طب‌نظامی
پاییز ۱۳۸۸، دوره ۱۱، شماره ۳
صفحات: ۱۶۰-۱۵۵

پتانسیل خوردگی و رسوب‌گذاری آب آشامیدنی در سیستم‌های آب‌رسانی مراکز نظامی

قادر غنی‌زاده[۱] PhD، محمدتقی قانعیان* PhD

آدرس مکاتبه: گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی شهید صدوقی، یزد، ایران
mtghaneian@yahoo.com

تاریخ اعلام وصول: ۸۸/۳/٤ تاریخ اعلام قبولی مقاله: ۸۸/۸/۱۸

چکیده

اهداف. عدم کنترل کیفیت شیمیایی آب در شبکه‌های توزیع باعث وقوع پدیده‌های خوردگی و رسوب‌گذاری و آسیب‌های اقتصادی و بهداشتی می‌شود. هدف این مطالعه بررسی کیفیت شیمیایی آب آشامیدنی مورد استفاده در برخی از مراکز نظامی و تعیین پتانسیل خورندگی و رسوب‌گذاری آن بود.

روش‌ها. در این مطالعه توصیفی- مقطعی، کیفیت شیمیایی آب آشامیدنی (زیرزمینی) ۹ مرکز نظامی مستقر در حوزه‌های آبریز مختلف کشور در فصول مختلف سال تعیین شد. برای تعیین میزان عوامل شیمیایی، ۳ نمونه تصادفی لحظه‌ای در هر فصل برداشت و بررسی شد. حجم نمونه‌های برداشتی ۲ تا ۳ لیتر و ظروف مورد استفاده برای جمع‌آوری نمونه‌ها شیشه‌ای و پلی‌اتیلنی بود. حفاظت، نگهداری و آزمایش نمونه‌ها نیز مطابق روش‌های استاندارد انجام شد. پتانسیل خوردگی و رسوب‌گذاری با استفاده از اندیس اشباع *لانژلیه* (LSI)، اندیس خوردگی (AI) و اندیس *رایزنار* (RI) تعیین شد.

یافته‌ها. براساس مقادیر عددی محاسبه‌شده برای اندیس‌های موردنظر، آب آشامیدنی مورد استفاده در مراکز G3، G4 و G5 دارای پتانسیل خورندگی و در سایر مراکز، دارای پتانسیل رسوب‌گذاری بود. در تمام مراکز مورد مطالعه هر سه نوع اندیس محاسبه‌شده کیفیت یکسانی از نظر خورندگی یا رسوب‌گذاری برای آب مورد استفاده ارایه کردند.

نتیجه‌گیری. اطلاع از خورندگی و رسوب‌گذاری آب‌های مصرفی و پایش غلظت فلزات سنگین بایستی در برنامه‌های کنترل کیفیت آب مورد توجه قرار گیرد.

کلیدواژه‌ها: خوردگی، رسوب‌گذاری، سیستم آب‌رسانی، کیفیت آب، مراکز نظامی

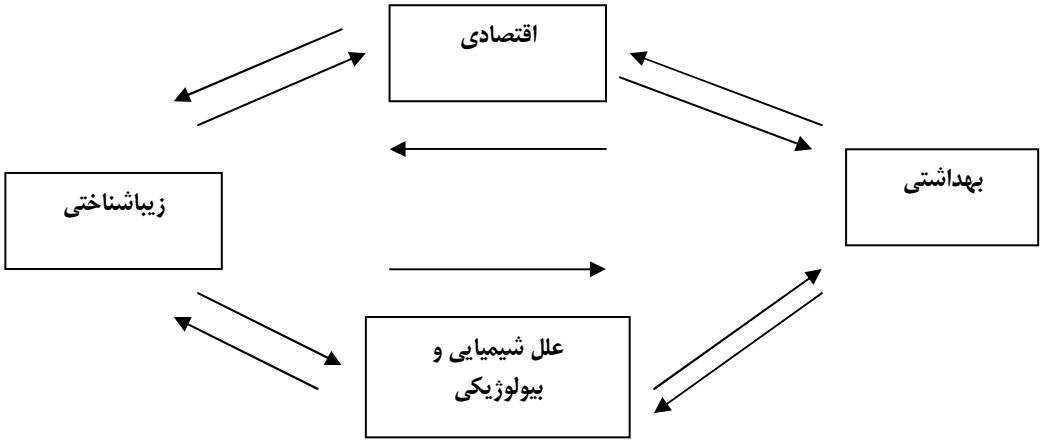
۱- "گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت" و "مرکز تحقیقات بهداشت"، دانشگاه علوم پزشکی بقیه‌ا...(عج)، تهران، ایران

مقدمه

خوردگی به‌طور عام پدیده‌ای است که در اثر تماس مواد با محیط اطراف به‌وجود می‌آید. در حوزه مهندسی مواد، با توجه به ماهیت فرآیند خوردگی، این پدیده در دو شاخه مهم بررسی می‌شود که شامل خوردگی حاصل از فرسایش و خوردگی الکتروشیمیایی است. نوع اول شامل تخریب مواد توسط عوامل فیزیکی نظیر برخورد مواد جامد معلق موجود در لوله‌های انتقال آب یا فاضلاب است. وقوع این پدیده با توجه به ماهیت عوامل موثر در آن در لوله‌های فلزی و غیرفلزی نظیر بتون مسلح محتمل است. اما نوع دوم شامل ایجاد پیل الکتریکی و انجام واکنش‌های الکتروشیمیایی بین محیط اطراف و مواد موجود در آن است که با توجه به ماهیت فرآیند در مواد فلزی نظیر لوله‌های فولادی مورد استفاده در خطوط انتقال و توزیع آب رخ می‌دهد [۱].

رسوب‌گذاری نیز شامل ترکیب یون‌های فلزی دوظرفیتی موجود در آب با عوامل سخت است. عمده‌ترین رسوبات تشکیل‌شده شامل کربنات‌کلسیم، کربنات‌منیزیم، سولفات‌کلسیم و کلریدمنیزیم است. در بعضی مواقع رسوب عوامل فوق‌الذکر به‌صورت کنترل‌نشده باعث انسداد لوله‌ها و افزایش هزینه‌های بهره‌برداری از تأسیسات آب‌رسانی می‌گردد [۲]. در حال حاضر، مسایل مربوط به خوردگی و رسوب‌گذاری درصد قابل‌توجهی از درآمد سرانه کشورهای مختلف را به خود اختصاص می‌دهد. به‌عنوان مثال، زیان‌های ناشی از این پدیده‌ها در ایالات متحده امریکا سالانه بیش از ۳۰۰ میلیارد دلار برآورد شده که بیش از ۴ تا ۵٪ درآمد ناخالص ملی آن کشور است. متأسفانه در ایران آمار دقیقی از خسارت خوردگی و رسوب‌گذاری در دسترس نیست، ولی بررسی تلفات آب تصفیه‌شده شهری نشان می‌دهد که سالانه به‌علت پوسیدگی‌های حاصله از خوردگی لوله‌های انتقال و توزیع آب بیش از ۳۰٪ آب‌های توزیعی به هدر می‌رود که این زیان علاوه بر هزینه‌های صرف‌شده برای تعویض و ترمیم لوله‌های آسیب‌دیده است [۳]. در سیستم‌های آب‌رسانی علاوه بر خسارت‌های مالی که در اثر از بین رفتن تأسیسات حاصل می‌شود، ورود محصولات حاصله از خوردگی در آب اغلب باعث بی‌میلی مصرف‌کنندگان نسبت به آب توزیعی شده و ممکن است به‌علت ورود فلزات سنگین نظیر سرب، مس، کرم و کادمیم سلامتی مصرف‌کنندگان نیز به مخاطره بیافتد [۴]. شکل ۱ طرح ساده‌ای از مشکلات ناشی از خوردگی در شبکه‌های توزیع آب را نشان می‌دهد [۵].

شکل ۱) روابط مشکلات ناشی از خوردگی در شبکه‌های توزیع آب [۶]



رسوب‌گذاری در این تأسیسات باعث کاهش میزان جریان آب در داخل لوله‌ها می‌شود که نتیجه آن اُفت فشار و افزایش انرژی لازم برای پمپاژ است. علاوه بر آن، رسوب ترکیبات مختلف باعث کاهش انتقال حرارت می‌شود که نتیجه آن افزایش مصرف انرژی یا حامل‌های انرژی نظیر نفت سفید، گازوییل و افزایش مشکلات زیست‌محیطی ناشی از پخش آلاینده‌ها است. بررسی ارتباط ضخامت رسوب تشکیل‌شده در تأسیسات و افزایش مصرف سوخت نشان می‌دهد که ضخامت‌های ۰/۵، ۱/۶ و ۳/۲ میلی‌متری از رسوبات ایجادشده باعث می‌شود که میزان مصرف سوخت به‌ترتیب ۷، ۱۸ و ۳۹٪ افزایش یابد که این مسئله از جنبه‌های مختلف اقتصادی و زیست‌محیطی بسیار مهم است [۶].

یکی از موثرترین عوامل پیدایش این پدیده‌ها و زیان‌های اقتصادی و بهداشتی آنها، کیفیت فیزیکی، شیمیایی و فیزیکوشیمیایی آب توزیع‌شده در این تأسیسات است. از مهم‌ترین مشخصه‌های کیفیت شیمیایی آب که در این پدیده‌ها موثر است می‌توان به غلظت اکسیژن محلول، غلظت کل جامدات محلول (TDS)، قلیاییت، دی‌اکسیدکربن و غلظت کلر باقی‌مانده در آب اشاره کرد. درجه حرارت از مهم‌ترین عوامل فیزیکی موثر بر پیدایش این پدیده‌ها است که با تأثیر بر pH آب باعث تأثیر بر خوردگی و رسوب‌گذاری می‌شود. pH آب از جمله مشخصه‌های فیزیکوشیمیایی است که بر این پدیده‌ها موثر است؛ به‌طوری‌که افزایش pH و قلیاییت با تأثیر بر افزایش میزان کربنات آب، که از یون‌های موثر در بازدارنگی

خوردگی است، شدت خوردگی را کاهش می‌دهد. از میان اجزای تشکیل‌دهنده جامدات محلول آب می‌توان به کلرور و سولفات اشاره کرد که افزایش این اجزا باعث افزایش شدت خوردگی می‌شوند. استفاده از کلر به‌منظور گندزدایی آب باعث تشکیل اسدهیپوکلرو، یون هیپوکلریت و یون هیدروژن می‌شود که از عوامل موثر بر خوردگی هستند. تأثیر این عوامل در آب‌های با قلیاییت کمتر بسیار شدیدتر است، زیرا چنین آب‌هایی در برابر تغییرات pH حاصله از تولید یون هیدروژن مقاومت کمتری دارند. بررسی‌ها نشان می‌دهد که اگر غلظت کلر آزاد آب بیش از ۰/۴mg/l باشد سرعت خوردگی افزایش می‌یابد. در این میان، نقش کلر ترکیبی در پدیده خوردگی مشخص نشده است [۴، ۷]. با توجه به این موارد و نقش کیفیت شیمیایی آب در خوردگی و رسوب‌گذاری در اجزای مختلف تأسیسات آب‌رسانی و مشکلات بهداشتی و اقتصادی ناشی از این پدیده‌ها و با توجه به این‌که تاکنون مطالعه جامعی در مورد پتانسیل خوردگی و رسوب‌گذاری آب آشامیدنی شهرها، به‌ویژه مراکز با شبکه آب مستقل نظیر مراکز نظامی انجام نشده است، این مطالعه با هدف بررسی پتانسیل خوردگی و رسوب‌گذاری در تأسیسات آب‌رسانی برخی از مراکز نظامی با استفاده از کیفیت شیمیایی آب و اندیس‌های اشباع رایزنار، لانژلیه و اندیس خوردگی انجام شد (شکل ۱).

روش‌ها

در این مطالعه کیفیت شیمیایی و پتانسیل خوردگی و رسوب‌گذاری آب آشامیدنی ۹ مرکز نظامی مستقر در محدوده حوزه‌های آب‌ریز مرکزی، شمالی، شرقی و غربی کشور در ۶ استان مختلف مورد بررسی قرار گرفت. تمام منابع آب مورد بررسی در این مطالعه آب زیرزمینی بودند. برای تعیین میزان عوامل شیمیایی، نمونه‌های تصادفی لحظه‌ای به تعداد ۳ نمونه برای هر مرکز در هر فصل مطابق دستورالعمل‌های مذکور در کتاب مرجع "روش‌های استاندارد آزمایش‌های آب و فاضلاب" برداشت شد. حجم نمونه‌های برداشتی ۲ تا ۳ لیتر و ظروف مورد استفاده برای جمع‌آوری نمونه‌ها شیشه‌ای و پلی‌اتیلنی بود. ظروف نمونه‌برداری شیشه‌ای قبل از برداشت نمونه‌ها با استفاده از محلول ۰/۰۵٪ اسیدفلوریدریک به مدت ۸ روز و ظروف پلی‌اتیلنی در ۱۰۰میلی‌لیتر آب محتوی ۵ گرم ید و ۸ گرم یدورپتاسیم به‌مدت یک هفته تثبیت شدند [۸]. حفاظت، نگهداری و آزمایش نمونه‌ها نیز مطابق کتاب مرجع روش‌های استاندارد انجام شد. اندازه‌گیری سولفات با استفاده از روش کدورت‌سنجی در طول‌موج ۴۵۰نانومتر، نیترات در طول‌موج ۲۲۰نانومتر با استفاده از اسپکتروفتومتر (مدل Pu8700، Philips؛ هلند) تعیین شد. کل جامدات محلول با روش وزن‌سنجی، اجزای سختی و قلیاییت با روش تیتراسیون و درجه حرارت و pH با استفاده از pHمتر مجهز به دماسنج (Hach Co؛ ایالات متحده) در محل نمونه‌برداری تعیین شد. تمام مواد شیمیایی مورد استفاده در آزمایش‌های شیمیایی آب نظیر معرف‌های اریوکرم‌بلاک‌تی (EBT)، EDTA، کلروباریوم و ترکیبات مورد استفاده برای تهیه معرف حالت‌دهنده برای اندازه‌گیری سولفات محصول شرکت مِرک (Merck؛ آلمان) بود. سختی کلسیم با توجه به میزان کلسیم اندازه‌گیری‌شده و اعمال ضریب ۲/۴۵ محاسبه شد [۹]. پارامترهای B و A برای نمونه‌های مختلف آب به‌ترتیب با استفاده از غلظت کل جامدات محلول و درجه حرارت آب تعیین و در محاسبه pH اشباع مورد استفاده قرار گرفت. پتانسیل خوردگی و رسوب‌گذاری با محاسبه pH اشباع (pHs) و استفاده از اندیس اشباع لانژلیه (LSI)، اندیس خوردگی (AI) و اندیس رایزنار (RI) تعیین شد [۱۰، ۱۱، ۱۲، ۱۳]. علت استفاده از اندیس‌های مختلف افزایش دقت مطالعه و کنترل خطاهای آزمایشگاهی بود. برای محاسبه این شاخص‌ها و pH اشباع و تعیین خورندگی و رسوب‌گذاری آب از روابط معتبر مورد استفاده در منابع بهره گرفته شد [۴، ۱۴، ۱۵].

رابطه (۱): $pH_s=A+B-\text{Log } Ca^{+}-\text{Log TALK}$

$LSI=pH - pH_s$

رابطه (۲): $RSI=2pH_s-pH$

رابطه (۳): $AI = pH + \text{Log } [(\text{Talk}) \times (H_{Ca})]$

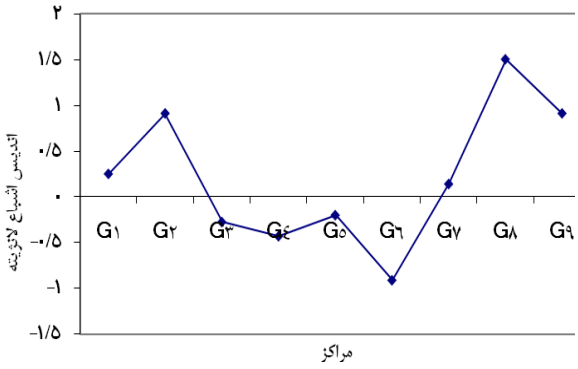
جدول ۱) نتایج آنالیز شیمیایی آب مراکز مورد بررسی

عامل← مرکز↓	کلسیم [$CaCO_3$] (mg/l)	سختی کلسیم [$CaCO_3$] (mg/l)	قلیاییت کل [$CaCO_3$] (mg/l)	pH	درجه حرارت (C°)	TDS (mg/l)	A	B
G1	۷۵±۲/۵	۱۸۷/۵±۶/۲۵	۱۵۵±۴/۵	۷/۹±۰/۱	۱۴±۳	۴۵۳/۶±۷/۵	۲/۲۵	۹/۸۶
G2	۴۰±۱/۳	۱۰۰±۳/۲۵	۱۵۳/۷۵±۳/۹	۸/۷۲±۰/۳۱	۱۸±۲/۱	۲۴۰±۵	۲/۱۵	۹/۸۴
G3	۴۶±۲/۱	۱۱۵±۵/۲۵	۱۶۰±۳/۱	۷/۸±۰/۲۵	۷±۲/۲	۳۹۸±۶/۵	۲/۴۳	۹/۸۳۵
G4	۵۶±۱/۸	۱۴۰±۴/۵	۱۳۶/۳±۵/۵	۷/۳۸±۰/۱۶	۸±۱/۸	۲۳۳ ± ۴/۷	۲/۴	۹/۸۶
G5	۵۶±۳/۲	۱۴۰±۸	۲۰۰±۴	۷/۵±۰/۲۲	۱۲±۱/۶	۳۰۴±۳/۵	۲/۳	۹/۸۵
G6	۱۳۹±۲/۸	۳۴۷/۵±۷	۱۹۰±۳/۵	۸/۳±۰/۴	۲۱±۲/۴	۱۱۰۶±۸/۴	۲/۳	۹/۹۱
G7	۱۵۰±۲/۴	۳۷۵±۶	۴۰۵±۲/۸	۶/۹±۰/۲۸	۲۱±۱/۵	۸۱۵±۵/۵	۲/۰۸	۹/۸۶
G8	۱۶۸±۳/۷	۴۲۰±۹/۲۵	۳۳۲±۴/۸	۸/۳±۰/۲	۲۴±۱/۳	۱۶۳۰±۴/۴	۲	۹/۹۳
G9	۵۷±۳/۱	۱۴۲/۵±۷/۷۵	۴۶۰±۳/۸	۸±۰/۳۴	۲۴±۲/۷	۷۵۲±۷/۲	۲	۹/۹

نتایج

طبق نتایج جدول ۱، مقادیر برخی پارامترهای شیمیایی آب در برخی مراکز مورد مطالعه از میزان استانداردهای سازمان جهانی بهداشت و استاندارد ملی بالاتر بود. در مرکز G2 میزان pH و در مراکز G6، G7، G8 و G9 میزان کل جامدات محلول (TDS) از مقادیر استانداردهای ملی و استاندارد سازمان جهانی بهداشت بالاتر بود [۱۶، ۱۷].

جدول ۲ و نمودارهای ۱، ۲ و ۳ مقادیر اندیس‌های شیمیایی خوردگی و رسوب‌گذاری محاسبه‌شده برای آب آشامیدنی مراکز مورد نظر را نشان می‌دهند. علی‌رغم این‌که اغلب پارامترهای شیمیایی آب مورد استفاده در این مراکز در محدوده استانداردهای ذکرشده سازمان جهانی بهداشت و موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران بود، اما به‌دلیل عدم تعادل در کیفیت کل آب، آب شُرب برخی از مراکز مورد مطالعه دارای خاصیت خورندگی و رسوب‌گذاری بودند.



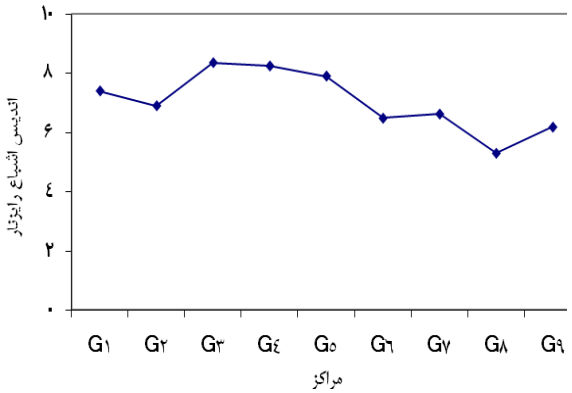
نمودار ۱) مقادیر اندیس اشباع لانژلیه [LSI] در مراکز مختلف

جدول ۲) میزان شاخص‌های خوردگی در آب مراکز مورد بررسی

مرکز	pHs	اندیس اشباع لانژلیه [LSI]	اندیس اشباع رایزنار [RSI]	اندیس خوردگی [AI]
G1	۷/۶۵	+۰/۲۵	۷/۴	۱۲/۳۶
G2	۷/۸۱	+ ۰/۹۱	۶/۹	۱۲/۹۱
G3	۸/۰۷۵	– ۰/۲۷۵	۸/۳۵	۱۲/۰
G4	۷/۸۱	– ۰/۴۳	۸/۲۴	۱۱/۷۳
G5	۷/۷	– ۰/۲	۷/۹	۱۱/۹۵
G6	۷/۳۹	+۰/۹۱	۶/۴۸	۱۳/۱۱
G7	۶/۷۶	+ ۰/۱۴	۶/۶۲	۱۲/۱
G8	۶/۸	+ ۱/۵	۵/۳	۱۳/۴۴
G9	۷/۰۹	+ ۰/۹۱	۶/۱۸	۱۲/۸۲

انـدیس اشـباع لانژلیـه (LSI) در مراکـز G3، G4 و G5 دارای مقادیر منفی و کمتر از صفر بود (نمودار ۱). مقادیر منفی این شاخص نشان داد که آب از نظر مقادیر مواد حل‌شده نظیر کربنات‌کلسیم ($CaCO_3$) اشباع نشده و پتانسیل ایجاد خورندگی مواد جدار لوله را داراست. اندیس اشباع لانژلیه در سایر مراکز مورد مطالعه دارای مقادیر مثبت و بالاتر از صفر بود. مقادیر این پارامتر (LSI>۰) نشان داد که در آب آشامیدنی این مراکز، $CaCO_3$ ممکن است رسوب کرده باشد. چنین شرایطی را می‌توان با بررسی میزان کل جامدات محلول موجود در آب این مراکز برآورد نمود.

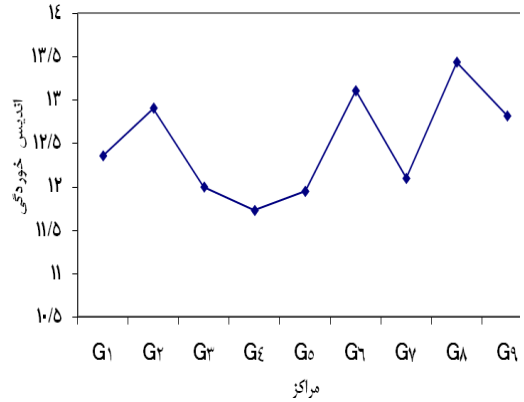
اندیس اشباع رایزنار (RSI) در آب آشامیدنی مراکز G3، G4 و G5 بالاتر از ۷/۵ و اندیس خوردگی (AI) در محدوده ۱۲–۱۰ بود (نمودار ۲ و ۳ و جدول ۲).



نمودار ۲) مقادیر اندیس اشباع رایزنار [RSI] در مراکز مختلف

مقادیر عددی مرتبط با این شاخص‌ها نشان داد که آب آشامیدنی این مراکز دارای پتانسیل خوردگی در حد متوسط بود. اندیس خوردگی در سایر مراکز بالاتر از ۱۲ و اندیس رایزنار کمتر از ۷/۵ است که نشان‌دهنده پتانسیل رسوب‌گذاری در آب آشامیدنی این مراکز بود. این شرایط در جدول ۲ و نمودارهای ۲ و ۳ نیز با توجه به مقادیر اندیس اشباع لانژلیه تأیید شده که این شاخص نیز دارای مقادیر بالاتر از صفر است.

از میان مراکز مورد مطالعه، آب آشامیدنی مرکز G4، دارای کمترین میزان قلیاییت و کل جامدات محلول بوده و بیشترین پتانسیل خوردگی را دارا بود.



نمودار ۳) مقادیر اندیس خوردگی [AI] در مراکز مختلف

بحث

به‌دلیل خوردگی و رسوب‌گذاری از مهم‌ترین مسایلی است که باید در پایش سیستم‌های توزیع آب با دقت بیشتری مورد توجه قرار گیرد، زیرا عدم توجه به کیفیت شیمیایی آب از نظر تعادل شیمیایی (خورندگی و رسوب‌گذاری) و پیدایش هر کدام از پدیده‌های فوق می‌تواند باعث آسیب‌های بهداشتی و اقتصادی فراوانی شود. بررسی‌ها نشان می‌دهد که در کشور، مقادیر قابل‌توجهی از آب در اثر نشت از شبکه‌های توزیع آب هدر می‌رود. میزان هدررفت آب در برخی از کشورها نظیر ایران بیش از ۲۰٪ است [۱۸]. از آنجایی که یکی از عوامل موثر در هدررفت آب، نشت‌های ایجادشده در اثر خوردگی سیستم‌های توزیع آب است، پایش کیفیت شیمیایی آب و کنترل تعادل آن می‌تواند منجر به افزایش عمر مفید تأسیسات آب‌رسانی شده و احتمال نشت و هدررفت آب را کاهش دهد. این الزامات در کشورهای کم‌آب نظیر ایران از اهمیت بسیار بالایی برخوردار است. از طرفی ایجاد رسوب در جدار داخلی لوله‌ها نیز از مسایل مهمی است که سبب ایجاد اُفت فشار در سیستم‌های توزیع شده و علاوه بر نارضایتی مصرف‌کنندگان باعث تحمیل هزینه‌های زیاد پمپاژ برای سیستم‌های توزیع خواهد شد. این شرایط هم‌چنین باعث اُفت راندمان سیستم‌های گرمایشی و تأمین‌کننده‌های آب گرم می‌شود [۵، ۶].

بررسی مقادیر شاخص‌های خوردگی و رسوب‌گذاری در آب آشامیدنی ۹ مرکز نظامی نشان می‌دهد که آب آشامیدنی مورد استفاده در این مراکز از نظر کیفیت شیمیایی متعادل نیست و دارای خوردگی و رسوب‌گذاری است. از میان مراکز مورد مطالعه ۳ مرکز دارای آب خورنده و ۶ مرکز دارای کیفیت آب رسوب‌گذار هستند. هرچند پتانسیل خوردگی و رسوب‌گذاری یا تعادل کیفیت آب در سیستم‌های پایش آب کشور چندان مورد توجه نیست، ولی این مطالعه و برخی از مطالعات مشابه نشان می‌دهد که آب برخی از استان‌های کشور از نظر تعادل شیمیایی وضعیت مطلوبی نداشته و پدیده خوردگی و رسوب‌گذاری در شبکه‌های توزیع آنها در حال انجام است که با نتایج این مطالعه مطابقت دارد. توجه به این مساله و کنترل تعادل شیمیایی آب به‌ویژه پدیده خورندگی آب با توجه به تأثیر این پدیده‌ها در بروز آسیب به منابع آب و سیستم‌های توزیع در مراکز با شبکه‌های مستقل نظیر مراکز نظامی از اهمیت بیشتری برخوردار است. از طرفی با توجه به تأثیر پدیده خوردگی در کاهش عمر مفید تأسیسات و افزایش مصرف سوخت در مراکز خانگی و تجاری و تأثیر مصرف بالای این حامل‌های انرژی در تشدید آلودگی هوا توجه به این مساله در مراکز شهری نیز بسیار مهم است. مطالعه انجام‌شده توسط *دهقانی* و همکاران در سال ۱۳۸۶ در استان فارس نشان می‌دهد که اندیس اشباع لانژلیه و شاخص رایزنار در آب آشامیدنی شهر شیراز به‌ترتیب در حدود ۰/۴۲+ و ۶/۷ است. این محققین گزارش کرده‌اند که بر اساس اندیس لانژلیه، ۹۵٪ نمونه‌های مورد آزمایش در زمان مطالعه دارای پتانسیل رسوب‌گذاری بودند. براساس گزارش این محققین و شاخص رایزنار، ۸۲٪ نمونه‌های مورد مطالعه دارای وضعیت متعادل و ۱۲٪ نمونه‌ها دارای پتانسیل خورندگی بوده‌اند [۱۸]. بررسی ارتباط میان جنس لایه‌های زمین و کیفیت شیمیایی آب نشان می‌دهد در صورتی‌که ساختار زمین‌شناسی از لایه‌های آهکی تشکیل شده باشد سختی آب افزایش یافته و احتمال رسوب‌گذاری در آب افزایش می‌یابد [۱۹، ۲۰]. چنین شرایطی با توجه به ساختار زمین‌شناسی در بعضی از نقاط کشور حاکم است که همین پدیده باعث افزایش سختی آب و پتانسیل رسوب‌گذاری آب در این مناطق می‌گردد.

مطالعه انجام‌شده توسط *عوض‌پور* و همکاران در سال ۱۳۷۸ روی منابع آب شهرستان ایلام نشان می‌دهد که شاخص اشباع لانژلیه دارای مقادیر منفی و کمتر از صفر است. نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که آب شُرب این شهر نسبت به کربنات‌کلسیم غیراشباع بوده و تمایل به خوردگی در جدار لوله‌ها دارد. این محققین برای تأیید شرایط حاکم، از شاخص رایزنار و اندیس خوردگی استفاده کرده‌اند که مقادیر عددی این شاخص‌ها نیز خورنده بودن آب این شهر را تأیید می‌کند. این جنبه از مطالعه محققین فوق و تأیید کیفیت شیمیایی آب در این شهر با اندیس‌های ذکرشده با نتایج این مطالعه که در مراکز نظامی انجام شده مطابقت دارد [۲۱]. مطالعه انجام‌شده توسط *رعیتی* در سال ۱۳۷۸ در شاهرود نشان می‌دهد که براساس شاخص اشباع لانژلیه، ۵۷٪ آب این شهرستان کمی خورنده و بقیه آن، بسیار خورنده است. این محقق گزارش کرده است که براساس شاخص رایزنار نیز آب این شهر در ردیف آب‌های خورنده طبقه‌بندی می‌گردد [۲۲] که با نتایج گزارش‌شده برای برخی از مراکز مورد بررسی در این مطالعه مطابقت دارد.

نتیجه‌گیری

این مطالعه و مطالعات مشابه نشان می‌دهند که عوامل تشکیل‌دهنده کیفیت شیمیایی آب به‌طور منفرد گویای تعادل کیفیت شیمیایی آب نیست، زیرا در اغلب این مطالعات و تحقیق حاضر، اغلب پارامترهای کیفیت شیمیایی آب با استانداردهای ملی ایران و رهنمودهای سازمان جهانی بهداشت مطابقت دارد. ولی برآیند این عوامل نشان می‌دهد که منابع آب اغلب شهرهای کشور دارای پتانسیل خوردگی و رسوب‌گذاری است که با توجه به پیامدهای بهداشتی، اقتصادی و زیست‌محیطی، عدم مقبولیت آب به‌دلیل احتمال ورود فلزات سنگین و نارضایتی مصرف‌کنندگان به‌دلیل اُفت فشار در شبکه پایش و کنترل کیفیت شیمیایی آب و کنترل این پدیده‌ها الزامی است. با توجه به تأثیر میزان سختی کلسیم، قلیاییت کل و کل جامدات محلول آب بر میزان pHs آب و

در نتیجه بر پتانسیل خوردگی و رسوب‌گذاری آب، کنترل پارامترهای کیفی آب و تعیین پتانسیل خوردگی و رسوب‌گذاری از مهم‌ترین مشخصه‌هایی است که باید در شبکه‌های آب به‌ویژه شبکه‌های آب خصوصی (مراکز نظامی، شهرک‌های صنعتی و غیره) حداقل به‌صورت سالانه باید مورد پایش قرار گیرد.

منابع

1- Crittenden JC, Trussell RR, Hand DW, Howe KJ, Tchobanoglous G. Water treatment principals and design. New York: John Wiley and Sons; 2005.

2- Geldriech E. Microbial quality of water supply in distribution systems. Florida: CRC Press; 1996.

۳- غنی‌زاده قادر. بررسی پتانسیل خوردگی و رسوب‌گذاری در آب آشامیدنی برخی از مراکز نظامی با استفاده از اندیس‌های شیمیایی. تهران: دانشگاه علوم پزشکی ایران؛ مجموعه مقالات پنجمین همایش کشوری بهداشت محیط، ۱۳۸۱.

4- American Water Works Association. Water quality and treatment: A handbook of community water supplies. In: Pontius FW, editor. 4th ed. Washington DC: McGraw-Hill; 1990.

۵- حسینی علیرضا، بذرافشان ادریس، نوری امیر، میرپور احمدعلی، مرادی محمدرضا، میمنی شهربانو و همکاران. بررسی میزان خورندگی آب آشامیدنی روستاهای شهرستان خاش در سال ۱۳۸۶. زاهدان: دانشگاه علوم پزشکی زاهدان؛ یازدهمین همایش ملی بهداشت محیط، ۹-۷ آبان ۱۳۸۷.

۶- غنی‌زاده قادر. پتانسیل خوردگی و رسوب‌گذاری در منابع آب. تهران: دانشگاه علوم پزشکی بقیه‌ا...(عج)؛ مجموعه مقالات اولین همایش سلامت و بهداشت نظامی، بهار ۱۳۸۱.

۷- دارشان سینگ. تصفیه آب با بیانی ساده برای راهبران تصفیه‌خانه‌ها. لیلی مصطفی، محوی امیرحسین، مترجمان. تهران: انتشارات تابش اندیشه؛ ۱۳۸۶.

۸- ایماندل کرامت‌اله. مبانی شیمی تجزیه در آزمون‌های زیست محیطی: آب و فاضلاب. چاپ اول. تهران: انتشارات آینه کتاب؛ ۱۳۷۹.

9- American Public Health Association (APHA). Standard methods for the examination of water and wastewater. 21st ed. USA: Washington DC; 2005.

10- Kemmer FN. The Nalco water handbook. 2nd ed. New York: McGraw-Hill; 1988.

11- Silbert M. Kurita handbook of water treatment. 2nd ed. Japan: Kurita water industries, LTD; 1999.

12- United States Air Force Expeditionary Center (USAFEC). Water supply, water treatment. United States: Departments of the Army and the Air Forces; 1985.

13- Betz Laboratories. Betz handbook of industrial water conditioning. Pennsylvania: Trevose; 1980.

14- International Bottled Water Association. Pure water handbook. 2nd ed. Minnetonka: Osmonics; 1997.

15- Tchobanoglous G, Franklin L, Burton H, Stensel D. Wastewater engineering, treatment and reuse. 4th ed. New York: McGraw-Hill; 2003.

۱۶- موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران. استانداردهای کیفی آشامیدنی. نشریه شماره ۱۰۵۳؛ ۱۳۷۱.

17- World Health Organization [homepage on the Internet]. Switzerland: The Association; c1996-2009 [updated 2009 Nov 14; cited 2006 Aug 20]. Drinking-water quality control guideline. Available from: http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/wsp0506/en/index.html

۱۸- دهقانی منصوره، تکس فیاض، طباطبایی سیدحمیدرضا. بررسی وضعیت رسوب‌گذاری و خورندگی آب آشامیدنی در منابع تأمین و شبکه توزیع شهر شیراز، ۱۳۸۶. زاهدان: دانشگاه علوم پزشکی زاهدان؛ مجموعه مقالات یازدهمین همایش ملی بهداشت محیط، ۹-۷ آبان ۱۳۸۷.

19- Edwards M. Controlling corrosion in drinking water distribution system: A grand challenge for the 21st century. Water Sci Technol. 2002;2:58-68.

20- Dietrich AM, Burlingame GA, Vest C, Hopkins P. Rating method for evaluating distribution-system odors in comparison to a control. Water Sci Technol. 2004;49(9):55-60.

۲۱- عوض‌پور موید، غلامی میترا، عالی رحیم. بررسی پتانسیل خوردگی و رسوب‌گذاری در منابع آب شرب شهرستان ایلام. زاهدان: دانشگاه علوم پزشکی زاهدان؛ مجموعه مقالات یازدهمین همایش ملی بهداشت محیط، ۹-۷ آبان ۱۳۸۷.

۲۲- رعیتی زهره. بررسی میزان خورندگی و پایش کیفی منابع آب شهرستان شاهرود با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS). زاهدان: دانشگاه علوم پزشکی زاهدان؛ مجموعه مقالات یازدهمین همایش ملی بهداشت محیط، ۹-۷ آبان ۱۳۸۷.