Archive of SID

مقاله اصیل

بررسی پتانسیل خوردگی و رسوب‌گذاری منابع آب شرب شهر شاهرود با استفاده از شاخص‌های پایداری در سال ۱۳۹۲

علی آذری[۱]، سعید ناظمی[۲]، بابک کاکاوندی*[۳]، ایوب رستگار[۴]

[۱] دانشجوی دکترای بهداشت محیط، گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی تهران، تهران، ایران

[۲] کارشناس ارشد مهندسی بهداشت محیط، عضو هیئت علمی گروه بهداشت محیط ، دانشگاه علوم پزشکی شاهرود، سمنان، ایران

[۳] دانشجوی دکترای بهداشت محیط و عضو کمیته تحقیقات دانشجویی، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی جندی شاپور، اهواز، ایران

[۴] دانشجوی دکترای بهداشت محیط، عضو هیئت علمی گروه بهداشت محیط، دانشگاه علوم پزشکی سبزوار، سبزوار، ایران

* **نشانی نویسنده مسئول:** بابک کاکاوندی، ایران، اهواز، دانشگاه علوم پزشکی جندی شاپور اهواز، دانشکده بهداشت، گروه مهندسی بهداشت محیط
E-mail: kakavandi.b@ajums.ac.ir

وصول: ۱۳۹۴/۱/۱۸، اصلاح: ۱۳۹۴/۳/۲۴، پذیرش: ۱۳۹۴/۴/۲۱

چکیده

زمینه و هدف: رسوب‌گذاری از مشکلاتی است که کماکان تاسیسات آبی با آن مواجه هستند. خوردگی سبب خسارات مالی و بهداشتی فراوان و رسوب گذاری سبب گرفتگی و ایجاد افت فشار در شبکه می شوند. هدف از این مطالعه تعیین پتانسیل خوردگی و رسوب گذاری منابع آب تامین کننده شهر شاهرود می باشد.

مواد و روش ها: این مطالعه توصیفی- مقطعی بوده و طی ٤ فصل در سال ۹۲ انجام شد. تعداد ۱۱۰٤ نمونه برای تعیین پتانسیل خوردگی و رسوب گذاری منابع آب شهر شاهرود با استفاده از شاخص‌های لانژلیه (LSI)، رایزنر(RSI)، تهاجمی(AI) و پوکوریوس (PSI) مورد بررسی قرار گرفت. برای مقایسه مقادیر میانگین هر یک از شاخص ها، نتایج با استفاده از آزمون t-test مورد آنالیز قرار گرفت.

یافته ها: نتایج نشان داد که برای منابع آب شرب شهر شاهرود، شاخص لانژلیه برابر ۱/۰۳- با انحراف معیار ۰/۱۱، شاخص رایزنر برابر ۹/۷۲ با انحراف معیار ۰/۱۷، شاخص خوردگی یا تهاجمی برابر ۱۲/۱۰ با انحراف معیار ۰/۱٤ و شاخص پوکوریوس برابر ۹/۵۹ با انحراف معیار ۰/۱۳ بوده است. همچنین اختلاف مقادیر میانگین شاخص ها بین چهار فصل مطالعه شده معنادار (p-value<۰/۰۵) بود.

نتیجه گیری: مقایسه ٤ شاخص و نتایج به دست آمده از این مطالعه نشان داد آب شهر شاهرود دارای خاصیت خورندگی است، بنابراین پیشنهاد می شود که منابع تامین آب شهر پیوسته بررسی گردیده و تلاش شود تا با تعدیل pH و کنترل سایر فاکتورهای موثر بر خوردگی از جمله غلظت های کلرید، اکسیژن محلول و سولفات میزان خوردگی کاهش داده شود.

واژه‌های کلیدی: *شاهرود، خوردگی، رسوب گذاری، آب آشامیدنی، شاخص های پایداری آب*

مقدمه

- پدیده خوردگی و رسوب گذاری از شایع ترین مشکلات بهره‌برداری و نگهداری تاسیسات آب به ویژه در منابع آب زیرزمینی به شمار می‌رود. خوردگی یا رسوب‌گذاری آب در لوله‌ها و اتصالات یک منطقه به کیفیت منابع تامین‌کننده آن شهر بستگی دارد و اصلاح این

www.SID.ir

Archive of SID

دو پارامتر افزون بر بهبود کیفیت و کمیت آب، کاهش هزینه‌ها را نیز به‌دنبال خواهد شد. خوردگی یک پدیده فیزیکو شیمیایی است که میان یک ماده و محیط پیرامون آن رخ می‌دهد و باعث دگرگونی در ویژگی‌های آن ماده می شود. خوردگی فرایند زیان‌آوری است که مشکلات زیادی چون سوراخ شدن لوله، کاهش طول عمر تاسیسات، نشست زمین و هدر رفت آب را به همراه دارد که سرانجام سبب اتلاف هزینه های زیاد می‌شود(۱). پژوهش‌ها نشان می‌دهد هزینه خوردگی در کشورهای امریکا، ژاپن، استرالیا و بریتانیا ۳ تا ٤ درصد در آمد ملی آنها بوده است(۲). افزون بر خسارت‌های مالی، برخی از فلزات سنگین ممکن است در پی خوردگی از جنس لوله‌ها وارد آب آشامیدنی شوند. برای مثال ورود فلزات سنگین مانند سرب و آرسنیک به آب سبب ایجاد مشکلات بهداشتی فراوان برای مصرف کنندگان خواهد شد. سرب در آب می تواند اختلالات عصبی و مشکلات ذهنی در کودکان ایجاد کند(۳). آرسنیک نیز ناراحتی‌های عصبی و انواع سرطان‌ها را در بدن می تواند ایجاد کند(٤). رسوب‌گذاری همچنین می‌تواند مشکلات دیگری چون افزایش هزینه بهره‌برداری تاسیسات آبی به علت گرفتگی و انسداد لوله‌ها، کاهش میزان جریان آب، افزایش افت فشار و در نتیجه افزایش هزینه‌ها را در پی داشته باشد(۵). عوامل زیادی در فرایند خوردگی تاثیر گذار هستند که مهمترین آنها pH، دما، سختی، اسیدیته، قلیائیت، کلر باقیمانده، کل جامدات محلول، وجود گازها، نمک‌های محلول و میکروارگانیسم‌ها در آب هستند(٦-۸). در مجموع فرایندهای شیمیایی در درجه اول و عوامل بیولوژیکی در درجه دوم اهمیت عوامل اصلی خوردگی محسوب می شوند(۹). رسوب‌گذاری فرایندی است که در آن کاتیون‌های دو ظرفیتی مانند کلسیم و منیزیم با مواد محلول دیگر آب واکنش می‌دهد و به شکل لایه‌ای در دیواره درونی لوله ته‌نشین شود(۱۹). متداول ترین لایه رسوبی از جنس کربنات کلسیم می باشد(۲۰). شمس و همکارانش در سال ۲۰۱۲ و پیری علم و همکارانش در سال ۱۳۸۷ به ترتیب با بررسی خوردگی و رسوب‌گذاری آب در شبکه‌های آبرسانی شهری طبس و خرم آباد گزارش کردند که آب شهرهای طبس و خرم آباد هر دو دارای ویژگی خورندگی هستند که علت اصلی آن می‌تواند وجود آنیون‌های سولفات و کلراید در آب این شهرها باشد(۱۰, ۱۱). بررسی بهرامی و همکارانش پیرامون پتانسیل خوردگی و رسوب‌گذاری در شبکه توزیع شهر کوهدشت با استفاده از شاخص‌های خوردگی نشان داد که مقادیر شاخص‌های لانژلیه (Langelier Saturation Index)، رایزنر (Rayznr Stability Index)، خورندگی (Aggressive Index) و پورکوریوس (Porkurious Scaling Index) به ترتیب برابر با ۰/٤۷-، ۷/۸۱، ۱۱/٤۳و ٦/٤۹ بودند که بیانگر خورنده بودن آب آن منطقه است(۱۲). لیونتال و همکارانش در سال ۲۰۰٤ در مطالعه‌ای در کشور آفریقای جنوبی گزارش کردند که خوردگی و رسوب‌گذاری از مشکلات عمده در خطوط انتقال و توزیع آب های زیرزمینی است و مکانیزم اثر و شدت آن به دو عامل کیفیت آب و جنس لوله بستگی دارد(۱۳). شاخص اشباع لانژلیه (LSI) الگویی است که درجه اشباع آب با کربنات کلسیم را نشان می‌دهد. این شاخص مفهوم اشباع را با استفاده از pH به عنوان یک متغیر اصلی بیان می کند. در تعریف LSI می‌تواند به عنوان تغییر مورد نیاز pH برای رسیدن آب به تعادل مطرح شود(۱٤). شاخص پایداری رایزنر (RSI) وابستگی میان حالت اشباع کربنات کلسیم و تشکیل پوسته را به صورت کمی نشان می‌دهد. شاخص رایزنر مقدار pHs به وسیله pH واقعی، غلظت یون‌های کلسیم، بی‌کربنات، کل جامدات محلول و دما تعیین می‌شود(۱۵). شاخص‌های لانژلیه و رایزنر تفاوت میان pH واقعی آب و pH اشباع توسط کربنات کلسیم را نشان می‌دهند(۸). شاخص تهاجمی اثر پارامترهایی نظیر pH، غلظت کلسیم و قلیائیت را بررسی می‌کند. شاخص پورکوریوس بر پایه ظرفیت

www.SID.ir

Archive of SID

بافری آب است و بیشترین مقدار رسوبی را بیان می‌کند که برای ایجاد تعادل در آب می تواند تشکیل شود. این شاخص تجربی است و مقادیر عددی به دست آمده از آن مشابه مقادیر شاخص رایزنر است(١٦). آب شهر شاهرود با توجه به منطقه جغرافیایی و شرایط بارندگی و زمین شناسی از ٢٣ منبع آب زیرزمینی تامین می‌شود. مطالعه حاضر با بررسی پتانسیل خوردگی یا رسوب‌گذاری منابع آب شهر شاهرود بر پایه شاخص‌های لانژلیه، رایزنر، تهاجمی و پوکوریوس انجام شد.

مواد و روش ها

در این مطالعه توصیفی- مقطعی، ١١٠٤ نمونه به صورت لحظه‌ای از ٢٣ منبع تامین کننده آب آشامیدنی شهر شاهرود در طی ٤ فصل برداشت شد. در هر فصل نمونه برداری، تعداد ١ نمونه به صورت تناوب هفت روزه و به شکل تصادفی (در مجموع ١٢ نمونه برای هر فصل) انتخاب شد. نمونه ها از نظر شاخص‌های پایداری مورد بررسی و آنالیز قرار گرفتند. برای این منظور پارامترهای لازمه جهت بررسی اندیس های خوردگی و رسوب‌گذاری شامل pH، کل جامدات محلول، سختی کلسیم، قلیائیت، دما وکلر باقیمانده سنجش شدند. دو پارامتر pH و دما در محل نمونه‌برداری اندازه‌گیری شدند و پارامترهای سختی کلسیم، قلیائیت، کلر باقیمانده و کل جامدات محلول در آزمایشگاه مطابق روش ذکر شده در کتاب استاندارد متد آنالیز شدند(١٤).

- شاخص لانژلیه(LSI)

شاخص لانژلیه در واقع یک شاخص برای ارزیابی کیفی پتانسیل آب در تشکیل رسوب کربنات کلسیم است. کربنات کلسیم یکی از عمده ترین مواد معدنی موجود در آب بوده که به عنوان مهمترین عنصر مسئول تشکیل رسوبات شناخته شده است(١٧). پایداری آب بر مبنای مقادیر شاخص لانژلیه در جدول ١ ارایه شده است. این شاخص تاثیر پارامترهایی نظیر کلسیم، قلیایت کل، جامدات محلول و دما را در محاسبه مقادیر pH اشباع (pHs) نشان می دهد. pH آب در شرایط اشباع کربنات کلسیم با استفاده از رابطه شماره ١ محاسبه می گردد.

(١)

$$pH_S = [(9.3+\log A+\log B)-(\log C-\log D)]$$

در اینجا pHs، pH آب اشباع از کربنات کلسیم، A مقادیر TDS آب (میلی‌گرم بر لیتر)، B دمای آب(درجه سلسیوس)، C سختی کلسیم (میلی گرم بر لیترکربنات کلسیم) و D قلیایت آب (میلی گرم بر لیتر کربنات کلسیم) می باشند. پس از تعیین pHs، مقادیر شاخص لانژلیه از طریق رابطه زیر محاسبه می شود(١١)

$$LSI = pH - pH_S \quad (٢)$$

- شاخص رایزنر(RSI)

این شاخص نوع اصلاح شده شاخص لانژلیه است که بر خلاف نوع لانژلیه مقادیر آن مثبت می باشد. وضعیت آب برای مقادیر مختلف شاخص رایزنر در جدول ١ مشخص شده است. شاخص رایزنر با استفاده از رابطه ٣ تعیین مقدار می شود. در رابطه فوق مقادیر pHs با استفاده از pH واقعی، غلظت یونهای کلسیم و بی کربنات، TDS و دما محاسبه می گردد(١٨).

$$RSI = 2pH_S - pH \quad (٣)$$

- شاخص تهاجمی(AI)

شاخص تهاجمی برای لوله های نوع آزبست-سیمان و برای محدوده دمایی ٤ تا ٢٧ درجه سلسیوس بکار می رود. خوردگی آب بر مبنای این شاخص مطابق جدول ١ در سه سطح، کم، متوسط و شدید طبقه بندی می گردد. مقادیر این شاخص عمدتاً تابعی از pH، غلظت کلسیم و قلیایت است. شاخص خوردگی یا تهاجمی با استفاده از رابطه ٤ تعیین مقدار می شود(١١, ١٩).

در رابطه فوق AI شاخص خوردگی یا تهاجمی، A قلیائیت کل (میلی گرم بر لیتر کربنات کلسیم) و H سختی کلسیم (میلی گرم بر لیتر کربنات کلسیم) می باشند.

- شاخص پوکوریوس (PSI)

www.SID.ir

Archive of SID

شکل۱: عکس هوایی از چاه های نمونه برداری شهر شاهرود

شاخص پوکوریوس پتانسیل خورندگی یا رسوبگذاری آب را ارزیابی می‌کند. مقادیر عددی این شاخص وضعیت آب را مطابق جدول ۱ خورنده و رسوب گذار نشان می دهد. این شاخص همچنین به نام شاخص رسوب گذاری عملی معروف است و بر خلاف سه شاخص دیگر با pH واقعی آب ارتباطی ندارد. در واقع مقادیر این شاخص متاثر از ظرفیت بافری آب بوده که برای محاسبه این تاثیر از pH تعادل به جای pH واقعی آب استفاده می شود. pH آب در حالت تعادل به کمک رابطه ۵ محاسبه و تعیین مقدار می شود(۲۰-۲۲).

$$pH_{eq} = 1.465\log(TAlk) + 4.54 \qquad (۵)$$

با تعیین مقادیر عددی pH_{eq}، مقدار شاخص پوکوریوس از طریق رابطه ٦ محاسبه می گردد.

$$PSI = 2\,pH_S - pH_{eq} \qquad (٦)$$

مقادیر به دست آمده حاصل از آزمایشات تعیین پارامترهای کیفی آب نظیر pH، TDS، سختی کلسیم، کلر باقیمانده، قلیائیت و دما با استفاده از نرم افزار SPSS ۱۸ با استفاده از آزمون t-test مورد آنالیز قرار گرفتند و میانگین مقادیر پارامترها به همراه مقادیر انحراف معیار آنها به صورت نتایج نهایی ارایه شد.

یافته ها

نتایج حاصل از اندازه گیری پارامترهای فیزیکی و شیمایی آب آشامیدنی شهر شاهرود و همچنین میانگین مقادیر هر یک از پارامترها به همراه مقادیر انحرا معیار، حد مطلوب و حد مجاز آنها در جدول شماره ۲ ارایه شده است. نتایج آنالیز آماری نشان داد که میانگین پارامترهای فوق برای هر چهار فصل با مقادیر استاندارد ارتباط معناداری داشته اند به نحوی که مقدار این پارامتر برای pH، TDS، سختی کلسیم، کلرباقی مانده، قلیائیت و دما به ترتیب برابر ۰/۰۳۸، ۰/۰۴۰، ۰/۰۰۱ >، ۰/۰۴۵، ۰/۰۰٦ و ۰/۰۰۱ > شده است. مقادیر پارامترهای pH، TDS و سختی کلسیم برای هر چهار فصل در محدوده مقادیر استاندارد های ایران و EPA بود، این درحالی است که مقادیر کلر باقیمانده در هر چهار فصل مطالعه شده بیشتر از مقادیر استاندارد بود(جدول ۲).

نتایج به دست آمده نشان داد که وضعیت آب در تمامی فصول خورنده بوده و هیچ گونه وضعیتی مبنی بر پتانسیل رسوب گذاری مشاهده نشد. بر مبنای شاخص رایزنر منابع آب در هر چهار فصل در وضعیت خورندگی شدید بود. از طرفی دیگر بر مبنای شاخص تهاجمی، منابع آب در فصول بهار، تابستان و پاییز در وضعیت خورندگی کم

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۱: تقسیم بندی وضعیت آب بر مبنای شاخص‌های پایداری (۳۶، ۳۵، ۳۲، ۲۲)

شاخص‌ها	معادله	دامنه شاخص	وضعیت آب
لانژلیه	LSI = pH - PHs	LSI>۰	رسوب‌گذار
		LSI=۰	خنثی
		LSI<۰	خورنده
رایزنر	RSI = 2pHs - pH	RSI<۶	رسوب‌گذار
		۶<RSI<۷	خنثی
		RSI>۷	خورنده
تهاجمی	AI = pH + log [(Alk). (Hardness)]	AI>۱۲	خورندگی کم
		۱۰<AI<۱۲	خورندگی متوسط
		AI<۱۰	خورندگی شدید
پوکوریوس	pH_{eq} = 1.465 log (T Alk) + 4.5 PSI = 2pHs - pH_{eq}	PSI<۶	رسوب‌گذار
		PSI>۶	خورنده

جدول ۲: میانگین، انحراف معیار و حد مطلوب و مجاز پارامترهای اندازه گیری شده آب آشامیدنی شهر شاهرود در ٤ فصل

پارامتر	فصل	میانگین (انحرف معیار)	استاندارد ایران	استاندارد EPA*	P-value
pH	بهار	۷/۷۳ (۰/۱۳)	۶/۵-۸/۵	۶/۵-۹/۰	۰/۰۳۸
	تابستان	۷/۶۶ (۰/۱۲)			
	پاییز	۷/۶۶ (۰/۱۶)			
	زمستان	۷/۵۷ (۰/۱٤)			
TDS (Mg/l)	بهار	۱٤۱۲/۲۶ (٤۵/۵۰)	۱۵۰۰	۵۰۰	۰/۰٤۰
	تابستان	۱٤٤۲/۶۳ (٤۶/۶۰)			
	پاییز	۱۳۸۲/۵۶ (٤۵/۸۳)			
	زمستان	۱۳۷۷/۳۳ (٤۵/۸۶)			
سختی کلسیم ($Mg/l\ CaCO_3$)	بهار	۱۹۸/۵۷ (۲۰/۲۳)	۲۵۰	-	< ۰/۰۰۱
	تابستان	۲۲۶/۰۷ (۲٤/۳۵)			
	پاییز	۱۳۸/۲۱ (۳۷/۵۰)			
	زمستان	۱۳۳/۲۱ (۱۶/۷۱)			
کلر باقیمانده (Mg/l)	بهار	۰/۸ (۰/۳۶)	-	۰/۲	۰/۰٤۵
	تابستان	۱ (۰/۰۶٤)			
	پاییز	۰/۷ (۰/۰٤۷)			
	زمستان	۰/۸ (۰/۱۰۷)			
قلیائیت (Mg/l CaCO3)	بهار	۱۶۰ (۰/۱۷)	-	-	۰/۰۰۶
	تابستان	۱۶۵ (۰/۱۳)			
	پاییز	۱۷۸ (۰/۱۷)			
	زمستان	۱۶۰ (۰/۱۵)			
دما (^oC)	بهار	۱۶/۸۲ (۱/۹۰)	-	-	< ۰/۰۰۱
	تابستان	۱۶/۷۱ (۱/۹۸)			
	پاییز	۱۵/۸۲ (۲/۰۱)			
	زمستان	۱٤/۲۱ (۱/۹۷)			

*Environmental Protection Agency

و در فصل زمستان در وضعیت خورندگی متوسط بود. در مجموع نتایج نشان داد که منابع آب در هر چهار فصل مطالعه شده در وضعیت خورنده بوده است. مقادیر هر یک از شاخص های بررسی شده برای آب شهر شاهرود به لحاظ پتانسیل خوردگی و رسوب گذاری و به تفکیک فصل نمونه برداری در جدول شماره ۳ ارایه شده است. نتایج آنالیز آماری نشان داد که اختلاف مقادیر میانگین شاخص ها بین چهار فصل مطالعه شده معنی دار (**۰/۰۵** >p-value) بود.

نتایج مطالعه حاضر همچنین نشان داد که بیشترین

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۳: وضعیت آب شهر شاهرود از نظر شاخص‌های خورندگی و رسوب‌گذاری

فصل نمونه برداری	مقدار شاخص و وضعیت پایداری آب	شاخص لانژلیه (LSI)	شاخص رایزنر (RSI)	شاخص تهاجمی (AI)	شاخص پوکوریوس (PI)
بهار	مقدار شاخص	-۰/۹۳	۹/۵۸	۱۲/۲۳	۹/۵٤
	وضعیت آب	خورنده	خورندگی شدید	خورندگی کم	خورنده
تابستان	مقدار شاخص	-۰/۹٤	۹/۵۳	۱۲/۲۳	۹/٤۱
	وضعیت آب	خورنده	خورندگی شدید	خورندگی کم	خورنده
پاییز	مقدار شاخص	-۱/۰۸	۹/۸۳	۱۲/۰۵	۹/۶۵
	وضعیت آب	خورنده	خورندگی شدید	خورندگی کم	خورنده
زمستان	مقدار شاخص	-۱/۱۹	۹/۹۵	۱۱/۹۰	۹/۷۵
	وضعیت آب	خورنده	خورندگی شدید	خورندگی متوسط	خورنده
مجموع	میانگین	-۱/۰۳۵	۹/۷۲۲	۱۲/۱	۹/۵۷۸
	انحراف معیار	۰/۱۱	۰/۱۷	۰/۱٤	۰/۱۳
	P-value	<۰/۰٤	<۰/۰۳۳	<۰/۰۵	<۰/۰۲۵
	وضعیت آب	خورنده	خورندگی شدید	خورندگی کم	خورنده

و کمترین مقادیر شاخص لانژلیه برای منابع آب تامین کننده شهر شاهرود به ترتیب برابر۰/۹۳- با ۱/۱۹- و برای فصول بهار و زمستان بوده است. نمودار ۱-الف تغییرات مقادیر میانگین شاخص لانژلیه را در چهار فصل نشان می دهد. تغییرات مقادیر میانگین شاخص رایزنر (نمودار ۱-ب) نیز نشان داد که بیشترین مقدار (۹/۹۵) آن برای فصل زمستان و کمترین مقدار (۹/۵۳) برای فصل تابستان بوده است. برای شاخص تهاجمی مطابق نمودار ۱-ج نتایج نشان داد که تغییرات میانگین مقادیر شاخص فوق برای فصول بهار و تابستان مشابه و برابر با ۱۲/۲۳ بوده است و کمترین مقدار آن برابر با ۱۱/۹ مربوط به فصل زمستان بوده است. روند تغییرات مقادیر شاخص پوکوریوس در نمودار ۱-د نشان داده شده است، مشاهده می شود که حداکثر و حداقل مقدار آن به ترتیب در فصول زمستان و تابستان حاصل شده است.

بحث

با توجه به این مهم که منابع آب زیرزمینی بررسی شده در مطالعه حاضر جمعیتی معادل ۱۰۰۰۰ نفر را تحت پوشش قرار می دهد، لذا بررسی این منابع از لحاظ بهداشتی حائز اهمیت خواهد بود. خوردگی و رسوب گذاری آب از مهمترین مسائلی است که باید در سیستم‌های آب رسانی مورد توجه قرار گیرد زیرا علاوه بر خسارت‌های فیزیکی و ایجاد تلفات آبی، باعث به هم خوردن تعادل شیمیایی آب نیز خواهد شد. مطابق جدول شماره ۳ شاخص لانژلیه در تمام فصول سال برای منابع تامین کننده آب شهر شاهرود در محدوده خورنده بوده و مقادیر میانگین سالیانه آن با انحراف معیار ۰/۱۱ برابر با ۱/۰۳- خواهد بود که بیانگر خورندگی آب شهر شاهرود است. Fazlzadeh Davil و همکارانش در سال ۲۰۰۷ با بررسی خوردگی و رسوب‌گذاری منابع آب شهر ایلام مقدار شاخص لانژلیه را برابر ۰/۲۹ با انحراف معیار ۰/۱۵ گزارش نمودند که حاکی از رسوب‌گذاری آب این شهر است(۲۰). ز آنجای که وضعیت آب از نظر خورندگی یا رسوبگذاری متاثر از مقادیر پارامترهایی نظیر pH، دما، سختی کلسیم، قلیایت و TDS است بنابراین تفاوت در مقادیر هر یک از این پارامترها می تواند وضعیت آب را به لحاظ پایداری تغیر دهد. از اینرو تفاوت در منابع آب ایلام و شاهرود می تواند عامل اصلی تفاوت در مقادیر پارامترهای مذکور و به دنبال آن تفاوت در وضعیت آب در این دو شهر می باشد. در مطالعه مشابهی که توسط Taghiour و همکاران در سال ۲۰۱۲ پیرامون بررسی خوردگی و رسوب‌گذاری آب آشامیدنی

www.SID.ir

Archive of SID

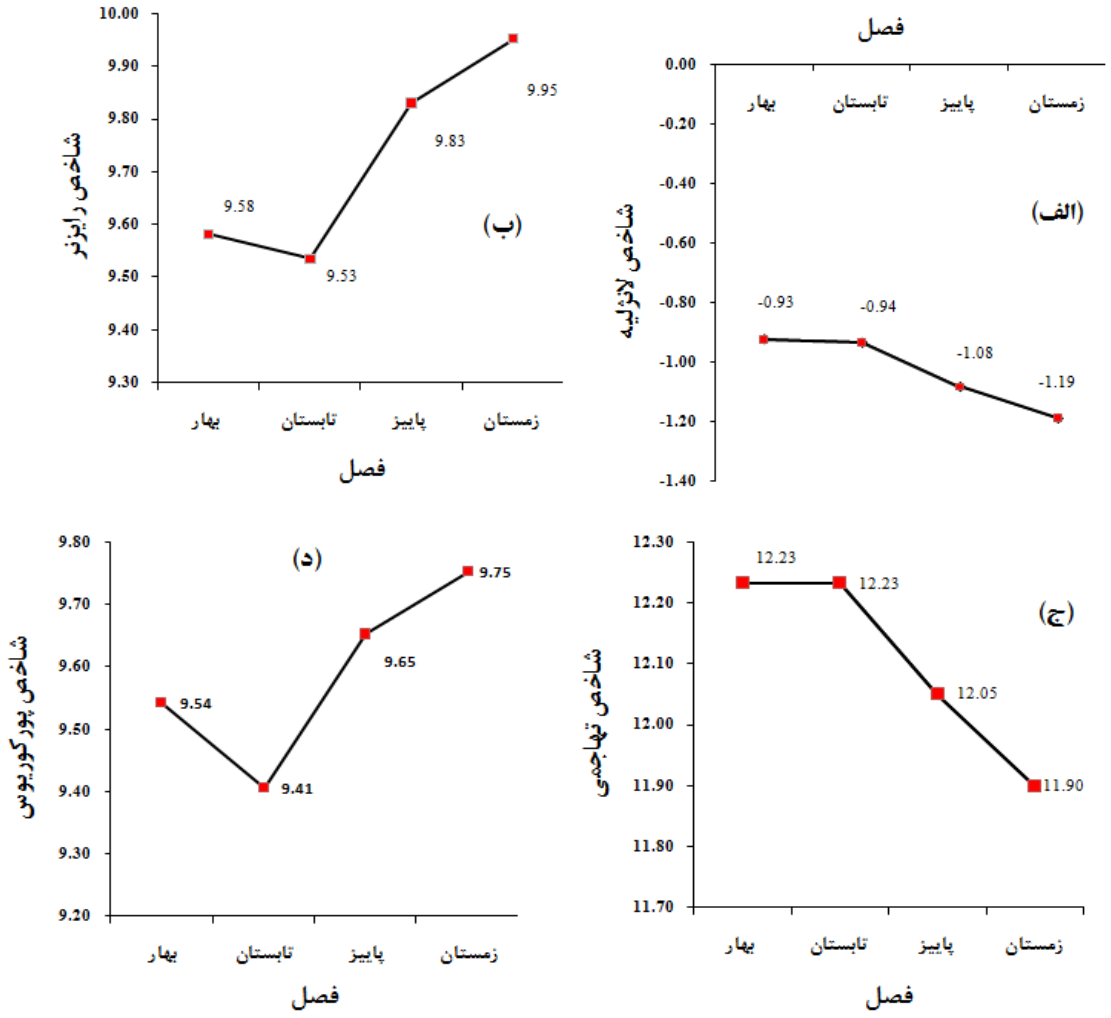
شهر تبریز انجام شد، مقدار این شاخص برابر ۰/۷۹- گزارش شد که خورندگی آب شهر تبریز را نشان می‌دهد. ولی میزان خورندگی آن از نتایج حاصل شده در مطالعه حاضر کمتر می‌باشد(۲۱). آب با طبیعت خورنده، در شبکه توزیع منجر به ورود آلاینده های مضری نظیر کادمیم، سرب، نیکل، آهن، آرسنیک، بیسموت، آلومینیم، سلنیم، مس، قلع، روی و وینیل کلراید می شود که اثرات بهداشتی جدی از جمله سرطان را به دنبال دارد(۱۱, ۲۳, ۲٤). اما آنالیز و پایش مقادیر غلظت های هر یک از این آلاینده ها در منابع آبی مورد استفاده و همچنین مقایسه آنها با مقادیر استاندارد، همواره امری ضروری بوده و می بایستی بصورت دوره ای بررسی و پایش گردند.

مقادیر میانگین سالیانه شاخص رایزنر برای منابع بررسی شده شهر شاهرود ۹/۷۲ با انحراف معیار ۰/۱۷ حاصل شد که نشاندهنده وضعیت خورندگی شدید آب است. غلظت های تقریباً بالای TDS آب شهر شاهرود و تاثیر بالای این پارامتر در شاخص رایزنر ممکن است دلیل عمده بالابودن شاخص رایزنر باشد. نتایج مطالعه Fazlzadeh Davil و Taghipour بر روی منابع آب شرب شهرهای ایلام و تبریز نشان داد که مقادیر این شاخص ها به ترتیب برابر با ۷/٥٤ و ۸/۱٦ بوده است(۲۰, ۲۱). محدوده مقادیر شاخص های لانژلیه و رایزنر در مطالعه Al-Rawajfeh و همکاران برای منابع آب ایالات Tafila به ترتیب برابر با ۰/۳۹- تا ۱/٥٥- و ۸/۷ تا ۹/۸ تعیین شد که با نتایج مطالعه حاضر همبستگی دارند(۲٥). همچنین Mokhtari و همکارانش در مطالعه‌ای مشابه میانگین شاخص رایزنر را برای منابع آب شرب شهر اردبیل ۸/۳ گزارش کردند(۲٦). از اینرو نتایج فوق نشان می دهد که منابع آب ایلام، تبریز، Tafila و اردبیل مشابه منابع آب شهر شاهرود طبیعتی خورنده داشته اند. مطابق نتایج ارایه شده در جدول ۳، مشاهده می شود که میانگین سالیانه مقادیر شاخص خوردگی یا تهاجمی برای آب شرب شهر شاهرود با انحراف معیار ۰/۱٤ برابر با ۱۲/۱ بدست آمد.

این مقادیر در مقایسه با تقسیم بندی ارایه شده در جدول ۱ خورندگی کم آب شهر را نشان می‌دهد. بالا بودن مقادیر این شاخص ممکن است ناشی از وجود غلظت‌های بالای سختی کلسیم باشد. این نتایج مشابه نتایج به دست آمده در مطالعات سایر محققان است(۲۰, ۲۷). جدول ۳ همچنین نشان می دهد که میانگین سالیانه مقادیر شاخص پوکوریوس بالای ٦ و برابر با ۹/٥۸ حاصل شده است. میانگین شاخص پوکوریوس با انحراف معیار ۰/۱۳ تعیین شد که مشابه دیگر شاخص‌ها، خوردندگی آب شهر شاهرود را نشان می‌دهد. اما این شاخص به دلیل خنثی بودن pH آب شهر شاهرود، نمی‌تواند معیار مناسبی برای نمایش خورندگی یا رسوب‌گذاری آب شهر شاهرود باشد. Savari (۲۰۰۷) و Rabani (۲۰۰۹) نیز در مطالعه بررسی پتانسیل رسوب‌گذاری شهر اهواز و روستاهای کاشان، طبیعت آب را بر مبنای شاخص پوکوریوس خورنده گزارش کردند(۲۸, ۲۹). Fazlzadeh Davil میانگین و انحراف معیار مقادیر شاخص های تهاجمی و پوکوریوس را برای آب تصفیه شده شهر ایلام به ترتیب ۱۲/٤٤(±۰/۱٦) و ۷/۹۹(±۰/۱٤) گزارش کرد. با مقایسه مقادیر این شاخص ها با تقسیم بندی ارایه شده در جدول ۱، مشاهده می شود که هر دو شاخص مذکور بیانگر خورنده بودن آب می باشند(۲۰). در چند سال اخیر مطالعات متعددی بر روی منابع آبی ایران در نقاط مختلف در ارتباط با تعیین پتانسیل خورندگی و رسوب گذاری انجام شده است. برای مثال در بررسی منابع آب شهرهای ارومیه و میانه، نتایج بررسی نشان داد که آب در وضعیت خورنده بوده است. در مطالعه فوق، کنترل و تنظیم pH در محدوده استاندارد به عنوان یک راهکار موثر، معرفی شده است(۱۱). در مطالعه دیگر که پیرامون بررسی پتانسیل خوردگی آب خروجی از تصفیه خانه ایلام انجام شد، یافته ها نشان داد که مقادیر پارامترهای کلسیم(Ca^{2+})، سولفات(SO_4^{2-})، کلر (Cl^-)، TDS، سختی و pH در

www.SID.ir

Archive of SID



نمودار ۱: تغییرات شاخص های لانژلیه (الف)، رایزنر (ب)، تهاجمی (ج) و پوکوریوس (د) برای منابع تامین کننده آب شاهرود

محدوده استانداردهای ایران و EPA بوده و آب به لحاظ پایداری در وضعیت خورنده بوده است(۲۰).

به طور کلی، با توجه به نتایج بدست آمده در تحقیق حاضر مشاهده شد که منابع آب شرب شهر شاهرود بر مبنای چهار شاخص بررسی شده، تمایل به خورندگی داشته و یا به عبارتی دیگر طبیعتی خورنده داشته است. بنابراین کنترل فرایند خوردگی در منابع آب شهر شاهرود امری ضروری است. به منظور کاهش خورندگی آن می توان از عوامل بازدارنده خورندگی و ترزیق آنها به شبکه توزیع و یا کاهش pH و قلیایت استفاده کرد. برای کنترل فرایند خوردگی همچنین روش‌های دیگر نظیر رنگ‌آمیزی لوله‌ها، به کارگیری لوله‌های مقاوم پلی‌اتیلنی به جای لوله‌های فلزی و آزبست- سیمانی، پوشش دادن لوله‌ها، نگهداری مناسب و استفاده از حفاظت کاتدی برای لوله‌های فلزی پیشنهاد می‌شود(۱۱). البته این نکته قابل توجه است که روش های فوق جهت کنترل مقادیر سرب، مس و آهن می بایستی با احتیاط و تحت شرایط خاص مورد استفاده قرار گیرند. انتخاب روش مناسب برای جلوگیری از فرایند خوردگی به ویژگی‌های شیمیایی آب، تاثیر فرایند انتخابی بر فرایندهای دیگر و اثر آن بر کیفیت آب بستگی دارد. همچنین برای تعیین یک روش موثر جهت کنترل خوردگی و انتخاب یک روش تحت شرایط خاص، مطالعات پایلوت می بایستی انجام گیرد. با این حال، به منظور بررسی بیشتر و دستابی به نتایج کامل تر، آنالیز پارامترهای دیگر تاثیر گذار خوردگی نظیر سولفات، کلرید

www.SID.ir

Archive of SID

و غلظت اکسیژن محلول پیشنهاد می گردد.

به صورت خلاصه می توان اظهار داشت که میانگین شاخص لانژلیه برای منابع تامین کننده آب شهر شاهرود بیانگر خورندگی آنها است. همچنین مقادیر شاخص خوردگی یا تهاجمی خورندگی کم آب شهر را نشان می‌دهد. میانگین شاخص رایزنر نشان دهنده خورندگی شدید آب است. TDS بالا در آب شهر شاهرود و تاثیر بالای این پارامتر در شاخص رایزنر می‌تواند دلیل عمده بالابودن شاخص رایزنر باشد. میزان شاخص پوکوریوس مانند شاخص‌های دیگر، خورندگی آب شهر شاهرود را گزارش می‌دهد که به دلیل خنثی بودن pH آب شهر شاهرود، نمی‌تواند معیار مناسبی برای نمایش خورندگی یا رسوب‌گذاری آب شهر مورد مطالعه باشد. فرایند خوردگی، علاوه بر آسیب به تاسیسات آبی و مسائل اقتصادی ممکن است باعث ورود فلزات سنگین مانند سرب، کادمیم، مس و روی از دیواره لوله به آب آشامیدنی شود که ممکن است اثرات بهداشتی برای مصرف کنندگان ایجاد کند. بنابراین کنترل فرایند خوردگی در شبکه امری ضروری است. برای کنترل فرایند خوردگی می توان از روش‌هایی نظیر رنگ‌آمیزی لوله‌ها، به کارگیری لوله‌های مقاوم پلی‌اتیلنی به جای لوله‌های فلزی و آزبست- سیمانی، پوشش دادن لوله‌ها، نگهداری مناسب، اجرای حفاظت کاتدی برای لوله‌های فلزی، تنظیم pH و تزریق مواد بازدارنده به شبکه توزیع استفاده نمود. انتخاب روش مناسب برای جلوگیری از فرایند خوردگی به ویژگی‌های شیمیایی آب، تاثیر فرایند انتخابی بر فرایندهای دیگر و اثر آن بر کیفیت آب بستگی دارد.

تشکر و قدردانی

این مطالعه با همکاری و مساعدت مدیریت محترم شرکت آب و فاضلاب شهر شاهرود و پرسنل آزمایشگاه دانشکده بهداشت دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی درمانی شاهرود انجام شد. بدینوسیله نویسندگان به خاطر همکاری صمیمانه آن شرکت تشکر و قدردانی می‌نمایند.

References

1. Kalantari RR, Yari AR, Ahmadi E, Azari A, Zade MT, Gharagazlo F. Survey of corrosion and scaling potential in drinking water resources of the villages in Qom province by use of four stability indexes (With Quantitative and qualitative analysis. Archives of Hygiene Sciences. 2013;2(4).78-91.
2. Rogers P, Bhatia R, Huber A. Water as a social and economic good: How to put the principle into practice: Global Water Partnership/Swedish International Development Cooperation Agency Stockholm, Sweden; 1998;3(24).72-83.
3. Kalantary RR, Jafari AJ, Kakavandi B, Nasseri S, Ameri A, Azari A. Adsorption and Magnetic Separation of Lead from Synthetic Wastewater Using Carbon/Iron Oxide Nanoparticles Composite. Journal of Mazandaran University of Medical Sciences (JMUMS).24(113):172-83.(Persian)
4. Apha A. Wef. 2005. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 21st ed American Public Health Association Washington, DC Part.8000:94-100.
5. Ghanizadeh G, Ghaneian MT. Corrosion and Precipitation Potential of Drinking Water Distribution System in Military Centers. Journal of Military Medicine. 2009;11(3): 25-38. (Persian)
6. Waltery M, Weber J. physicochemical Processes for Water quality control: Wileyand sons; 1972.
7. American, Water, Works, Association. Water quality and Treatment: USA 1990.
8. ChalkshAmiri M. Principles of Water Treatment. 1 ed1376.
9. R.Roberge. P. Corrosion Basic:An introduction. 2nd ed: NACE Press Book; 2006.
10. Sham M, Mohamadi A, Sajadi S. Evaluation of Corrosion and Scaling Potential of Water in Rural Water Supply Distribution Networks of Tabas. Iran World Applied Sciences Journal. 2012:17(1):1484-9.
11. PiriElm R, Shams G, Shahmansuri M, Farzadkia M. Survey of Corrosion and Scaling Potential in drinking Water of distribution System of Khoramshahr City with corrosion Index. Quartery Newsletter. 2008;10(13): 15.
12. Bahrami A, Etal. Corrosion and sedimentation as a potential distribution network in Kouhdasht using corrosion indices. Journal of Health Systems Research. 1391;2: 27-40 (Persian)
13. Lowental R, Morison I, Wentzel M. Control of corrosion and aggresion in drinking water system. Water

www.SID.ir

Archive of SID

Science & Technology. 2004;49(2):9-18.
14. Standard method for the examination of water & wastewater E. 2005.
15. Rafferty K. SCALING IN GEOTHERMAL HEAT PUMP SYSTEMS, Prepared For: U.S: Department of Energy; 1999.
16. Colin M. Stress corrosion cracking: Senior Engineering Consultant Materials Technology; 2008. 4 p.
17. Antony A, Low JH, Gray S, Childress AE, Le-Clech P, Leslie G. Scale formation and control in high pressure membrane water treatment systems: A review. Journal of Membrane Science. 2011;383(1):1-16.
18. Marangou VS, Savvides K. First desalination plant in Cyprus—product water aggresivity and corrosion control. Desalination. 2001;138(1):251-8.
19. Nikpoor B, Nooshadi M, Mortazavi M, Yousefi Z, editors. survey the Behshahr drinking water quality based on corrosion and scaling indexes. First congress environmental engineering, Tehran University; 2006;38 (21):10-18(Persian)
20. Davil M, Mahvi A, Norouzi M, Mazloomi S. Survey of corrosion and scaling potential produced water from Ilam water treatment plant. World Applied Science Journal. 2009;7(11) 1-16.
21. Taghipour H, Shakerkhatibi M, Pourakbar M, Belvasi M. Corrosion and Scaling Potential in Drinking Water Distribution System of Tabriz. Northwestern Iran Health Promot Perspect. 2012;2(1):103-11. (Persian)
22. Poorzamani H, Ghazaie M, Samani A, editors. survey the quality of drinking water source in Esfahan oshtorejan industrial park based on corrosion properties. Environmental health congress, Tehran Physician Sciences; 200۵;1(3):1-11(Persian)
23. Organization WH. Desalination for Safe Water Supply: Guidance for the Health and Environmental Aspects Applicable to Desalination. Geneva: Public Health and the Environment World Health Organization. 2007.
24. Tam Y, Elefsiniotis P. Corrosion control in water supply systems: Effect of pH, alkalinity, and orthophosphate on lead and copper leaching from brass plumbing. Journal of Environmental Science and Health Part A. 2009;44(12):1251-60.
25. Al-Rawajfeh AE, Al-Shamaileh EM. Assessment of tap water resources quality and its potential of scale formation and corrosivity in Tafila Province, South Jordan. Desalination. 2007;206(1):322-32.
26. Mokhtari A, Etal. Evaluation of scaling and corrosion in drinking water distribution network in Ardabil with Langelier and Rayznr indices. Health and Hygiene Ardabil. 1389; 4 (12)14-23. (Persian)
27. Heibati B, Etal. survy Corrosion and scaling of water in the Miane at 1387. Twelfth National Conference on Environmental Health; Shahid Beheshti1388. (Persian)
28. Rabbani D avarkhah, Miranzadeh Mohammad Bagher, Amin P. Evaluating the corrosive and scale-forming indices of water in the villages under the coverage of Kashan rural water and wastewater company during 2007-9. Feyz, Journal of Kashan University of Medical Sciences. 2012;15(4): 2۸-38 (Persian)
29. Savari j, HaghighiFadrd N, Hosni A, G K. Comparative Evaluation Corrosion in drinking water distribution network in Ahwaz. Tenth National Conference on Environmental Health, Hamedan University of Medical Sciences. 2007. (Persian)

www.SID.ir

Archive of SID

Original Article

Survey of scaling and corrosion potential in drinking water resources of Shahrood city by using stability indexes in 2013

Ali Azari.,
PhD Student in Environmental Health Engineering, School of Health, Tehran University of Medical Sciences, Tehran, Iran

Saeid Nazemi.,
Department of Environmental Health Engineering, School of Public Health, Shahrood University of Medical Sciences, Semnan, Iran

****Babak Kakavandi.,***
PhD Student in Environmental Health Engineering, School of Health, Ahvaz Jundishapur University of Medical Sciences, Ahwaz, Iran

Ayoub Rastgar.,
Department of Environmental Health Engineering, School of Public Health, Sabzevar University of Medical Sciences, Sabzevar, Iran

Received:07/04/2015**, Revised:**14/06/2015**, Accepted:**12/07/2015

Corresponding Author:
Babak Kakavandi,
Ahvaz Jundishapur University of Medical Sciences, Ahwaz, Iran
E-mail: kakavandi.b@ajums.ac.ir

Abstract

Background: Corrosion and scaling are the main problems that water facilities still face with them. Corrosion can caused great financial losses and health damage to the system, and consumers. Blockages and pressure drop in the network are another disadvantage of scaling. The aim of present study was to determine the corrosive and scaling potential in drinking water resources of Shahrood city.

Materials and Methods: This crosses-sectional study was conducted over 4 seasons in 2013 years. 1104 samples were examined using Langelier (LSI), Rayznr (RSI), aggressive (AI) and Pokurious (PSI) indices to determine the corrosive and scaling potential in drinking water resources of Shahrood city. To compare the mean values of each indices, the results were analyzed using t-test.

Results: The results indicate that the drinking water resources of Shahrood according to the Langelier index equals -1.03 with a standard deviation of 0.11, according to Rayznr index equals 9.72 with a standard deviation of 0.17, based on Aggressive index equals 12.10 with a standard deviation of 0.14, based on Pokurious index equals 9.59 with a standard deviation of 0.13 respectively. The difference between the mean values of the four studied seasons also were significant. P-value< (0.05)

Conclusion: Comparison of four indices and obtained results showed that drinking water resources in Shahrood was corrosive, therefore, it is suggested that the city's water resources should constantly assessed and try adjusting the pH and control of other affecting factors on the corrosion such as chloride, dissolved oxygen and sulfate concentrations to reduce corrosion.

Key words: *Shahrood, Corrosion, Scaling, Drinking water, Water stability indices*

www.SID.ir