

بهسازی چاه های آب با استفاده از روشهای پیشرفته مافوق فشار و مافوق صوت – مطالعه موردی شهر قم

مهدی نظرزاده*؛ عبدالحمید توکلی بینا*؛ محمد اصفهانیان*

چکیده

عوامل متعدد شامل مشخصات ذاتی سفره آب زیرزمینی، کیفیت آب، عدم رعایت نکات فنی در طراحی، توسعه و بهره برداری چاه و ... موجب کاهش آبدهی یا بروز مشکلاتی برای چاه آب می شود. با توجه به هزینه های سنگین و محدودیتهای حفر چاه جدید، بهسازی چاه برای بازگرداندن آن به شرایط اولیه بهره برداری یا افزایش آبدهی اجتناب ناپذیر است. در این مقاله ضمن تشریح علت بروز مشکلات چاه ها، نتایج حاصل از بهسازی ۲۱ حلقه چاه آب شرب قم به روشهای پیشرفته مافوق فشار و مافوق صوت ارائه می شود. پس از انجام بهسازی، علاوه بر افزایش آبدهی و حذف ماسه دهی چاه ها، میزان نیترات و آلودگی کلیفرمی و هتروتروپی کاهش قابل ملاحظه داشته است.

واژه های کلیدی: بهسازی چاه، مافوق صوت، مافوق فشار، اسیدشویی و ویدئومتری.

۱- مقدمه

بازگرداندن ظرفیت آبدهی چاه های آب به حالت اولیه (زمان حفر) و یا افزایش نسبی در آبدهی چاه نسبت به حالت فعلی با استفاده از روشهای مختلف را بهسازی چاه های آب گویند.

عدم رعایت نکات فنی در هنگام طراحی، حفر و توسعه چاه و بهره برداری از آن و از طرف دیگر رسوب زاید و یا خورنده بودن آبهای زیرزمینی، عملاً منجر به کاهش شدید آبدهی چاه ها و حتی از رده خارج شدن آنها می شود. به منظور دستیابی به علت یا علل کاهش ظرفیت آبدهی یا دیگر مشکلات چاه ها، استفاده از دوربین های درون چاهی (ویدئومتر) توصیه می شود که با فیلمبرداری از اعماق مختلف در جهات افقی و قائم و قدرت چرخش ۳۶۰ درجه ای، عمده دلایل بروز مشکل را به تصویر می کشد تا در مراحل بعدی با استفاده از یک یا چند روش بهسازی (Rehabilitation) نسبت به رفع مشکلات ایجاد شده و افزایش ظرفیت آبدهی چاه اقدام شود.

معمولاً زمانی اقدام به بهسازی می شود که آبدهی چاه بسیار کاهش یافته یا ماسه دهی بسیار از حد مجاز بالاتر رفته و ... که در این شرایط علاوه بر اینکه هزینه بهسازی بسیار افزایش می یابد احتمال رسیدن به شرایط اولیه چاه کم می شود. امروزه در کشورهای پیشرفته نگهداری و حفظ چاه آب از مهمترین مسائل فنی صنعت آب است که از شروع عملیات حفاری آغاز می شود و پس از تکمیل عملیات مقدماتی با انجام تکنیکهای توسعه و شستشو و در طول مدت بهره برداری طی یک برنامه صحیح و دقیق و بالاخره سرویس بموقع چاه انجام می شود.

معمولاً هزینه نگهداری پیشگیرانه چاه ها ۱۰-۲۰ درصد هزینه بهسازی است و هزینه بهسازی حدود ۲۰-۱۰ درصد هزینه حفر و تجهیز چاه جدید می باشد. بنابراین صرف وقت و هزینه برای نگهداری مداوم چاه، یک سرمایه گذاری مطمئن و عاقلانه ترین اقدام است.

ماکزیمم کردن بازدهی و عمر چاه باید از زمان طراحی و قبل از حفر و توسعه آن آغاز شود. برخی عوامل بازدهی پایین چاه اگر در طول فاز طراحی و توسعه چاه بخوبی دقت و نظارت شود قابل پیشگیری است (انتخاب محل حفر، طراحی سطح ورودی چاه، انتخاب نوع و جنس لوله، حفر و توسعه مناسب و ...).

* مدیر بهره برداری از تأسیسات فاضلاب شرکت آب و فاضلاب استان قم، nazar_1356@yahoo.com.

* مدیر عامل شرکت آب و فاضلاب استان قم.

* رئیس اداره آبرسانی شرکت آب و فاضلاب استان قم.

۲- مشکلات چاههای آب و عوامل ایجاد آنها

چاههای آب تحت تأثیر عوامل مختلف فیزیکی و شیمیایی مثل ترکیب شیمیایی آبهای زیرزمینی، گازهای محلول، PH آب، سرعت جریان آب، تغییرات دما، نوسانهای سطح آب زیرزمینی و فعالیت انواع باکتریها، دچار جرم‌گرفتگی و خوردگی شده که مشکلات ناشی از این عوامل عمدتاً به شکل کاهش بازدهی چاه بروز می‌کند که شناخت این عوامل و نحوه تأثیر هر کدام بر ساختمان چاههای آب می‌تواند تا حد زیادی در کاهش بروز مشکلات حتی جلوگیری از تأثیر بیشتر آنها بر چاههای آب و افزایش طول عمق مفید آنها مؤثر باشد.

مهمترین مشکلات چاههای آب عبارتند از

۲-۱- کاهش آبدهی چاه

کاهش سطح آب زیرزمینی در آبخوان، رسوب مواد محلول آب در بخش فیلتر شنی (گراول پک) و شبکه‌های لوله جدار، رشد باکتری و نهایتاً انسداد بیولوژیکی، ماسه‌دهی و فرسوده شدن تجهیزات چاه از دلایل عمده کاهش آبدهی می‌باشند.

۲-۲- تغییر کیفیت آب چاه

تغییر کیفیت آب چاه به سه حالت فیزیکی (تغییر رنگ آب به دلیل وجود مواد معلق، باکتریها، شن و ماسه و ...)، شیمیایی (هجوم آبهای شور مجاور آبخوان بدلیل برداشت بیش از حد سفره‌های آبدار- افزایش مواد محلول در آب به ویژه کلرید سدیم) و بیولوژیکی (تغییر در بو و مزه آب بیشتر به خاطر نوعی رشد بیولوژیک - بوهای معمولی عبارت از بوی تخم‌مرغ گندیده، بوی مواد نفتی، بوی خاک، بوی ماهی و بوی مرداب می‌باشد) باشد.

۲-۳- جرم‌گرفتگی تجهیزات چاههای آب

رسوب و تجمع مواد آلی و غیر آلی بر روی لوله جدار، اسکرین‌ها و فضای بین عناصر تشکیل دهنده لایه آبخوان اطراف چاه را که تحت شرایط مناسبی به وقوع می‌پیوندد، جرم‌گرفتگی یا پوسته‌بندی می‌گویند. رسوبات حاصل ابتدا با ایجاد ناهمواری‌هایی در محل‌های ورودی آب به چاه، افزایش موضعی سرعت جریان و تلاطم و آشفته‌گی آب را به همراه داشته و نهایتاً باعث کاهش آبدهی چاه می‌شوند. جرم‌گرفتگی می‌تواند از نوع شیمیایی، بیولوژیکی و فیزیکی باشد:

۲-۳-۱- جرم‌گرفتگی شیمیایی: چنانچه تغییری در درجه حرارت و فشار گاز دی اکسید کربن محلول در آب ایجاد شود برخی ترکیبات شیمیایی محلول مثل بی‌کربنات کلسیم و بی‌کربنات آهن به مواد نامحلول مثل کربنات کلسیم و کربنات آهن تبدیل شده و به صورت پوسته‌ای بر روی لوله جدار، شبکه‌ها (اسکرین‌ها) و گراول‌های پشت لوله جدار رسوب می‌کنند و نتیجتاً باعث کاهش آبدهی چاه می‌شوند.

۲-۳-۲- جرم‌گرفتگی بیولوژیکی: رسوب مواد حاصل از فعالیت باکتری‌های احیا کننده سولفات و باکتری‌های آهن‌خوار و ... جرم‌گرفتگی باکتریایی یا بیولوژیکی نامیده می‌شود که شامل رسوبات ژله‌ای سفت و بقایای موجودات ذره‌بینی و همچنین لجن حاصل از عملکرد موجودات تک یاخته‌ای است که از آمونیاک و مواد آلی تغذیه می‌کنند.

۲-۳-۳- جرم‌گرفتگی فیزیکی: گرفتگی یا انسداد بخش مشبک لوله جدار یا اسکرین‌ها و فضاهای خالی بین دانه‌های تشکیل دهنده آبخوان توسط مواد دانه ریز مانند ماسه، سیلت و یا گل حفاری باقی مانده در چاه، شکل عادی و معمول جرم‌گرفتگی فیزیکی می‌باشد که معمولاً جرم‌گرفتگی را کد نامیده می‌شود. اتلاق این عبارت به این دلیل است که ذرات ماسه و سیلت در مقابل پاک کننده‌های شیمیایی مقاوم بوده و می‌تواند مشکلات زیادی را در آبدهی چاهها ایجاد نمایند. علت این جرم‌گرفتگی را می‌توان به عدم توجه کافی در هنگام شستشو و توسعه چاه پس از حفر و یا عدم رعایت اندازه دانه‌ها در زمان گراول پکینگ و همچنین ماسه دهی چاه‌ها مرتبط دانست

۲-۴- خوردگی تجهیزات چاههای آب

انحلال فلزات و سایر تجهیزات چاه‌ها را خوردگی، می‌نامند. خوردگی می‌تواند از نوع الکترولیتی (عبور یک خط انتقال نیرو با ولتاژ بسیار زیاد از بالای چاه)، الکتروشیمیایی (وقتی دو فلز مختلف در چاه وجود داشته باشد) و میکروبیولوژیکی (تولید رسوب هیدروکسید آهن قرمز مایل به قهوه‌ای، سولفید آهن و لجن توسط باکتریها) باشد. PH و دمای آب، دی اکسید کربن و کلرورهای محلول در آب، وجود سولفات آهن، حضور باکتریهای آهن‌خوار و احیا کننده سولفات حضور و افزایش هیدوژن سولفور، دی اکسید گوگرد و دیگر گازهای مشابه و ... از عوامل مؤثر بر خوردگی در چاه می‌باشند.

- از مشکلات خوردگی در چاه می توان به موارد زیر اشاره کرد:
- گشاد شدن شبکه های لوله جدار و در نتیجه ورود تدریجی مواد ریزدانه به چاه و آغاز ماسه دهی و نتیجتاً ریزش ناگهانی دیواره چاه و خراب شدن ساختمان چاه.
- کاهش مقاومت لوله جدار در مقابل فشار طبقات و در نتیجه تخریب چاه.
- رسوب مواد ناشی از پدیده خوردگی شیمیایی و در نتیجه انسداد شبکه های بخش مشبک لوله جدار و کاهش تدریجی ظرفیت بازدهی چاه.

۳- روشهای شناسایی مشکلات چاه های آب

اطلاعات مربوط به سطح آب زیرزمینی، میزان پمپاژ، نتایج تجزیه شیمیایی آب چاه، آزمایشهای بیولوژیکی، لوگ حفاری و لوله گذاری و همچنین تصاویر و فیلم های ویدیویی در شناخت مشکلات چاه های آب مؤثر می باشد. با استفاده از نتایج تجزیه شیمیایی آب می توان پتانسیل ایجاد رسوب را بررسی کرد. با استفاده از آزمایش بیولوژیکی روی نمونه آب چاه می توان به نوع و تعداد باکتری های آهن خوار، باکتری های احیا سولفات و باکتری های تشکیل دهنده رسوب لزج و غیره پی برد. استفاده از لوگ حفاری چاه های آب برای تشخیص انسداد شبکه های لوله مشبک، مهم است. بررسی های مشاهده ای چاه های آب (ویدئومتری) شاید مهمترین وسیله جهت تشخیص مشکلات چاه های آب باشد. البته پایش کیفیت آب به عنوان اولین گام در نگهداری پیشگیرانه یا شروع بهسازی می باشد.

۴- روشهای بهسازی چاه های آب

هیچ راه حل منحصر به فردی برای بهسازی تمام چاه ها وجود ندارد. کاربرد روش های بهسازی باید متناسب با وضعیت چاه، جزئیات کامل آن (نوع اسکرین و شبکه ها، شرایط فیلتر شنی Gravel pack پشت لوله جدار، نوع و بافت آبخوان) و علت انسداد باشد.

اگر همه موارد فنی در مراحل طراحی، حفر، توسعه و بهره برداری چاه رعایت شود پس از مدتی (دیر یا زود) کاهش آبدهی، خوردگی، جرم گرفتگی و ... رخ خواهد داد. از این رو بهسازی چاه های آب با کاربرد یکی از روش ها و یا تلفیقی از روش های بهسازی ضروری و الزامی است.

روش های فراوان و متنوعی برای بهسازی چاه های آب وجود دارد که به برخی از آنها اشاره می شود.

۴-۱- روش های مکانیکی بهسازی

- برس زنی، پیستون زنی و ...
- روش های هیدرولیکی (پمپاژ شدید یا مکش موضعی، مافوق فشار، پمپاژ مدار بسته و ...)
- روش های حرارتی (تزریق بخار، منجمد کردن CO₂ و ...)
- روش های impulse (روش های انفجاری، تخلیه سیال های فشرده، التراسوند و ...)

۴-۲- روش های شیمیایی بهسازی

- اسید شویی یا تزریق اسید
- تزریق مواد ضد عفونی کننده
- روش آکوا- فرید (Aqua-Freed)

۵- روش بهسازی چاه های شهر قم

آب مورد نیاز شهر قم از ۴۶ حلقه چاه آب عمیق و نیمه عمیق واقع در دشت علی آباد و سطح شهر قم و نیز سد ۱۵ خرداد تامین می شود. با توجه به اینکه چاه های آب شهر قم تا سال ۱۳۸۷ بهسازی نشده و اطلاعات دقیقی از چاه ها در دست نبود و با توجه به توصیه کارشناسان مبنی بر انجام بهسازی برای هر ۳ تا ۵ سال و نیز انجام مطالعات کتابخانه ای و بررسی نتایج روش های مختلف بهسازی در ایران و جهان، تصمیم بر این شد که ۲۱ حلقه از چاه های آب شهر قم به روش تلفیقی شیمیایی و مکانیکی شامل مراحل اسیدشویی، مافوق فشار (ultra high pressure)، مافوق صوت (ultrasound) و مکش موضعی بهسازی شود. در ضمن قبل و بعد از بهسازی ویدئومتری هر چاه نیز انجام شد.

۵-۱- اسیدشویی

در روش اسید شویی از اسیدهایی مثل اسید کلریدریک، اسید سولفامیک، اسید استیک، هیدروکسی استیک، اسید سیتریک و اسید اکسالیک استفاده می شود. و برای بالا بردن راندمان و نفوذ بهتر اسید در عمق و جدار از تزریق هوا، پیستون و ... استفاده می شود. در شهر قم، از اسید سولفامیک ۹۹/۵ درصد به همراه بازدارنده خوردگی مناسب و

استفاده از پیستون استفاده شد.

۵-۲- دستگاه مافوق فشار

این سیستم متشکل از موتور دیزل قوی کوپله شده با پمپ پیستونی مناسب، شلنگ فشار قوی و دیگر تجهیزات مکمل و ایمنی است که در شستشو و پاکسازی جداره داخلی چاه از آن استفاده می گردد. این مجموعه مافوق فشار قوی قابلیت ایجاد فشار ۵۵۰ بار همزمان با دبی ۷۰ لیتر بر دقیقه را دارد که بوسیله شلنگ و نازل های مخصوص این فشار را به دیواره داخلی لوله جدار وارد می کند (شکل ۱).

مزایای استفاده از سیستم اولتراهای پرشر عبارتند از:

- عدم وارد کردن هیچ گونه خراشی بر بدنه چاه
- نفوذ پذیری به گراولهای پشت لوله مشبک جدار تا عمق ۵ سانتیمتر
- امکان کنترل کامل فشار و مدت عملیات توسط اپراتور
- عدم آلودگی سفره زیرزمینی
- کمترین استرس وارده بر بدنه چاه



شکل شماره ۱- دستگاه مافوق فشار

۵-۳- دستگاه مافوق صوت و مکش موضعی

امواج مابین فرکانس های ۲۰ کیلوهرتز و یک گیگاهرتز در گروه ما فوق صوت طبقه بندی می گردند که برای مقصود فعال سازی چاه، فرکانس های پایین بیشترین تاثیر را دارند.

در سال ۱۹۹۷ شرکت سونیک با همکاری انجمن آب آلمان اقدام به تاسیس آزمایشگاهی پیشرفته جهت شبیه سازی چاه ها تا عمق ۲۰۰ متر و تست آزمایشگاهی سیستم مافوق صوت ابداعی شرکت سونیک نمودند. در رسوب زدائی بوسیله این سیستم از انتقال انرژی تحت کنترل به وسیله موج استفاده می گردد که امواج از طریق مبدل های مخصوص در محل شیار لوله انتشار یافته و باعث ارتعاش گراولهای پشت لوله مشبک می گردند سپس رسوبات سست شده با استفاده از مکش موضعی قوی از لابلای گراول ها خارج می گردند. با توجه به فرکانس بالای دستگاه اولتراسوند ضربه های وارد شده بر گراولها ۲۰ هزار بار در ثانیه می باشد. شکل ۲ دستگاه التراسوند و نحوه استفاده همزمان از دستگاه مافوق صوت و پمپ شناور را نشان می دهد.

مزایا استفاده از دستگاه مافوق صوت عبارتند از:

- امکان کنترل کامل عملیات بوسیله اپراتور (تنظیم انرژی با توجه به مقدار و نوع رسوبات ناحیه)
- بدون اثرات مخرب زیست محیطی (عدم آلودگی سفره های زیرزمینی)
- هیچگونه مواد شیمیایی مصرف نشده و هیچگونه مواد شیمیایی ثانویه نیز تولید نمی گردد که از نظر زیست محیطی دارای ارزش بالایی می باشد.
- عدم وارد نمودن استرس بر بدنه چاه.
- نابود کننده باکتریهای موجود در چاه (جلوگیری از فعالیت باکتری های آهن خوار و ...)
- دسترسی به گراولهای پشت لوله مشبک تا عمق ۳۰ سانتیمتر



شکل ۲- دستگاه مافوق صوت و نحوه استفاده همزمان با مکش موضعی

۶- نتایج حاصل از بهسازی

۶-۱- افزایش آبدهی و حذف ماسه دهی

با توجه به در دست نبودن اطلاعات دبی چاه ها قبل از بهسازی و محدودیتهای اندازه گیری آن بعد از بهسازی تعیین میزان دقیق افزایش آبدهی مقدور نبود. تعداد ۵ حلقه از چاه های بهسازی شده بنا به دلایل مختلف (عمدتاً کاهش شدید آبدهی بخاطر جرم گرفتگی جدار و گروله ها با رسوبات) قبلاً خارج از مدار شده بودند که بعد از بهسازی کاملاً بازیابی شدند. ماسه دهی تمامی چاه ها در محدوده دبی مجاز آنها رفع شد و افزایش آبدهی برای کلیه آنها مشهود بود.

۶-۲- کاهش آلودگی نترات

میزان نترات چاه ها بطور متوسط حدود ۳۰٪ و برای برخی چاه ها تا ۹۰٪ کاهش داشته است. علت کاهش نترات را می توان ناشی از تغییر زونهای ورود آب و تغییر در سرعت ورود آب به داخل چاه از لایه های مختلف، تقویت پدیده دنیتریفیکاسیون در چاه دانست. لازم به ذکر است که این کاهش موقت نبوده و در طول زمان نیز ثابت مانده است.

۶-۳- کاهش آلودگی هتروتروپی و کلیفرمی

در زمینه کاهش آلودگی هتروتروپی و کلیفرمی نیز کاهش قابل ملاحظه وجود داشته است به عنوان مثال برای یکی از چاه ها که قبلاً خارج از مدار بوده است، HPC از بیش از ۵۰۰ به کمتر از ۸۰ و مجموع کلیفرم از ۱۱ به ۲ MPN/100MLIT رسیده است.

۷- نتیجه

- بمنظور جلوگیری از کاهش زود هنگام بازدهی و کنترل مشکلات چاه ها، ضروری است عملیات نگهداری پیشگیرانه چاه بصورت سیستماتیک (بخصوص پایش کیفیت آب و بازرسی های دوره ای اندازه گیری دبی، کنترل بو، مزه و کدورت آب) در اولویت قرار گیرد.
- بهسازی چاه بر اساس نتایج و تحلیل های دقیق و در زمان مناسب، که برای هر چاه از چند ماه تا چندین سال بسته به شرایط آن تغییر می کند، انجام شود. همچنین تجربه نشان داده که یک روش به تنهایی نتیجه چشمگیری نداشته و پیشنهاد می شود که ترکیبی از روشها استفاده شود.
- پیشنهاد می شود به یک روش تنها اکتفا نشود.
- فناوریهای نوین در امر حفاظت و بهره برداری چاه مانند قطعات کنترل مکش (جهت طبیعی کردن جریان آب در ورودی اسکرینها و جلوگیری از ماسه دهی و ...) بکار برده شود تا عمر مفید چاه و تجهیزات آن افزایش یابد.



- با توجه به تاثیر قابل ملاحظه بهسازی در کاهش نیتрат پیشنهاد می شود بهسازی چاه بویژه به روش التراسوند به عنوان گزینه ای در کنار پروژه های نیترات زدایی دیده شود.
- پیشنهاد می شود که برای ارزیابی تاثیر بهسازی بر افزایش آبدهی چاه با استفاده از پمپاژ پله ای و نیز تحلیل خاصیت نیترات زدایی بهسازی، تحقیقات بیشتری انجام شود.

تقدیر و تشکر

از آقای مهندس مجتهدی، مدیر محترم دفتر بهبود روشهای بهره برداری آب شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور که در انجام این کار نهایت همکاری را داشته اند تقدیر و تشکر می شود.

۸- مراجع

- [۱] " فصل چهارم: ویدئومتری و بازیابی چاههای آب " سایت شرکت سهامی مدیریت منابع آب ایران.
- [2] Houben, G.; Treskatis, C., " *Water Well Rehabilitation and Reconstruction* ", McGraw Hill 2007
- [۳] Stuart A. S., " *Recent Innovations in Well Rehabilitation* ", MS, CGWP , <http://www.groundwaterscience.com/oldsite/rehabinv.html>