

۱۴۰۲/۸/۳



رسوبگذاری و خوردگی در لوله‌های

آب شرب

(همراه با مطالعه موردی شبکه آب شرب شهر شیراز)

مؤلف:

دکتر نیما توان پور



نشر راشدین

سرشناسه : توان پور، نیما، ۱۳۶۴ -
 عنوان و نام : رسوبگذاری و خوردگی در لوله های آب شرب (همراه با مطالعه ی موردی
 پدیدآور : شبکه ی آب شرب شهر شیراز) / مولف نیما توان پور.
 مشخصات نشر : تهران : راشدین، ۱۳۹۴.
 مشخصات ظاهری : ۴۱۲ ص.
 شابک : 978-600-361-278-5
 وضعیت فهرست : فیا
 نویسی :
 موضوع : لوله های آب -- خوردگی
 موضوع : آب آشامیدنی -- سرب
 موضوع : لوله های آب -- خوردگی -- ایران -- شیراز -- نمونه پژوهی
 رده ی کنگره : TD ۱۳۹۴۹۱۵ در ۹ت/
 رده بندی دیوب : ۱۵/۶۲۱
 شماره کتابشمار ملی : ۴۱۳۹۴۰۶
 ملی :

■ انتشارات راشدین

■ عنوان کتاب: رسوبگذاری و خوردگی در لوله های آب شرب

■ مولف:

■ نظارت کیفی: راهب رقی

■ نظارت فنی: محمد معین عارقی

■ صفحه آرا و طراح جلد: افسانه حسن بیگی

■ چاپ و صحافی: نازو

■ نوبت چاپ: اول-۱۳۹۴

■ شمارگان: ۱۰۰۰

■ شابک: ۹۷۸-۶۰۰-۳۶۱-۲۷۸-۵

■ قیمت: ۲۵۰۰۰۰ ریال

■ نشانی: میدان انقلاب - کارگر جنوبی - کوچه گشتاسب - پلاک ۴ واحد ۶

■ تلفن / نمابر: ۶۶۱۲۳۴۴۹ - ۶۶۴۰۸۲۲۴

www.rashedin.info

Email: rashed1829@yahoo.Com

■ پایگاه اینترنتی:

■ پست الکترونیک:

کلیه حقوق برای ناشر محفوظ است

فهرست مطالب

مقدمه ۱۳

فصل ۱ پارامترهای شیمیایی و فیزیکی آب ۱۷

۱-۱-۱- کل جامدات محلول ۱۷

۱-۲-۱- هدایت الکتریکی ۱۸

۱-۳-۱- قلیائیت ۱۹

۱-۴-۱- سختی ۲۰

۱-۴-۱-۱- سختی کربناتی ۲۱

۱-۴-۱-۲- سختی غیر کربناتی ۲۲

۱-۴-۱-۳- سختی کل ۲۲

۱-۵-۱- کدورت ۲۴

۱-۶-۱- دما ۲۵

فصل ۲ رس گذاری در لوله های آب ۲۷

۲-۱-۱- رسوب ۲۷

۲-۳-۲- عوامل مؤثر در تشکیل رسوب ۳۰

۲-۳-۲-۱- اثر مواد لوله کشی و جنس سطح ۳۰

۲-۳-۲-۲- اثر سختی ۳۱

۲-۳-۲-۳- اثر قلیائیت ۳۱

۲-۳-۲-۴- اثر اسیدیته ۳۲

۲-۳-۲-۵- اثر کدورت ۳۲

۲-۳-۲-۶- اثر سرعت جریان ۳۳

۲-۳-۲-۷- اثر پتانسیل اکسایش و کاهش ۳۳

۲-۳-۲-۸- اثر عوامل هیدرودینامیکی ۳۴

۲-۳-۲-۹- اثر غلظت و دما ۳۴

۲-۳-۲-۱۰- اثر زمان و سرعت ترسیب ۳۵

۲-۴-۱- خطر ازدیاد رسوب سخت به علت افزایش دما ۳۶

۲-۵-۱- تشکیل هسته رسوب ۳۶

۲-۶-۱- کربنات کلسیم ۳۷

۲-۷-۱- فاز های بلورین کربنات کلسیم ۴۰

۴۳	۸-۲ فاز جامد کنترل کننده حلالیت
۴۴	۹-۲ تعادل کربناتی آب ها
۴۶	۱۰-۲ تعادل اسید کربنیک
۴۹	۱۱-۲ آب در تعادل کالکو کربنیک
۴۹	۱۲-۲ وجود دو لایه الکتریکی بر دیواره کربنات کلسیم در حضور آب خورنده
۵۰	۱۳-۲ کاهش موضعی در نسبت اشباع کربنات کلسیم
۵۱	۱۴-۲ تغییرات ترکیب آب به صورت موضعی
۵۱	۱۵-۲ آب رسوبگذار در حضور کربنات کلسیم
۵۲	۱۶-۲ ورود دو لایه الکتریکی بر دیواره کربنات کلسیم در حضور آب رسوبگذار
۵۲	۱۷-۲ ازدیاد موضعی نسبت اشباع کربنات کلسیم
۵۳	۱۸-۲ تغییرات موضعی ترکیب آب
۵۴	۲۰-۲ شرایط تشکیل هسته ملور کربنات کلسیم در آب رسوبگذار
۵۵	۲۰-۲ تشکیل هسته اولیه در حیطه مگن
۵۶	۲۱-۲ فرایند های مربوط به ذرات در شبکه های توزیع آب شرب
۶۵	فصل ۳ خوردگی

۶۵	۱-۳ تعریف خوردگی
۶۶	۲-۳ انواع خوردگی
۶۶	۱-۲-۳ خوردگی یکنواخت
۶۷	۲-۲-۳ خوردگی گالوانی
۷۱	۳-۲-۳ خوردگی حفره دار شدن
۷۳	۴-۲-۳ غده ای شدن
۷۴	۵-۲-۳ خوردگی سلول تغلیظ
۷۷	۶-۲-۳ خوردگی شیمیایی
۷۸	۷-۲-۳ جدایش انتخابی
۷۸	۸-۲-۳ گرافته شدن
۷۹	۹-۲-۳ خوردگی فرسایشی
۸۱	۱۱-۲-۳ خوردگی تنش
۸۱	۱۲-۲-۳ خوردگی توأم با خستگی
۸۲	۱۳-۲-۳ خوردگی حفره زایی

۸۲	۳-۲-۱۴ خوردگی بین دانه ای
۸۳	۳-۲-۱۵ خوردگی بیولوژیکی

فصل ۴ شیمی خوردگی ۸۵

۸۵	۴-۱ خوردگی الکتروشیمیایی لوله های فلزی
۸۹	۴-۲ خوردگی آبدار آهن
۹۴	۴-۳-۳ قطبی شدن (بولاریزاسیون)
۹۵	۴-۲-۴ مواد معدنی و سلول الکترولیتیک
۹۸	۴-۵ خوردگی مواد سیمانی
۹۹	۴-۶ عوامل اثر بر خوردگی
۹۹	۴-۶-۱-۱ اثر عامل شیمیایی بر خوردگی
۹۹	۴-۶-۱-۱-۱ اثر pH
۱۰۱	۴-۶-۱-۲-۱ اثر اکسیژن محلول
۱۰۵	۴-۶-۱-۳-۱ اثر قلیانیت
۱۰۷	۴-۶-۱-۴-۱ اثر کل جامدات محلول
۱۰۸	۴-۶-۱-۵-۱ اثر سختی
۱۰۹	۴-۶-۱-۶-۱ اثر کلرید و سولفات
۱۱۳	۴-۶-۱-۷-۱ اثر سیلیکات ها و فسفات ها
۱۱۴	۴-۶-۱-۸-۱ اثر پلی فسفات ها
۱۱۴	۴-۶-۱-۹-۱ اثر ارتوفسفات ها
۱۱۵	۴-۶-۱-۱۰-۱ اثر ماده آلی و ماده رنگی طبیعی
۱۱۶	۴-۶-۱-۱۱-۱ اثر مس
۱۱۶	۴-۶-۱-۱۲-۱ اثر آلومینیم
۱۱۷	۴-۶-۱-۱۳-۱ اثر آهن، روی و منگنز
۱۱۷	۴-۶-۱-۱۴-۱ اثر آمونیاک
۱۱۷	۴-۶-۱-۱۵-۱ اثر کلسیم
۱۱۸	۴-۶-۱-۱۶-۱ اثر سولفید هیدروژن
۱۱۹	۴-۶-۱-۱۷-۱ اثر کلرامین ها
۱۲۰	۴-۶-۱-۱۸-۱ اثر دی اکسید کربن
۱۲۱	۴-۶-۱-۱۹-۱ اثر پسماند کلر آزاد

۱۲۲	۴-۶-۱-۲۰- اثر افزودن بازدارنده خوردگی
۱۲۴	۴-۶-۲- تأثیر ویژگی های فیزیکی آب بر خوردگی
۱۲۴	۴-۶-۲-۱- اثر دما
۱۲۷	۴-۶-۲-۲- اثر سرعت جریان آب
۱۳۳	۴-۶-۳- اثر فعالیت های بیولوژیکی
۱۳۶	۴-۶-۳-۱- خوردگی در اثر باکتری های هوازی
۱۳۶	۴-۶-۳-۲- خوردگی به علت باکتری های غیر هوازی

فصل ۱۳۹ رسوب های حاصل از خوردگی و روش های کنترل آن

۱۳۹	۵-۱- مراحل تشکیل رسوب
۱۳۹	۵-۲- رسوب حاصل از خوردگی آهن
۱۴۱	۵-۳- ساختار رسوب حاصل از خوردگی
۱۴۲	۵-۳-۱- بستر پوشیده (زرد شده)
۱۴۳	۵-۳-۲- هسته متخلخل
۱۴۴	۵-۳-۳- لایه صدفی شکل
۱۴۵	۵-۳-۴- لایه سطح فوقانی
۱۴۷	۵-۴- رشد رسوب
۱۴۹	۵-۵- اثر کیفیت آب بر ساختار و ترکیب رسوب خوردگی
۱۵۰	۵-۶- راهکارهای کنترل رسوب سخت
۱۵۰	۵-۶-۱- همانعت از دما های بالا
۱۵۱	۵-۶-۲- اسمز معکوس
۱۵۱	۵-۶-۳- سبک کردن آب
۱۵۲	۵-۶-۴- تبادل یونی
۱۵۴	۵-۶-۵- کمپلکس کردن
۱۵۴	۵-۶-۶- استفاده از پلی فسفات
۱۵۵	۵-۶-۷- دستگاه رسوب زدای الکتریکی یا مغناطیسی

فصل ۱۵۹ روش های کنترل خوردگی

۱۶۰	۶-۱- انتخاب صحیح مواد شبکه و طراحی مناسب شبکه
۱۶۱	۶-۲- اصلاح کیفیت آب
۱۶۱	۶-۲-۱- تنظیم pH

۱۶۵	۲-۲-۶- کنترل مقدار قلیائیت
۱۶۶	۲-۲-۳- کاهش میزان اکسیژن
۱۶۸	۳-۶- پوشش های رنگ و جلا
۱۶۹	۴-۶- پوشش های سیمانی
۱۷۰	۵-۶- پوشش کربنات کلسیم
۱۷۲	۶-۶- حفاظت کاتدی
۱۷۴	۷-۶- استفاده از بازدارنده های خوردگی
۱۷۷	۶-۷-۱- بازدارنده های فسفاتی
۱۸۳	۶-۷-۲- بازدارنده های سیلیکاتی

ص ۱۸۷ شاخص های تعیین پتانسیل خوردگی و رسوب گذاری آب

۱۸۹	۷-۱- شاخص لارژیه (L)
۱۹۸	۷-۲- شاخص پایداری یا شاخص رایزنر (RI)
۲۰۱	۷-۳- شاخص لارسون - استرند
۲۰۲	۷-۴- شاخص خوردگی یا شاخص تانجمی (AI)
۲۰۳	۷-۵- شاخص پوکوریوس

فصل ۸ مطالعه موردی شبیه آب شرب شیر شیراز از نظر پتانسیل خوردگی

و رسوبگذاری ۲۰۵

۲۰۵	مقدمه
۲۰۷	۸-۱- ضرورت انجام تحقیق
۲۰۷	۸-۲- اهداف تحقیق
۲۰۸	۸-۳- مروری بر تحقیقات انجام شده
۲۱۶	۸-۴- مواد و روشها
۲۱۶	۸-۴-۱- منطقه مورد مطالعه
۲۱۷	۸-۴-۲- نمونه برداری از آبها
۲۲۴	۸-۴-۳- آنالیز آب ها
۲۲۴	۸-۴-۴- تعیین نرخ رسوبگذاری
۲۲۸	۸-۴-۵- آنالیز جنس رسوب ها
۲۳۲	۸-۵- نتایج
۲۷۱	۸-۶- بحث و نتیجه گیری

۲۷۱	۸-۶-۱-تفسیر پارامتر های شیمیایی آب های منابع و منازل
۲۷۲	۸-۶-۱-۱-کل جامدات محلول
۲۷۲	۸-۶-۱-۲-اسیدیته
۲۷۳	۸-۶-۱-۳-کلسیم
۲۷۳	۸-۶-۱-۴-منیزیم
۲۷۳	۸-۶-۱-۵-کلرید
۲۷۴	۸-۶-۱-۶-سولفات
۲۷۵	۸-۶-۱-۱-سختی
۲۷۶	۸-۶-۱-۱-قلیائیت
۲۷۶	۸-۶-۲-تفسیر پارامتر های شیمیایی حوزه ها
۲۷۶	۸-۶-۲-۱-کل جامدات محلول
۲۷۷	۸-۶-۲-۲-اسیدیته
۲۷۷	۸-۶-۲-۳-قلیائیت
۲۷۸	۸-۶-۲-۴-سختی
۲۷۸	۸-۶-۲-۵-کلسیم
۲۷۸	۸-۶-۲-۶-منیزیم
۲۷۹	۸-۶-۲-۷-سولفات
۲۷۹	۸-۶-۲-۸-کلرید
۲۷۹	۸-۶-۳-تفسیر شاخص ها در حوزه های شیراز
۲۷۹	۸-۶-۳-۱-شاخص های لائزله و رایزنر
۲۸۱	۸-۶-۳-۲-شاخص لارسون
۲۸۱	۸-۶-۳-۳-شاخص تهاجمی
۲۸۱	۸-۶-۴-تفسیر نرخ رسوبگذاری در حوزه ها
۲۸۳	۸-۶-۵-تفسیر آنالیز جنس رسوب ها
۲۸۴	۸-۶-۵-۱-آهن
۲۸۵	۸-۶-۵-۲-کلسیم
۲۸۵	۸-۶-۵-۳-منگنز
۲۸۵	۸-۶-۵-۴-منیزیم
۲۸۵	۸-۶-۵-۵-کربنات کلسیم

۲۸۶	 ۸-۶-۵-۶- نوع سختی
۲۸۷	 ۸-۶-۵-۸- سولفور
۲۸۸	 ۸-۶-۵-۹- سیلیکا
۲۸۸	 ۸-۶-۵-۱۰- آلومینیم
۲۸۸	 ۸-۶-۵-۱۱- روی
۲۸۹	 ۸-۶-۵-۱۲- سرب
۲۸۹	 ۸-۶-۵-۱۳- کادمیم و آرسنیک
۲۸۹	 ۸-۷- راهکارها و پیشنهادات
۲۹۳	 فهرست منابع مآخذ
۲۹۵	 فهرست پیوسته

سخن مؤلف

آب کاربردهای زیادی در تمام حوزه های فعالیت بشر دارد. انتقال آب سالم از منابع آب، مصرف کننده، همواره یکی از مهمترین مسائل مورد بحث در مهندسی آب بوده است. از جمله مشکلاتی که اکثر صنایع از جمله صنعت آب با آن مواجه هستند، رسوبگذاری و خوردگی در سیستم های مختلف است. رسوبگذاری و خوردگی خسارات زیادی، به ویژه کشی منازل و اتصالات و شیرآلات وارد می کنند. از این رو، همه ساله کنترل این دو پدیده در صنعت آب، هزینه قابل توجهی را به خود اختصاص می دهد.

رسوبگذاری در لوله های آب شرب، دارای منشأ اصلی است: یکی مواد معدنی موجود در منابع آب و دیگری در طی واکنش هایی در خود شبکه آب شرب (خوردگی) به وجود می آید. شاخص های مختلفی جهت ارزیابی پتانسیل رسوبگذاری و خوردگی ارائه شدند که هر کدام دارای مزایا و معایب می باشند. در تحقیقات صورت گرفته در ایران، به محاسبه این شاخص ها پسند آمده است. در صورتی که برای بررسی دقیقتر رسوبگذاری و خوردگی در لوله های آب باید به بررسی پارامترهای شیمیایی مؤثر در این مسئله و نیز نرخ رسوبگذاری پرداخت. در تحقیق صورت گرفته توسط اینجانب در سال های ۱۳۸۹ و ۱۳۹۰ در مورد شبکه آب شرب شهر شیراز (فصل ۸ این کتاب)، علاوه بر محاسبه این شاخص ها،

پارامترهای شیمیایی مهم در این زمینه اندازه گیری شده و مورد تحلیل قرار گرفتند. همچنین نرخ رسوبگذاری و جنس رسوب ها نیز مورد بررسی قرار گرفت. علاوه بر این، راهکارها و پیشنهاداتی جهت مقابله با این دو پدیده در این کتاب ارائه شده است. امید است که این کتاب بتواند راهنمای مناسبی برای آشنایی با پدیده های رسوبگذاری و خوردگی و نیز زمینه ای برای انجام تحقیقات دقیقتر در این باره در نقاط مختلف کشور باشد.

در آخر لازم است از استادان گرانقدرم، زنده یاد پروفیسور سیف الله امین (استاد بخش مهندسی آب دانشگاه شیراز)، جناب آقای دکتر مسعود نوشادی (دانشیار بخش مهندسی آب دانشگاه شیراز) و جناب آقای دکتر تورج هنر (دانشیار بخش مهندسی آب دانشگاه شیراز)، برادر عزیزم مهندس نوید توان پور که در انجام این تحقیق، اینجانب را یاری نمود، کمال تقدیر و تشکر را داشته باشم.

مقدمه

آب های طبیعی، حتی باران و برف، از لحاظ شیمیایی خالص نبوده و حاوی مواد آلی و معدنی محلول و معلق می باشند. آب های معدنی و چشمه ها که در بسیاری از موارد بدون انجام فرایند های معمول تصفیه مورد استفاده قرار می گیرند، حاوی مواد معدنی می باشند (که در بسیاری از موارد نیز از لحاظ تأمین مواد مورد نیاز بدن و سلامتی مصرف دهنده مفید هستند)، ولی باید عاری از مواد آلی به خصوص با منشأ خارجی (فانوسلایب ها و غیره) باشند.

به دلیل افزایش مصرف آب شرب در کل جهان، تلاش در جهت یافتن راهکار های جدید برای دست یافتن به مقادیر مناسب آب با کیفیت مطلوب به وجود آمده است. همچنین استفاده بهینه از انرژی و یافتن راه هایی جهت کاهش مشکلات رسوب، یکی از دغدغه های مهم در جهان می باشد.

آب های شرب بسته به منابعشان (آب زیرزمینی، آب رودخانه و یا آب دریا) و نیز فصل های مختلف سال و زمینی که این آب ها در آن جریان داشته اند، دارای ترکیبات و مقادیر بسیار متنوعی از مواد محلول می باشند. در کنار یون های ایجاد کننده سختی (کلسیم و منیزیم)، آب می تواند دارای کاتیون های دیگری نظیر آهن، سدیم، پتاسیم و مقادیر مختلفی از آنیون ها نظیر کلرید، سولفات، نیترات و بی کربنات باشد. در جایی که از آب طبیعی استفاده می شود، ته نشین شدن رسوب

آب یکی از مشکلات مهم می باشد.

انتقال آب سالم از منابع آب به مصرف کننده، همواره یکی از مهمترین مسائل مورد بحث در مهندسی آب بوده است. از عمده مشکلاتی که اکثر صنایع از جمله صنعت آب با آن مواجه است، رسوبگذاری و خوردگی در سیستم های مختلف است. آغاز توجه به این امر، به زمان طراحی سیستم ها بر می گردد که مخازن و لوله ها (و البته از نوع فلزی) در تماس با آب در شرایطی قرار می گیرند که منجر به ایجاد پدیده های رسوبگذاری و خوردگی و پیشروی آنها می شود. رسوبگذاری و خوردگی خسارات زیادی را به لوله کشی منازل و اتصالات و شیرآلات وارد می کنند. از این رو، همسایه کارل این دو پدیده در صنعت آب، هزینه قابل توجهی را به خود اختصاص می دهد. آریان سال ۱۹۸۹ در کشورهای صنعتی نشان می دهد که خسارات ناشی از این دو پدیده، حدود ۴ درصد درآمد ناخالص ملی در این کشور ها بوده است.

رسوبگذاری هنگامی رخ می دهد که آب درایم مقادیر زیادی از مواد معدنی مانند کربنات کلسیم باشد که می تواند بر سطوح ایجاد شود. مقادیر بیش از حد رسوبگذاری می تواند زیان بخش باشد، آنگرمکن ها معمولاً در قسمت ها برای تشکیل رسوب در یک سیستم آب خانگی می باشند. رسوبگذاری آب ناراحتی های گوارشی را نیز در بر دارد. همچنین رسوبگذاری آب باعث کاهش قطر داخلی سیستم های انتقال و توزیع می شود و در نتیجه لوله ظرفیت انتقال آب مورد انتظار را نخواهد داشت به این دلیل می بایست سیستم لوله کشی را تعمیر و یا تعویض کرد که هزینه های اقتصادی بالایی در بر خواهد داشت.

به طور کلی می توان مشکلات ناشی از رسوبگذاری را به صورت زیر بیان

نمود:

- ایجاد نشت آب در شیرهای کشویی
- ایجاد لکه هایی بر قسمت خارجی شیرهای آب شرب و لوله ها
- افت فشار و کاهش دبی جریان آب در لوله ها
- ترکیدن لوله ها بر اثر فشار بیش از حدی که به دلیل گرفتگی بر آنها وارد می

شود

- کاهش عمر لوله های آب
- استفاد از مواد شیمیایی برای رسوب زدایی باعث سوراخ شدن لوله ها می

شود

- گرفتگی فیلترها
- کاهش راندمان پمپ ها
- کاهش راندمان کار ارازم گرمایشی و سرمایشی مانند آبگرمکن، پکیج، برج های خنک کننده و چگالنده ها بدین صورت که رسوب ایجاد شده بر سطح المنت ها مانند عایقی قوی در برابر انتقال حرارت عمل نموده و در نتیجه باعث اتلاف انرژی زیادی می شود.

در کشور ما متأسفانه تاکنون موضوع رسوبگذاری و خوردگی در لوله های آب شرب جدی گرفته نشده و اطلاعات دقیقی در زمینه میزان خوردگی و رسوبگذاری آب شهرها در دسترس نیست. حتی در استانداردهای مصوب نیز این موضوع منظور نشده است. یکی از دلایل بالا بودن حجم آب از دست رفته در شبکه های توزیع آب شهرهای ایران، که بالغ بر ۲۸ درصد است (متوسط جهانی ۸ درصد می باشد)، عدم توجه به این مسئله است. این زیان، افزون بر خسارت حاصل از تعویض لوله ها می باشد.

لذا به نظر می رسد که پایش مداوم آب ها و بررسی عوامل مؤثر در این دو پدیده، امری ضروری است.