ۱۳۹۰. گزارشات مربوط به وضعیت آب و فاضلاب روستایی شهرستان اسلامشهر.
- صیادی، م.، ۱۳۸۶. بررسی علل ماسه دهی چاه های آب شرب در روستاهای استان تهران، پروژه شرکت آب و فاضلاب روستایی استان تهران.
- فردوسی، ر.، کلاگری، ا.ع.، حسینزاده، ق. و سهرابی، ق.، ۱۳۹۱. مطالعات پتروگرافی، دگرسانی متاسوماتیک، و ژنز اسکارن آهن و مس کمتال، شمال شرق خاراوانا، آذربایجان شرقی، مجله زمین شناسی اقتصادی، جلد ۴۵۸- شماره ۱، ص ۴۷.
- میرباقری، س.ا.، ۱۳۷۷. هیدرولوژی مهندسی، جلد اول، انتشارات دانشگاه شیراز، ص ۵۰۰.
- Bianco, L.C.B. and Halleck, P.M., ۲۰۰۱. Mechanisms of arch instability and sand production in two-phase saturated poorly consolidated sandstones, SPE ۶۸۹۳۲, the SPE European Formation Damage conference, Hague, Netherlands, May ۲۰۰۱.
- Climent, N., Arroyo, M., O'Sullivan, C. and Gens, A., ۲۰۱۴. Sand production simulation coupling DEM with Computational Fluid Dynamics in Civil Engineering European Journal of Environmental and Civil Engineering, v. ۱۸, p. ۹۸۳-۱۰۰۸.
- Hall, C.D. and Harrisberger, W.H., ۱۹۷۰. Stability of sand arches, a key to sand control, J. Pet. Tech. v. ۱۲, p. ۸۲۱-۸۲۹.
- Hunter, L.R., Mahler, R.L., Brooks, L.E., Lolley, B.A. and Holloway, L., ۲۰۰۲. Groundwater and wellhead protection in the Hua, Hua Water Quality Project Final Report College of agriculture, University of Idaho.
- Peckenham, J.M., Thornton, T. and Whalen, B., ۲۰۰۹. Sand and gravel mining, effects on ground water resources in Hancock county, Maine, USA Journal of Environmental Geology, v. ۵۶, p. ۱۱۱۴-۱۱۰۳.

راهنمای جامع بهره‌برداری و احیای چاه‌های آب در آبخوان‌های آبرفتی با رویکرد کاهش ماسه‌دهی از طراحی تا احیا

امید مظاهری

کارشناس ارشد طراحی کاربردی، شرکت آبتین توسعه بی کران

چکیده

چاه‌های آب در آبخوان‌های آبرفتی به دلیل ماهیت زمین‌شناسی و ناپایداری مصالح رسوبی، در معرض پدیده‌ی ماسه‌دهی و کاهش بهره‌وری قرار دارند. پدیده ماسه‌دهی علاوه بر آسیب به تجهیزات و کاهش عمر مفید چاه، باعث افت کیفی آب و افزایش هزینه‌های نگهداری می‌شود. این پژوهش با رویکردی جامع، به بررسی مراحل طراحی، بهره‌برداری، عیب‌یابی و احیای چاه‌های آب با هدف کاهش ماسه‌دهی پرداخته و روش‌های مختلف تشخیص و تحلیل علل ماسه‌دهی را تحلیل می‌کند. در ادامه، راهکارهای بهسازی و احیای چاه‌ها با توجه به نوع آبخوان، شرایط زمین‌شناسی و هیدرولوژیکی ارائه شده و مزایا و معایب هر روش بررسی شده‌اند. استفاده از رویکرد تشخیص‌محور به عنوان راهبردی کارآمد جهت انتخاب روش بهسازی متناسب با شرایط خاص هر چاه، در بهبود عملکرد و افزایش عمر مفید چاه‌ها مؤثر شناخته شده است. نتایج این بررسی می‌تواند به عنوان راهنمایی عملی برای مهندسان و بهره‌برداران منابع آب زیرزمینی مورد استفاده قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی: آبخوان آبرفتی، ماسه‌دهی، بهره‌برداری از چاه، احیای چاه، بهسازی چاه، تشخیص‌محور، طراحی چاه، روش‌های کاهش ماسه‌دهی، منابع آب زیرزمینی.

Abstract

Water wells in alluvial aquifers are prone to sand production and reduced efficiency due to the geological characteristics and instability of sedimentary materials. Sand production not only causes damage to equipment and decreases the operational lifespan of wells but also leads to water quality degradation and increased maintenance costs. This study presents a comprehensive approach to the design, operation, diagnosis, and rehabilitation of water wells with the objective of minimizing sand production. Various diagnostic methods and analyses of the causes of sand production are examined. Subsequently, well improvement and rehabilitation techniques are proposed based on aquifer type, geological and hydrological conditions, with an assessment of the advantages and disadvantages of each method. Employing a diagnosis-based approach as an effective strategy for selecting appropriate rehabilitation methods tailored to the specific conditions of each well has proven beneficial in enhancing performance and extending well lifespan. The findings of this study can serve as a practical guide for engineers and groundwater resource managers.

Keywords: Alluvial aquifer, sand production, well operation, well rehabilitation, well improvement, diagnosis-based approach, well design, sand reduction methods, groundwater resources.

اهمیت بهره‌برداری و احیای چاه‌های آب در آبخوان‌های آبرفتی

اهمیت چاه‌های آب در تأمین نیازهای شرب، کشاورزی و

صنعتی

چاه‌های آب به‌عنوان شریان‌های حیاتی، نقشی محوری در تأمین آب مورد نیاز بخش‌های مختلف جامعه ایفا می‌کنند. این سازه‌های هیدرولیکی، دسترسی به منابع آب زیرزمینی را برای مصارف شرب، کشاورزی و صنعتی فراهم می‌آورند و از این رو، پایداری و کارایی آن‌ها برای امنیت آبی و توسعه پایدار ضروری است. آب زیرزمینی، با تشکیل تقریباً ۹۵ درصد از ذخایر آب شیرین جهان (به‌استثنای کلاهک‌های یخی قطبی)، منبعی عظیم و در دسترس محسوب می‌شود. این حجم وسیع، اهمیت استراتژیک آبخوان‌ها و چاه‌های بهره‌برداری از آن‌ها را دوچندان می‌سازد. در کشور ما، حدود ۵۵ درصد از آب مورد نیاز، چه از طریق منابع عمومی و چه از چاه‌های خصوصی، به آب زیرزمینی متکی هستند. این وابستگی گسترده، نشان‌دهنده تأثیر مستقیم چاه‌های آب بر سلامت عمومی و زندگی روزمره است. در این میان، آبیاری کشاورزی با مصرف ۹۰ درصد، بزرگ‌ترین سهم را به خود اختصاص می‌دهد. این ارقام، نقش حیاتی آب زیرزمینی در امنیت غذایی و بهره‌وری اقتصادی را آشکار می‌سازند.

جدول ۱ - درصد میزان مصرف آب در استان‌های مورد نظر

استان	درصد استفاده
کرمان	۹۳٪
یزد	۹۱٪
خراسان جنوبی	۸۹٪
هرمزگان	۸۸٪
همدان	۸۷٪
خراسان رضوی	۸۴٪
فارس	۸۰٪
البرز	۸۰٪

با توجه به وابستگی گسترده به آب زیرزمینی برای نیازهای اساسی، کارایی و طول عمر چاه‌های آب صرفاً یک دغدغه فنی نیست، بلکه یک ضرورت اقتصادی و اجتماعی حیاتی است. اگر چاه‌ها ناکارآمد عمل کنند، هزینه‌های انرژی برای پمپاژ به‌طور قابل توجهی افزایش می‌یابد و مستقیماً بر بودجه‌های عملیاتی شرکت‌های آب و فاضلاب، شهرداری‌ها، مزارع و صنایع تأثیر می‌گذارد. علاوه بر این، خرابی زود هنگام چاه، سرمایه‌گذاری قابل توجهی را برای حفاری چاه‌های جدید یا توسعه منابع آب جایگزین و احتمالاً گران‌تر، ضروری می‌سازد. این وضعیت، یک اثر دومینویی ایجاد می‌کند که بر تعرفه‌های آب، تولیدات کشاورزی، هزینه‌های تولید صنعتی و در نهایت، امنیت آبی کلی تأثیر می‌گذارد. بنابراین، بهره‌برداری مؤثر از چاه و احیای به‌موقع آن‌ها برای مدیریت پایدار منابع آب و حفظ دوام اقتصادی بخش‌های وابسته به آب، حیاتی است.

چالش‌های کاهش آبدهی و «پیری چاه»

با وجود طراحی‌های مقاوم، چاه‌های آب سامانه‌هایی پویا هستند که به‌طور مداوم با محیط خود در تعامل اند. با گذشت زمان، این تعامل به‌ناچار منجر به کاهش عملکرد چاه می‌شود، پدیده‌ای که عموماً از آن با عنوان «پیری چاه» یاد می‌شود. کارایی چاه به‌دلیل ترکیبی پیچیده از سازوکارهای گرفتگی فیزیکی، شیمیایی و زیستی، همراه با فرسایش و تخریب سازه‌ای اجزای چاه، به‌تدریج کاهش می‌یابد. این واقعیت نشان می‌دهد که «پیری چاه» یک فرایند قابل پیش‌بینی است، نه یک ناهنجاری. پمپاژ بیش از حد به‌عنوان یکی از دلایل اصلی و قابل پیشگیری کاهش آبدهی چاه شناخته شده است. این عمل، فرایندهای مخربی مانند حرکت رسوبات، رسوب‌گذاری معدنی و بیوفولینگ را تسریع می‌کند و یک چرخه‌ی معیوب از تخریب را به وجود می‌آورد. مفهوم «پیری چاه» فراتر از فرسودگی ساده است؛ این پدیده نشان‌دهنده‌ی یک حلقه‌ی بازخورد پیچیده است که در آن انتخاب‌های اولیه‌ی طراحی، شیوه‌های عملیاتی مداوم و فرایندهای هیدروژئولوژیکی طبیعی با یکدیگر تعامل دارند. به‌عنوان مثال، داده‌ها به‌وضوح نشان می‌دهند که پمپاژ بیش از حد، تنها عامل مستقیم کاهش آبدهی نیست، بلکه یک شتاب‌دهنده برای گرفتگی‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی نیز هست. این امر یک زنجیره‌ی علی‌حیاتی را نشان می‌دهد: پمپاژ تهاجمی، تنش‌های هیدرولیکی (مانند افزایش سرعت ورودی، گسترش مخروط افت) ایجاد می‌کند که ذرات ریز را به حرکت درمی‌آورد (گرفتگی فیزیکی)، شیمی آب را تغییر می‌دهد (مانند هوادهی که باعث رسوب‌گذاری معدنی می‌شود) و

شرایط مساعدی را برای رشد میکروبی (بیوفولینگ) فراهم می‌کند. این اثرات ترکیبی سپس کارایی چاه را بیشتر کاهش می‌دهند و بهره‌برداران را ترغیب می‌کنند تا حتی سخت‌تر پمپاژ کنند و بدین ترتیب مشکل را تشدید می‌کنند. این درک عمیق‌تر نشان می‌دهد که مدیریت پایدار چاه باید راهبردهای پیشگیرانه، مانند بهینه‌سازی نرخ پمپاژ و اطمینان از توسعه‌ی اولیه‌ی کافی را برای شکستن این چرخه‌ی معیوب و افزایش قابل توجه طول عمر مفید چاه، به جای اتکای صرف به احیای واکنشی، ادغام کند.

دامنه و اهداف گزارش (چاه‌های موجود در آبخوان‌های آبرفتی)

این گزارش به‌طور خاص بر بخش رایج و حیاتی از چاه‌های آب متمرکز است و کاربرد عملی خود را در محیط‌های هیدروژئولوژیکی مشخص شده محدود می‌کند. دامنه‌ی این گزارش چاه‌های آبرفتی شرب، کشاورزی و صنعتی با قطر دهانه‌ی ۶ تا ۲۴ اینچ است. تعریف صریح محدوده‌ی قطر چاه و بافت آبخوان آبرفتی صرفاً یک محدودیت در دامنه‌ی گزارش نیست، بلکه عامل تعیین‌کننده‌ی حیاتی برای کاربردپذیری و اثربخشی روش‌شناسی‌های مورد بحث است. آبخوان‌های آبرفتی، که با رسوبات غیرمتراکم (ماسه، شن، سیلت، رس) مشخص می‌شوند، ذاتاً مستعد چالش‌های خاصی مانند ماسه‌دهی، گرفتگی فیزیکی ناشی از مهاجرت ذرات ریز، و اغلب هیدروشیمی پیچیده‌ای هستند که می‌تواند منجر به گرفتگی سریع شیمیایی و زیستی شود. این شرایط خاص به‌طور مستقیم بر انتخاب مصالح چاه (مانند محدودیت‌های مقاومت مکانیکی لوله جدار در این محیط‌ها)، طراحی گراول‌پک و اسکرین، و به‌طور حیاتی، انتخاب و شدت روش‌های احیا تأثیر می‌گذارد. به‌عنوان مثال، روش‌های پالس‌گازی پراورزی مانند نیتروپالس، در حالی که مؤثر هستند، باید به‌دقت کالیبره شوند تا از ایجاد ماسه‌دهی ثانویه‌ی بیش از حد یا آسیب به اسکرین‌های uPVC با مقاومت کمتر در این سازندهای غیرمتراکم جلوگیری شود. این رویکرد سفارشی‌شده تضمین می‌کند که توصیه‌ها برای مخاطبان هدف بسیار مرتبط، عملی و مؤثر هستند و از کاربرد نادرست تکنیک‌های مناسب برای انواع زمین‌شناسی یا ساختار چاه‌های متفاوت جلوگیری می‌کند.

ساختار گزارش

این گزارش با هدف ارائه‌ی یک راهنمای جامع و کاربردی برای متخصصان منابع آب، از مبانی تعریف چاه و اجزای آن

آغاز می‌شود. سپس، به تحلیل دقیق علل کاهش آبدهی و پدیده‌ی «پیری چاه» می‌پردازد که شامل گرفتگی‌های فیزیکی، شیمیایی، زیستی و خرابی‌های سازه‌ای است. در ادامه، ابزارهای پیشرفته‌ی تشخیص و پایش وضعیت چاه، از جمله آزمون پله‌ای، ویدئومتری درون‌چاهی و پروفایل‌های دما و هدایت الکتریکی، تشریح می‌شوند. بخش مهمی از گزارش به ریشه‌ها و راهکارهای کنترل ماسه‌دهی اختصاص دارد. در ادامه، روش‌های مختلف احیای چاه، از مکانیکی و شیمیایی تا پالس‌گازی (نیتروپالس)، مقایسه و تحلیل می‌شوند. نسخه‌های عملی احیا برای سه تیپ رایج اسکرین (فلزی ساده، V-wire و uPVC کرکره‌ای) ارائه خواهد شد. در نهایت، یک دستور کار «تشخیص‌محور و مرحله‌ای» برای احیا پیشنهاد شده و نکات کلیدی در طراحی و توسعه‌ی چاه با استناد به استانداردهای بین‌المللی ارائه می‌گردد. این ساختار، یک رویکرد جامع و عملیاتی را برای مدیریت بهینه‌ی چاه‌های آب فراهم می‌آورد.

۲- تعریف چاه آب و اجزای کلیدی آن

اجزای اصلی چاه (لوله جدار، اسکرین، گراول‌پک، آب‌بندی‌ها، سامانه پمپاژ آب)

چاه آب بیش از یک حفره‌ی میله‌ای ساده در زمین است؛ این یک سامانه‌ی مهندسی‌شده است که برای تبادل هیدرولیکی کارآمد و کنترل‌شده با آبخوان طراحی شده است. درک اجزای تشکیل‌دهنده‌ی آن برای مدیریت مؤثر چاه ضروری است. چاه آب به‌عنوان سامانه‌ای تعریف می‌شود که شامل لوله‌ی جدار، اسکرین، گراول‌پک (در صورت نیاز)، آب‌بندی‌های بهداشتی مربوط به دهانه‌ی چاه، و سامانه‌ی پمپاژ و ابزار دقیق است که تبادل هیدرولیکی کنترل‌شده با آبخوان را ممکن می‌سازد. هر یک از این اجزا نقش متمایز و حیاتی ایفا می‌کنند؛ لوله‌ی جدار پایداری سازه‌ای را فراهم می‌کند، اسکرین ورود آب را تسهیل کرده و در عین حال مواد سازند را حفظ می‌کند، گراول‌پک فیلتراسیون و پایداری را افزایش می‌دهد، آب‌بندی‌های بهداشتی از آلودگی و نفوذ آب باران و سیلاب به داخل چاه و یا پشت لوله جدار جلوگیری می‌کنند، و سامانه‌ی پمپاژ آب را استخراج می‌کند.

تصور چاه آب به‌عنوان یک «سامانه‌ی هیدرولیکی یکپارچه» به‌جای مجموعه‌ای از قطعات، بسیار مهم است. این دیدگاه تأکید می‌کند که عملکرد کل سامانه به عملکرد بهینه و تعامل همه اجزای آن وابسته است. نقص یا ناکارآمدی در یک بخش، مانند گرفتگی اسکرین، ایزوله نمی‌ماند؛ بلکه به‌ناچار بر کارایی

هیدرولیکی کل چاه تأثیر می‌گذارد و منجر به افزایش افت چاهی، کاهش کارایی پمپ، مصرف انرژی بیشتر و احتمالاً به خطر افتادن کیفیت آب می‌شود. این درک سیستمی، مبنای تشخیص و احیا است، زیرا یک رویکرد جامع را دیکته می‌کند: پرداختن به یک مشکل در یک جزء (مانند تمیز کردن اسکرین) باید تأثیر آن بر سایر اجزا (مانند گراول پک، پمپ) و تعامل با آن‌ها را در نظر بگیرد.

انواع مصالح و اسکرین‌ها (فولاد/استنلس، uPVC، اسکرین‌های ساده، کرکره‌ای، V-wire)

انتخاب جنس لوله جدار و نوع اسکرین، یک تصمیم طراحی حیاتی است که به شدت بر طول عمر، کارایی و آسیب‌پذیری چاه در برابر انواع گرفتگی تأثیر می‌گذارد. انتخاب مصالح شامل فولاد، استنلس استیل، یا uPVC (مطابق با استانداردهای DIN ۴۹۲۵)، و نوع اسکرین (مانند ساده یا سوراخ‌دار، کرکره‌ای، یا V-wire)، بر اساس نمونه‌گیری دانه‌بندی سازند آبخوان و معیارهای استاندارد انجام می‌شود.

لوله‌های جدار و اسکرین‌های uPVC مطابق با استاندارد DIN ۴۹۲۵ تولید می‌شوند و در ابعاد و عرض شیار مختلف موجود هستند. در حالی که این مصالح مقاومت عالی در برابر خوردگی ارائه می‌دهند، مقاومت سازه‌ای و حرارتی آن‌ها به‌طور قابل توجهی کمتر از فولاد است، که بر مناسب بودن آن‌ها برای برخی روش‌های حفاری و احیا تأثیر می‌گذارد. اسکرین‌های V-wire با مساحت بازشدگی بالا، طراحی شیار V شکل مقاوم در برابر گرفتگی، و قابلیت کاهش سرعت ورودی آب مشخص می‌شوند. این ویژگی‌ها به کاهش نرخ رسوب‌گذاری و جلوگیری از آسیب ماسه به تجهیزات پمپاژ کمک می‌کنند.

انتخاب مصالح ساخت چاه، به‌ویژه لوله‌ی جدار و اسکرین، یک تعهد بلندمدت است که آسیب‌پذیری‌های ذاتی چاه را از پیش تعیین می‌کند و گزینه‌های احیای آتی را به‌طور قابل توجهی محدود می‌سازد. به‌عنوان مثال، در حالی که uPVC مقاومت برتر در برابر خوردگی را ارائه می‌دهد (یک مزیت عمده در شیمی‌های آب زیرزمینی تهاجمی)، شکنندگی مکانیکی ذاتی و مقاومت کمتر آن در برابر لهیدگی (مطابق با DIN ۴۹۲۵) به این معنی است که روش‌های احیای مکانیکی یا پالس‌گازی پرانرژی، که ممکن است در چاه‌های با جدار فولادی بسیار مؤثر باشند، می‌توانند آسیب‌های سازه‌ای جبران‌ناپذیری (مانند بیضوی شدن، لهیدگی یا گشاد شدن شیار) ایجاد کنند. این امر مستلزم یک رویکرد محافظه‌کارانه‌تر و ملایم‌تر برای احیای

چاه‌های uPVC است. در مقابل، کارایی هیدرولیکی برتر و طراحی مقاوم در برابر گرفتگی اسکرین‌های V-wire، در حالی که ممکن است هزینه‌ی اولیه‌ی بالاتری داشته باشند، می‌تواند منجر به کاهش قابل توجه هزینه‌های عملیاتی در طول عمر چاه شود؛ این امر با به حداقل رساندن مصرف انرژی و به تأخیر انداختن شروع گرفتگی، دفعات و شدت نیاز به احیا را کاهش می‌دهد. این درک عمیق‌تر نشان می‌دهد که انتخاب اولیه‌ی مصالح فقط به هزینه‌های ساخت فوری مربوط نمی‌شود، بلکه یک تصمیم استراتژیک است که بر کل هزینه‌ی چرخه‌ی عمر و تاب‌آوری عملیاتی چاه تأثیر می‌گذارد.

ملاحظات طراحی هیدرولیکی: سرعت ورودی (Entrance Velocity) و مساحت باز اسکرین

اصول طراحی هیدرولیکی، به‌ویژه در مورد جریان آب به داخل اسکرین، برای جلوگیری از گرفتگی زود هنگام و اطمینان از کارایی طولانی‌مدت چاه حیاتی است. سرعت ورودی آب از اسکرین باید پایین نگه داشته شود، معمولاً در محدوده‌ی تقریباً ۳ تا ۱۰ سانتیمتر بر ثانیه. حفظ سرعت ورودی پایین برای به حداقل رساندن خطر گرفتگی فیزیکی، کاهش ماسه‌دهی و کاهش افت انرژی پمپاژ بسیار مهم است. در حالی که برخی از دستورالعمل‌های تاریخی حداکثر سرعت ورودی ۳ سانتیمتر بر ثانیه را پیشنهاد می‌کردند، استاندارد AWWA A1۰۰ حد بالایی ۴۵ سانتیمتر بر ثانیه را پیشنهاد می‌کند. تحقیقات نشان می‌دهند که افزایش قابل توجهی در کارایی چاه برای سرعت‌های ورودی کمتر از ۶۰ سانتیمتر بر ثانیه معمولاً مشاهده نمی‌شود. این امر نشان‌دهنده‌ی درک در حال تحول و یک محدوده‌ی عملیاتی است تا یک مقدار ثابت واحد. اسکرین‌های V-wire به دلیل مساحت باز بالای خود شناخته شده‌اند، که ذاتاً به دستیابی به سرعت‌های ورودی پایین‌تر برای یک دبی معین کمک می‌کند.

تفاوت ظاهری در سرعت‌های ورودی توصیه شده (۳ تا ۱۰ سانتیمتر بر ثانیه برای پیشگیری در مقابل ۴۵ سانتیمتر بر ثانیه در AWWA A1۰۰ و تحقیقاتی که افزایش کارایی را تا ۶۰ سانتیمتر بر ثانیه نشان می‌دهند) یک فلسفه‌ی طراحی حیاتی را آشکار می‌کند: در حالی که سرعت‌های ورودی بسیار پایین ممکن است افزایش اضافی قابل توجهی در کارایی فوری چاه ایجاد نکنند، اما برای سلامت طولانی‌مدت چاه با به حداقل رساندن تنش‌های هیدرولیکی که باعث گرفتگی فیزیکی می‌شوند، بسیار مهم هستند. سرعت‌های ورودی بالا، مناطق جریان آشفته‌ی موضعی ایجاد می‌کنند که می‌تواند سازند را



فرسایش دهند، ذرات ریز را به حرکت درآورند و رسوب‌گذاری معدنی و بیوفولینگ را تسریع کنند. بنابراین، طراحی برای یک سرعت ورودی محافظه کارانه (مانند انتخاب اسکرین‌هایی با مساحت باز بالا مانند V-wire) یک سرمایه‌گذاری پیشگیرانه است. این رویکرد، اولویت را به پیشگیری از سازوکارهای «پیری چاه» می‌دهد که منجر به کاهش دفعات نگهداری، کاهش هزینه‌های احیا و افزایش طول عمر چاه می‌شود و در نهایت به عملیات تأمین آب پایدارتر و مقرون‌به‌صرفه‌تر کمک می‌کند. این بدان معناست که انتخاب‌های اولیه‌ی طراحی، حتی اگر در ظاهر برای کارایی هیدرولیکی فوری بیش از حد محافظه کارانه به نظر برسند، مزایای قابل‌توجهی در زمینه‌ی تاب‌آوری عملیاتی و کاهش هزینه‌های چرخه‌ی عمر به همراه دارند.

گراول‌پک: نقش، دانه‌بندی و ضخامت

گراول‌پک، که گاهی اوقات به‌عنوان فیلترپک نیز شناخته می‌شود، یک جزء حیاتی در بسیاری از چاه‌های آب، به‌ویژه آن‌هایی که در آبخوان‌های آبرفتی غیرمتراکم تکمیل می‌شوند، است. نقش اصلی آن فراتر از صرفاً فیلتراسیون است؛ گراول‌پک به‌عنوان یک ناحیه‌ی فیلتراسیون مصنوعی در اطراف اسکرین چاه عمل می‌کند و از ورود ذرات ریز سازند به داخل چاه جلوگیری می‌کند، در حالی که اجازه می‌دهد آب آزادانه وارد شود. این لایه همچنین به تثبیت سازند آبخوان کمک کرده و از ریزش دیواره‌ی گمانه جلوگیری می‌کند. علاوه بر این، گراول‌پک می‌تواند سطح تماس مؤثر بین چاه و آبخوان را افزایش داده، نفوذپذیری هیدرولیکی را بهبود بخشد، سرعت ورودی آب به اسکرین را کاهش دهد و در نهایت، آبدهی چاه را افزایش دهد.

دانه‌بندی گراول‌پک: انتخاب دانه‌بندی مناسب برای گراول‌پک بر اساس آنالیز دانه‌بندی سازند آبخوان، یک گام حیاتی در طراحی چاه است. استانداردهایی مانند DVGW W ۱۱۳ و دستورالعمل‌های سازندگان لوله جدار، قواعد دقیقی را برای این انتخاب‌ها ارائه می‌دهند. هدف این است که گراول‌پک به‌عنوان یک فیلتر مؤثر عمل کند و در عین حال، نفوذپذیری ناحیه‌ی اطراف اسکرین را به حداکثر برساند. معیارهای رایج برای انتخاب دانه‌بندی گراول‌پک شامل موارد زیر است:

نسبت d_{50} : به‌طور کلاسیک، قطر d_{50} (اندازه‌ی ذراتی که ۵۰ درصد نمونه از آن ریزتر است) گراول‌پک باید تقریباً ۴ تا ۶ برابر قطر d_{50} سازند آبخوان باشد. برخی مطالعات نسبت‌های ۵ تا ۱۰ را نیز پیشنهاد کرده‌اند، اما نسبت‌های ۴ تا ۵ معمولاً به بالاترین کارایی چاه منجر می‌شوند.

نسبت d_{15} : برای جلوگیری از شستشوی مداوم ذرات ریز سازند از طریق گراول‌پک، برخی محققان پیشنهاد کرده‌اند که

اندازه‌ی ۱۵ درصد ریزتر گراول پک نباید بیش از چهار برابر اندازه‌ی ۸۵ درصد ریزتر سازند آبخوان باشد.

ضریب یکنواختی: گراول پک ایده‌آل باید دارای ضریب یکنواختی ۲.۵ یا کمتر باشد. ذرات گراول پک باید تمیز، گردگوشه، صاف و یکنواخت باشند تا تخلخل و نفوذپذیری را افزایش دهند. همچنین، مواد گراول پک باید عمدتاً سیلیسی باشند و حاوی کمتر از ۵ درصد ذرات کربناتی، شیل، انیدریت یا گچ نباشند.

ضخامت لایه‌ی گراول پک: ضخامت لایه‌ی گراول پک نیز یک عامل مهم در طراحی چاه است. ضخامت کافی برای ایجاد یک فیلتر مؤثر و تثبیت سازند ضروری است، اما ضخامت بیش از حد می‌تواند فرایند توسعه‌ی چاه را دشوار کند. مطالعات نشان داده‌اند که ضخامت گراول پک باید حداقل ۳ اینچ و حداکثر ۱۲ اینچ باشد. ضخامت ۸ تا ۹ اینچ به‌عنوان حداکثر ضخامت در نظر گرفته می‌شود که امکان تمیز کردن کامل گمانه در طول فرایند توسعه را فراهم می‌کند و به بازگرداندن نفوذپذیری سازند به حداقل مقدار اولیه‌ی آن کمک می‌کند. گراول پک باید به‌صورت یکنواخت و با ضخامت از پیش تعیین شده در فضای حلقوی اطراف اسکرین قرار گیرد.

جدول ۲- اجزای کلیدی چاه آب و نقش آن‌ها

جزء کلیدی چاه	نقش اصلی	مصالح رایج	ملاحظات کلیدی
لوله جدار	پایداری سازه‌ای و جلوگیری از ریزش دیواره‌ی گمانه، جداسازی آبخوان‌ها	فولاد/استنلس استیل، uPVC	مقاومت در برابر خوردگی/فشار، قطر داخلی، عمق نصب، آب‌بندی
اسکرین (مشبک)	ورود کنترل شده‌ی آب و جلوگیری از ورود ذرات سازند به چاه	فولاد/استنلس استیل (شیار ساده، V-wire)، uPVC (کوکره‌ای)	مساحت باز، اندازه‌ی شیار، مقاومت در برابر گرفتگی، طول عمر
گراول پک	فیلتراسیون ذرات ریز، تثبیت سازند، افزایش سطح تماس مؤثر	شن و ماسه‌ی سیلیسی با دانه‌بندی مشخص	دانه‌بندی، یکنواختی، ضخامت، خلوص، نسبت به دانه‌بندی سازند
آب‌بندی بهداشتی	جلوگیری از نفوذ آلاینده‌ها از سطح زمین یا آبخوان‌های آلوده	بتونیت، سیمان، گروت	عمق نصب، کیفیت آب‌بندی، عدم ایجاد مسیرهای نفوذ
سامانه پمپاژ	استخراج آب از چاه و انتقال آن به سطح	پمپ شناور، لوله‌ی ریزر، کابل برق، ابزار دقیق	دبی، هد، راندمان انرژی، مقاومت در برابر سایش/خوردگی، پایش

۳- علل اصلی کاهش آبدهی چاه‌ها «پیری چاه»

گرفتگی‌های فیزیکی (ورود ریزدانه‌ها، ناکافی بودن توسعه، بهره‌برداری بیش از حد)

گرفتگی فیزیکی یک علت رایج و اغلب فوری کاهش عملکرد چاه است که ناشی از حرکت و انباشت مواد زمین‌شناسی است. این نوع گرفتگی زمانی رخ می‌دهد که ذرات ریز (سیلت، رس، ماسه‌های بسیار ریز) به داخل گراول پک و پشت اسکرین چاه مهاجرت می‌کنند و منجر به کاهش فضای منافذ و تشکیل «پل‌های ماسه‌ای» می‌شوند. توسعه‌ی اولیه‌ی ناکافی چاه، که هدف آن حذف این ذرات ریز است، نقش مهمی در گرفتگی فیزیکی دارد. بهره‌برداری از چاه با دبی‌های بیش از ظرفیت طراحی شده (پمپاژ بیش از حد) می‌تواند گرفتگی فیزیکی را تشدید کند؛ این امر با افزایش سرعت‌های ورودی، به حرکت درآوردن رسوبات سست و گسترش مخروط افت، باعث کشیده شدن مواد ریزتر به داخل چاه می‌شود. معادله داریسی یا $q = Q/A = -dp/dx \cdot k/\mu$ که در آن q دبی مخصوص یا سرعت داریسی k تراوایی و اسکوزیته و dp/dx گرادیان فشار است بیان می‌کند گرادیان فشار تابعی از سرعت آب است و این در جایی صدق می‌کند که سرعت آب آرام و یا به اصطلاح، جریان آرام و غیر آشفته باشد. وقتی سرعت جریان افزایش یابد، یا محیط متخلخل دستخوش آشفتگی شود (مثل اطراف فیلتر چاه، یا در سازندهای سست)، رفتار سیال از رابطه‌ی خطی داریسی خارج می‌شود. افت فشار بالا بین سازند و درون چاه (مانند برداشت آب بیشتر از ظرفیت چاه) باعث ایجاد نیروی مکش قوی روی ذرات ریز اطراف مشبک‌ها می‌شود. در این شرایط، ذرات ماسه از ساختار سازند جدا شده و وارد جریان آب می‌شوند. معادله داریسی دیگر پاسخگو نیست و وارد محدوده‌ی جریان غیرداریسی و ناپایدار می‌شویم. در این حالت، فشار افت داده‌شده در محیط، تابعی غیرخطی از سرعت می‌شود $dp/dx = \mu/k \cdot v + \rho \cdot \beta \cdot v^2$ که در آن $\rho \cdot \beta \cdot v^2$ افت فشار به دلیل آشفتگی جریان است و با توان دوم سرعت جریان وابستگی مستقیم دارد.

گرفتگی فیزیکی، در حالی که ظاهراً یک فرایند طبیعی مهاجرت ذرات است، اغلب نتیجه‌ی مستقیم ساخت‌وساز اولیه‌ی ناکافی چاه (به‌ویژه توسعه‌ی ناقص) یا شیوه‌های بهره‌برداری ناپایدار (پمپاژ بیش از حد) است. اگر چاه در ابتدا به‌درستی توسعه نیابد، ذخیره‌ای از ذرات ریز در ناحیه‌ی نزدیک به گمانه باقی می‌ماند که آماده‌ی مهاجرت هستند. هنگامی که چاه تحت تنش‌های هیدرولیکی ناشی از پمپاژ قرار می‌گیرد،

بنابراین، پایش شیمی آب (مانند pH، EC، آهن، منگنز، قلیائیت) برای پیش‌بینی و کاهش این نوع گرفتگی حیاتی است. گرفتگی‌های زیستی (بیوفیلم‌ها، باکتری‌های آهن‌خوار و سولفات‌کاهنده)



گرفتگی زیستی یا بیوفولینگ، مشکلی فراگیر و اغلب دست‌کم گرفته شده است که شامل رشد میکروارگانیسم‌هایی می‌شود که لجن‌های چسبنده تولید می‌کنند. بیوفیلم‌ها و باکتری‌های مرتبط با آهن (IRB) مانند *Gallionella*، *Leptothrix* و *Crenothrix* به‌طور مکرر یافت می‌شوند. این میکروارگانیسم‌ها آهن و منگنز را اکسید می‌کنند و یک لجن یا بیوفیلم قهوه‌ای مایل به قرمز تولید می‌کنند که منافذ را مسدود کرده و می‌تواند از سایر باکتری‌ها محافظت کند. بیوفولینگ می‌تواند به سرعت توسعه یابد و اغلب به دلیل اثرات بصری مشابه، به اشتباه به عنوان گرفتگی صرفاً فیزیکی یا شیمیایی تشخیص داده می‌شود. باکتری‌های کاهنده‌ی سولفات (SRB) ارگانیسم‌های بی‌هوازی هستند که سولفات را مصرف کرده و اسیدهای آلی و سولفید هیدروژن (با بوی تخم‌مرغ گندیده)

به‌ویژه در پمپاژ بیش از حد، سرعت‌های جریان افزایش یافته و گرادیان‌های فشار، نیروهای کششی کافی برای به حرکت درآوردن این ذرات ریز ایجاد می‌کنند. تشکیل «پل‌های ماسه‌ای» در اینجا یک سازوکار حیاتی است: حتی اگر ماسه به پمپ نرسد، پل‌سازی در داخل گراول‌پک یا سازند به‌طور قابل توجهی نفوذپذیری را کاهش می‌دهد و منجر به افزایش موضعی مقاومت جریان و در نتیجه، افت چاهی می‌شود. این امر نشان می‌دهد که پرداختن به گرفتگی فیزیکی نه تنها نیاز به حذف مواد انباشته شده دارد، بلکه مستلزم ارزیابی مجدد کارایی توسعه‌ی اولیه و رژیم‌های پمپاژ فعلی برای جلوگیری از تکرار است.

گرفتگی‌های شیمیایی یا معدنی (رسوب کربنات‌ها، اکسیدهای آهن/منگنز، سیلیس)

گرفتگی شیمیایی از رسوب مواد معدنی محلول در محیط چاه ناشی می‌شود که اغلب با تغییرات در شیمی آب یا شرایط فیزیکی در طول پمپاژ تحریک می‌گردد. رسوبات معدنی رایج شامل کربنات کلسیم (CaCO_3)، اکسیدهای آهن و منگنز (مانند هماتیت، مگنتیت) و سیلیس هستند. تشکیل این رسوبات به شدت به شیمی آب زیرزمینی، دما و فشار جزئی گازها وابسته است. آب زیرزمینی با غلظت بالای یون‌های آهن (بالتر از ۰.۳ ppm) به‌ویژه مستعد تشکیل رسوبات قهوه‌ای مایل به قرمز است. پمپاژ سریع می‌تواند فشار و دمای داخل چاه را تغییر دهد و شرایطی را برای رسوب‌گذاری معدنی و ایجاد رسوبات سخت بر روی اجزای چاه فراهم کند.

گرفتگی شیمیایی صرفاً یک رسوب‌گذاری ثابت نیست، بلکه یک فرایند فیزیکی و شیمیایی پویا است که توسط تعامل بین هیدروشیمی ذاتی آبخوان و محیط تغییر یافته در داخل گمانه در طول پمپاژ هدایت می‌شود. هنگامی که آب زیرزمینی، که اغلب در حالت احیاء شده (مانند حاوی آهن فرو محلول) است، به سطح آورده می‌شود یا در طول پمپاژ تحت افت فشار و هوادهی قرار می‌گیرد، تعادل شیمیایی آن تغییر می‌کند. این امر منجر به اکسیداسیون فلزات محلول (مانند آهن و منگنز) و خروج CO_2 می‌شود که به نوبه‌ی خود pH را افزایش می‌دهد و باعث رسوب کربنات‌ها می‌گردد. داده‌ها به‌صراحت پمپاژ سریع را به این تغییرات مرتبط می‌کنند. این امر نشان می‌دهد که مدیریت مؤثر گرفتگی شیمیایی نیاز به درک عمیق هیدروشیمی آبخوان و طراحی رژیم‌های پمپاژ دارد که این تغییرات بی‌ثبات‌کننده را به حداقل برساند (مانند اجتناب از افت بیش از حد یا هوادهی).

تولید می کنند. آن‌ها در محیط‌های کم اکسیژن رشد می کنند. پمپاژ بیش از حد می تواند به طور ناخواسته سطح اکسیژن در چاه را افزایش دهد و شرایط مساعدی را برای تکثیر باکتری‌های آهن‌خوار هوازی فراهم کند. مهم‌ترین نکته در مورد بیوفولینگ، تشکیل مواد پلیمری خارج سلولی یا «لجن» است که به عنوان یک ماتریس محافظ عمل می کند. این «سپر محافظ» باعث می شود ضد عفونی کننده‌های شیمیایی سنتی (مانند کلر) به طور قابل توجهی کمتر مؤثر باشند، زیرا نمی توانند فراتر از لایه‌های سطحی بیوفیلم نفوذ کرده و به سلول‌های باکتریایی محصور شده برسند. این امر به طور مستقیم نشان می دهد که یک رویکرد صرفاً شیمیایی برای بیوفولینگ اغلب ناکافی است و منجر به رشد مجدد سریع می شود. بنابراین، یک راهبرد احیای چندوجهی ضروری است: اختلال مکانیکی (پالس سیال گازی پرانرژی نیتروپالس، یا در غیاب آن استفاده از برس زنی و پیستون زنی) ابتدا برای شکستن ماتریس بیوفیلم و نمایان کردن باکتری‌های زیرین، قبل از یا هم‌زمان با درمان شیمیایی، لازم است. این رویکرد هم‌افزایی تضمین می کند که عوامل شیمیایی می توانند به طور مؤثر به میکروارگانیسم‌ها رسیده و آن‌ها را از بین ببرند و منجر به نتایج احیای پایدارتر شوند. علاوه بر این، ارتباط بین پمپاژ بیش از حد و افزایش اکسیژن که باعث بیوفولینگ می شود، تأکید می کند که تنظیمات عملیاتی نیز بخش مهمی از راهبرد مدیریت طولانی مدت بیوفولینگ هستند.

خرابی‌های سازه‌ای (خوردگی، فرسایش، تغییر شکل، نشست گراول)

فراتر از گرفتگی، یکپارچگی فیزیکی ساختار چاه می تواند با گذشت زمان تخریب شود و منجر به کاهش عملکرد و شکست احتمالی گردد. تخریب سازه‌ای شامل خوردگی لوله‌های جدار و اسکرین‌های فلزی، تغییر شکل یا ترک خوردگی اجزای لوله جدار، ریزش دیواره‌ی چاه، نشست گراول‌پک یا فرسایش اسکرین است. ماسه‌دهی می تواند نتیجه‌ی مستقیم خرابی‌های سازه‌ای مانند اسکرین‌های خورده شده یا پاره شده، گراول‌پک نامناسب یا نشست کرده، یا افت فشار بیش از حد و دبی‌های بالای پمپاژ باشد که از مقاومت مکانیکی سازند فراتر می رود. خرابی‌های سازه‌ای اغلب اوج تنش طولانی مدت و تعامل با سایر ساز و کارهای «پیری چاه» هستند، نه رویدادهای جداگانه. به عنوان مثال، بیوفولینگ و رسوب گذاری شیمیایی می تواند خوردگی اجزای فلزی را تسریع کنند، در حالی که سرعت‌های ورودی بالا (به دلیل گرفتگی یا پمپاژ بیش از حد) می توانند منجر به فرسایش اسکرین و سازند شوند. هنگامی که

یکپارچگی سازه‌ای به خطر می افتد (مانند یک اسکرین پاره شده یا گراول‌پک نشست کرده)، مستقیماً منجر به ماسه‌دهی می شود که سپس سایش پمپ را تشدید کرده و می تواند باعث آسیب بیشتر به چاه شود. این یک شکست آبشاری ایجاد می کند. پیامد حیاتی این است که مسائل سازه‌ای اغلب برگشت‌ناپذیر هستند یا نیاز به مداخلات گسترده و پرهزینه (مانند نصب لاینرهای داخلی) دارند. این امر بر اهمیت بازرسی‌های ویدئویی دوره‌ای درون‌چاهی برای تشخیص زودهنگام و نیاز به طراحی اولیه‌ی قوی و انتخاب مصالح مقاوم در برابر این تنش‌های تجمعی تأکید می کند.

نماد	مفهوم
θ	عدد شیلدز
τ	تنش برشی در بستر
ρ_s	چگالی ذره (مثلاً ماسه)
ρ	چگالی سیال (مثلاً آب)
g	شتاب جاذبه
d	قطر متوسط ذره

در محیط‌های دانه‌درشت فاقد سیمان طبیعی (مانند آبرفت‌های سست)، مقاومت سازند در برابر تنش برشی و تنش فشاری عمدتاً ناشی از تماس اصطکاکی بین دانه‌هاست و چسبندگی ذاتی ناچیز است. با شروع پمپاژ ابتدا کاهش فشار منفذی رخ می دهد. بر اساس اصل ترزاقی، این کاهش باعث افزایش تنش مؤثر بر اسکلت دانه‌ای می شود: $\sigma' = \sigma - u$ که در آن σ' تنش مؤثر، σ تنش کل و u فشار منفذی است. افزایش ناگهانی تنش مؤثر می تواند موجب بازآرایی و گسیختگی موضعی ساختار دانه‌ها شود. اگر جریان ورودی به چاه دارای سرعت برشی کافی باشد، نیروی هیدرودینامیکی اعمالی بر دانه‌ها می تواند از مقاومت وزنی-اصطکاکی آن‌ها عبور کند و ذرات را به حرکت درآورد. انتقال ذرات در بستر متخلخل تحت جریان، بر اساس عدد بی بعد شیلدز تعریف می شود فرمول شیلدز $\theta = \tau / (g \cdot d \cdot (\rho_s - \rho))$ که در آن وقتی θ از مقدار بحرانی θ_c وابسته به رینولدر و شکل ذره فراتر رود، ذره شروع به حرکت می کند. برای ماسه‌های ریز، معمولاً $0.06 - 0.03 \approx \theta_c$ است.

شرایط اطراف لوله مشبک: در مجاورت مشبک، هندسه‌ی منفذها باعث افزایش موضعی سرعت جریان و در نتیجه افزایش تنش برشی دیواره می شود. اگر τ محلی از τ_c (تنش برشی

جدول ۲: مکانیسم‌های «پیری چاه» و علائم تشخیصی آن‌ها

نوع گرفتگی/خرابی	سازوکار اصلی	علائم رایج	شاخص‌های تشخیصی کلیدی
فیزیکی	ورود و انباشت ریزدانه‌ها به گراول پک و پشت اسکرین	کاهش آبدهی، افزایش کدورت آب (به ویژه در شروع پمپاژ)، ماسه‌دهی، افت ناگهانی ظرفیت ویژه	آزمون پله‌ای (افزایش ضریب C)، ویدئومتری (مشاهده ذرات، پل‌های ماسه‌ای)، آنالیز دانه‌بندی نمونه‌های آب رسوبات
شیمیایی/معنی	رسوب مواد معدنی محلول (کربنات‌ها، اکسیدهای آهن/منگنز، سیلیس) بر روی اسکرین و گراول پک	کاهش آبدهی، افزایش افت چاهی، تغییر رنگ آب (زرد، قرمز، رسوبات سخت، سخت و چسبنده بر روی اجزا)	آزمون پله‌ای (افزایش ضریب C)، ویدئومتری (مشاهده رسوبات سخت، پوسته)، آنالیز شیمیایی آب (غلظت Mn, Fe, CaCO_3 و رسوبات)
زیستی	رشد بیوفیلم‌ها و باکتری‌ها (مانند باکتری‌های آهن‌خوار و سولفات‌کاهنده)	کاهش آبدهی، بوی نامطبوع آب (تخم‌مرغ گندیده، لجن)، لجن و بیوفیلم قابل مشاهده بر روی پمپ/اسکرین، طعم نامطبوع آب	آزمون پله‌ای (افزایش ضریب C)، ویدئومتری (مشاهده بیوفیلم و لجن)، تست‌های باکتریایی (IRB, SRB, H ₂ S, پایش)
سازه‌ای/مصرفی	خوردگی، فرسایش، تغییر شکل اجزای چاه، ریزش دیواره‌ی گمانه، نشست گراول پک	ماسه‌دهی مداوم، گیر کردن یا آسیب به پمپ، تغییر شکل یا شکستگی جدار/اسکرین، کاهش ناگهانی آبدهی	ویدئومتری (مشاهده پارگی، سوراخ، تغییر شکل، نشست گراول)، پایش مداوم محتوای ماسه در آب خروجی

بحرانی) بیشتر شود، ذرات ماسه و سیلت از بستر جدا شده و وارد جریان می‌شوند. این حالت معمولاً در شرایط ۱) برداشت با دبی بیش از حد طراحی، ۲) افت سطح آب به زیر فیلترها، ۳) جریان آشفته (غیر داری) شدت می‌یابد. این مکانیزم، هسته‌ی اصلی ماسه‌دهی در چاه‌هاست. کنترل آن مستلزم ۱) محدود کردن سرعت ورودی به زیر حد بحرانی ۲) استفاده از طراحی مناسب فیلتر و گراول پک و ۳) جلوگیری از ایجاد فشار منفی شدید و جریان‌های آشفته در ورودی چاه است.

تفکیک افت آبخوان و افت چاه

درک اجزای افت کل در یک آزمون پمپاژ چاه برای تشخیص دقیق علت اصلی کاهش عملکرد بسیار مهم است. افت کل در یک آزمون پمپاژ چاه (SW) شامل دو جزء اصلی است: افت در آبخوان (خطی، $B(t)Q(t)$) و افت شبکه‌ی چاهی (غیرخطی، $B'Q + CQ^2$) که به دلیل جریان آشفته در داخل گمانه و نزدیک اسکرین رخ می‌دهد. آزمون پله‌ای روش اصلی برای تفکیک و کمی‌سازی این اجزا است. این آزمون شامل پمپاژ با دبی‌های ثابت و متوالی افزایشی است که امکان تخمین ضریب آبدهی و ضرایب افت چاهی را فراهم می‌کند. افت کل در چاه (SW) با معادله‌ی $SW = B(t)Q(t) + B'Q + CQ^2$ نمایش داده می‌شود که در آن $B(t)Q(t)$ افت آبخوان وابسته به زمان، $B'Q$ افت چاهی خطی و CQ^2 افت چاهی غیرخطی است. توانایی تفکیک دقیق افت آبخوان از افت چاهی از طریق آزمون پله‌ای، شاید اساسی‌ترین گام تشخیصی در مدیریت چاه باشد که به عنوان بک «قطب‌نمای تشخیصی» برای مداخله‌ی هدفمند عمل می‌کند. اگر مشکل اصلی، افت بالای آبخوان باشد، نشان‌دهنده‌ی یک مشکل منطقه‌ای کاهش آب زیرزمینی (مانند برداشت بیش از حد از خود آبخوان) است که با احیای چاه قابل حل نیست؛ در عوض، به راهبردهای گسترده‌تر مدیریت آبخوان (مانند تغذیه‌ی مصنوعی، کاهش پمپاژ منطقه‌ای) یا جانمایی چاه‌های جدید نیاز دارد. برعکس، اگر افت چاهی بالا جزء غالب باشد، به‌طور صریح به مشکلات در داخل یا بلافاصله اطراف ساختار چاه (مانند گرفتگی اسکرین، مشکلات گراول پک، توسعه‌ی ضعیف) اشاره می‌کند. این قابلیت تشخیصی دقیق، از تلاش‌های احیای نادرست و بیهوده جلوگیری می‌کند و تضمین می‌کند که منابع به مشکل واقعی اختصاص یابند. این امر حل مشکل را از حدس و گمان به یک فرایند مبتنی بر شواهد و کارآمد تبدیل می‌کند.

۴- ابزارهای تشخیص و پایش وضعیت چاه

آزمون پله‌ای و تحلیل ظرفیت ویژه

آزمون پله‌ای سنگ بنای تشخیص چاه است که بینش‌های کمی در مورد کارایی چاه و ماهیت افت‌های هیدرولیکی ارائه می‌دهد. آزمون پله‌ای یک آزمون تک‌چاهی است که معمولاً پس از توسعه‌ی چاه برای ارزیابی کارایی آن و کمک به انتخاب صحیح اندازه‌ی پمپ انجام می‌شود. این آزمون شامل پمپاژ چاه با مجموعه‌ای از دبی‌های ثابت و متوالی افزایشی است، به‌طوری که هر پله به اندازه‌ی کافی طولانی (مثلاً ۱ تا ۴ ساعت) باشد تا سطح آب تثبیت شود. تحلیل داده‌های آزمون پله‌ای، اغلب با استفاده از روش‌های Jacob (۱۹۴۷) و Rorabaugh (۱۹۵۳)، امکان تخمین ضریب آبدهی آبخوان و تفکیک افت آبخوان خطی (BQ) از افت چاهی غیرخطی

(CQ2) را فراهم می‌کند. افت کل (sW) در چاه با معادله‌ی $sW=B(t)Q(t)+B'Q+CQ^2$ بیان می‌شود که در آن $B(t)Q(t)$ افت آبخوان وابسته به زمان، $B'Q$ افت چاهی خطی و CQ^2 افت چاهی غیرخطی است.

آزمون پله‌ای فراتر از یک اندازه‌گیری ساده است؛ این یک ابزار تشخیصی کمی است که یک خط پایه‌ی عملکرد حیاتی برای چاه ایجاد می‌کند. با جداسازی افت آبخوان از افت چاهی، دقیقاً مشخص می‌کند که ناکارآمدی در کجا قرار دارد. یک ضریب «C» بالا (افت چاهی غیرخطی) تأثیر گرفتگی یا طراحی ضعیف چاه در رابط گمانه را به‌طور دقیق کمی‌سازی می‌کند و آن را به معیار اصلی برای توجیه و ارزیابی تلاش‌های احیا تبدیل می‌سازد. بدون این ارزیابی کمی، احیا به یک تمرین کیفی تبدیل می‌شود که اندازه‌گیری عینی موفقیت یا بازگشت سرمایه را غیرممکن می‌سازد. توانایی ردیابی تغییرات در ضرایب B' و C در طول زمان، ابزاری قدرتمند برای پایش سلامت چاه و تعیین زمان بهینه برای مداخلات آبی فراهم می‌کند و مدیریت چاه را از حدس و گمان واکنشی به تصمیم‌گیری فعال و مبتنی بر داده تبدیل می‌کند.

ویدئومتری درون‌چاهی برای مشاهده‌ی مستقیم

ویدئومتری درون‌چاهی شواهد بصری مستقیم ارزشمندی از وضعیت داخلی چاه ارائه می‌دهد و داده‌های هیدرولیکی کمی را تکمیل می‌کند. بازرسی ویدئویی درون‌چاهی، نمایش و ضبط بصری بی‌درنگ از شرایط داخلی چاه، از جمله لوله‌ی جدار، اسکرین و دیواره‌ی گمانه را فراهم می‌کند. این روش برای تأیید چاه‌های تازه تکمیل‌شده و ارزیابی وضعیت چاه‌های قدیمی، شناسایی مسائلی مانند آسیب‌های سازه‌ای (مثلاً ترک‌های جدار، خوردگی)، انسدادها (مثلاً آوار، رسوب‌گذاری معدنی) و بیوفولینگ بسیار مهم است. این فناوری می‌تواند نوع رسوبات (فیزیکی، شیمیایی، زیستی) را مشخص کرده و ویژگی‌های زمین‌شناسی یا مناطق ورود/خروج آب را شناسایی کند. بازرسی ویدئویی درون‌چاهی به‌عنوان «چشمان» متخصص تشخیص چاه عمل می‌کند و تأیید بصری حیاتی را برای داده‌های کمی به‌دست‌آمده از آزمون‌های پله‌ای و سایر لاگ‌ها فراهم می‌آورد. به‌عنوان مثال، اگر یک آزمون پله‌ای نشان‌دهنده‌ی افت چاهی غیرخطی بالا (ضریب «C» بالا) باشد، ویدئومتری می‌تواند علت این افت را به‌صورت بصری تأیید کند، خواه رسوب‌گذاری معدنی شدید، رشد گسترده‌ی بیوفیلم، یا آسیب سازه‌ای به اسکرین باشد. این شواهد بصری برای تعیین دقیق مکان و ماهیت مشکل در داخل گمانه بسیار

مهم است و امکان تلاش‌های احیای بسیار هدفمند و کارآمد را فراهم می‌کند (مانند هدایت عوامل شیمیایی یا ابزارهای مکانیکی به فواصل مسدودشده‌ی خاص). علاوه بر این، به شناسایی مسائلی کمک می‌کند که ممکن است از داده‌های هیدرولیکی به‌تنهایی آشکار نباشند، مانند وجود ابزارهای گمشده یا تغییر شکل‌های سازه‌ای ظریف. ویدئومتری پس از احیا نیز تأیید بصری مستقیمی از اثربخشی تمیزکاری ارائه می‌دهد و حلقه‌ی تشخیصی را کامل می‌کند.

پروفایل‌های دما و هدایت الکتریکی (EC) در حالت سکون و پمپاژ

پروفایل‌های دما و هدایت الکتریکی (EC) بینش‌هایی را در مورد حرکت سیال و تغییرات کیفیت آب در داخل گمانه و محیط نزدیک به چاه ارائه می‌دهند. این لاگ‌ها دما و هدایت الکتریکی سیال را با عمق در داخل گمانه اندازه‌گیری می‌کنند. آن‌ها برای شناسایی مناطق ورود یا خروج آب، جریان عمودی در داخل گمانه، و ناهنجاری‌های کیفیت آب، مانند وجود آلاینده‌ها با امضای شوری متمایز، استفاده می‌شوند. انحرافات در گرادیان دمای سیال از گرادیان ژئوترمال مورد انتظار، اغلب نشان‌دهنده‌ی مناطق جریان سیال در داخل گمانه است. در حالت ایده‌آل، این پروفایل‌ها با پروفایل‌های جریان (مانند لاگ‌های اسپینر) ترکیب می‌شوند تا درک جامع‌تری از دینامیک جریان به دست آید. پروفایل‌های دما و EC ابزارهای قدرتمندی برای «دیدن» نامرئی‌ها هستند: حرکت و اختلاط آب در داخل گمانه، که می‌تواند گرفتگی‌های پنهان یا مسیرهای جریان ترجیحی را آشکار کند. در یک چاه که به‌طور بهینه کار می‌کند، آب باید به‌طور یکنواخت در سراسر بازه‌ی اسکرین شده وارد شود. اگر یک بازه‌ی اسکرین خاص مسدود شده باشد، ورود آب از آبخوان را محدود می‌کند. این کاهش جریان ورودی می‌تواند به‌عنوان عدم تغییر دما یا EC در آن منطقه در طول پمپاژ، یا یک گرادیان دما -EC غیرعادی در شرایط سکون (به‌دلیل جریان عمودی یا آب راکد) ظاهر شود. به‌عنوان مثال، اگر یک منطقه‌ی آبخوان عمیق‌تر، گرم‌تر یا شورتر قرار است آب را تأمین کند اما لاگ هیچ تغییری در دما-EC در آن اسکرین نشان نمی‌دهد، قویاً نشان‌دهنده‌ی گرفتگی در آن بازه‌ی خاص است. این قابلیت امکان هدف‌گذاری بسیار دقیق تلاش‌های احیا را فراهم می‌کند و تضمین می‌کند که مداخلات بر مناطق واقعی کاهش نفوذپذیری متمرکز می‌شوند، نه اینکه یک درمان کلی در سراسر اسکرین اعمال شود.

ابزار تشخیصی	کاربرد اصلی/آنچه تشخیص می‌دهد	اطلاعات کلیدی ارائه شده	زمان استفاده
آزمون پله‌ای	تفکیک افت آبخوان و افت چاهی، تعیین ظرفیت ویژه و راندمان چاه	ضرایب B و C (افت خطی و غیرخطی)، ظرفیت ویژه، راندمان چاه، تغییرات در طول زمان	قبل و بعد از احیا، پایش دوره‌ای عملکرد، طراحی سامانه پمپاژ
ویدئومتری درون چاهی	مشاهده‌ی مستقیم رسوبات، خوردگی، آسیب سازه‌ای، زون‌های ورودی/خروجی آب، موقعیت انسدادها	تصاویر زنده/ضبط‌شده، نوع و محل گرفتگی (فیزیکی، شیمیایی، زیستی)، وضعیت جدار و اسکرین (ترک، پارگی، تغییر شکل)	قبل و بعد از احیا، مشکلات حاد، بررسی یکپارچگی ساختاری
پروفایل دما و هدایت الکتریکی	شناسایی نواحی فعال ورود و خروج آب، تشخیص ناهنجاری‌های شیمیایی آب، تعیین مناطق گرفتگی	نمودار تغییرات دما زنده/ضبط‌شده، محل ورود/خروج آب، پایش حرکت آلاینده‌ها (ملند نفوذ آب شور)	پایش دوره‌ای، تشخیص نشت یا ورود آلاینده، ارزیابی اثربخشی احیا
نمونه‌برداری و دانه‌بندی از سازند و گراول پک	تعیین دانه‌بندی سازند و گراول پک، قضاوت درباره‌ی انتخاب/تغییر گراول و اسلات، تشخیص ریشه‌ی ماسه‌دهی	منحنی دانه‌بندی، نسبت‌های فیلترپک/شیار، ترکیب کانی‌شناسی، ارزیابی یکنواختی	طراحی اولیه‌ی چاه، تشخیص مشکلات ماسه‌دهی، برنامه‌ریزی احیا (به‌ویژه برای پالس‌گذاری نیتروپالس)

تجزیه و تحلیل آزمایشگاهی نمونه‌های سازند و گراول پک برای طراحی اولیه‌ی چاه و تشخیص مسائلی مانند ماسه‌دهی اساسی است. جمع‌آوری یک نمونه‌ی معرف از سازند و انجام آنالیز الک، اولین گام ضروری برای طراحی گراول پک و انتخاب اندازه‌ی شیار اسکرین مناسب است. این آنالیز برای ارزیابی مناسب بودن گراول پک و شیار اسکرین موجود و برای تصمیم‌گیری آگاهانه در مورد تغییرات احتمالی یا راهبردهای احیا بسیار مهم است. استانداردهای ۱۱۳ DVGW W دستورالعمل‌های سازندگان لوله جدار، قوانین و معیارهای دقیقی را برای انتخاب گراول و شیار بر اساس این آنالیزها ارائه می‌دهند. تجزیه و تحلیل دانه‌بندی آبخوان و گراول پک فقط یک جزئیات فنی نیست؛ بلکه مبنایی برای اطمینان از پایداری طولانی‌مدت و عملکرد بدون ماسه‌ی چاه است. یک گراول پک یا شیار اسکرین با اندازه‌ی نامناسب (نسبت به سازند) علت مستقیم تولید ماسه‌ی مزمن، سایش پمپ و کاهش طول عمر چاه است. بنابراین، این آنالیز اجازه می‌دهد تا (۱) بررسی شود که آیا طراحی اولیه‌ی چاه به بهترین شیوه‌ها (مانند دستورالعمل‌های ۱۱۳ DVGW W برای نسبت‌های ۵۰:۱) پایبند بوده است یا خیر. (۲) علت اصلی مشکلات ماسه‌دهی موجود تشخیص داده شود. (۳) به‌طور حیاتی، کاربرد ایمن روش‌های احیای پرانرژی مانند نیتروپالس یا هایپر جت اطلاع‌رسانی شود. دانستن ویژگی‌های سازند و گراول پک به اپراتورها اجازه می‌دهد تا انرژی و فرکانس پالس را کالیبره کنند تا گرفتگی را به‌طور مؤثر از بین ببرند بدون اینکه مقادیر بیش از حد از مواد سازند را به حرکت درآورند و بدین ترتیب از ماسه‌دهی ثانویه یا آسیب سازه‌ای جلوگیری کنند. این آنالیز احیا را از یک کاربرد کورکورانه به یک فرایند محاسبه‌شده و باریسک کنترل‌شده تبدیل می‌کند.

۵- ماسه‌دهی چاه: ریشه‌ها و راهکارهای کنترل

ریشه‌های ماسه‌دهی (طراحی/ساخت نادرست، بهره‌برداری نامناسب، خرابی سازه‌ای)

ماسه‌دهی چاه، پدیده‌ای نامطلوب است که می‌تواند به‌شدت بر عملکرد و طول عمر چاه تأثیر بگذارد. این پدیده زمانی رخ می‌دهد که مقاومت مکانیکی سنگ سازند توسط تنش‌های اعمال‌شده در طول تولید آب از چاه، تحت تأثیر قرار گیرد. ریشه‌های ماسه‌دهی را می‌توان در سه دسته‌ی اصلی طبقه‌بندی کرد:

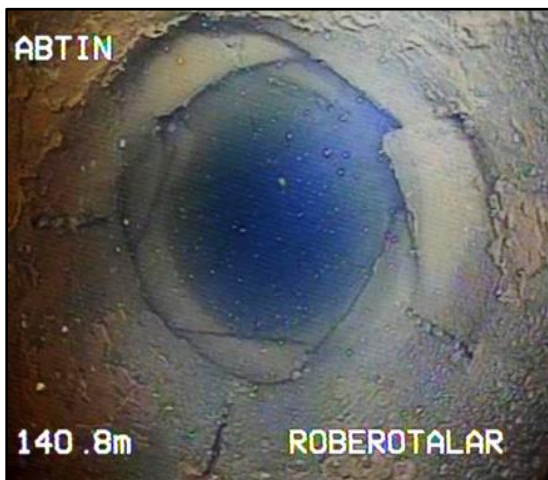
طراحی و ساخت نادرست:

-انتخاب نامناسب اندازه‌ی شیار اسکرین: اگر اندازه‌ی شیار اسکرین نسبت به دانه‌بندی سازند آبخوان یا گراول پک (در صورت وجود) بیش از حد بزرگ باشد، ذرات ریز ماسه به‌راحتی می‌توانند از آن عبور کرده و وارد چاه شوند.

-گراول پک نامناسب: استفاده از گراول پک با دانه‌بندی بسیار درشت یا ناهمگن، یا ضخامت ناکافی، نمی‌تواند به‌درستی ذرات ریز سازند را فیلتر کند و منجر به ماسه‌دهی می‌شود.

خرابی‌های سازه‌ای:

- خوردگی یا پارگی اسکرین/جدار: خوردگی لوله‌های جدار یا اسکرین‌های فلزی، یا پارگی و ترک خوردگی در اسکرین‌های uPVC، می‌تواند مسیرهای جدیدی برای ورود ماسه به چاه ایجاد کند.



- نشست گراول‌پک: نشست یا جابجایی گراول‌پک در طول زمان، می‌تواند فضاهای خالی ایجاد کند که از طریق آن‌ها ماسه‌ی سازند به داخل چاه نفوذ می‌کند.

- تغییر شکل: تغییر شکل یا لهیدگی جزئی لوله‌های جدار و اسکرین‌های uPVC (بیضی‌شدن)، می‌تواند یکپارچگی ساختاری را به خطر انداخته و منجر به ماسه‌دهی شود.

- فرسایش اسکرین: جریان مداوم آب با سرعت بالا و حمل ذرات ساینده، می‌تواند باعث فرسایش تدریجی شیرهای اسکرین شده و آن‌ها را گشادتر کند و در نتیجه ماسه‌دهی را افزایش دهد.

ماسه‌دهی، صرف‌نظر از ریشه‌ی آن، منجر به پیامدهای منفی متعددی می‌شود. این پدیده می‌تواند باعث کاهش نرخ تولید آب به دلیل انباشت ماسه در گمانه یا تجهیزات سطحی شود. علاوه بر این، ماسه می‌تواند باعث فرسایش و آسیب به تجهیزات درون چاهی و سطحی، از جمله پمپ‌ها، لوله‌ها و شیرآلات شود که منجر به هزینه‌های تعمیر و نگهداری بالا و خرابی زود هنگام تجهیزات می‌گردد. اگر سرعت سیال برای حمل ماسه به اندازه‌ی کافی نباشد، چاه می‌تواند با ماسه پر شود و منجر به انسداد کامل گردد. بنابراین، کنترل ماسه‌دهی یک جنبه‌ی

- مساحت باز اندک اسکرین: مساحت باز ناکافی اسکرین (تعداد شیرهای مشبک ناکافی) می‌تواند منجر به سرعت‌های ورودی موضعی بالا شود که خود باعث فرسایش سازند و کشیده شدن ماسه به داخل چاه می‌گردد.

- توسعه‌ی اولیه‌ی ناکافی: توسعه‌ی اصولی چاه پس از حفاری، برای حذف ذرات ریز و ایجاد یک ناحیه‌ی فیلتراسیون طبیعی در اطراف اسکرین حیاتی است. عدم انجام صحیح این فرایند، منجر به باقی ماندن ذرات ریز در نزدیکی چاه و ماسه‌دهی مداوم می‌شود.



بهره‌برداری نامناسب:

- دبی‌های پمپاژ بالا: پمپاژ با دبی‌های بیش از ظرفیت طراحی شده‌ی چاه، سرعت ورودی آب به اسکرین را به شدت افزایش می‌دهد. این سرعت‌های بالا، نیروهای کششی کافی برای به حرکت درآوردن ذرات ریز سازند و گراول‌پک ایجاد کرده و منجر به ماسه‌دهی می‌شوند.

- سیکل‌های روشن/خاموش شدید پمپ: راه‌اندازی و توقف مکرر پمپ، نوسانات فشار ناگهانی در چاه ایجاد می‌کند که می‌تواند باعث جابجایی ذرات و ماسه‌دهی شود.

- افت فشار بیش از حد (High Drawdown Pressure Depletion): کاهش شدید فشار در آبخوان اطراف چاه، می‌تواند مقاومت سازند را در برابر نیروهای وارده کاهش داده و منجر به شکست سنگ و تولید ماسه شود.

- نفوذ آب (Water Breakthrough): در برخی آبخوان‌ها، نفوذ آب می‌تواند چسبندگی سنگ را کاهش داده و احتمال ماسه‌دهی را افزایش دهد.

حیاتی در بهره‌برداری پایدار و اقتصادی چاه‌های آب است و نیاز به راهبردهای چندوجهی دارد که هم در مراحل طراحی و ساخت و هم در طول بهره‌برداری اعمال شوند.

کنترل ماسه‌دهی در حین حفاری و ساخت چاه

کنترل ماسه‌دهی از همان مراحل اولیه حفاری و ساخت چاه آغاز می‌شود و تصمیمات اتخاذ شده در این مراحل، تأثیر عمیقی بر عملکرد بلندمدت چاه دارند.

-انتخاب روش حفاری مناسب: در آبخوان‌های آبرفتی، روش حفاری باید به گونه‌ای انتخاب شود که حداقل آسیب را به سازند وارد کند و نفوذ گل حفاری به آبخوان را به حداقل برساند. روش‌های حفاری چرخشی با گل یا چرخش معکوس گل با کنترل دقیق ویسکوزیته و فرازآوری گل، می‌توانند ضخامت کیک گل را کاهش داده و توسعه‌ی بعدی چاه را تسهیل کنند. استاندارد AWWA A100 الزامات مربوط به مواد، ساخت و گراوتینگ را مشخص می‌کند که برای جلوگیری از ماسه‌دهی و تضمین یکپارچگی چاه حیاتی هستند.

-طراحی گراول‌پک و اندازه‌ی شیار اسکرین: طراحی دقیق گراول‌پک و اندازه‌ی شیار اسکرین بر اساس آنالیز دانه‌بندی سازند، برای جلوگیری از ماسه‌دهی ضروری است. به‌طور کلاسیک، قطر d_{50} گراول‌پک باید تقریباً ۴ تا ۶ برابر قطر d_{50} سازند باشد. اندازه‌ی شیار اسکرین نیز باید به گونه‌ای انتخاب شود که درصد مشخصی از گراول‌پک را حفظ کند (معمولاً ۹۰ درصد یا بیشتر از گراول‌پک را نگه دارد). استانداردهایی مانند DVGW W ۱۱۳ و دستورالعمل‌های سازندگان لوله جدار V-wire قواعد دقیقی را برای این انتخاب‌ها ارائه می‌دهند. این معیارها تضمین می‌کنند که گراول‌پک به عنوان یک فیلتر مؤثر عمل کرده و از ورود ذرات ریز سازند به چاه جلوگیری می‌کند.

-سرعت ورودی محافظه کارانه و مساحت باز کافی: طراحی چاه باید به گونه‌ای باشد که سرعت ورودی آب از اسکرین به چاه، محافظه کارانه و پایین نگه داشته شود تا از شستشوی ذرات ریز و ماسه‌دهی جلوگیری شود. استفاده از اسکرین‌هایی با مساحت باز بالا، مانند اسکرین‌های V-wire، می‌تواند به دستیابی به سرعت‌های ورودی پایین‌تر کمک کند و افت انرژی و ماسه‌دهی را مهار کند.

-توسعه‌ی اصولی چاه: توسعه‌ی چاه یک مرحله‌ی حیاتی پس از حفاری است که هدف آن حذف کامل ذرات ریز و گل

حفاری از ناحیه‌ی نزدیک به چاه و گراول‌پک است. روش‌های توسعه شامل پیستون‌زنی، هایپر جت (جت آب پرفشار)، ایرلیفت و پمپاژ پله‌ای هستند. هدف نهایی، دستیابی به آب «عاری از ماسه» مطابق با معیارهای پروژه یا کارفرما است. استاندارد DVGW W ۱۱۹ جزئیات توالی و معیارهای توسعه‌ی مکانیکی و هیدرولیکی را مشخص می‌کند. توسعه‌ی کافی، یک ناحیه‌ی فیلتراسیون طبیعی و پایدار در اطراف اسکرین ایجاد می‌کند که به‌طور مؤثری از ماسه‌دهی جلوگیری می‌کند.

اجرای دقیق این راهکارها در حین حفاری و ساخت چاه، از جمله انتخاب روش حفاری مناسب، طراحی بهینه‌ی گراول‌پک و اسکرین، و توسعه‌ی کامل چاه، سرمایه‌گذاری‌های اولیه هستند که به‌طور قابل توجهی ریسک ماسه‌دهی در طول عمر چاه را کاهش داده و به افزایش کارایی و پایداری آن کمک می‌کنند.

کنترل ماسه‌دهی در بهره‌برداری

پس از ساخت و توسعه‌ی چاه، کنترل ماسه‌دهی در طول فاز بهره‌برداری از طریق پایش مستمر و اقدامات واکنشی ضروری است. این اقدامات شامل موارد زیر است:

-پایش مستمر کیفیت آب خروجی: پایش منظم کدورت (Turbidity)، هدایت الکتریکی (EC) یا شوری آب خروجی، و به‌ویژه «مقدار ماسه» برای شناسایی زودهنگام مشکلات ماسه‌دهی حیاتی است. محتوای ماسه را می‌توان با استفاده از ابزارهایی مانند قیف ایمهوف برای غلظت‌های بالاتر یا Rossum Sand Tester (RST) برای غلظت‌های کمتر از ۵۰ میلی گرم بر لیتر اندازه‌گیری کرد. برخی از مشخصات پروژه‌ها، سقف ۱ میلی گرم بر لیتر ماسه را در ۱۰۰ درصد دبی طراحی شده به عنوان معیار پذیرش تعیین می‌کنند، اگرچه معیار دقیق تابع کارفرما و مقررات محلی است.

-اقدامات واکنشی در صورت عبور از حد طراحی: در صورت مشاهده‌ی ماسه‌دهی بیش از حد طراحی شده، اقدامات فوری برای جلوگیری از آسیب به تجهیزات پمپاژ و سازند ضروری است. این اقدامات می‌تواند شامل موارد زیر باشد:

-کاهش دبی پمپاژ: کاهش دبی پمپاژ، سرعت ورودی آب به اسکرین را کم می‌کند و نیروهای کششی را که باعث به حرکت درآوردن ماسه می‌شوند، کاهش می‌دهد. این یک راهکار موقت برای کنترل ماسه‌دهی است.

-برنامه‌ریزی برای احیا: اگر کاهش دبی پمپاژ مشکل ماسه‌دهی را به‌طور کامل حل نکند یا اگر ماسه‌دهی ناشی از گرفتگی یا خرابی سازه‌ای باشد، باید یک برنامه‌ی احیای جامع تدوین و اجرا شود.

نگهداری پیشگیرانه:

-اجتناب از پمپاژ بیش از حد: پمپاژ چاه با دبی‌های بالاتر از ظرفیت پایدار آن، می‌تواند باعث گسترش مخروط افت و کشیده شدن ذرات ریز از فواصل دورتر شود و ماسه‌دهی را تشدید کند. رعایت دبی بهره‌برداری ایمن و پایدار، کلید جلوگیری از ماسه‌دهی ناشی از بهره‌برداری است.

-بازرسی‌های دوره‌ای: بازرسی‌های ویدئویی درون‌چاهی منظم می‌تواند آسیب‌های سازه‌ای مانند خوردگی، ترک خوردگی یا نشست گراول‌پک را که می‌تواند منجر به ماسه‌دهی شوند، در مراحل اولیه شناسایی کنند.

کنترل ماسه‌دهی در بهره‌برداری، یک فرایند فعال و پویا است که نیازمند توجه مستمر به عملکرد چاه و کیفیت آب خروجی است. پایش دقیق و اقدامات به‌موقع، می‌تواند از تشدید مشکلات جلوگیری کرده و طول عمر مفید چاه را افزایش دهد.

۶- روش‌های احیای چاه با رویکرد مقایسه‌ی فنی

اصل راهبردی در احیای چاه، یک رویکرد «تشخیص‌محور» است: ابتدا مکانیسم غالب گرفتگی باید شناسایی شود؛ سپس، کم‌ریسک‌ترین و اثربخش‌ترین روش احیا انتخاب گردد؛ و در نهایت، ارزیابی دقیق پس از احیا (با آزمون پله‌ای، پروفایل EC-Log و ویدئومتری) برای تأیید موفقیت انجام شود. این رویکرد تضمین می‌کند که تلاش‌های احیا هدفمند و مؤثر هستند.

مکانیکی

روش‌های مکانیکی، اولین خط دفاعی در احیای چاه هستند و اغلب برای حذف رسوبات فیزیکی و بیوفیل‌های سطحی مورد استفاده قرار می‌گیرند.

-برس‌زنی: این روش شامل استفاده از برس‌های مخصوص است که در طول اسکرین و لوله‌ی جدار حرکت داده می‌شوند تا پوسته‌های سطحی، رسوبات نرم و بیوفیل‌ها را از بین ببرند. برس‌زنی معمولاً با پیستون‌زنی و ایرلیفت ترکیب می‌شود تا مواد کنده شده از چاه خارج شوند. استفاده از برس‌های پلاستیکی سفت به‌جای برس‌های سیمی فلزی توصیه می‌شود تا از آسیب

به اسکرین و جدار چاه جلوگیری شود. این روش به تنهایی تأثیر اندکی دارد و به عنوان روش مقدماتی است.

-هایپرجت: در این روش، آب با فشار بالا از طریق نازل‌های مخصوص به سمت اسکرین و سازند پاشیده می‌شود. این روش برای حذف رسوبات کربناتی، جرم‌های سطحی و بیوفیل‌ها مؤثر است. هایپرجت نیازمند مدیریت دقیق فشار و فاصله‌ی نازل تا اسکرین است تا از آسیب به اسکرین‌های uPVC یا گشاد شدن شیارها جلوگیری شود. هایپرجت می‌تواند باعث جابجایی ذرات ریز به داخل گراول‌پک و سازند شود، بنابراین باید با پمپاژ ایرلیفت یا پیستون‌زنی همراه باشد تا این ذرات از چاه خارج شوند. این روش برای لوله‌های مشبک قوسی یا V-wire اثربخشی بیشتری نسبت به لوله‌های مشبک ساده دارد.

-پیستون‌زنی: این روش‌ها شامل ایجاد جریان‌های رفت‌وبرگشتی از/به پشت اسکرین برای جدا کردن رسوبات از گراول‌پک و سازند اطراف چاه است. پیستون‌زنی می‌تواند با استفاده از حرکت وزنه‌ی سنگین به همراه پکرهای مسدودکننده، پمپاژ متناوب (روشن/خاموش کردن پمپ) یا ایرلیفت انجام شود. این روش‌ها هسته‌ی اصلی توسعه و احیای چاه طبق استاندارد DVGW W ۱۱۹ هستند. هدف، کندن رسوبات، به حرکت درآوردن ذرات ریز و سپس حذف آن‌ها از چاه است.

شیمیایی

روش‌های شیمیایی برای حل کردن رسوبات معدنی و تجزیه‌ی بیوفیل‌ها استفاده می‌شوند و اغلب با روش‌های مکانیکی ترکیب می‌گردند تا اثربخشی بیشتری داشته باشند.

-اسیدها: اسیدها، به‌ویژه اسید موریاتیک یا مخلوط‌های اسیدی مناسب، برای حل کردن رسوبات کربناتی (مانند CaCO_3) بسیار مؤثر هستند. انتخاب نوع اسید و غلظت آن باید با مصالح چاه (به‌عنوان مثال، فولاد در مقابل uPVC) سازگار باشد تا از خوردگی یا آسیب جلوگیری شود. اسیدها اغلب با مواد بازدارنده‌ی خوردگی (inhibitors) مانند آرموئیب ترکیب می‌شوند تا اثرات مخرب بر اجزای فلزی چاه به حداقل برسد. پس از اسیدشویی، چاه باید به‌طور کامل شستشو داده شود تا اسید و مواد حل‌شده از چاه خارج شوند.

-اکسیدکننده‌ها: مواد اکسیدکننده مانند هیپوکلریت (کلر) و پراکسید هیدروژن، برای تجزیه‌ی بیوفیل‌ها و اکسید کردن ترکیبات آهن و منگنز محلول به اشکال نامحلول و قابل حذف،

استفاده می‌شوند. شوک کلر یک روش رایج برای کنترل باکتری‌های آهن‌خوار (IRB) و ضد عفونی کردن چاه است. استفاده از سورفکتانت‌ها (Surfactants) یا پراکنده‌سازها (Dispersants) می‌تواند به نفوذ بهتر مواد شیمیایی به بیوفیلم‌ها و معلق نگه داشتن ذرات کنده شده کمک کند.

-پراکنده‌سازها و کلات‌کننده‌ها: پراکنده‌سازها به جلوگیری از تشکیل مجدد مواد معدنی یا بیوفیلم‌ها کمک می‌کنند و مواد را در حالت سوسپانسیون نگه می‌دارند تا حذف آن‌ها آسان‌تر شود. کلات‌کننده‌ها، یون‌های فلزی (مانند آهن و منگنز) را به خود جذب کرده و از رسوب‌گذاری آن‌ها جلوگیری می‌کنند. پلی‌فسفات‌ها در این گروه قرار می‌گیرند و علاوه بر خاصیت بی‌اثر کردن یون‌های فلزی، توانایی بالایی در شکستن پیوندهای بین ذرات رس و حل کردن بنتونیت دارند. این ویژگی باعث می‌شود که برای حذف بقایای گل حفاری یا رسوبات رسی چاه بسیار مؤثر باشند. آن‌ها همچنین با ایجاد بار منفی روی ذرات، مانع تجمع مجدد آن‌ها می‌شوند و اجازه می‌دهند که ذرات معلق به راحتی با پمپاژ یا ایرلیفت خارج شوند. انتخاب ماده‌ی شیمیایی، سازگاری آن با مصالح چاه (مانند استیل در مقابل uPVC)، مسائل ایمنی و دفع پساب، جنبه‌های حیاتی هستند که باید به دقت مورد توجه قرار گیرند. دستورالعمل‌های AWWA/NGWA و DVGW W ۱۳۰ و مراجع رویه‌های ایمن را پوشش می‌دهند.

پالس گازی نیتروپالس

پالس گازی، که با نام‌هایی مانند ایرشوگ یا نیتروپالس نیز شناخته می‌شود، یک روش احیای فیزیکی پیشرفته است که از تخلیه‌ی ناگهانی گاز فشرده (معمولاً هوا یا نیتروژن) برای ایجاد امواج ضربه و تلاطم شدید در ستون آب چاه استفاده می‌کند. این تخلیه در مقیاس میلی‌ثانیه و در فشارهای ۱۰ تا ۱۰۰ بار رخ می‌دهد. استفاده از گاز نیتروژن به دلیل اینکه خالص است و مانند هوا، شامل اکسیژن نیست، مطلوب‌تر است. بکارگیری هوا در ایرشوگ، به دلیل اینکه هوا دارای ۲۱ درصد اکسیژن است، ممکن است باعث ایجاد خوردندگی شیمیایی در آینده شود.

-سازوکار عمل: هنگام تخلیه‌ی گاز، یک موج ضربه (shock wave) و یک حباب گاز بزرگ ایجاد می‌شود. این حباب به سرعت منبسط و سپس فرومی‌پاشد و با انقباض باعث ایجاد یک عمل مشابه پیستون‌زنی و بک‌واشینگ شدید در داخل چاه و ناحیه‌ی گراول‌پک می‌شود. این تلاطم شدید، رسوبات سخت‌شده بر روی سطح اسکرین را می‌کند و تباد

رفت و برگشتی آب را از شیارها به پشت اسکرین و گراول‌پک ایجاد می‌کند. این ویژگی، پالس گازی را در مناطقی که روش‌های صرفاً مکانیکی/شیمیایی نفوذ کمتری دارند، بسیار مؤثر می‌سازد. مزایای آن شامل:

-نفوذ عمیق: پالس گازی قادر است به عمق گراول‌پک و حتی سازند اطراف چاه نفوذ کند و رسوبات را از منافذ دورتر نیز جدا کند.

-اثر بخشی بالا در گرفتگی‌های مختلط: مطالعات و تجربه‌ی میدانی نشان‌دهنده‌ی بهبود محسوس ظرفیت ویژه، به‌ویژه در گرفتگی‌های مخلوط (فیزیکی + زیستی + کربناتی) است.

-سرعت عمل: این روش می‌تواند در مدت‌زمان کوتاهی، چاه را به سطح کارایی اولیه‌ی خود بازگرداند.

-سازگاری با مصالح: نیتروپالس برای چاه‌هایی با جدار استیل، uPVC و V-wire با قطر ۶ تا ۲۴ اینچ و عمق تا ۸۵۰ متر قابل استفاده است.

ملاحظات و چالش‌ها:

-تنظیم انرژی پالس: تنظیم دقیق انرژی پالس و تراکم شلیک (تعداد پالس در هر واحد عمق) با توجه به دانه‌بندی سازند و نوع اسکرین، برای پرهیز از ماسه‌دهی ثانویه و آسیب سازه‌ای ضروری است. پالس‌های بیش از حد قوی فشار ۱۰۰ بار می‌توانند باعث گشاد شدن شیارها یا آسیب به گراول‌پک شوند.

-محدودیت در uPVC: در چاه‌های uPVC، به دلیل مقاومت سازه‌ای کمتر این ماده، باید از انرژی‌های پایین‌تر و تعداد پالس کمتر استفاده شود.

-خروج مواد کنده شده: پس از پالس گازی، مواد کنده شده (ماسه، رسوبات، بیوفیلم) باید با روش‌هایی مانند ایرلیفت یا پمپاژ از چاه خارج شوند.

نیتروپالس یک ابزار قدرتمند در زرادخانه‌ی احیای چاه است که می‌تواند کارایی چاه را به‌ویژه در موارد گرفتگی‌های پیچیده و عمیق، به‌طور چشمگیری بهبود بخشد. با این حال، کاربرد آن نیازمند تخصص و کالیبراسیون دقیق برای جلوگیری از عوارض جانبی نامطلوب است.

دیگر روش‌ها

علاوه بر روش‌های مکانیکی، شیمیایی و پالس گازی، برخی روش‌های دیگر نیز برای احیای چاه‌ها مورد استفاده قرار

می گیرند که هر یک کاربردها و ملاحظات خاص خود را دارند:

- کوآرتزاسیون CO_2 اسید کربونیک: این روش شامل تزریق دی اکسید کربن (CO_2) مایع به داخل چاه است و با روش آکوافرید Aqua Freed نیز شناخته می شود. CO_2 در آب حل شده و اسید کربونیک (H_2CO_3) تشکیل می دهد که یک اسید ضعیف است و می تواند pH آب را به طور موقت کاهش دهد. این کاهش pH به حل شدن رسوبات کربناتی کمک می کند و همچنین می تواند محیط را برای برخی باکتری ها نامناسب سازد. پس از تزریق CO_2 ، چاه معمولاً با پیستون زنی و پمپاژ توسعه می یابد تا مواد حل شده و کنده شده از چاه خارج شوند. این روش نسبت به اسیدهای قوی تر، کمتر خورنده و ایمن تر است.

- پالس هیدرولیکی: پالس هیدرولیکی شامل ایجاد پالس های فشار آب در داخل چاه است که می تواند به جدا کردن رسوبات از اسکرین و گراول پک کمک کند. این روش شبیه به پیستون زنی است اما ممکن است از تجهیزات تخصصی تری برای ایجاد پالس های فشار کنترل شده استفاده کند.

- شوک کلر: شوک کلر یک روش ضد عفونی قوی است که عمدتاً برای از بین بردن باکتری ها، به ویژه باکتری های مرتبط با آهن (IRB) و سایر میکروارگانیسم هایی که بیوفلم تشکیل می دهند، استفاده می شود. این روش شامل تزریق محلول کلر با غلظت بالا (معمولاً ۵۰ تا ۲۰۰ میلی گرم بر لیتر کلر آزاد) به داخل چاه و نگهداری آن برای مدت زمان مشخص (مثلاً ۱۲ تا ۲۴ ساعت) است. پس از دوره ی تماس، آب کلرزده باید به طور کامل از چاه و سامانه ی توزیع خارج شود تا زمانی که غلظت کلر آزاد به کمتر از ۱ میلی گرم بر لیتر برسد. رعایت معیارهای ضد عفونی و دفع ایمن پساب کلرزده طبق مقررات محلی بسیار مهم است. شوک کلر اغلب پس از سایر روش های مکانیکی یا شیمیایی برای اطمینان از حذف کامل آلودگی های زیستی انجام می شود.

انتخاب هر یک از این روش ها با ترکیبی از آن ها، باید بر اساس نتایج تشخیص دقیق، نوع گرفتگی غالب، مصالح چاه و ملاحظات ایمنی و زیست محیطی انجام شود.

۷- نسخه های عملی برای سه تیب اسکرین

قبل از هر گونه عملیات احیا، انجام یک سری اقدامات تشخیصی و آماده سازی ضروری است. این اقدامات شامل بررسی سابقه ی

چاه و کارهای قبلی که روی چاه انجام شده است به همراه لوگ حفاری و لوگ لوله گذاری، انجام ویدئومتری درون چاهی برای مشاهده ی مستقیم وضعیت چاه، تهیه ی پروفایل های دما و هدایت الکتریکی در حالت سکون برای شناسایی زون های فعال و انسداد، انجام آزمون پمپاژ پله ای پایه برای تعیین ظرفیت ویژه و تفکیک افت آبخوان از افت چاهی، و بررسی دقیق محدودیت های سازه ای چاه (مانند فشار قابل تحمل و کلاس مقاومتی جدار) است. این داده ها، مبنای انتخاب روش احیای بهینه و کالیبراسیون صحیح پارامترهای عملیاتی را فراهم می کنند.

جدار فلزی با اسکرین ساده (سوراخ کاری/شیار ساده): چاه های با جدار فلزی و اسکرین های ساده (مانند اسکرین های سوراخ کاری شده یا شیاردار ساده) معمولاً دارای مساحت باز پایینی هستند (اغلب حدود ۳٪). این ویژگی منجر به توزیع جریان غیریکنواخت در سطح اسکرین و حساسیت بیشتر به سرعت های موضعی بالا و رسوب گذاری سطحی می شود.

نسخه ی احیا:

- مکانیکی: ابتدا، برس زنی تمام طول اسکرین برای زدودن پوسته های سطحی و رسوبات نرم انجام می شود. این مرحله باید با پیستون زنی مرحله ای و ایرلیفت ترکیب شود تا مواد کنده شده از چاه خارج گردند. هایدراجت پرفشار موضعی با کنترل دقیق فشار و فاصله ی نازل، می تواند برای رسوبات سخت تر و کربناتی مؤثر باشد.

- پالس گازی: در صورت وجود شواهد گرفتگی در پشت جدار و گراول پک (که از لاگ های دما و هدایت الکتریکی یا آزمون پله ای قابل تشخیص است)، نیتروپالس با انرژی متوسط و در صورت امکان و تامین هزینه، همراه با کنترل دقیق ماسه توصیه می شود. این روش می تواند رسوبات را از عمق گراول پک جدا کند.

- شیمیایی: پس از پایدارسازی مکانیکی و پالس گازی، درمان شیمیایی هدفمند (مانند اسید برای کربنات ها یا اکسیدکننده ها برای بیوفلم و آهن) و شستشو انجام می شود. انتخاب مواد شیمیایی باید با مصالح فلزی سازگار باشد.

- بهبود پایدار: اگر سرعت ورودی آب به چاه همچنان بالاست و منجر به گرفتگی مکرر می شود، می توان با کاهش دبی و نصب لوله مشبک پیش ساخته V-wire جهت یکنواخت سازی

جریان و کاهش افت چاهی کمک می کند و می تواند عمر مفید چاه را به طور قابل توجهی افزایش دهد.

- جدار فلزی با اسکرین پیوسته V-wire: اسکرین های V-wire به دلیل مساحت باز بالا و طراحی شیار گوه ای که مقاومت بالایی در برابر گرفتگی دارد، شناخته شده اند. این ویژگی ها منجر به افت ورودی کمتر و توسعه ی سریع تر چاه می شوند.

نسخه ی احیا:

- مکانیکی: انجام هایپر جت برای حذف رسوبات سطحی و ذرات ریز از گراول پک مؤثر است.

- پالس گازی نیتروپالس: برای گرفتگی های ترکیبی (فیزیکی، شیمیایی، زیستی)، نیتروپالس کارایی بالاتری دارد. از آنجایی که شیارهای V-wire پیوسته هستند، تبادل جریان از شیارها به پشت جدار و گراول پک به طور مؤثرتری انجام می شود و پالس گازی می تواند رسوبات را از عمق بیشتری جدا کند.

- شیمیایی: پس از پالس گازی و حذف مواد کهنه شده، اسیدشویی هدفمند برای کربنات ها/اکسیدهای آهن و شوک کلر برای بیوفیلیم ها انجام می شود.

- ملاحظات: کنترل تنش مکانیکی در طول عملیات احیا برای جلوگیری از بازشدگی شیار و فرسایش موضعی اسکرین حیاتی است. باید مطابق با دستورالعمل های سازنده و استانداردهایی مانند AWWA ۱۰۰ عمل شود.

جدار uPVC با اسکرین کرکره ای: لوله های جدار و اسکرین های uPVC مقاومت عالی در برابر خوردگی دارند، اما مقاومت سازه ای و دمایی آن ها نسبت به فولاد محدودتر است. اسکرین های کرکره ای مساحت باز متوسطی دارند (نمونه هایی حدود ۵ تا ۱۵ درصد). کلاس های مکانیکی این لوله ها طبق DIN ۴۹۲۵-۲/۵ تعریف می شوند.

نسخه ی احیا:

- اولویت با روش های کم انرژی: به دلیل محدودیت های سازه ای uPVC، اولویت با روش های احیای کم انرژی است.

- مکانیکی: پیستون زنی و ایرلیفت برای حذف رسوبات سطحی و ذرات ریز عمق چاه توصیه می شود. هایپر جت باید با فشار بسیار کنترل شده و با احتیاط فراوان انجام شود تا از آسیب به شیارها یا تغییر شکل لوله جلوگیری شود.

- پالس گازی نیتروپالس: پالس گازی با انرژی پایین و تعداد پالس کمتر، مطابق با حدود مجاز سازنده و کلاس مقاومتی لوله، قابل استفاده است. پالس های قوی می توانند باعث ترک خوردگی یا لهیدگی لوله شوند.

شیمیایی: مواد شیمیایی ملایم و سازگار با uPVC باید انتخاب شوند. اسیدهای قوی یا اکسیدکننده هایی که با uPVC واکنش می دهند، نباید استفاده شوند.

ملاحظات: هرگونه نشانه از بیضوی شدن یا لهیدگی (Collapse) لوله ی uPVC، نشان دهنده ی ریسک بالای ماسه دهی و نیاز به اقدامات فوری است. در چنین مواردی، راهکارهایی مانند نصب لاینر فلزی V-wire یا pre-packed screen در داخل چاه و کاهش دبی بهره برداری باید بررسی شود. این اقدامات می توانند به حفظ عملکرد چاه و جلوگیری از خرابی کامل کمک کنند.

۸- دستور کار «تشخیص محور و مرحله ای» (پیشنهادی)

یک رویکرد سیستماتیک و مرحله ای برای احیای چاه، که بر اساس تشخیص دقیق مشکلات بنا شده است، کارایی و اثربخشی عملیات را به شدت افزایش می دهد. این دستور کار پیشنهادی، مراحل گام به گام را برای احیا تشریح می کند:

- عملیات مقدماتی: پیش از هرگونه مداخله ی احیا، جمع آوری داده های مقدماتی برای ارزیابی وضعیت فعلی چاه و مقایسه ی پس از احیا ضروری است. این داده ها شامل:

- ویدئومتری درون چاهی: برای مشاهده ی مستقیم رسوبات، خوردگی، آسیب های سازه ای و زون های فعال/غیر فعال.

- لاگ دم - هدایت الکتریکی در حالت سکون: برای شناسایی زون های ورود/انسداد آب و ناهنجاری های شیمیایی.

- آزمون پله ای و ظرفیت ویژه: برای تفکیک افت آبخوان از افت چاهی و تعیین راندمان فعلی چاه (ضرایب B و C).

- سنجش ماسه/کدورت: برای تعیین میزان ماسه دهی فعلی چاه.

مرحله ی ۱ - مکانیکی کم ریسک: این مرحله بر حذف رسوبات فیزیکی و بیوفیلیم های سطحی با استفاده از روش های مکانیکی ملایم تمرکز دارد که کمترین ریسک آسیب به چاه را دارند.

- برس زنی: برس زنی تمام طول اسکرین و جدار برای جدا کردن رسوبات و بیوفیلیم ها.

-پیستون‌زنی/ایرلیفت: ترکیب برس‌زنی با پیستون‌زنی یا پمپاژ متناوب و ایرلیفت برای به حرکت درآوردن و خارج کردن مواد کنده شده و ذرات ریز از چاه، تا زمانی که آب خروجی شفاف و عاری از ماسه شود.

مرحله ۲ - پالس گازی: اگر پس از مرحله‌ی مکانیکی، همچنان شواهدی از گرفتگی عمیق‌تر در پشت جدار یا گراول‌پک (مانند عدم بهبود کامل در لاگ دم-هدایت الکتریکی یا افت چاهی بالا در آزمون پله‌ای) وجود داشته باشد نیتروپالس توصیه می‌شود.

طراحی انرژی/تعداد پالس: انرژی و تعداد پالس‌ها باید بر اساس دانه‌بندی سازند، نوع اسکرین (به‌ویژه برای چاه‌های uPVC) و قطر چاه (۶ تا ۲۴ اینچ) به‌دقت طراحی و کالیبره شوند.

-پایش برخط ماسه/کدورت: پایش مداوم محتوای ماسه و کدورت آب خروجی در حین عملیات پالس گازی برای جلوگیری از ماسه‌دهی القایی و کنترل فرایند ضروری است.

مرحله ۳ - شیمیایی هدفمند: این مرحله بر اساس آنالیز رسوبات و شیمی آب (که در مرحله‌ی مقدماتی به‌دست آمده است) برای حل کردن رسوبات معدنی یا تجزیه‌ی بیوفیلم‌های مقاوم انجام می‌شود.

-انتخاب ماده‌ی شیمیایی: انتخاب اسید (برای کربنات‌ها)، اکسیدکننده (برای آهن/بیوفیلم) یا دیسپرانت/کلات‌کننده باید بر اساس نوع گرفتگی غالب و سازگاری با مصالح چاه صورت گیرد.

-ایمنی و فرایند: استاندارد DVGW W ۱۳۰ راهنمایی‌های ایمنی و فرایندی را برای کاربرد مواد شیمیایی ارائه می‌دهد که باید به‌دقت رعایت شود.

تایید مراحل: پس از اتمام عملیات احیا، تکرار آزمون‌های تشخیصی برای ارزیابی اثربخشی احیا ضروری است.

-تکرار آزمون پله‌ای: برای مقایسه‌ی ضرایب B و C و ظرفیت ویژه با مقادیر مقدماتی.

-پروفایل دم-هدایت الکتریکی و ویدئومتری: برای تأیید بصری حذف رسوبات و بهبود جریان آب در زون‌های اسکرین.

-تدوین منحنی بهره‌برداری ایمن: بر اساس ظرفیت ویژه جدید چاه، یک منحنی بهره‌برداری ایمن تدوین می‌شود تا از پمپاژ بیش از حد و گرفتگی مجدد جلوگیری شود.

این دستور کار مرحله‌ای، یک رویکرد منطقی و کارآمد را برای احیای چاه‌های آب فراهم می‌کند که با به حداقل رساندن ریسک‌ها و به حداکثر رساندن اثربخشی، به پایداری منابع آب کمک می‌کند.

۹-طراحی و توسعه (نکات کلیدی با استاندارد)

طراحی و توسعه‌ی صحیح چاه، ستون فقرات عملکرد بلندمدت و پایداری آن است. پایبندی به استانداردهای صنعتی و بهترین شیوه‌ها، ریسک مشکلات آتی را به‌طور قابل‌توجهی کاهش می‌دهد.

AWWA A100 - استاندارد چاه‌های آب: این استاندارد جامع، حداقل الزامات برای چاه‌های تأمین آب عمودی را تشریح می‌کند و عمدتاً برای کاربردهای شهری و صنعتی طراحی شده است. AWWA A100 الزامات مربوط به بررسی شرایط زمین‌شناسی و هیدرولوژیکی، کیفیت آب، ساخت‌وساز چاه، لوله‌های جدار، اسکرین‌ها، گراول‌پک، گراوتینگ و آب‌بندی، شاقولی و هم‌راستایی، توسعه‌ی چاه، آزمون‌های عملکرد، ضد‌عفونی و آزمون کیفیت آب را پوشش می‌دهد. این استاندارد، یک چارچوب اساسی برای طراحی و ساخت چاه‌های ایمن و کارآمد فراهم می‌کند.

DVGW W ۱۱۹ (توسعه‌ی چاه): این استاندارد آلمانی، توالی و معیارهای توسعه‌ی مکانیکی و هیدرولیکی چاه را مشخص می‌کند. هدف اصلی توسعه‌ی چاه، حذف کامل ذرات ریز و گل حفاری از ناحیه‌ی نزدیک به چاه و گراول‌پک است تا اتصال هیدرولیکی بهینه بین چاه و آبخوان برقرار شود. معیار پذیرش میزان از ماسه باید متناسب با پروژه تعریف شود. این استاندارد بر اهمیت روش‌هایی مانند پیستون‌زنی، جتینگ، ایرلیفت و پمپاژ مرحله‌ای تأکید دارد.

DVGW W ۱۱۳ (انتخاب گراول): این استاندارد راهنمایی‌هایی را برای انتخاب دانه‌بندی گراول‌پک و اندازه‌ی شیار اسکرین بر اساس منحنی دانه‌بندی سازند آبخوان ارائه می‌دهد. هدف، ایجاد یک فیلتر مؤثر است که از ورود ماسه به چاه جلوگیری کرده و در عین حال، نفوذپذیری ناحیه‌ی اطراف اسکرین را به حداکثر برساند. نسبت‌های دانه‌بندی خاصی بین

گراول پک و سازند برای اطمینان از پایداری و کارایی پیشنهاد می‌شود (مثلاً ۵۰ d گراول ۴ تا ۶ برابر ۵۰ d سازند).

(uPVC) DIN ۴۹۲۵: این استاندارد آلمانی، الزامات مربوط به مواد، ساخت و کلاس‌های مقاومت برای لوله‌های جدار و اسکرین‌های ساخته شده از uPVC را مشخص می‌کند. رعایت این استاندارد برای اطمینان از کیفیت و دوام اجزای uPVC در چاه‌های آب ضروری است، به‌ویژه با توجه به محدودیت‌های مقاومت سازه‌ای و حرارتی این ماده در مقایسه با فولاد.

-وبسایت و اطلاعات تخصصی شرکت آبتین توسعه بی‌کران به آدرس YEKS.COM

-مراجع سازندگان لوله‌های V-wire: مراجع سازندگان اسکرین، به‌ویژه Johnson Screens، اطلاعات ارزشمندی در مورد مزایای هیدرولیکی اسکرین‌های V-wire (مانند مساحت باز بالا و کاهش سرعت ورودی) ارائه می‌دهند. این اطلاعات برای انتخاب بهینه‌ی اسکرین بر اساس ویژگی‌های آبخوان و نیازهای دبی چاه، و همچنین برای درک روش‌های احیای خاص برای این نوع اسکرین‌ها، حیاتی است.

پایبندی به این استانداردها و دستورالعمل‌ها در مراحل طراحی و توسعه، نه تنها به ساخت چاهی با عملکرد بهینه کمک می‌کند، بلکه زیربنای یک برنامه‌ی مدیریت و احیای مؤثر در طول عمر چاه را نیز فراهم می‌آورد.

۱۰- مقایسه‌ی خلاصه‌ی روش‌های احیاء (برای چاه‌های ۶-۲۴ اینچ)

انتخاب روش احیاء برای چاه‌های آب با قطر ۶ تا ۲۴ اینچ در آبخوان‌های آبرفتی، نیازمند درک دقیق مزایا و محدودیت‌های هر روش است. در ادامه، یک مقایسه‌ی خلاصه از روش‌های اصلی احیاء ارائه شده است

-برس‌زنی + پیستون‌زنی:

مزایا: این روش‌ها خط اول احیا محسوب می‌شوند و نسبتاً کم‌هزینه هستند. برای حذف رسوبات سطحی و بیوفیلم‌های نرم مؤثرند و اغلب به‌عنوان گام اولیه در هر برنامه‌ی احیا استفاده می‌شوند.

محدودیت‌ها: نفوذ آن‌ها به پشت جدار و گراول پک محدود است. برای گرفتگی‌های عمیق‌تر یا سخت‌شده، نیاز به تکرار یا ترکیب با روش‌های دیگر دارند.

-هایپرجت:

مزایا: برای حذف رسوبات سخت سطحی، به‌ویژه کربنات‌ها و رسوبات آهن، مؤثر است.

محدودیت‌ها: نیازمند کنترل دقیق فشار و فاصله‌ی نازل است تا از آسیب مکانیکی به اسکرین (به‌ویژه در uPVC) یا گشاد شدن شیارها جلوگیری شود. ریسک آسیب در چاه‌های uPVC بالا است.

-شیمیایی هدفمند:

مزایا: در صورت انتخاب صحیح ماده‌ی شیمیایی بر اساس نوع گرفتگی (مانند اسید برای کربنات‌ها، اکسیدکننده‌ها برای بیوفیلم)، بسیار مؤثر است. می‌تواند رسوبات را حل کرده و بیوفیلم‌ها را تجزیه کند.

محدودیت‌ها: نیازمند خنثی‌سازی و دفع صحیح پساب طبق مقررات زیست‌محیطی است. باید سازگاری ماده‌ی شیمیایی با مصالح چاه (فولاد، uPVC) به‌دقت ارزیابی شود تا از خوردگی یا تخریب جلوگیری شود. نفوذ آن به پشت گراول پک ممکن است محدود باشد.

-پالس‌گازی (نیتروپالس):

مزایا: نفوذ مؤثر به پشت جدار و گراول پک دارد و برای گرفتگی‌های مختلط (فیزیکی، زیستی، کربناتی) بسیار مناسب است. می‌تواند رسوبات سخت‌شده را از عمق جدا کند.

محدودیت‌ها: طراحی دقیق انرژی و تکرار پالس برای جلوگیری از ماسه‌دهی القایی و آسیب سازه‌ای حیاتی است. در چاه‌های uPVC، به‌دلیل مقاومت سازه‌ای کمتر، باید با احتیاط و انرژی پایین‌تر استفاده شود. نیاز به تجهیزات تخصصی و اپراتورهای ماهر دارد.

انتخاب بهینه‌ی روش احیا، اغلب شامل ترکیبی از این تکنیک‌ها است که به‌صورت مرحله‌ای و بر اساس نتایج تشخیص دقیق و پایش مداوم، اعمال می‌شوند. این رویکرد ترکیبی، کارایی احیاء را به حداکثر رسانده و طول عمر مفید چاه را افزایش می‌دهد.

۱۱- توصیه‌ی نهایی

برای دستیابی به احیای مؤثر و پایدار چاه‌های آب، یک نقشه‌ی راه اجرایی مبتنی بر تشخیص دقیق و رویکرد مرحله‌ای ضروری

است. این نقشه‌ی راه، تصمیم‌گیری را بر اساس مکانیسم غالب گرفتگی و ویژگی‌های خاص چاه، هدایت می‌کند:

- اگر گرفتگی غالب «سطح اسکرین» باشد:

تشخیص: ویدئومتری درون‌چاهی به‌وضوح رسوبات را روی سطح اسکرین نشان می‌دهد و ماسه‌دهی چاه در حد پایینی است.

راهکار: ابتدا از روش‌های مکانیکی (برس‌زنی + پیستون‌زنی/ایرلیفت) و سپس شیمیایی خفیف و هدفمند (متناسب با نوع رسوب) استفاده شود.

ملاحظه‌ی ارتقاء: اگر مساحت باز اسکرین فعلی کم است (مانند اسکرین‌های ساده‌ی سوراخ‌کاری شده)، ارتقاء به نصب لاینر اسکرین V-wire در داخل چاه برای بهبود کارایی هیدرولیکی و کاهش سرعت ورودی آب می‌تواند مدنظر قرار گیرد. این امر به کاهش گرفتگی‌های آتی کمک می‌کند.

- اگر شواهد گرفتگی «پشت جدار/گراول‌پک» وجود دارد:

تشخیص: لاگ‌های دما-هدایت الکتریکی در حالت سکون، عدم ورود آب از زون‌های خاص را نشان می‌دهند، و آزمون پله‌ای، افت چاهی (Well Loss) بالایی را گزارش می‌کند.

راهکار:

مرحله‌ی اول: با مرحله‌ی مکانیکی مانند هاپر جت یا برس‌زنی + پیستون‌زنی آغاز شود تا رسوبات سطحی و ذرات سست حذف گردند.

مرحله‌ی دوم: پالس‌گذاری نیتروپالس با انرژی تنظیم‌شده (بر اساس دانه‌بندی سازند و نوع اسکرین) اعمال شود. پایش برخط ماسه و کدورت آب در حین عملیات پالس‌گذاری برای کنترل فرایند و جلوگیری از ماسه‌دهی القایی ضروری است.

- مرحله‌ی سوم: پس از پالس‌گذاری، درمان شیمیایی هدفمند (مانند اسید برای کربنات‌ها یا اکسیدکننده‌ها برای بیوفیلیم) برای حل کردن رسوبات باقی‌مانده انجام شود.

- در چاه‌های uPVC کرکره‌ای:

- اولویت: همواره از روش‌های احیای کم‌انرژی استفاده شود.

- پالس‌گذاری نیتروپالس: در صورت نیاز به پالس‌گذاری، باید با انرژی بسیار پایین و تعداد پالس کمتر، مطابق با حدود مجاز سازنده و کلاس مقاومتی لوله، اعمال شود.

- تغییر شکل/لهیدگی: در صورت مشاهده‌ی هرگونه تغییر شکل یا لهیدگی در جدار uPVC (از طریق ویدئومتری)، ریسک ماسه‌دهی و خرابی کامل چاه بسیار بالا است. در این حالت، نصب لاینر فلزی با اسکرین V-wire در داخل چاه و کاهش دبی بهره‌برداری، راهکارهایی هستند که باید به‌طور جدی بررسی شوند.

پس از احیا:

- ارزیابی عملکرد: انجام مجدد آزمون پله‌ای و قیاس پارامترهای B و C و «ظرفیت ویژه» با مقادیر قبل از احیا، برای ارزیابی کمی موفقیت عملیات ضروری است.

- تدوین منحنی بهره‌برداری ایمن: بر اساس ظرفیت احیاشده‌ی چاه، یک منحنی بهره‌برداری ایمن جدید تدوین شود تا از پمپاژ بیش از حد و بازگشت مشکلات جلوگیری شود. این منحنی، حداکثر دبی پایدار را برای حفظ سلامت چاه در بلندمدت تعیین می‌کند.

این نقشه‌ی راه، یک رویکرد جامع و هوشمندانه را برای مدیریت و احیای چاه‌های آب در آبخوان‌های آبرفتی ارائه می‌دهد که با ترکیب تشخیص دقیق، انتخاب روش‌های بهینه و پایش مستمر، به افزایش کارایی، طول عمر و پایداری منابع آب کمک می‌کند.

۱۲- ایمنی و بهداشت

عملیات احیای چاه، به‌ویژه با استفاده از گازهای پرفشار و مواد شیمیایی، خطرات ذاتی را به همراه دارد که مدیریت دقیق آن‌ها برای حفاظت از سلامت پرسنل و محیط زیست ضروری است.

گازهای پرفشار:

استفاده از گازهای فشرده مانند هوا یا نیتروژن در روش‌های پالس‌گذاری نیتروپالس نیازمند رعایت دقیق دستورالعمل‌های ایمنی است.

- دستورالعمل سازنده: همواره باید از دستورالعمل‌های ایمنی ارائه‌شده توسط سازنده‌ی تجهیزات پالس‌گذاری پیروی شود.

- منطقه‌ی ایمن: یک منطقه‌ی ایمن مشخص در اطراف دهانه‌ی چاه و تجهیزات، باید تعیین و از ورود افراد غیرمجاز به آن جلوگیری شود.

- قفل/برچسب: سیستم‌های گاز فشرده باید دارای سیستم‌های قفل/برچسب باشند تا از فعال‌سازی تصادفی جلوگیری شود.

۱۳- نتیجه گیری

کاهش آلودگی چاه‌های آب در آبخوان‌های آبرفتی، پدیده‌ای اجتناب‌ناپذیر است که ناشی از ترکیبی پیچیده از سازوکارهای گرفتگی فیزیکی، شیمیایی و زیستی، همراه با خرابی‌های سازه‌ای و شیوه‌های بهره‌برداری نامناسب است. این «پیری چاه»، هزینه‌های عملیاتی را افزایش داده و پایداری منابع آب را به خطر می‌اندازد. برای مقابله مؤثر با این چالش، اتخاذ یک رویکرد «تشخیص محور و مرحله‌ای» در مدیریت و احیای چاه‌ها ضروری است.

نکات کلیدی و توصیه‌های عملی:

- اهمیت تشخیص دقیق: قبل از هرگونه مداخله، تشخیص دقیق مکانیسم غالب گرفتگی از طریق ابزارهایی مانند آزمون پله‌ای (برای تفکیک افت آبخوان و افت چاهی)، ویدئومتری درون‌چاهی (برای مشاهده مستقیم رسوبات و آسیب‌ها) و پروفایل‌های دما-هدایت الکتریکی (برای شناسایی زون‌های فعال و انسداد) حیاتی است. این گام، از تلاش‌های احیای نادرست و هدررفت منابع جلوگیری می‌کند.

- طراحی و ساخت اصولی: ریشه‌های بسیاری از مشکلات چاه، به طراحی و ساخت اولیه نامناسب بازمی‌گردد. انتخاب صحیح روش حفاری، طراحی بهینه گراول‌پک و اندازه‌ی شیار اسکرین (با استناد به DVGW W ۱۱۳ و AWWA ۱۰۰)، و توسعه کامل و اصولی چاه (مطابق با DVGW W ۱۱۹)، سنگ بنای یک چاه با عملکرد پایدار و طول عمر بالا است. حفظ سرعت ورودی پایین از اسکرین، یک عامل پیشگیرانه کلیدی در کاهش ماسه‌دهی و گرفتگی است.

- مدیریت بهره‌برداری پایدار: پمپاژ بیش از حد و سیکل‌های روشن/خاموش شدید، از عوامل اصلی تشدید «پیری چاه» هستند. پایش منظم محتوای ماسه و کدورت آب خروجی، و تنظیم دبی پمپاژ در محدوده ظرفیت پایدار چاه، برای جلوگیری از ماسه‌دهی و گرفتگی‌های ثانویه ضروری است.

- رویکرد مرحله‌ای در احیا:

مرحله اول (مکانیکی): همیشه با روش‌های مکانیکی کم‌ریسک مانند هاپر جت، برس‌زنی، پیستون‌زنی و ایرلیفت آغاز کنید. این روش‌ها برای حذف رسوبات سطحی و آماده‌سازی چاه برای مراحل بعدی مؤثرند.

- سپر حفاظتی: استفاده از سپرهای حفاظتی در اطراف دهانه‌ی چاه برای محافظت در برابر پرتاب احتمالی قطعات یا سیالات ضروری است.

- آموزش پرسنل: پرسنل باید به‌طور کامل در مورد خطرات مرتبط با گازهای پرفشار، روش‌های عملیاتی ایمن و اقدامات اضطراری آموزش ببینند.

مواد شیمیایی:

کاربرد مواد شیمیایی در احیای چاه، خطرات شیمیایی، زیست‌محیطی و بهداشتی را در پی دارد.

- تجهیزات حفاظت فردی: پرسنل باید از تجهیزات حفاظت فردی کامل شامل دستکش‌های مقاوم در برابر مواد شیمیایی، عینک ایمنی، محافظ صورت، لباس‌های محافظ و در صورت لزوم، ماسک تنفسی استفاده کنند.

- خنثی‌سازی و دفع پساب: پساب حاوی مواد شیمیایی باید قبل از دفع، به‌طور کامل خنثی‌سازی شده و مطابق با مقررات محلی و استانداردهای زیست‌محیطی دفع شود. این امر شامل جلوگیری از تخلیه به آب‌های سطحی یا زیرزمینی است.

- حفاظت پمپ/الاستومر: باید از سازگاری مواد شیمیایی با اجزای پمپ و الاستومرهای موجود در چاه اطمینان حاصل شود تا از آسیب یا خوردگی جلوگیری شود.

- ضدعفونی نهایی: پس از اتمام احیای شیمیایی، چاه باید با کلرزنی شوک ضدعفونی نهایی شود تا هرگونه آلودگی باکتریایی از بین برود. این فرایند نیز باید طبق مقررات محلی و با پایش دقیق کلر باقیمانده انجام شود.

- تهویه و فضای کار: در صورت کار در فضاها بسته، تهویه مناسب و پایش گازهای سمی ضروری است.

- عدم اختلاط مواد شیمیایی ناسازگار: هرگز اسیدها و مواد کلرینه را با هم مخلوط نکنید، زیرا می‌تواند منجر به تولید گازهای سمی و خطرناک شود.

رعایت دقیق این اصول ایمنی و بهداشتی، نه تنها از حوادث و آسیب‌های جانی جلوگیری می‌کند، بلکه تضمین‌کننده حفاظت از محیط زیست و منابع آب در طول عملیات احیای چاه است.

-مرحله‌ی دوم (پالس گازی نیتروپالس): در صورت وجود شواهد گرفتگی عمیق در گراول‌پک یا سازند، پالس گازی (نیتروپالس) یک ابزار مؤثر است. این روش به‌ویژه برای گرفتگی‌های مختلط کارایی بالایی دارد، اما باید انرژی و تعداد پالس‌ها با توجه به نوع اسکرین (به‌ویژه در uPVC) و دانه‌بندی سازند کالیبره شود تا از ماسه‌دهی القایی یا آسیب سازه‌ای جلوگیری شود.

-مرحله‌ی سوم (شیمیایی): درمان شیمیایی هدفمند، بر اساس آنالیز رسوبات (کربنات، آهن، بیوفیلیم)، برای حل کردن رسوبات مقاوم ضروری است. انتخاب ماده‌ی شیمیایی و سازگاری آن با مصالح چاه و رعایت پروتکل‌های ایمنی و دفع پساب (مطابق با ۱۳۰ DVGW W و مراجع ایمنی) حیاتی است.

-ملاحظات خاص برای انواع اسکرین:

-اسکرین‌های فلزی ساده: نیازمند ترکیبی از روش‌های مکانیکی، پالس گازی با انرژی متوسط و شیمیایی هدفمند هستند. ارتقاء به لاینر V-wire در صورت سرعت ورودی بالا، توصیه می‌شود.

-اسکرین‌های V-wire: به دلیل مساحت باز بالا و مقاومت در برابر گرفتگی، به پالس گازی به‌ویژه برای گرفتگی‌های ترکیبی به‌خوبی پاسخ می‌دهند.

منابع

DVGW W ۱۱۳: استاندارد DVGW W ۱۱۳ جهت انتخاب گراول با عنوان

Bestimmung des Schüttkorndurchmessers und hydrogeologischer Parameter aus der Korngrößenverteilung für «den Bau von Brunnen»

DVGW W ۱۱۹: استاندارد DVGW W ۱۱۹ که به زبان آلمانی عنوان آن است

«Entwickeln von Brunnen durch Entsandungen – Anforderungen, Verfahren, Reststandgehalte»

DIN ۴۹۲۵: استاندارد DIN ۴۹۲۵ مربوط به چاه‌ها، به‌ویژه به مواد و مشخصات فنی مربوط به جدارها و اسکرین‌های ساخته‌شده از UPVC برای چاه‌های لوله‌ای می‌پردازد. این استاندارد در چند بخش تنظیم‌شده و هر بخش دامنه‌ی خاصی از قطر و نوع اتصالات را پوشش می‌دهد. بخش‌های اصلی استاندارد DIN ۴۹۲۵

DIN ۴۹۲۵-۱: ۲۰۱۷-۱۰: «Well screens and casings of unplasticized polyvinyl chloride (UPVC) for tube wells – Part ۱: DN ۳۵ to DN ۱۰۰ with pipe thread»
DIN ۴۹۲۵-۲: ۱۹۹۹-۰۴: «Well screens and casings of unplasticized polyvinyl chloride (UPVC) for tube wells – Part ۲: DN ۱۰۰ to DN ۲۰۰ with trapezoidal thread»

-استاندارد AWWA A ۱۰۰: استاندارد AWWA A ۱۰۰ با عنوان Water Wells

-کتاب Groundwater and Wells: این کتاب نوشته Fletcher G. Driscoll (ویرایش دوم معروفش سال ۱۹۸۶ چاپ شده)

-حفاظت از آلودگی (USGS (U.S. Geological Survey) – بیوفولینگ آهنی و ابزارهای آزمون/تحلیل: انتشارات USGS اطلاعات ارزشمندی در مورد بیوفولینگ آهنی، آزمون‌های پله‌ای، پروفایل‌های دما-شوری و سایر ابزارهای تشخیصی و تحلیلی چاه ارائه می‌دهند.

-Johnson Screens و مراجع سازندگان: این مراجع، جزئیات فنی و مزایای هیدرولیکی اسکرین‌های V-wire و گزینه‌های لاینر پیش ساخته را تشریح می‌کنند. این مجموعه از منابع، پایه‌ی علمی و فنی محکمی را برای توصیه‌ها و تحلیل‌های ارائه‌شده در این گزارش فراهم می‌آورد.

-اسکرین‌های uPVC کرکره‌ای: به دلیل مقاومت سازه‌ای محدود، اولویت با روش‌های کم‌انرژی است. پالس گازی باید با انرژی پایین اعمال شود. در صورت تغییر شکل یا لهیدگی، نصب لاینر فلزی و کاهش دبی بهره‌برداری، راهکارهای ضروری هستند.

-پایش پس از احیا: پس از اتمام عملیات احیا، تکرار آزمون‌های پله‌ای، پروفایل‌های دما-هدایت الکتریکی و ویدئومتری برای تأیید اثربخشی و تدوین منحنی بهره‌برداری ایمن جدید، الزامی است.

-ایمنی و بهداشت: رعایت دقیق پروتکل‌های ایمنی برای کار با گازهای پر فشار و مواد شیمیایی، از جمله استفاده از تجهیزات حفاظت فردی، تعیین منطقه‌ی ایمن، خنثی‌سازی و دفع صحیح پساب، و ضدعفونی نهایی چاه، از اهمیت بالایی برخوردار است.

در نهایت، مدیریت چاه‌های آب یک فرایند مستمر است که نیازمند درک عمیق از تعاملات هیدرولوژیکی، ژئوشیمیایی و بیولوژیکی است. با به‌کارگیری رویکرد تشخیص‌محور و مرحله‌ای، می‌توان کارایی چاه‌ها را بهینه کرده، طول عمر آن‌ها را افزایش داد و به پایداری منابع آب زیرزمینی برای نسل‌های آینده کمک کرد.

بخش پنجم

بررسی لوله‌های جدارچاهی و

انسدادهای زیستی در چاه‌های شرب

بررسی جامع انتخاب اسکرین چاه‌های آب زیرزمینی براساس استانداردهای بین‌المللی

علی مددی‌پور

مهندس برق قدرت و پژوهشگر شرکت صنایع غربال‌فیلتر

چکیده

چاه‌های آب زیرزمینی از متداول‌ترین و کارآمدترین روش‌های تأمین آب شرب و کشاورزی در نواحی خشک جهان، به‌ویژه در ایران محسوب می‌شوند. انباشت تجربیات طی دهه‌ها منجر به تدوین استانداردهایی شده که طراحی بهینه، ساخت مطمئن، و بهره‌برداری مؤثر از چاه‌ها را ممکن ساخته‌اند. امروزه مهندسان و دانش‌آموختگان جدید با رویکردی آینده‌نگر، چاه را سازه‌ای حیاتی و پیچیده قلمداد کرده و با رعایت استانداردهای بین‌المللی، از سلامت جامعه و منابع اقتصادی حفاظت می‌کنند. انتخاب **اسکرین مناسب** یکی از وظایف کلیدی در طراحی چاه است. انتخاب صحیح، موجب کاهش عمق لوله‌گذاری، افت سطح آب، ورود ماسه، هزینه‌های بهره‌برداری و افزایش عمر مفید چاه می‌گردد؛ و نهایتاً از افت فشار در شبکه توزیع جلوگیری می‌کند.

واژه‌های کلیدی: اسکرین استاندارد، اسکرین بدون گرفتگی، لوله‌های شیاردار، لوله‌های مشبک، کنترل ماسه‌دهی، طراحی هیدرولیکی، صرفه‌جویی انرژی، عمر مفید چاه،

Abstract

Groundwater wells are among the most common and efficient methods for supplying potable and agricultural water in arid regions of the world particularly in Iran. Accumulated expertise over decades has led to the development of standards that ensure optimal design, reliable construction, and efficient operation. Today, engineers and recent graduates regard wells as vital and complex hydraulic structures, applying international standards to safeguard public health and preserve economic resources. Selecting an appropriate **well screen** is a key responsibility in well design. The right choice minimizes the length of piping, reduces drawdown and **sand ingress**, lowers operational costs, and extends the lifespan of the well ultimately preventing pressure loss in the distribution network.

Keywords: standard non-clogging screen, slotted pipes, sand control, sand intrusion, hydraulic design, energy efficiency, well lifespan

۱- مقدمه

-مساحت باز کم ($\sim 3\%$) باعث تمرکز جریان در نقاط محدود می‌شود، که می‌تواند باعث شست‌وشوی بیش از حد خاک اطراف شود.

-عدم توزیع یکنواخت جریان به دلیل شکل شیارها، باعث ایجاد فشار موضعی و فرسایش خاک پشت گراول‌پک می‌شود.

-شیارزنی باعث کاهش سطح مقطع مؤثر و تمرکز تنش در اطراف شیارها می‌شود، که می‌تواند باعث کاهش مقاومت در برابر فشار خارجی و افزایش احتمال تغییر شکل شود.

اسکرین‌های مشبک: (Wire Wrap)

-طراحی بدون گرفتگی که مانع ورود ماسه می‌شود و از انسداد جلوگیری می‌کند.

-استحکام مکانیکی کمتر نسبت به لوله‌های شیاردار، اما عملکرد بهتر در جلوگیری از فروریزش.

-کاهش هزینه‌های انرژی به دلیل افت کمتر سطح آب.

-عملکرد بهتر در برابر فشار و خوردگی، به‌ویژه در شرایط حرارتی بالا.

لوله‌های PVC:

-مقاومت در برابر خوردگی و وزن سبک.

-مناسب برای مناطق با آب‌های شور یا اسیدی.

-مناسب برای عمق‌های کمتر از ۹۰ متر به دلیل محدودیت مقاومت مکانیکی

۳- اثرات هیدرولیکی بر انتخاب اسکرین

عملکرد هیدرولیکی یک اسکرین چاه به توانایی آن در عبور دادن آب با کمترین مقاومت و بدون ورود ماسه اشاره دارد. این عملکرد شامل موارد زیر است:

-هدایت هیدرولیکی: توانایی اسکرین در عبور دادن حجم مشخصی از آب بدون ایجاد مقاومت زیاد. اسکرین با مساحت باز بالا، مثل اسکرین مشبک، هدایت بهتری دارد.

چاه‌های آب زیرزمینی به‌عنوان یکی از مهم‌ترین منابع تأمین آب در مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان، نقش اساسی در تأمین نیازهای شرب، کشاورزی و صنعتی ایفا می‌کنند. طراحی بهینه و بهره‌برداری مؤثر از این چاه‌ها، مستلزم رعایت استانداردها و اصول مهندسی دقیق است که به حفظ منابع آب و افزایش عمر مفید سازه‌های چاه کمک می‌کند. یکی از مهم‌ترین اجزای چاه، اسکرین آن است که وظیفه کنترل جریان آب و جلوگیری از ورود ذرات معلق و ماسه به داخل چاه را برعهده دارد. انتخاب صحیح نوع و طراحی اسکرین بر اساس ویژگی‌های سازند خاک، شرایط هیدرولیکی و محیطی، می‌تواند تأثیر قابل توجهی بر عملکرد چاه و کاهش هزینه‌های نگهداری و انرژی داشته باشد. این مقاله با بررسی جامع انواع اسکرین‌ها، ویژگی‌های کلیدی، تأثیرات هیدرولیکی، ارتباط با سازندهای خاک و نتایج آزمایش‌های میدانی، تلاش دارد تا راهنمایی کاربردی و علمی برای انتخاب مناسب‌ترین اسکرین چاه‌های آب زیرزمینی بر اساس استانداردهای بین‌المللی ارائه نماید.

۲- انواع اسکرین و ویژگی‌های کلیدی

اسکرین چیست؟ اسکرین‌ها تجهیزاتی هستند که در چاه‌های آب زیرزمینی نصب می‌شوند تا جریان آب را کنترل کرده و از ورود ماسه و ذرات به داخل چاه جلوگیری کنند. در این بخش، انواع مختلف اسکرین‌ها و ویژگی‌های کلیدی آن‌ها بررسی می‌شوند:

-لوله‌های شیاردار: (Slotted Pipe)

-در دسترس بودن بالا و هزینه کمتر نسبت به سایر گزینه‌ها.

-مستعد ورود ماسه و گرفتگی، که می‌تواند منجر به کاهش عمر مفید شود.

-نیاز به نگهداری مکرر برای جلوگیری از انسداد.

-ممکن است باعث ایجاد حفره یا فضای خالی (Void) در پشت اسکرین و گراول‌پک شود، به‌ویژه اگر طراحی و اجرای گراول‌پک به‌درستی انجام نشده باشد.

سازندهای شنی:

-انتخاب اسکرین‌های مشبک با مساحت باز بالا برای عبور جریان بیشتر.

-استفاده از مواد مقاوم در برابر سایش برای افزایش عمر مفید.

۵- نتایج آزمایش‌های میدانی

آزمایش‌های میدانی انجام شده در مناطق مختلف ایران اطلاعات ارزشمندی در مورد عملکرد انواع مختلف اسکرین تحت شرایط واقعی ارائه می‌دهند:

-مکان‌های آزمایش: آزمایش‌ها در مناطق خشک با شوری بالا (مانند استان یزد) و سازندهای ماسه‌ای (مانند استان خوزستان) انجام شد. برای اطلاعات بیشتر به منابع و مراجع مراجعه کنید.

معیارهای عملکرد:

-کارایی هیدرولیکی: اسکرین‌های مشبک ۲۵٪-۳۰٪ کارایی هیدرولیکی بالاتری نسبت به لوله‌های شیاردار نشان دادند.

-کنترل ماسه: اسکرین‌های مشبک ورود ماسه را تا ۴۰٪ در سازندهای ماسه‌ای کاهش دادند.

-فرکانس نگهداری: اسکرین‌های استیل ضد زنگ فقط هر ۲ سال یک بار نیاز به تمیزکاری داشتند، در مقایسه با تمیزکاری سالانه برای لوله‌های شیاردار.

-تأثیر اقتصادی:

-صرفه‌جویی انرژی: کاهش افت سطح آب در اسکرین‌های با عملکرد بالا منجر به کاهش ۱۵٪ در هزینه‌های انرژی برای پمپاژ شد.

-افزایش عمر مفید: انتخاب صحیح اسکرین عمر مفید چاه را به طور متوسط ۵ سال افزایش داد.

این جدول نتایج اهمیت انتخاب اسکرین بر اساس شرایط خاص سایت را برای به حداکثر رساندن کارایی و مقرون به صرفه بودن نشان می‌دهند.

-سرعت ورود آب: اگر آب با سرعت بالا از شیارهای اسکرین عبور کند، می‌تواند ذرات ماسه را نیز همراه خود بکشد و باعث ماسه‌دهی شود. طراحی درست شیار و انتخاب اندازه مناسب می‌تواند این مشکل را کاهش دهد.

-توزیع جریان: وقتی جریان به‌طور یکنواخت از اطراف اسکرین عبور کند (نه فقط از نقاط محدود)، فشار روی خاک اطراف کم می‌شود و عمر چاه افزایش می‌یابد.

-افت سطح آب (Drawdown): طراحی هیدرولیکی مناسب باعث می‌شود آب با مقاومت کمتر وارد چاه شود، که افت سطح آب در زمان پمپاژ کاهش می‌یابد و در نتیجه انرژی کمتری برای پمپاژ لازم است.

-مساحت باز مؤثر: نسبت سطح باز (شیارها یا سوراخ‌ها) به سطح کل بدنه اسکرین؛ هرچه این عدد بیشتر باشد، جریان با مقاومت کمتر وارد می‌شود.

با در نظر گرفتن این عوامل، انتخاب اسکرین مناسب می‌تواند از ورود ماسه جلوگیری کرده و کارایی چاه را بهینه کند.

۴- ارتباط سازند خاک و انتخاب اسکرین

انتخاب نوع اسکرین باید با توجه به ویژگی‌های سازند خاک انجام شود. سازندهای مختلف خاک، از جمله ماسه‌ای، رسی، یا شنی، نیازمند طراحی‌های متفاوتی از اسکرین هستند: سازندهای ماسه‌ای:

-نیاز به اسکرین‌های مشبک با طراحی بدون گرفتگی برای جلوگیری از ورود ماسه.

-استفاده از گراول‌پک مناسب برای پشتیبانی از اسکرین و جلوگیری از فرسایش.

-سازندهای رسی:

-استفاده از لوله‌های شیاردار با شیارهای کوچک‌تر برای جلوگیری از ورود ذرات ریز.

-طراحی مناسب برای کاهش گرفتگی ناشی از رسوبات.

۵- مقایسه وزن اسکرین ها با استحکام مکانیکی مشابه:

جدول ۱- مقایسه وزن اسکرین ها با استحکام مکانیکی مشابه

نوع اسکرین	جنس	قطر معمول (اینچ)	وزن تقریبی (کیلوگرم/متر)	یادداشت‌ها
لوله شیاردار	فولاد ST ۳۷	"۱۴	kg/m ۶۰-۵۰	ضخامت بالا برای حفظ استحکام، وزن زیاد
اسکرین مشبک (جانسن)	فولاد کربنی با پوشش اپوکسی	"۱۴	kg/m ۴۰-۳۵	طراحی سبک‌تر با حفظ استحکام، وزن متوسط
اسکرین مشبک	استیل ضد زنگ	"۱۴	kg/m ۴۵-۴۰	وزن بیشتر نسبت به فولاد کربنی، اما مقاوم‌تر در برابر خوردگی
اسکرین PVC	پلی‌وینیل کلراید	"۱۴	kg/m ۱۵-۱۰	وزن بسیار سبک، اما استحکام مکانیکی پایین‌تر

۶- دلایل رایج خرابی اسکرین

درک حالت‌های خرابی برای بهینه‌سازی عمر مفید بسیار مهم است:

- خوردگی‌لوله‌های فولادی: در مناطق آب زیرزمینی با شوری بالا یا اسیدی آسیب‌پذیر هستند. پیشنهاد: استفاده از پوشش‌های ضد خوردگی یا انتخاب مواد مقاوم‌تر مانند استیل ضد زنگ.

- تغییر شکل مکانیکی اسکرین‌ها: ممکن است تحت فشار بیش از حد یا خطای حفاری فرو بریزند. پیشنهاد: استفاده از طراحی‌های تقویت‌شده و رعایت استانداردهای حفاری.

- گرفتگی / زیست‌گرفتگی: مواد آلی یا رس‌های ریز می‌توانند شیارهای اسکرین را مسدود کنند، به ویژه در لوله‌های شیاردار.

پیشنهاد: استفاده از سیستم‌های تمیزکاری دوره‌ای یا انتخاب اسکرین‌های مشبک با طراحی بدون گرفتگی.

- سایش توسط ماسه: ورود مداوم ماسه لبه‌های اسکرین را فرسوده می‌کند، به ویژه در سازندهای ضعیف درجه‌بندی شده. پیشنهاد: انتخاب اسکرین‌های مشبک با طراحی مقاوم‌تر در برابر سایش.

- رسوب‌گذاری: رسوبات معدنی (مانند کربنات کلسیم) می‌توانند مساحت باز موثر را با گذشت زمان کاهش دهند. پیشنهاد: استفاده از مواد مقاوم در برابر رسوب‌گذاری یا سیستم‌های احیای دوره‌ای.

۷- مقایسه اسکرین‌های مختلف از نظر استحکام مکانیکی و عملکرد

لوله‌های شیاردار: (Slotted Pipe)

-در دسترس بودن و هزینه کمتر نسبت به سایر گزینه‌ها.

-مستعد ورود ماسه و گرفتگی، که می‌تواند منجر به کاهش عمر مفید شود.

-نیاز به نگهداری (شستوشوی) مکرر برای جلوگیری از انسداد.

-ممکن است باعث ایجاد حفره یا فضای خالی (Void) در پشت اسکرین و گراول‌پک شود، به‌ویژه اگر طراحی و اجرای گراول‌پک به درستی انجام نشده باشد.

-مساحت باز کم (~۳٪) باعث تمرکز جریان در نقاط محدود می‌شود، که می‌تواند باعث شست‌وشوی بیش از حد خاک اطراف شود.

-عدم توزیع یکنواخت جریان به دلیل شکل شیارها، باعث ایجاد فشار موضعی و فرسایش خاک پشت گراول‌پک می‌شود.

-شیارزنی باعث کاهش سطح مقطع مؤثر و تمرکز تنش در اطراف شیارها می‌شود، که می‌تواند باعث کاهش مقاومت در برابر فشار خارجی و افزایش احتمال تغییر شکل شود.

اسکرین‌های مشبک: (Wire Wrap)

-طراحی بدون گرفتگی که مانع ورود ماسه می‌شود و از انسداد جلوگیری می‌کند.

-استحکام مکانیکی کمتر نسبت به لوله‌های شیاردار، اما عملکرد بهتر در جلوگیری از فروریزش.

-کاهش هزینه‌های انرژی به دلیل افت کمتر سطح آب.

-عملکرد بهتر در برابر فشار و خوردگی، به‌ویژه در شرایط حرارتی بالا.

لوله‌های PVC:

-مقاومت در برابر خوردگی و وزن سبک.

-مناسب برای مناطق با آب‌های شور یا اسیدی.

-مناسب برای عمق‌های کمتر از ۹۰ متر به دلیل محدودیت مقاومت مکانیکی (مطالعه Roscoe Moss).

مقایسه کلی:

-لوله‌های شیاردار به دلیل استحکام مکانیکی بالا در برابر فشارهای خارجی مقاوم‌تر هستند.

-اسکرین‌های مشبک به دلیل جلوگیری از ورود ماسه و کاهش انسداد، گزینه بهتری برای افزایش عمر مفید چاه هستند.

-لوله‌های PVC برای شرایط خاص مانند آب‌های شور یا اسیدی مناسب‌ترند، اما در برابر فشارهای مکانیکی ضعیف‌تر عمل می‌کنند و برای عمق‌های بیش از ۹۰ متر توصیه نمی‌شوند.

جدول ۲- خلاصه انتخاب اسکرین‌ها بر اساس شرایط مختلف

شرایط سایت	نوع اسکرین پیشنهادی	دلایل انتخاب
شوری بالا	اسکرین‌های مشبک (استیل ضد زنگ)	مقاومت بالا در برابر خوردگی
عمق زیاد (بیش از ۹۰ متر)	اسکرین‌های مشبک (فولاد کربنی با پوشش اپوکسی)	استحکام مکانیکی بالا و وزن متوسط
عدم اهمیت عمر کم چاه	لوله‌های شیاردار	هزینه کمتر و در دسترس بودن بالا
سازندهای ماسه‌ای	اسکرین‌های مشبک	کنترل بهتر ماسه و کاهش انسداد
آب‌های شور یا اسیدی	لوله‌های PVC	مقاومت بالا در برابر خوردگی و وزن سبک

منابع

- وزارت نیرو، ایران. (۱۳۹۸). دستورالعمل طراحی و اجرای چاه‌های آب زیرزمینی.
- انجمن مهندسی آب ایران. (۱۴۰۰). مقایسه عملکرد انواع اسکرین‌ها در شرایط مختلف.
- Roscoe Moss Company. (۲۰۰۲). Handbook of Groundwater Development. John Wiley & Sons.
- Johnson Screens. (۲۰۱۵). Well Design and Construction Guidelines.
- Smith, R. (۲۰۱۸). Advances in Well Screen Technology. Water Resources Journal, ۴۵(۳), ۱۲۳-۱۳۵.
- Groundwater and Wells by Robert J. Sterrett PhD second edition ۱۹۸۶ و Groundwater and Wells by Robert J. Sterrett PhD third edition ۲۰۰۷
- Water Supply by Don D. Ratnayaka, Malcolm J. Brandt and K. Michael Johnson ۲۰۰۹
- The Handbook Of Groundwater Engineering, ۱۹۹۹ CRC Press LLC
- Guidelines and standard procedures for studies of ground water quality
- Handbook of suggested practices for the design and installation of ground water monitoring wells by Linda Aller, Truman W.Bennet and Glen Hackett Bennet ۱۹۹۱
- Study of the performance of water well screening system-wedge wire testing and comparison by Andrew Scott ۱۹۷۷
- AWWA A۱۰۰ Standard: Applied in sections discussing maximum water entry velocity and minimum effective open area for V-shaped slot designs.

پانویس: پارامترهای حداکثر سرعت ورود آب و حداقل سطح باز مؤثر در طراحی اسکرین با شیارهای V شکل، طبق استاندارد AWWA A۱۰۰ انتخاب شده‌اند.

بررسی شناسایی لایه های زیستی در چاه های شرب

جمشید چراغچی

متخصص و کارشناس آب های زیرزمینی

چکیده

لایه زیستی یک توده پیچیده و ناهمگن متشکل از میکروارگانیسم های مختلف است که به سطوح لوله ها و تاسیسات چاه های آب شرب می چسبند و با گذر زمان به کلنی های بزرگتری تبدیل می شود. این لایه موجب بروز مشکلات متعددی از جمله کاهش عملکرد چاه، گرفتگی اسکرین ها، زنگ زدگی و خوردگی تجهیزات و همچنین افزایش خطرات بهداشتی ناشی از حضور باکتری های بیماری زا می گردد. این مقاله به بررسی مراحل تشکیل، ساختار، چرخه رشد و اثرات لایه زیستی در چاه های آب شرب پرداخته و اهمیت کنترل و پیشگیری از تشکیل آن را برجسته می سازد. با توجه به نقش حیاتی گندزدایی و کنترل مستمر در مدیریت این پدیده، ضرورت رعایت استانداردهای فنی و نظارت دقیق در کلیه مراحل حفاری و بهره برداری چاه ها مورد تاکید قرار گرفته است.

واژه های کلیدی: لایه زیستی، بیوفیلم، چاه های آب شرب، گرفتگی اسکرین، خوردگی، گندزدایی، میکروارگانیسم های بیماری زا

Abstract

Biofilm is a complex, heterogeneous mass composed of diverse microorganisms that adhere to the surfaces of pipes and facilities in drinking water wells, gradually forming larger microbial colonies. This layer causes various issues such as reduced well performance, screen clogging, corrosion of equipment, and increased health risks due to pathogenic bacteria. This study investigates the formation stages, structure, growth cycle, and impacts of biofilms in drinking water wells, emphasizing the critical importance of controlling and preventing their development. Considering the vital role of disinfection and continuous monitoring, adherence to technical standards and thorough supervision throughout drilling and operation phases of wells are strongly recommended.

Keywords: Biofilm, drinking water wells, screen clogging, corrosion, disinfection, pathogenic microorganisms, well performance.

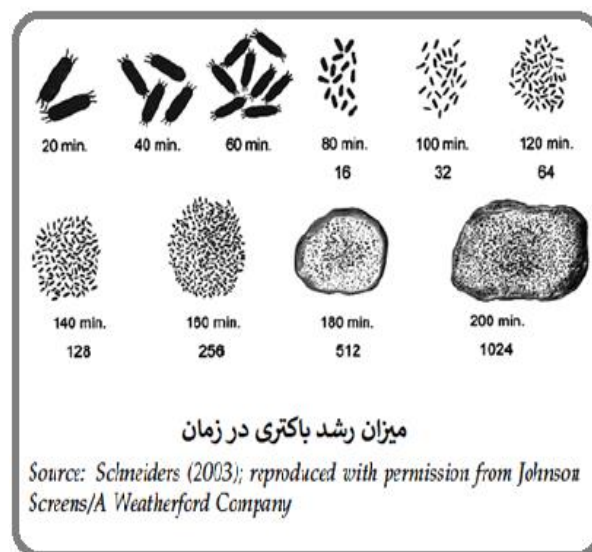
در مجموع به اجتماع سلول های میکروبی با یک ماتریکس پلی ساکاریدی که دارای منشا میکروبی است که به سطحی اتصال پیدا می کنند. این لایه می تواند در مکان های مختلفی شکل گیرد. لایه زیستی در سال ۱۹۷۸ توسط کاسترتون تعریف شد. شرایطی سبب چسبیدن باکتری ها به سطوح مختلف می شوند و بطور کلی میکرو ارگانیسم ها در طبیعت در کنار سطوح جامد زندگی می کنند و این ارتباط و پیوستگی با سطوح جامد منجر به تشکیل کلنی های زیستی می شود و پس از مدتی باکتری ها با تشکیل یک سپر بروی کلنی با ایجاد مقاومت در برابر عوامل ضد میکروبی (گند زدا ها) و حفظ شرایط فیزیکی و شیمیایی مناسب به رشد خود ادامه می دهند.



شکل ۲- چرخه و تکثیر لایه زیستی

سلولی. لایه زیستی کامل می شود و به بلوغ می رسد و بر اثر رشد چنانچه در مسیر جریان آب قرار داشته باشد بریده شده و به مکان دیگر منتقل می گردد و در آنجا پروسه فوق را طی می نماید. بطور مثال باکتری های آهن خوار موجوداتی هستند که از آهن دو ظرفیتی محلول در آب تغذیه نموده و از خود آهن سه ظرفیتی که رسوبی است تولید می نمایند، این رسوبات در خطوط لوله باعث کاهش قطر لوله و افزایش ضریب زبری جدار می شود.

لایه زیستی توده ای پیچیده با ساختارهای نا همگن مرکب از میکروارگانیسم های متفاوت و در حال رشد که بصورت سست و با نیروهای واندروالسی به سطح لوله و تاسیسات می چسبند اطلاق می گردد، در ابتدای تشکیل این لایه دارای ضخامت ناچیزی است ولی به مرور و بر اثر تکثیر به کلنی های (اجتماعات) بزرگتری تبدیل می شوند. در شکل ۱- رشد و تکثیر باکتری ها در واحد زمان نشان داده شده و در شکل ۲- چرخه و عملکرد لایه زیستی مشخص شده است.



شکل ۱- تکثیر باکتری در واحد زمان

۲- مراحل تشکیل لایه زیستی

مراحل تشکیل لایه زیستی به قرار زیر است:
* اتصال برگشت پذیر سلول های پلانکتونی که به سطح.

منظور اتصال باکتری های آزاد زی شناور است که اولین بار با سطحی اتصال برقرار می کنند اما زمان این اتصال کم است و بعد مدتی دوباره رها می شوند.
* اتصال برگشت ناپذیر و تشکیل میکرو کلنی.

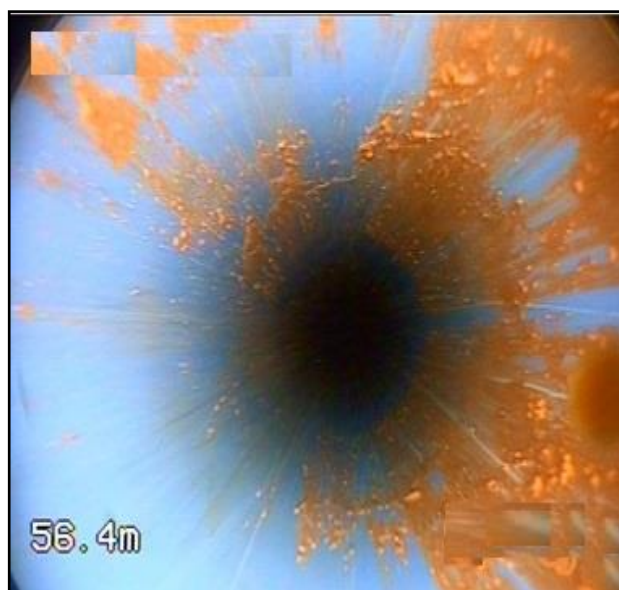
بعد از چندین بار که مرحله اول ادامه پیدا می کند باکتری سر انجام به سطح می چسبد و دیگر رها نمی شود. تولید پلیمر خارج



شکل ۳- لایه زیستی در لوله انتقال آب



شکل ۵- تشکیل لایه روی بتن



شکل ۴- اسکرین پلاستیکی چاه

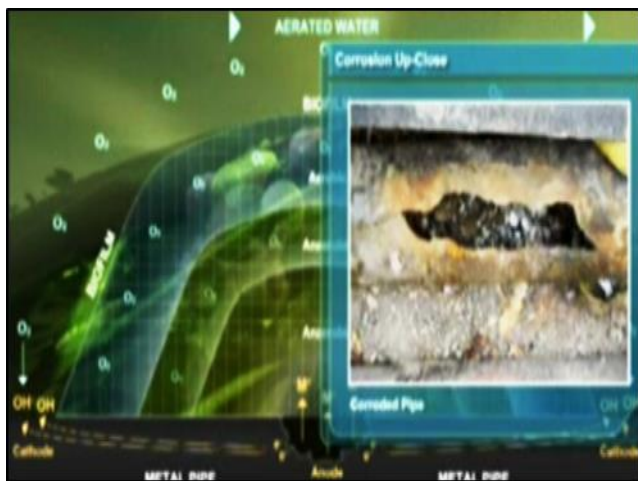
تا کنون بشر موفق به کشف ماده ایی که این باکتری نتواند بر روی آن رشد نماید نشده، نتایج بر رسی ها نشان داده که فقط با پیش گیری می توان بر عدم تشکیل آن ها فایق آمد.

تصور نشود که این باکتری فقط بر روی لوله های فلزی کلنی تشکیل می دهند، آنها به تمامی سطوح (فولادی حتی ضد زنگ، پلاستیکی بتنی و...) تشکیل می شوند .

۳- مشکلات ناشی از لایه زیستی

ب- زنگ زدگی و خوردگی

زمانی که کلنی باکتریایی بر روی دیواره های لوله تشکیل می شود لایه زیستی به لایه های باکتری های هوازی و غیر هوازی طبقه بندی می گردد و اکسیژن آب نمی تواند به لایه های درونی باکتری ها نفوذ کند و باعث ایجاد گرادیان اکسیژن (شیب اکسیژنی) می شود. این گرادیان (شیب) باعث می شود تا باکتری های لایه های درونی الکترون خود را از منبع دیگری دریافت کنند برای مثال آهن تبدیل به اکسید آهن یا زنگ آهن شود و باید توجه نمود که اکثر زنگ زدگی و خوردگی های درون سیستم های آبی به طور وسیعی توسط این فرآیند ایجاد می شود. از طرف دیگر در محل اتصال کلنی به سطح، خوردگی صورت می پذیرد پس این باکتری ضمن کوچک نمودن یا بستن منافذ، سطوح داخلی لوله واسکرین را نیز تخریب می نماید، بسیاری از شکستگی ها و پارگی های رخ داده در خطوط و حتی چاه ها نتیجه عملکرد این باکتری ها می باشد. شکل ذیل عملکرد لایه زیستی در لوله شبکه شهری نشان می دهد.



شکل ۷- شکستگی لوله بر اثر عملکرد لایه زیستی

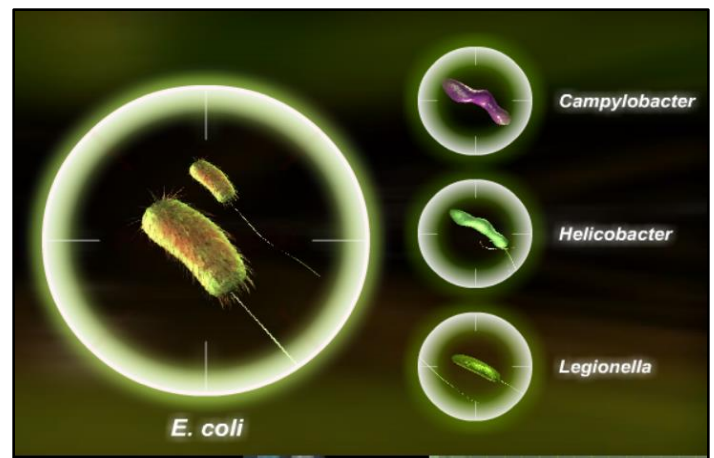
ج- گرفتگی

لایه زیستی می تواند تا اندازه ای گسترش یابد که به طور وسیعی باعث کاهش جریان در لوله شود گرفتگی لوله ها یک مشکل اساسی است که به سختی برطرف خواهد شد. در چاه ها این باکتری ها مانند باکتری آهن خوار در محل منافذ اسکرین تجمع نموده و رسوب ایجاد می نمایند که باعث بسته شدن منافذ شبکه اسکرین شده و منجر به افت آبدهی چاه می شود. در اشکال ذیل نمونه این

لایه زیستی به عنوان یک مخزن برای تعداد بی شماری از باکتری های پاتوژن^{۵۶} عمل می نماید. و این مسئله می تواند مشکل بالقوه برای سیستم آبی باشد. در یک سیستم آب آشامیدنی سه مشکل عمده از عملکرد لایه زیستی بوجود می آید.

الف- بیماری

امروزه ثابت شده که بسیاری از بیماری های منتشره بوسیله آب، ناشی از عملکرد کلنی های لایه زیستی موجود در تاسیسات می باشد. در این کلنی ها انواع میکروارگانیسم ها وجود دارند که می توانند موجب بروز بیماری شوند بطور مثال هلیکو باکتر *HELICOBACTER* که عامل زخم معده است در این کلنی ها به وفور وجود دارد و شاید علت وجود و فوریت بیماری زخم معده در بعضی شهر همین باشد. در عکس ذیل بعضی از باکتری های موجود در کلنی ها معرفی شده است.

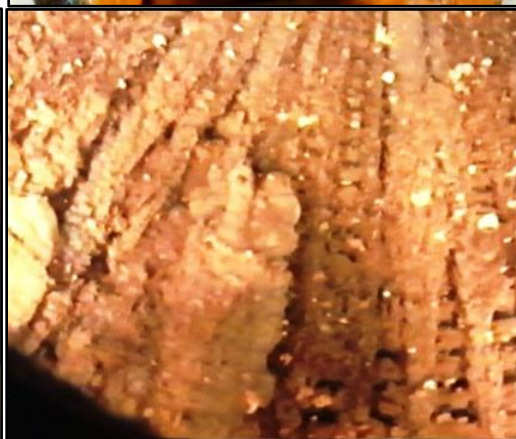


شکل ۶- بخشی از میکرو ارگانیسم موجود در لایه زیستی

بسته به نوع سیستم، لایه زیستی می تواند در مدت چند دقیقه شکل گیرد. دانشمندان ثابت نمودند که حتی جرم گرفتگی دندان ها ناشی از تولید لایه زیستی می باشد، در نتیجه جرم گیری دندان ها با روش جدیدی صورت می پذیرد و صرفاً برنامه کنترل عدم حضور لایه زیستی در دهان تنها راه کار جلوگیری از تشکیل مجدد آن ها تشخیص داده شده.

^{۵۶} *Helicobacter, capilobacter, E.coli, ligonella*

کلنی ها در لوله شبکه آب شهری و مسدود نمودن اسکرین فولادی و پلاستیکی را نشان می دهد هم چنین توانایی رنگی نمودن این لایه و نیز وفور کلنی بر روی لوله کالمن واسکرین چاه خارج شده را نشان می دهد.



شکل ۸- عملکرد لایه زیستی در لوله اسکرین و کالمن چاه

انسداد لوله اسکرین

است، یقیناً پاسخ منفی است در تمامی جهان کلیه تاسیسات آبی (سد، تصفیه خانه، خطوط انتقال و شبکه توزیع، تلمبه خانه و چاه) عمری طولانی دارند، به طور مثال سد کرج با عمر بیش از نیم قرن سال های زیادی در خدمت مردم بوده و خواهد بود و یا تصفیه خانه شماره یک تهران و همین طور تلمبه خانه شماره یک شهر تهران با عمری بیش از ۵۵ سال، هم چنان در سرویس قرار دارند و چنانچه از بهره برداران آن ها پرسیده شود چند سال دیگر این تاسیسات عمر می نمایند، با تعجب بهره بردار از این سوال روبرو می شویم. به منظور اجتناب از تشکیل و تخریب تاسیسات توسط لایه زیستی در چاه های آب برنامه ریزی کاملی مورد نیاز است. توجه داشته باشیم که باکتری ها در زمان حفاری به وسیله ابزار حفار وارد چاه می شوند، با توجه به شعار پیشگیری بهترین راه کار است که تمامی تمهیدات برای جلوگیری از ورود این باکتری ها در چاه را به کار گیریم.

در بسیاری از کشور ها شعار "جنگ با لایه زیستی" یکی از شعارهای اصلی کارشناسان صنعت آب شده و تمامی همت برای مبارزه با این موجود مخرب بکار گرفته می شود. در کشور ما کارشناسان صنعت آب با این موضوع آشنایی کامل ندارند و یا به باور واقعی عملکرد باکتری ها و لایه زیستی نرسیدند، لذا برخوردی با این مشکل نمی شود و براحتی می بینیم که باکتری ها تاسیسات ما را نابود می سازند. عمر چاه در کشور ما بسیار پایین است و دیده شده که حتی چاه پس از سه سال بهره برداری آبدهی خود را از دست می دهد و ما مجبور به احیاء چاه می شویم و پس از چندین بار احیاء چاره ای جز حفر چاه جدید به جای چاه قدیم باقی نمی ماند. سوال اصلی این است که آیا عمر چاه در سایر کشور ها نیز به این کوتاهی

یکی از راه های جلوگیری از حضور باکتری ها به تاسیسات و بویژه چاه ها گندزدایی توسط کلر یا مشتقات آن است ، در رابطه با این موضوع در استاندارد AWWA-C⁶⁵⁴ توضیحات کافی ارائه شده است. با عنایت به مطالب فوق توصیه می گردد که نکات مورد اشاره در تمامی مراحل کار مد نظر دستگاه نظارت قرار گیرد و تمامی عملیات با توجه به جلوگیری از ورود باکتری ها به داخل چاه

صورت پذیرد و کنترل دائمی و گند زدایی به موقع و در تمامی مراحل مد نظر باشد. عکس ذیل کارگاه حفاری یک چاه مربوط به یکی از شرکت های آب و فاضلاب کشور است که صرف نظر از عدم رعایت نکات کارگاهی لوله مشبک برای نصب در چاه دارای لایه زیستی است و مردود پس می توان تصور نمود که عمر این چاه چقدر خواهد بود و حتما آب دهی آن با نوسان بسیار مواجه است.



شکل ۸- لایه زیستی در اسکرین قبل از نصب در چاه

منابع

- Costerton, J. W., Stewart, P. S., & Greenberg, E. P. (۱۹۹۹). Bacterial biofilms: a common cause of persistent infections. *Science*, ۲۸۴(۵۴۱۸), ۱۳۱۸-۱۳۲۲.
- AWWA (American Water Works Association). (۲۰۱۲). *Standard for disinfecting water wells*, AWWA C⁶⁵⁴-۱۲. Denver, CO: AWWA.
- Flemming, H.-C., & Wingender, J. (۲۰۱۰). The biofilm matrix. *Nature Reviews Microbiology*, ۸(۹), ۶۲۳-۶۲۳.
- Characklis, W. G., & Marshall, K. C. (۱۹۹۰). *Biofilms*. John Wiley & Sons.
- EPA (Environmental Protection Agency). (۲۰۰۲). *Microbial biofilms in drinking water systems: Challenges and opportunities*. EPA Report.
- Donlan, R. M. (۲۰۰۲). Biofilms: microbial life on surfaces. *Emerging Infectious Diseases*, ۸(۹), ۸۸۱-۸۹۰.
- Sunde, E., & Long, D. (۱۹۹۸). Influence of biofilm on corrosion in drinking water systems. *Water Science and Technology*, ۳۸(۲), ۱۰۱-۱۰۷.
- Madigan, M. T., Martinko, J. M., & Parker, J. (۲۰۱۰). *Brock Biology of Microorganisms* (۱۳th ed.). Pearson.

بخش ششم

مباحث حقوقی ، مالکیتی ، فرآیند تجهیز
و بهره برداری چاه های شرب

جنبه های های حقوقی و مالکیتی در بهره برداری از چاه های آب شرب

ناصر عبادتی

دانشیار گروه زمین شناسی دانشگاه آزاد اسلامی واحد اسلامشهر

چکیده

با توجه به بحران فزاینده منابع آب زیرزمینی در ایران، بررسی جنبه های حقوقی مالکیت و بهره برداری از چاه های آب، اهمیت ویژه ای یافته است. این مقاله با هدف واکاوی تطبیقی و تحلیلی نظام حقوقی حاکم بر چاه های آب، به بررسی سیر تاریخی قانون گذاری در این حوزه، الزامات شرعی و قانونی بهره برداری، و چالش های موجود در رابطه با چاه های فاقد پروانه و برداشت های مازاد می پردازد. در چارچوب قوانین از جمله قانون توزیع عادلانه آب (۱۳۶۱) و ماده واحده تعیین تکلیف چاه های فاقد پروانه (۱۳۸۹)، وضعیت فعلی بهره برداری از منابع زیرزمینی و آثار آن بر اکوسیستم و پایداری منابع مورد بحث قرار گرفته است. مقاله با استناد به منابع فقهی، قانونی و آماری، تفاوت میان مالکیت منافع و حق انتفاع از آب را توضیح داده و به بررسی آثار حقوقی تضاد در مقررات، ضعف های ساختاری در نظام اجرایی، و خلأ های نظارتی می پردازد. همچنین به ضرورت بازنگری در قوانین موجود و یکپارچه سازی مقررات با رویکردی متوازن میان حقوق عمومی و خصوصی در راستای مدیریت پایدار منابع آب تأکید می گردد.

واژه های کلیدی: منابع آب زیرزمینی، چاه های فاقد پروانه، حق انتفاع آب، قانون توزیع عادلانه آب، بحران آب.

Abstract

Given the escalating groundwater crisis in Iran, a comprehensive analysis of the legal aspects of ownership and exploitation of water wells has become increasingly important. This study aims to critically examine the evolution of legal frameworks governing water wells, the intersection of Islamic jurisprudence and statutory law, and the challenges arising from unauthorized wells and excessive groundwater withdrawals. Relying on key legislative instruments such as the Fair Water Distribution Law (۱۹۸۲) and the Single Article Law on the Determination of Unauthorized Wells (۲۰۰۹), the paper investigates the current state of groundwater exploitation and its ecological impacts. The distinction between usufruct rights and ownership of benefits is elaborated within both legal and jurisprudential contexts. Additionally, the paper highlights inconsistencies in regulatory approaches, structural deficiencies in enforcement mechanisms, and the proliferation of legal disputes concerning water rights. Emphasis is placed on the necessity of legal reform and regulatory coherence to ensure sustainable water resource management and the alignment of private rights with public interests.

Keywords: Groundwater resources, Unauthorized wells, Usufruct right to water, Fair Water Distribution Law, Water crisis

(میزان وابستگی زمین های کشاورزی تجهیز شده برای آبیاری به منابع آب زیرزمینی به طور متوسط در دنیا ۳۸ درصد است و به طور خاص در کشور ایران ۶۲ درصد است)

بر اساس شاخص بحران آب، هرگاه میزان برداشت آب یک کشور بیشتر از ۴۰ درصد کل منابع آب تجدیدپذیر آن باشد، این کشور با "بحران شدید آب" مواجه بوده و کشور ایران با ضریب حدود ۸۰ درصد با بحران شدید آب مواجه است.

اگر قرار باشد از چگونگی بهره وری از منابع آبی سخن بگوییم، مسائل مختلفی قابل بررسی هستند بر این اساس و در ادامه سخن دیدگاه ها و ذهنیت هایی شکل خواهد گرفت و در راستای قواعد شرع اسلام و قوانینی که با شرع تطبیق داده شده و مغایر با شرع نمی باشد چند سوال مطرح است:

۱- آب هایی که از طریق چاه های غیر مجاز و بدون اطلاع حکومت اسلامی حفر و مورد بهره برداری و مصارف مختلف قرار میگیرد حرام است یا خیر؟

۲- برداشت آب بیش از مجوز صادره برای چاه های مجاز که عملاً مازاد حقابه بوده و بدون اطلاع دولت بهره برداری می گردد چه حکم شرعی دارد؟

۳- محصولات و منافعی که از طریق بهره برداری غیرمجاز از چاه های آب زیرزمینی بدست می آید چه حکم شرعی علاوه بر مجازات قانونی خواهد داشت؟

۴- تا چه میزان عاملان به موارد فوق و همچنین استفاده کنندگان و مردم از حدود اخلاقی و عرفی این عملکردها آگاهی دارند؟ و ارج نهادن به بهره برداری مشروع از منابع و تکریم آب تا چه حد در مبانی فکری و اعتقادی مردم به ویژه در عمل نهادینه و جزو باورهای آنها شده است؟

طرح موارد فوق از حیث ازدیاد برداشت آب و یا حفر چاه های غیر مجاز در حریم چاه های مجاز که با اصول علمی و فنی تعیین شده است در ناپایداری چاه ها نیز تاثیر گذار است و ایجاد تنش آبی در سفره آب زیرزمینی را نیز باعث می شود.

۳- چشم انداز و اهداف کمی مدیریت منابع آب

بر اساس برنامه ۵ ساله هفتم توسعه کشور و به منظور بهبود نظام تصمیم گیری، استقرار حکمرانی مطلوب منابع آب کشور، ایجاد وحدت رویه در انجام امور مربوط به اجرای سیاست ها و مدیریت به هم پیوسته منابع و مصارف آب در سطح ملی وزارت نیرو مکلف است با هدف مدیریت بخش آب، بر اساس مرزهای حوضه های آبریز کشور و نظام عادلانه توزیع آب، کاهش ساختارهای موازی و هزینه های بالاسری، تفکیک وظایف حاکمیتی و تصدی گری و رفع هرگونه تعارض منافع شرکتی تا پایان سال دوم برنامه، نسبت به تهیه برنامه اصلاح ساختار و اساسنامه های شرکت های زیرمجموعه خود از طریق ادغام یا انحلال، اقدام نماید و همچنین دولت (وزارت نیرو)

بحث چاه های آب و نحوه بهره برداری از آنها و لزوم مدیریت منابع آب و پایداری آن به لحاظ کمبود منابع آبی همواره در طی ده های گذشته به عنوان یکی از مسایل مهم مطرح بوده و این موضوع با توجه به دیدگاه های حقوقی و نوع سیستم اجرایی و مقررات گذاری در ایران همواره با چالش هایی روبرو بوده است و این در حالی است که اکنون بخش عمده ای از چاه های آب چه مجاز و چه بصورت غیر مجاز حفر شده و بهره برداری می گردند و عملاً قوانین جدیدی که برای حفر چاه های جدید وضع می گردد نمی تواند آثار نا مطلوب چاه های در حال بهره برداری را بصورت جدی برطرف نماید و موضوعات مختلفی از حیث مالکیت آنها، برداشت بی رویه و تراحم با یکدیگر و مواردی از این دست که در تاب آوری چاه ها و پایداری سازی آنها نقش دارند از دغدغه های پیش رو می باشد و لذا توجه به آثار و پیامدهای قانون گذاری و وضع مقررات در حوزه منابع آب به ویژه چاه های آب بدلیل نوع و میزان برداشت در پایداری چاه های مجاز نیز اثر داشته توجه به الزامات حقوقی بهره برداری در بسیاری از موارد بیش از الزامات فنی باید مورد توجه قرار گیرد.

با نگاهی به قوانین در دوره های مختلف ملاحظه می گردد که در جایی مالکیت اشخاص بر منابع آبی را به رسمیت شناخته اند، در جایی دیگر مالکیت اشخاص با نظارت دولت به رسمیت شناخته شده است، در جایی دیگر اساساً مالکیت شخصی را به رسمیت نشناخته اند و تنها مالکیت دولت ملاک می باشد. در سیستم قانونگذاری ما در موضوع مالکیت آب و مدیریت منابع آبی حدود ۱۳ قانون و ۳۰ آیین نامه به تصویب رسیده که خود حاکی از اهمیت مباحث حاکمیت و مدیریت آب در کشور ما می باشد. و از سوی دیگر در راستای توسعه پایدار امروزه بر زیست منطقه گرایی اخلاق تاکید می شود. زیست منطقه گرایی، وضع و حالتی است که در تعریف و وضع اخلاق محیط زیستی منطقه ای و محلی بودن اخلاق دنبال میشود (سروستانی و همکار ۱۳۸۷). این رویکرد الزامات جدیدی را برای مراکز علمی، دینی و قانون گذاری مطرح و در بسط و توسعه اخلاق محیط زیستی مناسب و مبتنی بر فرهنگ، ارزش ها، باورها و نگرش های ویژه محلی گوشزد می کند. تا از این رو در نظام مدیریت منابع آب زیرزمینی و سطحی تاثیر گذار باشد. لذا با توجه به اهمیت مساله آب بحث حاضر به بررسی چالش ها و قوانین مرتبط با چاه های آب و همچنین چشم انداز مدیریت منابع آب خواهیم پرداخت.

۲- موقعیت و شرایط فعلی منابع آب زیرزمینی و بهره برداری از چاه ها

منابع آب زیرزمینی حدود ۵۷ درصد از نیاز آب شرب شهری، حدود ۸۳ درصد از نیاز آب شرب روستایی و حدود ۵۵ درصد آب کشاورزی و بیش از ۷۰ درصد آب صنعت کشور را تأمین می کنند

مكلف است به منظور پایداری سرزمین برنامه‌های جامع مدیریت زیست‌بومی، تخصیص و تامین نیاز آبی زیست‌محیطی و جلوگیری از برداشت غیرمجاز این حقا به و حتی‌المقدور با جلب مشارکت بهره‌برداران و جوامع محلی اقدام نماید. و با رعایت مباحث مربوط به ترازنامه منابع آب و در راستای تعادل‌بخشی به سفره‌های آب زیرزمینی، بازار مبادله آبهای نامتعارف را با حفظ کاربری آب و جلوگیری از آلودگی و تخریب خاک ایجاد نموده و بطور خلاصه مطابق جدول ۱- سنجه های عملکردی ذکر شده مبنای اقدامات اجرایی قرار گیرد.

آب‌ها قبل از دهه ۴۰ بر اساس فقه امامیه و به تبع آن قانون مدنی، جزء مباحات بوده و هرگونه تملک و بهره‌برداری از آنها طبق قواعد و مقررات حقوق خصوصی انجام می‌شد. با گذشت زمان و بروز مشکلات بسیار در این حوزه، از جمله به علت ورود تکنولوژی حفر چاه عمیق و برداشت بی‌رویه از آب‌های زیرزمینی به وسیله چاه‌ها، به تدریج آسیب‌های مختلفی به کشور وارد شد. بر همین اساس نقش دولت در اعمال حاکمیت بر بهره‌برداری و حفاظت از منابع آبی

کشور پررنگ‌تر شد و بهره‌برداری از آب‌ها تابع قواعد حقوق عمومی قرار گرفت و از جمله حقوق حاکم بر چاه‌های آب متحول شد (پیلوار و همکاران ۱۳۹۸) موارد زیر در این خصوص قابل طرح می‌باشد:

الف) مالکیت چاه آب و تاسیسات آن: منظور از چاه آب و تاسیسات آن، ساختمان فیزیکی چاه که در زمین حفر می‌شود و ملحقات آن از جمله لوله جدار، موتور و پمپ آب نصب شده بر روی چاه آب، شیر و دریچه تخلیه، کنتور برق، وسایل اندازه‌گیری تخلیه سطح آب چاه مانند کنتورهای هوشمند حجمی و... می‌باشد. بر اساس ماده ۳۹ قانون مدنی «هر بنا و درخت که در روی زمین است و همچنین هر بنا و حفری که در زیر زمین است ملک مالک آن زمین محسوب می‌شود مگر این که خلاف آن ثابت شود». بنابراین به عنوان قاعده چاه آب و ملحقات آن متعلق به مالک زمین است مگر این که خلاف آن اثبات شود.

جدول ۱- از جدول ۷ قانون برنامه هفتم توسعه: اهداف کمی سنجه های عملکردی نظام مدیریت یکپارچه منابع آب بر مبنای سال آبی ۱۴۰۱

سنجه عملکردی	واحد متعارف	هدف کمی در پایان برنامه
۱- تأمین از منابع آب سطحی	میلیارد مترمکعب	۴۳.۴
۲- تأمین از منابع آب زیرزمینی	میلیارد مترمکعب	۳۶.۷ *
۳- تأمین از منابع آبهای نامتعارف (آب دریا و پساب)	میلیارد مترمکعب	۱.۷۷۴
۴- آب کشاورزی	میلیارد مترمکعب	۶۵
۵- آب شرب	میلیارد مترمکعب	۹.۲
۶- آب صنعت	میلیارد مترمکعب	۳.۷
۷- جبران تراز آب	میلیارد متر مکعب	۱۵
۸- حقا به محیط زیست	میلیارد متر مکعب	۱۰.۷
* توجه طبق برنامه حدود ۴۵ درصد تأمین منابع آبی از چاه ها و زیر زمین در نظر گرفته شده و کماکان نگران کننده است.		

ب) مالکیت آب چاه: از سال ۱۳۴۷ به بعد آبها ملی شدند و جزء اموال عمومی قرار گرفتند. و از سوی دیگر براساس ماده ۳ قانون توزیع عادلانه آب استفاده از منابع آب‌های زیرزمینی از طریق حفر هر نوع چاه و قنات و توسعه چشمه در هر منطقه از کشور، با اجازه و موافقت وزارت نیرو باید انجام شود و وزارت مذکور با توجه به خصوصیات هیدروژئولوژی منطقه (شناسایی طبقات زمین و آب‌های زیرزمینی) و مقررات پیش‌بینی شده در این قانون نسبت به صدور پروانه حفر و بهره‌برداری اقدام می‌کند.

بر همین اساس اکنون باید دو مرحله را تفکیک کنیم: -مالکیت آب چاه قبل از بهره‌برداری و -مالکیت آب بعد از بهره‌برداری. در فقه آب جزء مباحات است و قابل تملک خصوصی و بر همین اساس هم تابع احکام مالکیت خصوصی قرار داشته است. این دیدگاه چنان که خواهیم دید وارد قانون مدنی شده است. باید توجه داشت که دارنده پروانه بهره‌برداری از آب چاه، فقط به میزان مشخص و در مدت معین دارای این حق انتفاع است و در صورت عدم استفاده از این حق در مدت معین دیگر حقی نسبت به آن ندارد و برای

استفاده مجدد باید مراحل قانونی مربوطه طی شود. این مطلب را می‌توان از بند «و» ماده ۲۴ قانون توزیع عادلانه آب، استنباط کرد. همچنین این مورد از جمله مواردی است که به خوبی فرق بین مالکیت منفعت و حق انتفاع را در حقوق نشان می‌دهد.

*در قانون مدنی، حق انتفاع عبارت از حقی است که به موجب آن شخص می‌تواند از مالی که عین آن ملک دیگری است یا مالک خاصی ندارد، استفاده کند. در حق انتفاع، مال در مالکیت شخصی دیگر بوده و منافع نیز ملک شخص دیگری است و فقط شخص دارای حق انتفاع، حق استفاده و بهره‌برداری از آن را دارد، نه حق مالکیت بر آن را.

مالکیت منفعت، حقی است کامل که امتیازهای مالکیت را دارد در حالی که حق انتفاع به آن حد کمال نرسیده و صاحب آن تنها از حق بهره‌مندی از منافع برخوردار است.

۴- تحولات در رویکرد قانون‌گذاری در بهره آب در ایران
پژوهش‌های متعددی در ارتباط به حقوق آب در وی آثار حقوقی مصوبات و آیین‌نامه‌هایی که به تبع قوانین وضع شده است در ایران تدوین شده است و در اینجا بر اساس مقالات موجود روند تحولی قوانین با اقتباس از آنها آورده شده است. با جستجو در قوانین ملاحظه می‌شود که از زمان مشروطه با ورود نظام قانون‌گذاری مدرن، به مرور زمان قوانین مبتنی بر فقه جای خود را به قوانین رسمی موجود در نظام قانون‌گذاری جدید داد. اولین تجربه قانون‌گذاری در این زمینه به قانون مدنی ۱۳۰۷ معطوف می‌گردد. تلاش‌های زیادی که در راستای تدوین این قانون و همسان‌سازی آن با عرف صورت پذیرفت. واژه "حریم" که در این قانون مورد استفاده قرار گرفته از یک سو کمال انتفاع از اراضی را مبنا قرار داده (ماده ۱۳۶) و از سوی دیگر محدوده حریم را تا جایی می‌داند که به بعد اجتماعی در کوتاه مدت ضرر وارد نشود. در واقع این قانون منافع بهره‌برداران را مقدم بر حفاظت از منبع در نظر گرفته است.

در قانون اصلاحات ارضی در سال ۱۳۴۰ بر نظام آبیاری تأثیرگذاری زیادی اعمال کرد. در این قانون (اصل اول انقلاب سفید) با خرد شدن زمین‌های کشاورزی، تعداد مالکین و در نتیجه تعداد چاه‌های آب افزایش یافت (طبق قانون مدنی ۱۳۰۷ مالکین مجاز به حفر چاه در ملک شخصی خود بودند). از سوی دیگر با زیاد شدن خرده مالکین و اختلافی که بین آنها و مالکین سابق این اراضی به وجود آمد، به مرور زمان مشارکت مدنی حاکم بر نظام بهره‌برداری استفاده از قنات کاهش یافت و قنات‌های زیادی خشک گردید. در ادامه این روند اتخاذ سیاست تأمین منابع مالی از سوی دولت به کمک بعد سخت‌افزاری و فنی حفر چاه آمد و حرکت به سمت بهره‌برداری ناپایدار به گونه‌ای تشدید شد که دیری نپایید که قنات‌ها رو به خشک شدن رفته و با افزایش تعداد چاه‌ها، سطح استابی با افت شدید مواجه گردید. در ادامه در سالهای بعد قانون‌گذار جهت کنترل وضعیت بهره‌برداری از آب زیرزمینی در سال ۱۳۴۵ قانون حفظ و حراست از منابع آب زیرزمینی را تصویب کرد. به تبع آن در سال ۱۳۴۷ قانونی تحت عنوان

"آب و نحوه ملی شدن آن" تصویب گردید و بدین ترتیب حیطه حقوقی حکمرانی آب از حقوق خصوصی مبتنی بر عرف و مشارکت مدنی به حقوق عمومی مبتنی بر حاکمیت و نظارت بلافصل دولت تبدیل شد. در واقع پیشنهاد تصویب قانون آب و نحوه ملی شدن آن در سال ۱۳۴۷ بیانگر توجه قانون‌گذار به بحران منابع آب می‌باشد که تلاش جهت حفاظت از منابع آب را نشان می‌دهد. (پیلوار و همکاران ۱۳۹۸)

با توجه به اهمیت شرط مصرف معقول آب، ماده ۲۵ قانون توزیع عادلانه آب دارندگان پروانه مصرف را ملزم می‌سازد که از مصرف و اتلاف غیر معقول آب اجتناب نمایند و اگر به هر علتی مسلم شود که نحوه مصرف معقول و اقتصادی نیست در این صورت وزارت نیرو یا وزارت کشاورزی مراتب را با ذکر علل و دستورهای فنی به مصرف‌کننده اعلام می‌دارد (زاهدی ۱۳۹۳). اما عبارت استفاده معقول تا حدودی مبهم است و آن را نیازمند تفسیر در مقام اجرا می‌سازد. همچنین باید توجه داشت که مفهوم مصرف معقول تابع شرایط اجتماعی، محیط زیستی است چرا که تبصره ۲ ماده ۱۸ قانون توزیع عادلانه آب مقرر می‌دارد مصرف معقول مقدار آبی است که تحت شرایط زمان و مکان و با توجه به احتیاجات مصرف‌کننده و رعایت احتیاجات عمومی و امکانات طبق مقررات این قانون تعیین خواهد شد، می‌تواند مجری قانون را در تفسیر این مفهوم و نحوه الزام به مصرف آب یاری دهند (فریادی ۱۳۹۷).

۵- مالکیت آب چاه بعد از بهره‌برداری

زمانی که بهره‌بردار، آن مقدار آب تعیین شده در پروانه بهره‌برداری را استخراج کرد، مالک آن آب می‌شود و می‌تواند هرگونه تصرفات مادی و حقوقی در آن به عمل آورد. بدین سان در این قسمت همچنان نظام قانون مدنی حاکم است و مالکیت خصوصی فرد به رسمیت شناخته می‌شود و به تبع، از حقوق مالکانه بهره‌مند خواهد بود. چنانچه خود قانون‌گذار نیز در ماده ۷ قانون توزیع عادلانه آب به بهره‌بردار اجازه فروش آب مازاد چاه خود را داده است: «در مورد چاه‌هایی که مقدار آب‌دهی مجاز آن بیش از میزان مصرف معقول صاحبان چاه باشد و مازاد آب چاه با ارائه شواهد و قرائن برای امور کشاورزی، صنعتی و شهری مصرف معقول داشته باشد. وزارت نیرو می‌تواند تا زمانی که ضرورت اجتماعی ایجاب کند با توجه به مقررات و رعایت مصالح عمومی برای کلیه مصرف‌کنندگان اجازه مصرف صادر کند و قیمت عادلانه آب به صاحب چاه پرداخت شود». پرداخت قیمت عادلانه آب چاه به دارنده پروانه خود گواهی بر مالکیت بهره‌بردار بر آب چاه پس از بهره‌برداری است».

بر اساس مبانی فقهی و حقوقی در صورت تراحم بین مصالح عمومی و خصوصی الویت با رعایت منافع عمومی است و به همین دلیل دولت موظف است به تأمین منافع عمومی در برابر منافع خصوصی است. و در این راستا گاهی نیز ممکن است ناگزیر به سلب مالکیت خصوصی اشخاص شود تا قادر به تأمین و حفظ مصالح عمومی و منافع عامه باشد که البته باید حقوق مالکانه مالکان انجام شود. این دیدگاه در حقوق

عمومی مبتنی بر نظریه خدمت عمومی و الزامات آن است. (جعفری ندوشن ۱۳۹۵)

امکان انتقال پروانه: با توجه به قانون توزیع عادلانه آب که با هدف اجرای عدالت توزیعی و حفظ منابع آب و توسعه کشاورزی به تصویب رسیده باید گفت اصولاً انتقال حق انتفاع از چاه آب ممنوع است مگر با اجازه دولت. بر اساس مواد ۲۷ و ۲۸ قانون مذکور پروانه مصرف آب مختص به زمین و مواردی است که برای آن صادر شده است مگر آنکه تصمیم دیگری وسیله دولت در منطقه اتخاذ شود و هیچ کس حق ندارد آبی را که اجازه مصرف آن را دارد به مصرفی بجز آنچه که در پروانه قید شده است برساند و همچنین حق انتقال پروانه صادره را به دیگری بدون اجازه وزارت نیرو نخواهد داشت، مگر به تبع زمین و برای همان مصرف با اطلاع وزارت نیرو.

در ماده ۱ آیین نامه اجرایی فصل دوم قانون توزیع عادلانه آب: «به استناد ماده ۳ قانون توزیع عادلانه آب هر شخص اعم از حقیقی و حقوقی و وزارتخانه‌ها و دستگاه‌ها و ارگان‌های دولتی و نهادهای انقلاب اسلامی بخواهند از آب‌های زیرزمینی در هر نقطه از کشور به وسیله حفر چاه و یا احداث قنات و یا از طریق تعمیق یا تغییر محل چاه‌های موجود و ادامه پیشکار قنات و توسعه چشمه یا طرق دیگر استفاده کنند به استثنای چاه‌های واقع در مناطق غیر ممنوعه مشمول ماده ۵ قانون توزیع عادلانه آب، باید تقاضای کتبی خود که حاوی مدارک مذکور در آن باشد به سازمان‌ها یا شرکت‌های آب تابعه وزارت نیرو یا شعب آنها تسلیم کنند». نتیجه کارشناسی در «کمیسیون رسیدگی به صدور پروانه‌ها» حسب مورد اقدام لازم به عمل خواهد آورد.

۶- خلاصه ماده واحده قانون تعیین تکلیف چاه‌های آب فاقد پروانه مصوب ۱۳۸۹

در فصل اول ماده ۱ قانون توزیع عادلانه آب مسئولیت حفظ و اجازه و نظارت بر بهره برداری از آنها را به دولت محول نموده است. و در فصل دوم ماده ۳ نیز استفاده از منابع آب زیرزمینی را از طریق حفر چاه و قنات و توسعه چشمه در هر منطقه را با اجازه و موافقت وزارت نیرو دانسته است.

تا قبل از تصویب قانون توزیع عادلانه آب (بازه زمانی ۱۳۵۷ تا ۱۳۶۱) به دلیل شرایط نابسامان سیاسی کشور، جنگ تحمیلی و عدم نظارت کافی نهادهای مسئول، با ایجاد فرصت تخطی، حفر چاه‌های غیر مجاز افزایش یافت به گونه ای که تعداد چاه‌ها طی ده سال تا زمان ۱۳۶۱ به حدود دوبرابر افزایش یافت. تبصره ذیل ماده ۳ قانون توزیع عادلانه آب (۱۳۶۱) با در نظر نگرفتن مدت زمان برای تسلیم تقاضای صدور پروانه برای افرادی که تا قبل از تصویب قانون توزیع عادلانه آب اقدام به حفر چاه کرده بودند، باعث تشدید بستر قانون گریزی و ایجاد فرصتی در جهت تخریب اکوسیستم در بازه زمانی پس از آن گردید. افزایش واحدهای بهره برداری و تصویب قانون "تعیین تکلیف چاه‌های فاقد پروانه" در سال ۱۳۸۵ نشان می دهد که در عمل این تصویب نامه نیز

قادر به کاهش سهم تخریب اکوسیستم نبوده است. و پیامد آن وارد شدن خسارت جدی به منابع آب زیرزمینی کشور بود
بر اساس این ماده واحده وزارت نیرو موظف شد برای چاه‌های آب که قبل از سال ۱۳۸۵ حفر شده باشند بر اساس شرایطی و همچنین پذیرش تعهداتی توسط بهره‌بردار، برای چاه‌های فاقد پروانه در کلیه دشت‌های کشور (که قاعدتاً دشت‌های ممنوعه را هم شامل می‌شود)، مجوز صادر کند و باید اصرار به دیگران و آبخوان با مضادق یا شرایط زیر نداشته باشد:

الف - عدم رعایت حریم کمی و کیفی چاه‌های آب مجاور

ب - تداوم بهره‌برداری بیش از حد و مازاد مجوز از چاه،

پ - تداوم بهره‌برداری از چاه در دشت‌های فاقد ظرفیت آبی موجب استمرار افت کمی و کیفی و تشدید بحران

ت - تداوم بهره‌برداری از چاه موجب ایجاد پدیده‌های نشست زمین و فروچاله شود.

ث - تداوم بهره‌برداری از چاه موجب افت کیفی آب (بیولوژیک، فیزیکی و شیمیایی) و پیش‌روی آب شور به سمت آب شیرین شود.

۷- «تصویب نامه ضوابط ایجاد تعادل بین منابع و مصارف آب مصوب ۱۳۸۷ هیئت وزیران

در سال ۱۳۸۷ تصویب نامه ضوابط ایجاد تعادل بین منابع و مصارف آب با داورده ماده در راستای حفظ و حراست از منابع آب زیرزمینی تصویب گردید. پس از آن تعریف دشت‌های ممنوعه، در بند ب ماده های ۵۴ این تصویب نامه، به صراحت کاهش برداشت از منابع آب زیرزمینی بوسیله وزارت نیرو و جهاد کشاورزی مد نظر قرار گرفت. و کاهش برداشت، با راهکارهایی از قبیل انسداد چاه‌های غیرمجاز، جلوگیری از اضافه برداشت چاه‌های مجاز، خرید و انسداد چاه‌های مجاز و فعال، اصلاح الگو و ترکیب کشت و توسعه کشت گیاهان کم مصرف پیشنهاد گردید. مطالب فوق نشان می دهد که به مرور زمان سه عامل مهم در حفاظت از منابع آب جای خود را به تخریب منابع داده است. این سه عامل در شرایط کنونی بدین نحو قابل تفسیر می باشند:

۱- تغییر در باورها و حاکم شدن نگاه اقتصادی کوتاه مدت به بهره برداری از منابع ۲- افزوده شدن سخت افزارها و تامین منابع ارزان قیمت انرژی مورد نیاز که امکان بهره برداری ناپایدار را فراهم نموده است.

۳- حذف نقش مشارکت و نظارت مدنی و تخریب منابع آب زیرزمینی.

بند ب الزامات مصوبه در و ضایف وزارت نیرو: - کاهش برداشت آب زیرزمینی از طریق انسداد چاه‌های غیرمجاز، جلوگیری از اضافه برداشت چاه‌های مجاز، خرید و انسداد چاه مجاز و فعال، توسعه و بهبود شبکه‌های آبیاری اصلی.

بند ب الزامات مصوبه در وظایف جهاد کشاورزی - کاهش برداشت از منابع آب زیرزمینی با استفاده از اصلاح الگو و ترکیب کشت، کاهش کشت گیاهان پر مصرف، توسعه کشت گیاهان کم مصرف، عمران اراضی، توسعه و بهبود شبکه‌های آبیاری و زهکشی فرعی.

"طرح احیا و تعادل بخشی منابع آب زیرزمینی کشور" مصوب شورای عالی آب در سال ۱۳۹۳

- چاره‌اندیشی و کنترل افت و کسری مخزن حادث شده در آبخوان‌ها - برخورد قانونی با برداشت‌های غیر مجاز

- تعریف ۱۵ پروژه در مناطق دشت‌های ممنوعه و بحرانی

"بخش مدیریت منابع آب قانون برنامه هفتم توسعه کشور" ۱۳۹۵

به منظور مقابله با بحران کم‌آبی، رهاسازی حق‌آبه‌های زیست‌محیطی برای پایداری سرزمین، پایداری و افزایش تولید در بخش کشاورزی، تعادل بخشی به سفره‌های زیرزمینی و ارتقای بهره‌وری و جبران تراز آب، به‌میزانی که در سال پایانی اجرای قانون برنامه پانزده میلیارد مترمکعب شود (و این موضوع در برنامه ششم توسعه کشور یازده میلیارد متر مکعب پیش‌بینی شده بود).

۸- نتیجه‌گیری

با توجه به بحث‌های صورت گرفته مشخص می‌شود که در دوره‌های مختلف قانون‌گذاری خروجی‌های مقررات مرتبط بطور غالب باعث تثبیت چاه‌های حفر شده و مورد بهره‌برداری شده است و در بیشتر موارد بهره‌برداری خصوصی از آن‌ها ادامه یافته است و عملاً قوانین متناسب با شرایط بحرانی منابع آب کشور بطور جدی نتوانسته محدودیت‌های لازم را دشت‌های ممنوعه و آبخوان‌ها ایجاد نماید و از اینرو بهره‌برداری و برداشت بیش از بیلان آب در مناطق مختلف را بوجود آورده و در ناپایداری چاه‌های آب نیز این موضوع موثر بوده

منابع

است و از سوی دیگر تضاد قوانین در بازه‌های زمانی نزدیک در ارتباط با چاه‌های آب نشانگر مظات متفاوت و اتخاذ تصمیم‌های ناهماهنگ با مصالح آب و کم‌توجهی به بحران آبی بوده و آثار حقوقی متعددی را رحای گذاشته که به تبع آن در محاکم قضایی نیز پرونده‌های متعددی مفتوح و دردست رسیدگی می‌باشد و برای اشخاص انتظارات خاصی را ایجاد نموده و تحت الشعاع قرار داده است.

علیرغم اینکه بازنگری در قانون توزیع عادلانه آب نیز در طی دهه اخیر به کرات مورد بحث بوده ولی متأسفانه در هاله‌های ابهام و بروکراسی‌های اجرایی قرار گرفته است و اصلاحات قانونگذاری و یا تنقیح قوانین مرتبط پس از طی ۵ دهه در آن صورت نگرفته است.

مصادیقی از موارد اختلاف و فراوانی پرونده‌ها در محاکم قضایی و تاثیر آنها بر عملکرد و بقای چاه‌ها

- ✓ بیشترین فراوانی در حفر چاه‌های غیر مجاز و نحوه رسیدگی کمیسیون تعیین تکلیف چاه‌های فاقد پروانه
- ✓ فراوانی در خسارت به آبخوان ناشی از برداشت مازاد پروانه بهره‌برداری چاه‌ها
- ✓ ارزیابی و ارزشگذاری چاه‌های آب
- ✓ اختلاف در حق‌آبه‌ها و حقوق ارتفاقی چاه‌ها

- جعفری ندوشن، علی اکبر. «تعادل بخشی منابع آب در پرتو تعدیل مالکیت خصوصی حق بهره‌برداری». نشریه مطالعات حقوق انرژی، دوره ۲، سال ۱۳۹۵.
- نوروزی، قدرت‌الله. «تأملی بر چالش‌های حقوقی مالکیت آب در حوضه زاینده‌رود از منظر حقوق عمومی». فصلنامه مطالعات حقوق عمومی دانشگاه تهران، دوره ۴۸، شماره ۴، دی ۱۳۹۷.

- پیلوار، رحیم و مریم رجبی. «حقوق مالکیت چاه‌های آب؛ عرصه تحول از حقوق خصوصی به حقوق عمومی». دانشنامه‌های حقوقی بهار ۱۳۹۸، شماره ۲.

- جعفری ندوشن، علی اکبر. «بررسی نظام حقوقی حاکم بر منابع آب در ایران». حقوق اسلامی، سال نوزدهم، تابستان ۱۴۰۱، شماره ۷۳.

- مقاله بررسی ماهیت فقهی و حقوقی حق بهره‌برداری از منابع آب در حقوق ایران». فصلنامه تحقیقات منابع آب ایران، دوره ۱۸، شماره ۳، سال ۱۴۰۱.

- حدود مالکیت آب در قوانین ایران». مجله آب و خاک و حفاظت منابع طبیعی یا مشابه، دوره ۱، شماره ۲، اسفند ۱۳۹۹.

- تحلیل محتوای یک قرن قانون‌گذاری آب در ایران». مجله مدیریت آب و آبیاری، دوره ۱۰، شماره ۱، خرداد ۱۳۹۹.

-Mirzaei, Arezoo & Theesfeld, Insa (۲۰۲۰). "Diving deep into legal layers: institutional grammar's insight into Iran's groundwater laws". Water Policy, ۲۷(۴): ۴۷۷-۵۰۰.

- GroundWater Governance and Legal Development in Iran, ۱۹۰۶-۲۰۱۶ — Ehsan Tavakoli-Nabavi et al., منتشر شده در Middle East Law and Governance ۲۰۱۷.

- Rahimi-Feyzabad, Fatemeh; Yazdanpanah, Masoud; Gholamrezaei, Saeed et al. (۲۰۲۱). "Institutional constraints to groundwater resource management in arid and semi-arid regions: a Straussian grounded theory study". Hydrogeology Journal.

- Golian, Mohsen et al. (۲۰۲۱). "Consequences of groundwater overexploitation on land subsidence in Fars Province of Iran and its mitigation management programme." Water and Environment Journal.

مبانی مهم در نصب منصوبات و تجهیز چاه های آب شرب

مجید پرهیزکاری

کارشناس ارشد دفتر بحران و پدافند غیرعامل شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور

چکیده

پمپ شناور از سری پمپ های سانتریفیوژ مستغرق می باشد که عموماً با انتقال آب از چاه ها به بیرون از چاه، بستر تامین آب در صنایع کشاورزی، آتشنشانی، سیستم های آبیاری بارانی، آبرسانی مسکونی و غیره را فراهم می سازد. در این ارائه می خواهیم به این مسئله بپردازیم که چه نوع پمپ شناوری برای مصرف شما با شرایط تان مناسب است و در واقع قصد داریم نحوه انتخاب پمپ شناور را تشریح کنیم. انتخاب پمپ شناور خوب نیازمند شناخت دقیق و درست است برای انتخاب پمپ شناور باید به فاکتورهایی مانند عمق چاه، سطح آب چاه، ارتفاع چاه، نسبت عمق چاه به ارتفاع چاه، میزان پیچیدگی مسیر چاه، جنس و قطر لوله مسیر پمپاژ و تعداد اتصالات توجه کرد. پمپ شناور از سری پمپ های سانتریفیوژ مستغرق می باشد که عموماً با انتقال آب از چاه ها به بیرون از چاه، بستر تامین آب در صنایع کشاورزی، آتشنشانی، سیستم های آبیاری بارانی، آبرسانی مسکونی و غیره را فراهم می سازد. این پمپ ها در دو نوع تکفاز و سه فاز تولید می شوند و بسیار پر کاربرد هستند و به طبع دارای انواع مختلف با خصوصیات گوناگون می باشند.

واژه های کلیدی: پمپ شناور، عمق چاه، سانتریفیوژ، مستغرق، آبرسانی.

Abstract

Submersible pumps are a series of submersible centrifugal pumps that generally provide water supply in agricultural industries, firefighting, sprinkler irrigation systems, residential water supply, etc. by transferring water from wells to outside the well. In this presentation, we want to address the issue of which type of submersible pump is suitable for your use and your conditions, and in fact, we intend to explain how to choose a submersible pump. Choosing a good submersible pump requires accurate and correct knowledge. To choose a submersible pump, you must pay attention to factors such as well depth, well water level, well height, well depth to well height ratio, the complexity of the well path, the type and diameter of the pumping path pipe, and the number of connections. Submersible pumps are a series of submersible centrifugal pumps that generally provide water supply in agricultural industries, firefighting, sprinkler irrigation systems, residential water supply, etc. by transferring water from wells to outside the well. These pumps are produced in two types: single-phase and three-phase, and are very widely used, and of course they have different types with different characteristics.

Keywords: Submersible pump, well depth, centrifugal, submersible, water supply

۱- مقدمه

ساختمان‌های مسکونی که با مشکلات خاصی دست و پنجه نرم می‌کنند می‌توانند از پمپ شناور چاه نیمه عمیق یا چاه عمیق برای کمک به سیستم آبرسانی خود بهره ببرند. البته این پمپ‌ها در صنایع گوناگون مثل معدن و سیستم‌های اسمز معکوس هم کاربردهای فراوانی نشان داده‌اند.

پمپ شناور چاه کشاورزی در آب شیرین کن‌های صنعتی و نیمه صنعتی کاربردهای زیادی دارد. اکثر افرادی که نیاز به آب شیرین دارند سراغ این گونه پمپ‌ها برای برطرف کردن نیاز خود می‌روند. با استفاده از آن‌ها به راحتی می‌توان آب شیرین مورد نیاز یک مجموعه را تأمین کرد.

پمپ شناور چاه عمیق برای استفاده در آبنا و آبیاری گلخانه هم کاربردهایی از خود نشان داده است. از این محصول برای آبیاری تحت فشار و زهکشی زمین به خوبی می‌توان بهره برد.

پمپ‌های شناور برای افزایش فشار آب هم مفید هستند. به همین دلیل بهترین پمپ شناور چاه می‌تواند فشار آب در باغات و زراعت و صنعت کشاورزی را تقویت نماید. افزایش فشار آب در آنها کمک می‌کند تا محصولاتی که در آینده کشت می‌شوند کیفیت بسیار خوبی داشته باشند.

-خصوصیات فیزیکی سیال

خصوصیات فیزیکی مایع نظیر چگالی، ویسکوزیته و دمای سیال قابل پمپاژ نیز بر انتخاب پمپ سانتریفیوژ شناور تأثیرگذار است. این خصوصیات ممکن است بر روی عملکرد پمپ و همچنین قابلیت‌های آن تأثیر بگذارند. برای مثال، در صورت استفاده از پمپ در مناطق با دماهای بسیار پایین، باید به قابلیت‌های پمپ در شرایط سرد توجه کرد. یا در مناطقی که دمای محیط و سیال بالاتر از حد معمول است، با توجه به اینکه پمپ‌های شناور از نوع مستغرق هستند و الکتروموتور آنها با آب خنک می‌شود، باید حتماً به محدوده دمای تعریف شده برای محیط و سیال در پمپ توجه کرد تا از حد آن فراتر نرود. همچنین در محیط‌های بسیار گرم واجب است بدنه پمپ، شفت و پروانه‌ها، از متریال مستحکم‌تری نسبت به حالت معمول، استفاده گردند.

- میزان آبدهی (دبی) چاه

مقدار آبی که در واحد زمان قرار است توسط پمپ سانتریفیوژ شناور منتقل شود نیز یک فاکتور بسیار مهم است. برای انتخاب پمپ مناسب، باید به فاکتورهای جریان مایع در سیستم توجه کرد. این شامل مقدار جریان، فشار و دما است. همچنین، باید به تغییرات جریان در طول زمان نیز توجه کرد و پمپ مناسب را با توجه به این تغییرات انتخاب کرد. برای مثال، کشاورزانی که به منظور آبیاری گسترده زمین‌های زراعی

پمپ شناور چاه عمیق به گونه‌ای ساخته شده که حالت سیلندری شکل داشته و بر اساس شکل چاه‌ها می‌توان به راحتی آن را تا میزان مشخصی درون آب غوطه ور کرد. طراحی پمپ چاه عمیق به گونه‌ای است که احتمال وقوع پدیده کاویتاسیون پایین بیاید. این پدیده بسیار مخرب بوده و می‌تواند آسیب جدی برای چاه به همراه داشته باشد. اگر مقدار عمق غوطه وری دستگاه‌های پمپ شناور چاه عمیق به خوبی تنظیم گردد این امکان وجود دارد که بتوان آب را تا صدها متر به سمت سطح مورد نظر هل داد. بهتر است برای بالا بردن بازدهی عملکرد پمپ‌های شناور چاه عمیق از کابل‌های مخصوص آب شیرین در آنها بهره برد. خرید پمپ شناور چاه برای استفاده در اطفاء حریق و آتش نشانی بسیار پرکاربرد است. از طرفی این گونه پمپ‌ها را برای تأمین آب اضطراری هم مورد استفاده قرار می‌دهند. به نظر می‌رسد استفاده از پمپ شناور چاه عمیق در شرایط اضطراری و بحرانی همیشه مفید باشد.

خرید پمپ شناور چاه عمیق‌تر بسیاری از تأسیسات تصفیه آب کاربردهای فراوانی دارد. این سیستم کمک می‌کند تا آب تمیز از چاه‌های عمیق و نیمه عمیق خارج شود و بتوانید از آن برای نیاز خودتان استفاده کنید.

۲- اهمیت انتخاب صحیح محل حفر چاه آب زیرزمینی

- نحوه انتخاب پمپ شناور

پمپ شناور از سری پمپ‌های سانتریفیوژ مستغرق می‌باشد که عموماً با انتقال آب از چاه‌ها به بیرون از چاه، بستر تأمین آب در صنایع کشاورزی، آتشنشانی، سیستم‌های آبیاری بارانی، آبرسانی مسکونی و غیره را فراهم می‌سازد. در این ارائه می‌خواهیم به این مسئله پردازیم که چه نوع پمپ شناوری برای مصرف شما با شرایط تان مناسب است و در واقع قصد داریم نحوه انتخاب پمپ شناور را تشریح کنیم.

انتخاب پمپ شناور خوب نیازمند شناخت دقیق و درست است برای انتخاب پمپ شناور باید به فاکتورهایی مانند عمق چاه، سطح آب چاه، ارتفاع چاه، نسبت عمق چاه به ارتفاع چاه، میزان پیچیدگی مسیر چاه، جنس و قطر لوله مسیر پمپاژ و تعداد اتصالات توجه کرد.

پمپ شناور از سری پمپ‌های سانتریفیوژ مستغرق می‌باشد که عموماً با انتقال آب از چاه‌ها به بیرون از چاه، بستر تأمین آب در صنایع کشاورزی، آتشنشانی، سیستم‌های آبیاری بارانی، آبرسانی مسکونی و غیره را فراهم می‌سازد. این پمپ‌ها در دو نوع تکفاز و سه فاز تولید می‌شوند و بسیار پر کاربرد هستند و به طبع دارای انواع مختلف با خصوصیات گوناگون می‌باشند.

قصد استخراج آب از چاه های عمیق و سپس انتقال آن به زمین های کشاورزی را دارند، می بایست از پمپ های شناور با میزان آبدهی بالا استفاده کنند.

ممکن است شرکت های آب و فاضلاب استانی نیازمند پمپ هایی -ارتفاع آبرسانی (هد)

ارتفاع جابجایی آب نیز یک مورد چشمگیر و مهم در انتخاب پمپ سانتریفیوژ شناور است. بسته به نوع کاربرد و سطح آب، باید پمپ مناسب با توجه به ارتفاع جابه جایی آب را انتخاب کرد. به عنوان مثال، شرکت آب و فاضلاب که قصد تامین آب روستایی با اختلاف

باشند که دبی های کم را به ارتفاع زیاد پمپاژ کنند و یا دبی های بالا به ارتفاع های کم بنابراین می بایست مشخصات فنی پمپها با این نیاز ها کاملاً انطباق داشته باشد. در صورت انتخاب پمپ نامناسب علاوه بر کاهش راندمان پمپ عمر مفید آن به شدت کاهش می یابد.

ارتفاع زیاد از محل تأمین آب را دارد و یا مصرف کننده ای که قصد انتقال آب از عمق بسیار زیادی برای مصرف خاص خود دارد، حتماً باید از پمپ شناور با هد بالا استفاده کند، تا نیاز او در جهت انتقال مطلوب آب تا ارتفاع مشخص شده، بر طرف شود. (شکل ۱).



شکل ۱- نمای ظاهری پمپ شناور درون چاهی

مورد استفاده قرار گیرند. حداقل قطر چاه برای عملکرد این پمپ ها ۳ اینچ می باشد و قطر دهانه خروجی آن ها از ۱ اینچ به بالا بسته به میزان آبدهی و ارتفاع مورد نظر مصرف کننده متغیر می باشد. اما از بابت عمق چاه می توان خیالی آسوده داشت، چرا که پمپ های شناور تنها پمپ هایی هستند که در چاه های بسیار عمیق نیز با راندمانی بالا عملیات پمپاژ سیال را انجام می دهند.

-لوله جدار و گراول پشت جدار

نکات مهم و کلیدی در تجهیز چاه ها شامل حداکثر میزان مجاز برداشت، کیفیت لوله گذاری جداره (شبکه بندی مناسب، افت جداره)، تنظیم دانه بندی گراول های پشت لوله جدار، محاسبه ضرایب هیدرودینامیکی لایه ها، بررسی اقتصادی در زمینه میزان استخراج متناسب با نیاز بهره برداری، محاسبه ظرفیت و قدرت موتور پمپ و یا الکترو موتور شناور (مستغرق)، تعیین محل مناسب نصب پمپ می باشد.

-حفاری چاه

انتخاب روش حفاری (دستی یا ماشینی) و حفر چاه تا رسیدن به سفره

-متریال پمپ شناور

معمولاً متریال استفاده شده در بدنه پمپ های شناور، چدن و استیل می باشد که هر دو از با کیفیت ترین فلزها محسوب می شوند. اما مقاومت استیل بالاتر است. پروانه های این پمپ ها از جنس ترموپلاستیک، استیل، چدن یا برنز، بسته به شرایط سیال و محیط، می توانند متفاوت باشند. شفت آن ها نیز از جنس استنلس استیل (استیل ضدزنگ) می باشد. برای محیط هایی که دمای بسیار بالایی دارند، بهتر است از پروانه های برنز و استیل به دلیل مقاومت بالایشان استفاده نمود. لازم به ذکر است جنس اجزای پمپ بر نحوه عملکرد آن ها نیز اثر گذار است. مثلاً پمپ شناور با پروانه استیل، ارتفاع آبرسانی بالاتری نسبت به پمپ های شناور با پروانه تکنوپلیمری ایجاد می کنند.

۳- نکات کلیدی در تجهیز چاه ها

از جمله نکات مهم در انتخاب پمپ شناور، شرایط انتقال سیال است. با توجه به طراحی پمپ های شناور، این پمپ ها به دلیل باریک بودن، باید در چاه هایی که دارای قطر کم هستند یا با مته حفاری شده اند،

آب زیرزمینی .

-لوله گذاری (جداره گذاری)

نصب لوله‌هایی از جنس فولاد یا پلاستیک در جداره چاه برای محافظت از دیواره چاه و هدایت آب به سمت بالا. (حیدریان و طوفان تبریزی، ۱۳۹۲).

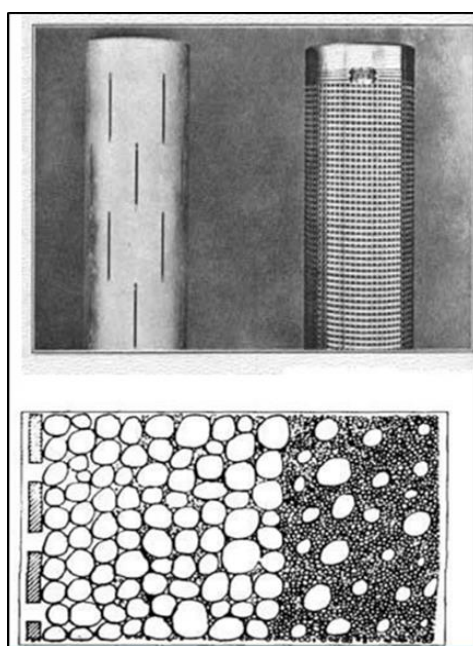
-تجهیزات جانبی

-منبع تحت فشار: برای جلوگیری از روشن و خاموش شدن مکرر پمپ و حفظ فشار ثابت در سیستم.

-سیستم کنترل: شامل کلیدهای اتوماتیک (مانند فلو سوئیچ و پرشر سوئیچ) برای روشن و خاموش کردن پمپ و سایر تجهیزات.

شیرآلات و لوله کشی: برای انتقال آب از چاه به محل مصرف و توزیع آن.

-تجهیزات ایمنی: مانند حصار، علائم هشداردهنده و چراغ‌های احتیاط برای جلوگیری از حوادث.



شکل ۲ نمای ظاهری لوله جداره چاه و گراول پشت لوله

محدود انحراف چاه (در صورتیکه داخل پوسته مخصوص قرار گرفته باشد) و عدم آلودگی صوتی و اتاقک سر چاه کوچکتر و ارزان تر می باشد.

عدم آلودگی آب چاه

مزایا و محدودیت‌های رایج‌ترین روش‌های ژئوفیزیکی آورده شده است:

پمپ را نگه داشته است. (حتما دقت کنید که به هیچ عنوان سنگینی پمپ آب بر روی پیچ‌های نگه‌دارنده نباشد.) برای انتقال سنگینی به قسمت درست پمپ آب می‌توانید از غلاف استفاده کنید. غلاف باید با توجه به سنگینی و نوع دینام ساخته و تهیه شود.

۴- مزایای پمپ‌های شناور چاهی

از مزیت‌های نصب پمپ شناور چاهی خنک کاری موتور با آب ، شافت کوتاه و تحمل بارهای بزرگتر، امنیت بیشتر موتور و پمپ، ارتفاع تولیدی بیشتر توسط هر طبقه از پمپ (تعداد طبقات کمتر در چاه‌های عمیق)، نصب سریع تر نسبت به پمپ‌های شافت و غلافی، تحمل

۵- نکات مهم برای نصب پمپ آب شناور

ساخت غلاف فولادی برای نگهداری پمپ

-برای جلوگیری از ضربه قوچی به دینام پمپ حتما توجه کنید که سنگینی دینام پمپ آب بر روی لوله اصلی و یا سیم بکسلی باشد که

محل نصب پمپ در کف چاه

- پمپ شناور باید حداقل نیم متر از کف چاه فاصله داشته باشد و به هیچ عنوان نباید به انتهای چاه برسد. زیرا در این صورت به خاطر وجود گل و لای در کف چاه، پمپ آب دچار مشکل می شود.

چالش ها و مشکلات نصب پمپ

برای جلوگیری از غرق شدن پمپ آب در چاه به آن سیم بکسل وصل کنید که اگر زمانی رزوه های دنده لوله های انتقالی دچار پوسیدگی شدند بتوان با سیم بکسل پمپ آب را به بالا کشید و مانع ایجاد خسارت شد. برای محافظت بیشتر از پمپ آب تمام لوله ها و پمپ را توسط بکسل مهار کنید. در هنگام حمل و نقل الکتروموتور مراقب باشید که محور پمپ ضربه نخورد و آسیب نبیند. برای جابه جایی پمپ آب به هیچ عنوان از طناب استفاده نکنید. برای محافظت بیشتر از پمپ آب تمام لوله ها و پمپ را توسط بکسل مهار کنید. پمپ آب شناور هرگز نباید بدون آب بماند و یا بدون آب کار کند. (حتما شرایط مناسب را برای آن فراهم کنید.) برای جلوگیری از برگشت آب به داخل پمپ، در قسمت خروجی یک طرفه نصب کنید. توجه داشته باشید که در آب ذرات و مواد اضافه وجود نداشته باشد. (در نظر داشته باشید که پمپ آب شناور شعاعی توانایی پمپاژ مایعات دارای ماسه و شن را ندارد. حتما برای پمپاژ اینگونه سیالات از پمپ کوزه ای استفاده نمایید.) پمپ آب شناور را به هیچ وجه بدون استفاده رها نکنید، زیرا باعث مسدود شدن ورودی های پمپ آب توسط رطوبت و گرد و خاک می شود و دیگر کار نخواهد کرد.

۶- معایب پمپ شناور

- گر قطعات آب بندی به مشکل بخورد باعث نشت آب به داخل اجزای آسیب پذیر می شود.

منابع

- فولادگر، امیر مسعود. ۱۳۹۱ شبیه سازی، طراحی و بهینه سازی

- عملکرد پمپ الکتریکی شناور نصب شده در یکی از چاههای شرکت ملی مناطق نفت خیز جنوب. ماهنامه اکتشاف و تولید. شماره ۹۸

-Silva Vieira, Tatiane and José Ricardo Siqueira. (۲۰۱۵).

Analytical study of pressure losses and fluid viscosity effectson pump performance during monophasic flow inside an ESP stage. Journal of Petroleum Science and Engineering

-Trevisan, F. Prado, M., ۲۰۱۱. Experimental investigation of the viscous effect on two-phase-flow patterns and hydraulic performance of electrical submersible pumps. J. Can. Pet. Technol. ۵۰(۴), ۴۵-۵۲.

-Hydraulic Institute, ۱۹۴۸, Tentative Standards of HydraulicInstitute: Charts for the Determination of Pump PerformanceWhen Handling Viscous Liquids, The Institute, OH.

-Zhu, J., et al., CFD simulation and experimental study of oilviscosity effect on multi-stage electrical submersible pump (ESP) performance. J. Petrol. Sci. Eng.(۲۰۱۶).

-Li, W.G., ۲۰۰۲. Experimental investigation of performance ofcommercial centrifugal oil pump. World Pumps ۲۰۰۲(۴۲۵), ۲۶-۲۸

-Turzo, Z., Takacs, G.,Zsuga, J., ۲۰۰۰. Equations correctcentrifugal pump curves for viscosity. Oil Gas. J. ۹۸ (۲۲), ۵۷-۶۱.

-Stel, H. and T. Sirino (۲۰۱۵), Numerical investigation of the flow in a multistage electric submersible pump.

-Hole, G. Fluid Viscosity Effects on Centrifugal Pumps.

-Gulich, J.F. , ۱۹۹۹a. Pumping highly viscous fluids withcentrifugal pumps – Part ۱. World Pumps ۱۹۹۹a(۳۹۵), ۳۰-۳۴.

- نبود آب می تواند باعث گرمای بیش از حد موتور و آسیب رسیدن به آن شود.

- اگر پمپ به طور کامل در آب غوطه ور نشود می تواند به شدت آسیب ببیند.

-در مقایسه با انواع دیگر پمپ ها قیمت بیشتری دارند

آب بندی و مهر و موم پمپ به مرور زمان از بین می رود.

-موتور این نوع پمپ به مراقبت زیادی نیاز دارد که دچار دمای بیش از حد نشود.

- این پمپ به صورت هرمیتیک آب بندی شده که به مرور زمان زنگ می زند بنابراین آب می تواند به داخل موتور نفوذ کرده و منجر به آسیب شود.

-تعمیر و نگهداری این پمپ ها دشوار است.

-به خاطر ویژگی های مکانیکی پیچیده قیمت بالاتری دارند.

۷- نتیجه گیری

به طور کلی بالا بودن بازدهی کار، صرفه جویی در انرژی، پائین بودن هزینه های راه اندازی و نگهداری و عدم نیاز به فونداسیون، می باشد.

نکته ای که باید در این زمینه به آن اشاره داشت این است که پمپ شناور، مستحکم بوده، بدون صدای اضافی کار می کند و باعث ایجاد حرارت در پیرامون خود نمی شود یا به عبارتی به دلیل اینکه درون سیال پمپ شونده قرار دارد، دمای تولید شده توسط پمپ به سرعت منتقل شده و داغ نمی کند. تمامی موارد مذکور مصرف این نوع از پمپ ها را در سطح کشور ایران بسیار گسترش داده است.