یادداشت فنی

بهینه‌سازی فرایند حذف رسوب در خطوط آبرسانی (مطالعه موردی: قنات روستای اسفزار– شهرستان سربیشه)

حمید کاردان مقدم[1]، ابوالفضل اکبرپور[2]، محمد سعید حسینی بجد[3]، زهرا رحیم‌زاده کیوی[4]

۱- دانشجوی دکترای منابع آب، پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران (نویسنده مسئول) ۰۹۱۵۵۶۱۱۹۱۲ hkardan@ut.ac.ir
۲- دانشیار گروه مهندسی آب، دانشگاه بیرجند
۳- دانشیار گروه شیمی، دانشگاه بیرجند
۴- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد منابع آب، دانشگاه بیرجند

(دریافت ۹۳/۸/٦ پذیرش ۹٤/۲/۲۰)

چکیده

در این مطالعه به بررسی رسوبات کربنات کلسیم در قنات اسفزار در استان خراسان جنوبی پرداخته شد. مطالعات بر اساس کاهش سختی موقت آب در لوله‌های انتقال آب شرب در محدوده قنات انجام پذیرفت. با توجه به اینکه این قنات تنها منبع تأمین کننده آب شرب در سطح منطقه است لذا بررسی آن حائز اهمیت است. بر این اساس با افزایش pH آب توسط آهک اقدام به تشکیل رسوب در یک مخزن شد. برای تسریع در تشکیل هسته‌های رسوب از منعقدکننده‌های شیمیایی استفاده شد. بر اساس بهینه‌سازی صورت گرفته از بین منعقدکننده‌های سولفات آهن II، سولفات مس II و سولفات آهن III در pH برابر ۹/۵، ماده سولفات آهن III با توجه به مقدار EC برابر ۴۴۰ds و pH برابر ۷ انتخاب شد. بر اساس آنالیز ابعادی با استفاده از عدد رینولدز شبیه‌سازی با استفاده از دبی قنات، انجام شد که با توجه به نتایج آزمایشگاه مورد واسنجی قرار گرفت. نتایج نهایی در سیستم آبرسانی قنات کاهش رسوبات کربنات کلسیم را در سیستم آبرسانی منطقه نشان داد.

واژه‌های کلیدی: کربنات کلسیم، قنات، سختی موقت، سولفات آهن III، منعقدکننده

۱- مقدمه

جامعه امروز با تکیه بر امر توسعه پیش می‌رود که در این امر توسعه و مدیریت منابع آب از مهم‌ترین عوامل در جهت بهره‌وری است. توسعه یعنی برطرف نمودن نیازهای موجود بدون آنکه توانایی‌های نسل آتی را به‌مخاطره بیاندازد. استفاده از آب سالم و بهداشتی یکی از ضروریات در امر توسعه پایدار است. در سال‌های اخیر رشد روز افزون جمعیت بشری و تغییر اقلیم به‌وجود آمده، سبب افت در سفره‌های آب زیرزمینی شده که این افت سبب افزایش غلظت املاح و کاهش کیفیت آب شده است. مطالعات گسترده‌ای بر روی کیفیت آب و پارامترهای مؤثر بر آن به‌خصوص در شبکه‌های آبرسانی انجام شده که از آن جمله می‌توان به تحقیقات تای در سال ۲۰۰۸، الیمی در سال ۲۰۰۹، پیوندخانی در سال ۲۰۱۱ و گریتا در سال ۲۰۱۱ می‌توان اشاره کرد [۴-۱]. در این مطالعه که بر روی شبکه آبرسانی مجتمع اسفزار شهرستان سربیشه در استان خراسان جنوبی که منبع تأمین آب آن قنات با طول ۴۳۵ متر با ۸ میله و عمق مادر چاه ۲۰ متر است، انجام پذیرفت. این طرح به‌عنوان یک طرح پژوهشی- اجرایی در سال ۱۳۹۰ انجام و به بررسی شبکه انتقال و توزیع آبرسانی روستایی که مشکل عمده آن رسوب در شبکه و انسداد لوله‌های آبرسانی است، پرداخته شد و سعی برآن شد تا بهینه‌ترین روش کاهش و حذف رسوبات در منطقه به‌عنوان راهکار برای اجرا طراحی شود.

۲- مواد و روش‌ها

در یک سیستم رسوب‌گذار، ذرات معدنی از اصلی‌ترین اجزای تشکیل دهنده هستند که از نمک‌هایی تشکیل شده‌اند (به‌عنوان سختی آب) که حلالیت آنها تابع دما است. اجزای تشکیل دهنده ناخالصی‌های آب در اثر عوامل مختلفی (بعد از عبور از مرحله فوق اشباع) می‌تواند ته‌نشین شود. این عوامل شامل افت فشار، تغییر دما، تغییر جریان و تغییر pH است. اما برای آنکه املاح آب ته‌نشین شوند سه شرط فوق اشباع بودن، تشکیل هسته های اولیه و زمان تماس حائز اهمیت است [۵ و۶].

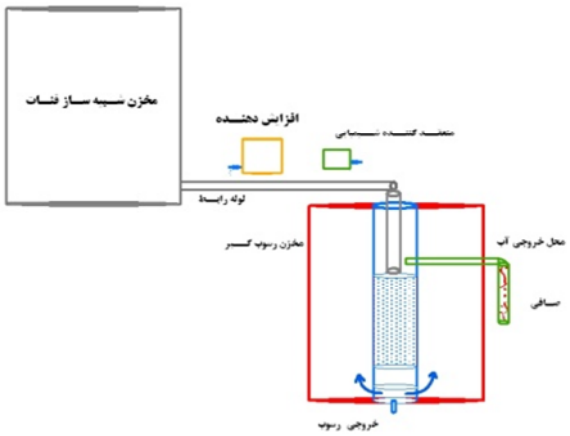
برای انجام آزمایش‌ها یک رابطه همبستگی بین افزایش آهک (اکسید کلسیم) در مقابل pH در حجم یک لیتر آب برآورد شد. سپس اقدام به ساخت محلول شد و بعد از رسیدن محلول به pH دلخواه، با افزودن منعقدکننده، محلول به هم زده شد و در نهایت بعد از گذشت زمان و ته‌نشینی، آزمایش‌های شیمیایی و فیزیکی آب

Archive of SID
www.SID.ir

انجام شد و اثرات هر منعقدکننده با جرم‌های افزودنی مختلف برآورد شد. اثر کیفی هر یک از این منعقدکننده‌ها به لحاظ پارامترهای فیزیکی با استفاده از دستگاه اسپکتوفتومتری با مدل UV-VIS 20D [1] مورد آنالیز قرار گرفت.

به‌منظور مدل‌سازی قنات اسفزار با استفاده از شبیه‌سازی پارامتری، ساخت سازه‌ای برای اجرای مراحل آزمایش در یک پایلوت کوچک انجام گرفت. بنابراین با توجه به برقراری جریان در مجرای قنات با آنالیز ابعادی به کمک عدد رینولدز، روابط برای ساخت مدل سازه قنات با استفاده از پارامتر دبی قنات استفاده شد. به این منظور با در نظر گرفتن دبی به‌عنوان اصلی‌ترین عامل برای آنالیز($Q = ۱۰$ lit/s)، اقدام به مدل‌سازی شد. آنالیز با در نظر گرفتن نسبت ۱ به ۱۰۰۰ دبی خروجی مدل ۰/۰۱ لیتر بر ثانیه در نظر گرفته شد. با توجه به زمان ماند آب، مدت زمان برای تشکیل رسوبات و ته‌نشینی نیز مدت ۱ ساعت در نظر گرفته شد. بر اساس نسبت انتخاب شده برای مدل‌سازی قنات، ابعاد ساخت مدل انتخاب شد. شبیه‌سازی مطابق شکل‌های ۱ و ۲ ارائه شده است. از

شکل ۱- حالت بهینه در نصب تجهیزات در مدل حذف رسوب موقت



شکل ۲- نمای مدل فیزیکی طراحی شده برای سیستم حذف رسوب

لوله‌های پلی‌اتیلن و چدنی به‌عنوان رابط ورودی آب بین قنات تا مخزن رسوب‌گیر استفاده شد. البته استفاده از لوله‌های چدنی با توجه به معیارهای محیط زیست، برای استفاده شرب در سال‌های اخیر کاهش یافته و لذا استفاده از این لوله‌ها در سیستم حذف رسوب تنها جنبه مقایسه‌ای دارد. زبری لوله نقش مهمی در حذف رسوبات و تجمع رسوبات جهت جمع‌آوری دارد. در طرح منتخب لوله حاوی آب، آهک و منعقدکننده‌ها به داخل مخزن اولیه ریخته شد به‌طوری که هم از کف و هم از جداره با حوضچه رسوب‌گیر در ارتباط بود.

۳- نتایج و بحث

به‌منظور مدل‌سازی و تشکیل و تسریع هسته‌زایی ذرات رسوب از آهک (اکسید کلسیم) و سود سوزآور استفاده شد؛ این ماده پس از آزمایش‌های مختلف و توجه به pH برابر ۹/۵ و هزینه‌های اقتصادی انتخاب شد (جدول ۱). همچنین از سه نوع منعقدکننده شیمیایی (سولفات آهن II، سولفات مس II و سولفات آهن III) استفاده و با توجه به شرایط محیطی، زیست‌محیطی، پارامترهای شرب و غیره، سولفات آهن III برگزیده شد (شکل‌های ۳ و ۴). سولفات آهن II به‌دلیل عدم پایداری مناسب با توجه به گرفتن جواب‌های مناسب نمی‌تواند منعقدکننده بهینه‌ای باشد زیرا با قرار گرفتن در معرض اکسیژن، آهن II تبدیل به آهن III شده و با اکسیداسیون آهن، زنگ آهن قبل از انعقاد رسوب تشکیل می‌شود. در این حالت رنگ سبز محلول که ناشی از منعقدکننده است، تبدیل به غبار زرد رنگ شده و زنگ آهن تشکیل می‌شود. سولفات مس II نیز به‌دلیل عدم کارایی مناسب در سیستم‌های شرب نتوانست جوابگوی مناسبی برای حذف رسوب در مجاری انتقال آب شرب باشد. زبری لوله در تلاطم آب و مواد افزودنی نقش مهمی دارد. ایجاد زبری در یک لوله به میزان ذرات با درشتی بین ۱ تا ۲ میلی‌متر بر روی مدل به همراه استفاده از لوله‌های چدنی انجام شد. با توجه به آزمایش مانینگ انجام شده در آزمایشگاه، ضریب زبری ۰/۰۱۹ ارزیابی شد ($n=0.019$). نتایج حاکی از این مطلب است که زبری، سرعت حرکت آب و مواد معلق در لوله را کاهش می دهد و در نتیجه زمان برای تشکیل رسوب افزایش می‌یابد و باعث می‌شود تا سرعت هسته‌زایی ذرات رسوب افزایش یابد.

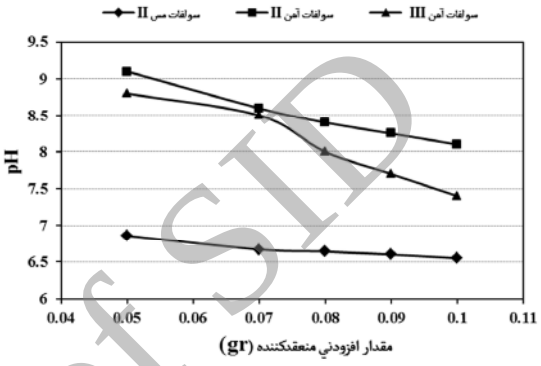
همچنین زبری در جداره لوله سبب تجمع رسوبات و تشکیل آنها و انتقال آنها به حوضچه رسوب‌گیر می‌شود و در نتیجه باعث افزایش راندمان رسوب‌گیری می‌شود (جدول ۲). با اتمام کلیه مراحل ساخت مدل و آزمایش‌های مربوطه، نتایج نشان داد که آب قنات

[1] Milton Roy com

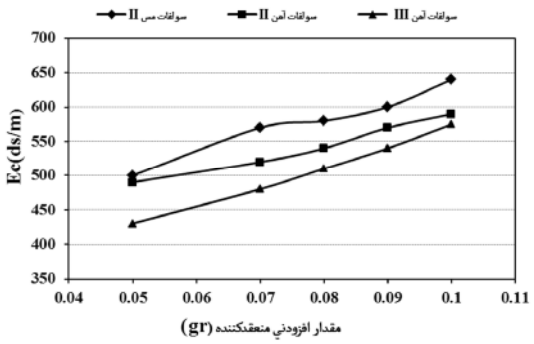
Archive of SID
www.SID.ir

جدول ۱- مقایسه عملکرد آهک و سود سوزآور در افزایش pH (pH = ۹/۵)

نوع ماده / مقدار سولفات آهن III	آهک (CaO)		سود سوزآور 2N − (NaOH)	
	pH	Ec (dS)	pH	Ec (dS)
۰/۱ گرم	۷/۴	۵۷۵	۸	۶۵۰
۰/۰۸ گرم	۸	۵۱۰	۸/۴	۶۱۵
۰/۰۷ گرم	۸/۵	۴۸۰	۸/۷۵	۵۹۵
۰/۰۵ گرم	۸/۸	۴۳۰	۹/۱	۵۶۰



شکل ۳- میزان افزودنی منعقدکننده‌های استفاده شده در برابر pH



شکل ۴- میزان افزودنی منعقدکننده‌های استفاده شده در برابر Ec

جدول ۲- مقایسه عملکرد لوله‌های به‌کار برده شده در مدل طراحی شده

آب ورودی		لوله مارپیچ		لوله با جداره صاف		لوله با جداره زبر	
Ec(ds/m)	pH	Ec(ds/m)	pH	Ec(ds/m)	pH	Ec(ds/m)	pH
۵۵۰	۷/۶	۴۴۰	۷/۷	۴۸۰	۷/۷	۶۲۰	۷/۲

pH اسفزار دارای یک سختی موقت است که با اضافه نمودن آهک برای افزایش و سولفات آهن III برای تسریع در تشکیل رسوب می‌توان سرعت تشکیل سختی موقت را افزایش و درنتیجه رسوبات را در یک حوضچه ته‌نشینی جمع‌آوری نمود. لذا بر این اساس مطالعات و آزمایش‌ها در سطح مدل معطوف به بهینه‌سازی مقدار آهک و سولفات آهن III شد و سایر پارامترها با توجه به نتایج به‌دست آمده در طرح آزمایشگاهی بهینه شد. بر این اساس با استفاده از انجام آزمایش‌ها مقدار ۱۴ گرم آهک افزودنی به سیستم برای افزایش pH و ۱/۷ گرم سولفات آهن III برای تسریع در تشکیل رسوب، بهینه‌ترین جواب را در مقیاس کیفی شرب در این سیستم نشان داد. همچنین برای استفاده و هم زدن آب و مواد افزودنی به سیستم، استفاده از یک

جدول ۳- نتایج آنالیز خروجی آب از مدل در مقایسه با قنات

پارامتر آزمایش	مقدار اولیه قنات	مقدار آنالیز شده
pH	۷/۲	۷/۷
Ec (ds/m)	۶۲۰	۵۱۰
Ca (mg/L)	۶۲	۴۸
Mg (mg/L)	۴۹	۴۰

Archive of SID

www.SID.ir

لوله با مارپیچ ایجاد شده توانست نتایج بهینه‌تری را ایجاد کند. جدول ۳ مقایسه نتایج با آنالیز اولیه آب از قنات را نشان می‌دهد.

۴- نتیجه‌گیری

هدف از این پژوهش ارائه روشی برای حذف و یا کم کردن مقدار رسوب کربنات کلسیم در خطوط لوله‌های انتقال آب بود. ابتدا به بررسی وضعیت منابع آب مورد مطالعه در سطح آزمایشگاه پرداخته شد. نتایج آنالیز آب حاکی از تشکیل رسوبات در طی یک بازه زمانی به مجرد خروج آب از منبع (قنات) بود. در آزمایشگاه مطالعات بر روی سختی موقت با روش سعی و خطا آغاز شد و بر این اساس محدودیت پارامترهای شرب تعریف شد. به‌منظور افزایش pH آب برای تشکیل رسوبات، از دو ماده اکسید کلسیم CaO و سود سوزآور NaOH استفاده شد و سه منعقدکننده سولفات آهن III، سولفات آهن II و سولفات مس II برای تسریع در تشکیل هسته‌های رسوب به‌کار گرفته شد. براساس نتایج به‌دست آمده، ماده اکسید کلسیم CaO به‌عنوان بهترین عامل افزایش دهنده pH و حذف سختی موقت آب و همچنین سولفات آهن III به‌عنوان منعقدکننده بهینه در pH برابر ۹/۵ معرفی شد. سپس یک مدل فیزیکی از قنات و خطوط لوله طراحی و ساخته شد. مدل فیزیکی آنالیز کوچکی از سیستم کاهش سختی موقت آب قنات اسفزار طراحی شد و با توجه به نتایج آزمایش‌ها انجام شده در آزمایشگاه، تحقیق بر روی لوله‌های مختلف با زبری‌های مختلف با منعقدکننده سولفات آهن III انجام و نتایج به‌دست آمده با نتایج آزمایشگاه مقایسه شد که حاکی از موفقیت طرح پیشنهادی در منطقه مورد مطالعه بود.

۵- مراجع

1. Alimi, F., Tlili, M. M., Ben Amor, B., Maurin, G., and Gabrielli, C. (2009). "Effect of magnetic water treatment on calcium carbonate precipitation: Influence of the pipe material." *Chemical Engineering and Processing*, 48, 1327-1332.
2. Tai, C. Y., Wu, C.K., and Chang, M.C. (2008). "Effects of magnetic field on the crystallization of $CaCO_3$ using permanent magnets." *Chemical Engineering Science*, 63, 5606-5612.
3. Peyvandi, K., Haghtalab, A., and Omidkhah, M.R. (2011). "Using an electrochemical technique to study the effective variables on morphology and deposition of $CaCO_3$ and $BaSO_4$ at the metal surface." *Journal of Crystal Growth*, 354, 109-118.
4. Gryta, M. (2011). "The influence of magnetic water treatment on $CaCO_3$ scale formation in membrane distillation process." *Journal of Separation and Purification Technology*, 80, 293-299.
5. Kermani, M. (2003). *Advanced methods in water treatment industry*, National Petrochemcial Company Pub., Tehran. (In Persian)
6. Chalkosh Amiri, M. (2007). *Principles of water treatment*, Arkan Pub., Tehran. (In Persian)

Archive of SID

www.SID.ir