مجله سلامت و محیط زیست، فصلنامه‌ی علمی پژوهشی
انجمن علمی بهداشت محیط ایران
دوره نهم، شماره چهارم، زمستان ۱۳۹۵، صفحات ۴۵۷ تا ۴۷۰

Available online: http://ijhe.tums.ac.ir

مقاله پژوهشی

تحلیل تمایل خورندگی در سیستم تامین آب با استفاده از شاخص‌های کیفی و شاخص کمی پتانسیل ترسیب کربنات کلسیم

رامین‌نبی‌زاده نودهی[۱]، علیرضا مصداقی‌نیا[۲]، سیمین ناصری[۲]، مهدی هادی[۲*]، حامد سلیمانی[۱]، پگاه بهمنی[۳]

۱- گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی تهران، تهران، ایران
۲- (نویسنده مسئول): مرکز تحقیقات کیفیت آب، پژوهشکده محیط زیست، دانشگاه علوم پزشکی تهران، تهران، ایران
۳- مهندسی بهداشت محیط، شرکت آب و فاضلاب روستایی استان کردستان، سنندج، ایران

اطلاعات مقاله:

تاریخ دریافت: ۹۵/۰۸/۲۹
تاریخ ویرایش: ۹۵/۱۱/۱۸
تاریخ پذیرش: ۹۵/۱۱/۲۴
تاریخ انتشار: ۹۵/۱۲/۱۶

واژگان کلیدی: پتانسیل ترسیب کربنات کلسیم، سیستم تامین آب شرب، شاخص‌های خورندگی

پست الکترونیکی نویسنده مسئول:
hadi_rfm@yahoo.com

چکیده

زمینه و هدف: رسوبگذاری و خورندگی عوامل مخرب کیفیت آب آشامیدنی و تجهیزات لوله‌کشی محسوب می‌شوند. در این مطالعه تمایل به خورندگی یا رسوبگذاری آب زیرزمینی، آب مخازن ذخیره و شبکه‌های توزیع مورد بررسی قرار گرفت. استفاده از شاخص‌های کیفی و شاخص کمی پتانسیل ترسیب کربنات کلسیم و تحلیل آماری شاخص‌ها به منظور بررسی وضعیت آب، انجام شد.

روش بررسی: نتایج آنالیز آب‌های زیرزمینی، آب مخازن ذخیره و شبکه توزیع آب روستایی شهرستان‌های استان کردستان مورد تحلیل قرار گرفت. مقدار شاخص‌های خورندگی لانژلیر (LI)، رایزنار (RI)، پوکوریوس (PSI) و لارسون- اسکولد (LS) و پتانسیل ترسیب کربنات کلسیم (CCPP) تعیین گردید. آستانه خورندگی یا رسوبگذاری بر مبنای شاخص CCPP تعیین و مقایسه میانگین شاخص‌ها با مقادیر آستانه با استفاده از independent t-test انجام شد. آنالیز واریانس یکطرفه به منظور بررسی اختلاف بین مقدار شاخص‌ها در منابع استفاده شد.

یافته‌ها: محدوده تعادل آب بر مبنای لانژلیر، رایزنار و پوکوریوس به ترتیب ۰/۰۵-۰/۱-، ۹-۷ و ۸/۵-۷/۱ تعیین شد. مقدار CCPP در آب‌های زیرزمینی، مخازن و شبکه به ترتیب برابر با ۱/۲۹±۹/۲۷، ۱/۲۵±۹/۱۳، ۱/۲۳±۱۱/۲۵ تعیین گردید و مقادیر شاخص‌های لانژلیر، رایزنار و پوکوریوس در هر سه منبع، نزدیک به وضعیت رسوبگذار بود. با این‌حال به لحاظ آماری وضعیت تعادل معنی‌دار شد. براساس مقادیر شاخص لارسون-اسکولد در مورد منابع آب مورد مطالعه، آنیون‌های سولفات و کلرور نقشی در رسوبگذاری ندارند.

نتیجه‌گیری: بررسی همزمان شاخص‌های کیفی در کنار شاخص CCPP اطلاعات دقیق‌تری از وضعیت خورندگی و رسوبگذاری آب فراهم می‌نماید. توصیه می‌شود مقدار شاخص‌های کیفی همواره در کنار شاخص CCPP بررسی شوند.

Please cite this article as: Nabizadeh Nodehi R, Mesdaghinia AR, Nasseri S, Hadi M, Soleimani H, Bahmani P. Analysis of water corrosion tendency in water supply system using qualitative indices and Calcium Carbonate Precipitation Potential index. Iranian Journal of Health and Environment. 2017;9(4):457-70.

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2024-07-28]

مقدمه

رسوبگذاری و خورندگی به عنوان یکی از عوامل مخرب مهم کیفیت آب آشامیدنی مشکلاتی را نظیر کاهش بهداشت عمومی، کاهش کیفیت آب و کاهش عمر مفید تجهیزات لوله‌کشی ایجاد می‌کنـد. از اینرو کنترل آن تاثیر بسـزایی در بهداشت و کیفیت آب دارد. طبـق استانـدارد ایـزو ۸۰۴۴ خورندگی، برهم‌کنش فیزیکو شیمیایی مسـیر انتقال با محیـط اطراف است که سبب تغییـر در خواص مسـیر انتقال می‌شـود (۱). بـه بیانی دیگر خورندگـی واکنـش فیزیکی- شیمیایی ناشـی از تاثیر چندین عامـل شیمیایی، الکتریکی، فیزیکی و بیولوژیکی توصیف شده است (۲). فرایند فوق در دراز مدت می‌تواند سلامت انسـان‌ها را به خطر انداخته و مسـایل اقتصادی، اجتماعی، فنی مهندسی و زیباشناختـی را به دنبال داشته باشـد (۳). مطابق معیارهای جهانی پایش تمایل آب به خورندگی با استفاده از شاخص‌های خورندگـی و رسوبگذاری باید حداقـل هر سه ماه یکبار برای منابع آب‌های سطحی و هر شش ماه یکبار برای منابع آب‌های زیرزمینی انجام شوند (۴). از اینرو همه ساله هزینه قابل توجهی جهـت کنترل خوردگی در صنعت آب اختصاص داده می‌شود. مطالعات در کشورهای صنعتی نشان می‌دهد خسارات ناشی از خوردگی حدود ۶ درصد درآمد ناخالص ملی در این کشـورها بوده است (۵). در سیستم‌های آبرسانی علاوه بر خسارت‌های مالـی که در اثر از بین رفتن تاسیسـات حاصل می‌شود، ورود محصولات حاصله از خوردگـی در آب، اغلب باعث بی‌میلی مصرف‌کنندگان نسـبت بـه آب توزیعی شده و ممکن است به علـت ورود فلزات سنگین نظیر سرب، مـس، کروم و کادمیم سلامتی مصرف‌کنندگان را به مخاطره بیاندازد (۸-۶). مطالعات نشـان می‌دهند که محصولات ناشـی از خوردگی سطوح لوله می‌توانـد در شبکه‌های توزیع تجمع یافته یا ته‌نشـین شوند و میکروارگانیسـم‌ها را از اثر گندزداهـا محافظت کنند (۹، ۱۰). Loewenthal و همکاران در سال ۲۰۰۴ در کشـور آفریقای جنوبی اعلام کردند که خورندگی و رسوبگذاری از مشـکلات متـداول در خطوط انتقال و توزیـع آب‌های زیرزمینی است و مکانیـزم اثر و شدت آن به دو عامل یکی کیفیت آب و دیگری جنس لوله بستگی دارد. صرف‌نظر از علل این مشکلات، از راه حـل های ممکن (برای تقلیل آنهـا) تنظیم pH، تنظیم غلظت کربنات کلسیم و تثبیت آب هستند (۱۱). بر طبق مطالعه انجام شـده توسـط Atasoy و همکاران خوردگـی باعث افزایش غلظـت فلزات در آب آشامیدنی می‌شود (۱۲). بر طبق سومین گزارش کنگره آکادمی علـوم، خوردگی می‌تواند سبب کاهش طول عمر لوله‌ها و تخریب کلیه قسمت‌های سیستم توزیع آب یعنی خطـوط انتقال، دستگاه‌های پمپـاژ، خطوط اصلی شبکه توزیع و لوله‌کشـی منازل گردد. مسائل مربوط به خوردگی در حـال حاضر درصد قابـل توجهی از درآمد سرانه کشـورهای مختلف را به خود اختصاص داده است (۱۳).

در ایـران آمار دقیقی از خسـارت خورندگـی و رسوبگذاری در دسترس نیسـت ولی بررسی تلفات آب تصفیه شده نشـان می‌دهد که سالانـه به علت پوسیدگی‌های حاصله از خوردگی لوله‌های انتقال و توزیع آب، بیش از ۳۰ درصد آب‌های توزیعی بـه هدر می‌رونـد (۶، ۱۴). در استانداردهای مصوب ایران نیز موضـوع عدم خورنده بودن آب منظور نگردیده است (۱۵). با این‌حال مطالعات متعددی در زمینه بررسی وضعیت خورندگی و تشکیل رسوب در سیستم‌های مختلف تامین و توزیع آب در شهرهای مختلف انجام شده است (۱۶، ۱۷).

پدیده‌هـای خورندگی یا رسوبگذاری با استفاده از شاخص‌های کیفی شامل شاخص اشباع لانژلیر (LI) (۱۸)، شاخص پایداری رایزنار (RY) (۱۹)، شاخـص رسوبگذاری پوکوریوس (PSI) (۲۰) و شاخـص لارسون-اسکولـد (LS) (۲۱) و همچنیـن شاخص کمی مهـم دیگری با عنوان پتانسـیل ترسیب کربنات کلسـیم (CCPP) قابـل بررسی است. اولیـن روش به منظور پیش‌بینی مشـخصات خورنده و یـا رسوبگذار بودن آب توسط لانژلیـر (۲۲) ارائه شد. در ایندکـس پایداری رایزنار (۱۹) سعی شد از اطلاعات تجربی نیز به منظور بررسی شدت خوردگی در لوله‌هـای انتقال آب شهری کمک گرفته شود. در شاخص PSI رابطه بین وضعیت فوق اشباع آب و رسوبگذاری با لحاظ شدن دو پارامتر ظرفیت بافری آب و حداکثر مقدار ته‌نشست ناشی از آب در شرایط تعادل بررسی شد. شاخص لارسون-اسکولد (۲۱) نیـز به منظور بررسی خورنده بودن آب در مجاورت با لوله‌های فـولادی و لوله‌های فولادی با ساختـار کربنی سبک و لوله‌های چدنی ارائه شـد. شاخص دیگری که بـر خلاف شاخص‌های قبـل یک شاخص کمی محسـوب می‌شـود شاخص CCPP

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2024-07-28]

اســت. محاسبه این شاخص نیازمند استفــاده از روش‌های حل عددی کامپیوتری بوده و به روش دستی قابل محاسبه نیســت. این مســئله باعث شده است تا در اغلب مطالعات انجام شده در زمینــه پایش خورندگی آب از این شاخص استفاده نشــود و یا به ندرت مــورد استفاده قرار گیرد. Rossum و همکاران (۲۳) در ســال ۱۹۸۳ الگوریتمــی را جهت محاسبه شاخص CCPP ارائــه کردند. آنها به پیچیده بــودن محاسبه این شاخص اشاره و استفاده از برنامه‌های کامپیوتری را تنها راه حل برای محاسبه این شاخص معرفــی کرده‌اند. به هرحال در اغلب مطالعات صورت گرفته عمدتا از شاخص‌های کیفی لانژلیر، رایزنار و پوکوریوس و همچنین شاخص لارسون اسکولد استفاده شده است.

در ایران در مطالعات مرتبط با پایش خوردندگی در سیستم‌های تامین آب شرب از شاخص پتانسیل ترسیب کربنات کلسیم که یک شاخص کمی است بندرت (۱۷) استفاده شده است.

در ایــن مطالعه با استفاده از اطلاعات کیفیت شیمیایی آب‌های زیرزمینی، مخازن و شبکه توزیع آب در استان کردستان، مقادیر شاخص‌های خورندگی کیفــی شامل LI، RY، PSI و LS و همچنین CCPP که نشــان‌دهنده تمایل رسوبگذاری کربنات کلسیم هستند و برحســب میلی‌گرم بر لیتر بیان می‌شود تعیین گردید و با استفــاده از روش‌های آماری مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

در ایــن مطالعــه از اطلاعات ثبت شــده اندازه‌گیری‌های کیفی آب‌هــای زیرزمینی توســط شرکت آب و فاضــلاب روستایی استان کردستان (سال ۱۳۸۸) که شامل چشمه‌ها، قنوات و چاه‌ها در شهرستان‌های بانه، دهــگلان، سقز، سنندج، سروآباد، قروه، کامیاران، مریوان، بیجار و دیواندره است، استفاده شد. اطلاعات مربوط به کیفیت شیمیایی شامل مقدار پارامترهای دما، قلیائیت کــل، pH، سختی کلســیم، سختی کل، کــل جامدات محلول (TDS) و هدایت الکتریکی پس از جمع‌آوری و بررسی اولیه وارد نرم افزار اکســل شدند. بعد از حذف مقادیر برونهشــته از بین داده‌ها، رکوردهای مناسب داده به منظور بررسی بیشتر مورد استفاده قرار گرفت. محاسبه شاخص‌های خورندگی با استفاده از نرم افــزار Water Corrosion Index Calculator که برای همین منظــور در مطالعــه Mesdaghinia و همکاران (۱۷) تدویــن شد انجام گردید. بعد از تعیین مقدار شاخص‌ها، مقایســه میانگین مقادیر تعیین شده با مقدار آستانه با استفاده از independent t-test و با استفاده از نرم افزار R انجام شد. حــدود اطمینان آماری در انجام تمام آزمون‌های انجام شده ۹۵ درصد منظور شد.

در ایــن مطالعــه براســاس پیشــنهاد ارائــه شــده در مطالعــه Mesdaghinia و همکــاران (۱۷) حــد آستانــه هر یک از شاخص‌های لانژلیــر، رایزنار و پوکوریــوس از طریق بررسی ارتبــاط بیــن این شاخص‌هــای کیفی با مقــدار شاخص کمی CCPP تعییــن و در جــدول ۱ آورده شــد. در مورد شاخص لارســون اسکولــد به دلیل اینکــه این شاخص بــر پایه تعادل کربنات کلســیم نیســت امکــان تعیین حدود آستانــه از طریق برقراری ارتباط با شاخــص CCPP وجود نداشت و از اینرو حــد آستانه خورندگی این شاخص مقادیر بالاتر از ۱/۲ مطابق توصیه Larson و همکاران (۲۱) در نظر گرفته شد.

جدول ۱- حد آستانه شاخص‌های کیفی خورندگی

شاخص	حد آستانه		
	رسوبگذار	تعادل	خورنده
لانژلیر	>۰/۰۵	-۰/۱-۰/۰۵	<-۰/۱
رایزنار	<۷	۷-۹	>۹
پوکوریوس	<۷/۱	۷/۱-۸/۵	>۸/۵

در جــدول ۲ نحوه محاسبه هر شاخص و مقــدار آستانه بروز خوردگی بر مبنای پیشنهاد مطالعات مختلف آورده شده است.

یافته‌ها

در جدول ۳ آمار توصیفی مشخصات کیفی آب‌های زیرزمینی، مخــازن ذخیره آب و شبکه‌های توزیع آب روستایی در تمامی شهرستان‌هــای مــورد مطالعــه آورده شده اســت. از مهمترین پارامترهایی کــه در پدیده‌های رسوبگذاری و خورندگی نقش دارند می‌تــوان به پارامترهــای pH، قلیائیت، مقدار کلســیم، TDS و غلظــت آنیون‌هــای سولفات و کلرور اشــاره کرد. با

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2024-07-28]

بررسی مقدار pH در جدول ۳ مشـاهده می‌شود که مقدار این پارامتر از ۷/۵۶ در آب‌های زیرزمینی به ۷/۶۳ در مخازن ذخیره و در نهایـت بـه ۷/۷۲ در شبکه توزیع افزایـش یافته است. با افزایش pH تمایـل آب به رسوبگـذاری افزایش می‌یابد. در مقابل مقدار پارامتر TDS از ۳۸۶/۳۴ در آب‌های زیرزمینی به ۳۳۷/۳۶ در مخـازن ذخیره و در نهایـت به ۳۰۴/۸۹ در شبکه توزیع کاهش یافته است. همچنین این روند کاهشـی در مورد پارامتر کلسیم نیز دیده می‌شود.

به جز شاخص CCPP که یک شاخص کمی بوده و بر حسب میلی‌گرم بر لیتر بیان شده است بقیه شاخص‌ها کیفی بوده و بدون بعد هستند. مقدار شاخص CCPP برای آب زیرزمینی، مخازن ذخیره‌سـازی و شبکه توزیع بـه ترتیب برابر بـا ۸/۱۶±۲/۱۵، ۱۱/۰۹±۴/۸۶ و ۱۱/۱۵±۳/۱۶ تعییـن شـد. در جدول ۴ نتایج مقایسه مقدار شاخص‌های برآورد شده در منابع مورد بررسی با استفـاده از آنالیز واریانس آورده شده است. براساس نتایج آنالیز واریانس و انجام مقایسه Tukey Multiple Comparison اختـلاف معنی‌داری بین مقدار شاخص‌هـای لانژلیر و لارسون اسکولد بـرآورد شده برای آب زیرزمینی و آب شبکه توزیع در سطح اطمینان ۹۵ درصـد وجود دارد. در شکل ۱ آزمون فرض مقایسـه مقدار میانگین شاخص‌های خورندگی با حدود آستانه بـه تفکیک منبع مورد بررسی آورده شده است. همچنین آزمون فرض مشابهی به تفکیک شهرستان برای شاخص کمی CCPP در شـکل ۲ بـرای آب زیرزمینی، مخـازن آب و شبکه توزیع آورده شده است. در شکل ۱ و ۲، SE نشان‌دهنده مقدار خطای استاندارد ضرب شده در مقدار z (برابر ۱/۹۶) و به عبارتی حدود اطمینان ۹۵ درصـد میانگین است. دو خطی که اطراف میانگین (دایره مشکی) قرار گرفته است حدود اطمینان ۹۵ درصد میانگین را نشـان می‌دهد. در این نمودارها با استفاده از دو خط عمودی آستانه‌های خورندگی و رسوبگذاری براساس تفسیر هر شاخص در جداول ۱ و ۲ مشخص شده است.

بحث

مقدار متوسط شاخـص لانژلیر در آب‌هـای زیرزمینی، مخازن و شبکـه توزیع به ترتیب برابر بـا ۰/۰۲±۰/۰۲۴، ۰/۰۲±۰/۱۹، ۰/۳۳±۰/۶۰ تعییـن گردید. چنانچه مقدار این شاخص کمتر از صفر باشد بیانگر تمایل آب به خورندگی است و در صورتی که بزرگتـر از صفر باشد به مفهوم رسوبگذار بودن آب است (۱۸). بـه هر شکل هر دو پدیده رسوبگذاری و خورندگی پدیده‌های نامطلوبی به حسـاب می‌آیند. طبق پیشـنهاد Benefield (۲۴) چنانچـه مقدار شاخص لانژلیر در آب‌های سرد از ۰/۵- بیشـتر باشـد و یا در آب جوش از ۰/۰ بیشـتر باشد، آب در وضعیت غیرخورنده قـرار خواهد داشت و مطلوب‌تریـن حالت زمانی است که مقدار شاخص برابر صفر باشد. به هر حال حدود آستانه بسته به مشخصات کیفی آب متفاوت خواهد بود و بهترین روش برای تعیین حدود آستانه شاخص‌های کیفی، بررسی ارتباط آنها با شاخص کمی CCPP است (۱۷). براساس نتایج این مطالعه چنانچه مقدار شاخص لانژلیـر بین ۰/۱- تا ۰/۰۵ باشد، آب در وضعیـت تعادل قـرار دارد. براساس مقدار شاخـص لانژلیر و همچنین پلات ترسیم شده از مقادیر مشاهداتی این شاخص در شکل ۱- (الف)، مقدار ایـن شاخص در آب زیرزمینی، مخازن ذخیره و شبکه توزیع از مقدار آستانه ۰/۰۵ بزرگتر بوده و از اینرو تمایل نسبتا کمی به شرایط رسوبگذار وجود دارد.

مقـدار متوسط شاخص رایزنار در آب‌هـای زیرزمینی، مخازن و شبکـه نیز به ترتیـب برابر بـا ۷/۲۲±۰/۰۳۴، ۷/۲۵±۰/۳۳، ۷/۱۳±۰/۰۲ تعیین گردیـد. براساس شاخص رایزنار و حدود آستانـه تعیین شده برای این شاخص (جدول ۱) چنانچه مقدار ایـن شاخص بین ۷ تا ۹ قـرار گیـرد، آب در وضعیت تعادل و چنانچـه بیشـتر از ۹ باشـد خورنده خواهد بـود. بر اساس شکل ۱-(ب) مقادیر مشـاهداتی این شاخص نیز به حد آستانه رسوبگـذاری یعنی عدد هفت نزدیک هسـتند، بـا این‌حال به لحـاظ آماری بـا اطمینان ۹۵ درصد مقـدار این شاخص برای آب‌هـای زیرزمینی، مخازن و شبکـه در محدوده ۷ تا ۹ است. در بیـن شاخص‌های مختلف، شاخص‌های رایزنار و لانژلیر به دلیل مزایای خاصی که نسبت به دیگر شاخص‌ها دارند، بیشتر مورد استفاده قرار می‌گیرند (۲۵، ۲۶). یکی از مزایای عمده این دو شاخـص سادگی، قدمت و کاربرد وسیع آنها است (۲۷). از مزایای دیگـر، کاربرد عام در تمامی بخش‌هـای مرتبط با آب است. با این‌حال روند تحقیقات نشان می‌دهد محققان مختلف شاخص‌هـای گوناگونی را در زمینـه خوردگی و رسوبگذاری معرفی نموده‌اند (۱۲، ۲۳، ۲۸، ۲۹).

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2024-07-28]

جدول ۲- تعریف و حد آستانه خورندگی هر یک از چهار شاخص مورد مطالعه

شاخص	فرمول	نوع	حد آستانه خورندگی	روابط محاسباتی	منبع
LI	$LI = pH - pH_s$	کیفی	< ۰	$pH = -\log[H^+]$	(۱۸)
RY	$RI = 2pH_s - pH$	کیفی	> ۷/۵	$pH_s = pK_{a2} + pCa^{2+} - pK_{SO} - \log(2[Alk_{initial}]) - \log\gamma_m$ $[Alk_{initial}] = [CO_3^{2-}] + ½[HCO_3^-] + ½[OH^-] - ½[H^+]$	(۱۹)
LS	$LS = (C_{Cl^-} + C_{SO_4^{2-}})(C_{HCO_3^-} + C_{CO_3^{2-}})$	کیفی	> ۱/۲	$C_T = \frac{[HCO_3^-]([H^+]^2 + K_{a1}[H^+] + K_{a1}K_{a2})}{K_{a1}[H^+]}$	(۲۱)
PSI	$PSI = 2pH_s - pH_{eq}$	کیفی	> ۷/۶	$pH_{eq} = -\log\{H^+\}$ $\alpha_1 = \frac{K_{a1}\{H^+\}}{\{H^+\}^2 + K_{a1}\{H^+\} + K_{a1}K_{a2}}$ $\alpha_2 = \frac{K_{a1}K_{a2}}{\{H+\}^2 + K_{a1}\{H^+\} + K_{a1}K_{a2}}$	(۲۰)
CCPP	$CCPP = X \times 100086.9$	کمی	< ۴	$X \approx \frac{C_T(\{H^+\} + 2\alpha_2) + \frac{K_W}{\{H^+\}} - \{H^+\} - Alk_{initial}}{(\alpha_1 + 2\alpha_2 - 2)}$ $K_{SO} = ([Ca^{2+}] - X)(C_T - X)\alpha_2$ مقدار پارامتر X به روش سعی و خطا براساس روش ارائه شده توسط تروسل قابل تعیین است.	(۳۰ ,۲۳)

$[Alk_{initial}]$: قلیائیت اولیه (mol/L)، $Alk_{initial}$: قلیائیت اولیه(eq/L)، α۱ و α۲: فاکتورهای یونیزاسیون کربنات کلسیم، H^+: اکتیویته پروتون در نقطه تعادل (mol/L)، K_{a1}: ثابت تعادل اصلاح شده اسید کربنیک و بی کربنات، K_{a2}: ثابت تعادل اصلاح شده بی کربنات و کربنات، K_w: ثابت تعادل اصلاح شده آب، K_S: ثابت حاصلضرب حلالیت کربنات کلسیم، X: مقدار کربنات کلسیم حل شده یا رسوب یافته در نقطه تعادل (mol/L)، C_T: غلظت کل گونه‌های کربناته (mol/L)، pH: مقدار pH واقعی (اندازه‌گیری شده)، pH_s: مقدار pH در نقطه اشباع کربنات کلسیم، pH_{eq}: مقدار pH در نقطه تعادل کربنات کلسیم، γ_m: ضریب اکتیویته یون‌های مونوولنت در آب.

جدول ۳- آمار توصیفی مشخصات کیفی آب به تفکیک منبع

منبع	پارامتر	واحد	میانگین	انحراف معیار	خطای استاندارد	بیشینه	کمینه	حد بالا	حد پایین
آب زیرزمینی	T	Cº	۲۲/۸۳	۳/۷۹	۰/۳۳	۲۹/۷۰	۱۱/۸۰	۲۳/۱۶	۲۲/۵۰
	pH	-	۷/۵۶	۰/۳۵	۰/۰۳	۸/۹۰	۶/۵۰	۷/۵۹	۷/۵۲
	EC	µs/cm	۶۰۳/۷	۶۰۴/۵	۵۲/۶	۸۱۰۳	۱۱۹	۶۵۶۳	۵۵۱
	TDS	mg/L	۳۸۶/۳۴	۳۸۳/۱۰	۳۳/۳۳	۵۴۲۹/۰	۷۵/۰۰	۴۱۹/۶۷	۳۵۳/۰۱
	TH	mg/L	۲۷۷/۳۵	۱۵۰/۴۸	۱۳/۰۹	۱۵۹۵/۳۰	۹۰/۸۰	۲۹۰/۴۴	۲۴۶/۲۶
	Cl	mg/L	۳۴/۰۸	۱۲۲/۳۶	۱۰/۶۵	۱۷۷۹/۱۰	۰/۵۰	۴۴/۷۲	۲۳/۴۳
	$SO_۴$	mg/L	۶۶/۲۶	۱۴۲/۰۶	۱۲/۳۶	۱۷۵۰/۰	۰/۵۰	۷۸/۶۲	۵۳/۹۰
	Alk	mg/L	۲۰۸/۹۸	۷۴/۹۹	۶/۵۲	۵۴۵/۴۰	۱۹/۸۰	۲۱۵/۵۰	۲۰۲/۴۶
	Ca	mg/L	۷۸/۸۰	۴۳/۱۸	۳/۷۶	۵۳۲/۳۰	۱۶/۲۰	۸۲/۵۶	۷۵/۰۴
	$CO_۲$	mg/L	۱۳/۱۴	۱۲/۱۲	۱/۰۵	۹۰/۰۰	۰/۰۰	۱۴/۱۹	۱۲/۰۸

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2024-07-28]

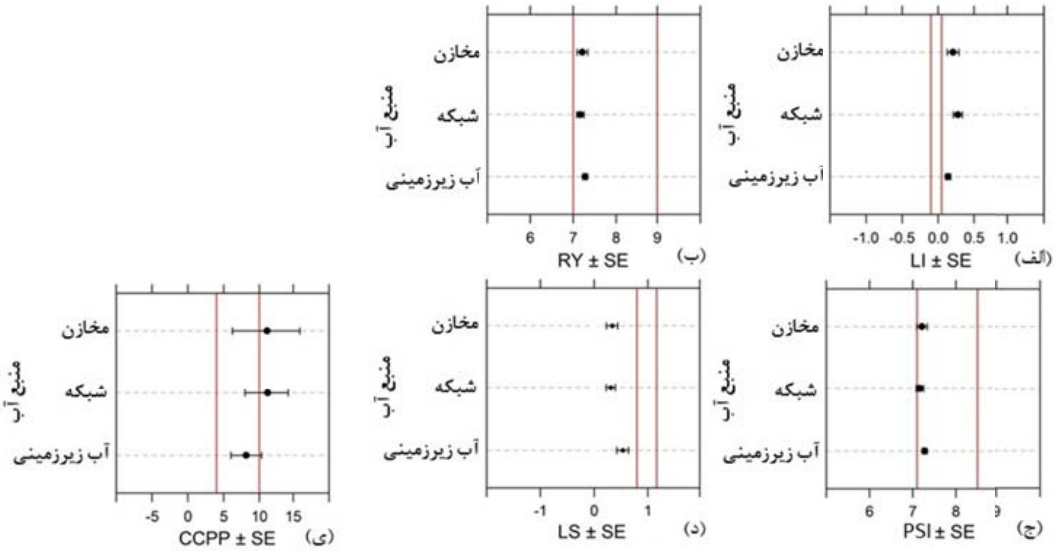
ادامه جدول ۳- آمار توصیفی مشخصات کیفی آب به تفکیک منبع

منبع	پارامتر	واحد	میانگین	انحراف معیار	خطای استاندارد	بیشینه	کمینه	حد بالا	حد پایین
مخازن ذخیره آب	T	Cº	۲۲/۹۵	۲/۸۸	۰/۶۰	۲۹/۵۰	۱۵/۷۰	۲۳/۵۵	۲۲/۳۵
	pH	-	۷/۶۳	۰/۳۴	۰/۰۷	۸/۳۷	۶/۵۰	۷/۷۰	۷/۵۶
	EC	µs/cm	۵۲۱/۹	۳۱۹/۲	۶۶/۵	۱۹۴۹/۱	۱۱۶/۸	۵۸۸/۳	۴۵۵/۴
	TDS	mg/L	۳۳۷/۳۶	۲۱۲/۶۸	۴۴/۲۹	۱۳۰۵/۹۰	۷۳/۶۰	۳۸۱/۶۵	۲۹۳/۰۷
	TH	mg/L	۲۷۳/۸۱	۱۴۵/۸۲	۳۰/۳۷	۹۲۹/۴۰	۹۵/۴۰	۳۰۴/۱۸	۲۴۳/۴۴
	Cl	mg/L	۲۰/۷۹	۳۸/۸۳	۸/۰۹	۲۱۸/۵۰	۰/۵۰	۲۸/۸۷	۱۲/۷۰
	$SO_۴$	mg/L	۴۷/۲۴	۹۴/۳۶	۱۹/۶۵	۶۵۰/۰۰	۰/۵۰	۶۶/۸۹	۲۷/۵۹
	Alk	mg/L	۲۰۶/۳۶	۸۴/۹۹	۱۷/۷۰	۶۵۴/۲۰	۵۰/۰۰	۲۲۴/۰۶	۱۸۸/۶
	Ca	mg/L	۷۷/۴۲	۳۸/۵۵	۸/۰۳	۳۰۹/۴۰	۲۱/۴۰	۸۵/۴۵	۶۹/۳۹
	$CO_۲$	mg/L	۱۱/۰۲	۹/۶۰	۲/۰۰	۵۲/۰۰	۲/۰۰	۱۳/۰۲	۹/۰۲
شبکه توزیع	T	Cº	۲۲/۳۹	۳/۵۶	۰/۵۸	۲۹/۷۰	۱۲/۶۰	۲۲/۹۶	۲۱/۸۱
	pH	-	۷/۷۲	۰/۳۷	۰/۰۶	۸/۳۵	۶/۶۰	۷/۷۸	۷/۶۶
	EC	µs/cm	۴۷۴/۲	۲۴۳/۴	۳۹/۴	۱۹۰۵	۱۶۷/۹	۵۱۳/۶	۴۳۴/۸
	TDS	mg/L	۳۰۴/۸۹	۱۶۲/۱۹	۲۶/۲۶	۱۲۷۶/۶۰	۱۰۵/۸۰	۳۳۱/۱۵	۲۷۸/۶۳
	TH	mg/L	۲۵۱/۹۳	۹۰/۱۴	۱۴/۵۹	۷۰۴/۶۰	۷۷/۳۰	۲۶۶/۵۳	۲۳۷/۳۴
	Cl	mg/L	۱۵/۸۹	۲۵/۴۶	۴/۱۲	۱۶۴/۴۰	۰/۵۰	۲۰/۰۱	۱۱/۷۷
	$SO_۴$	mg/L	۳۵/۴۶	۵۶/۳۴	۹/۱۲	۶۰۰/۰۰	۱/۰۰	۴۴/۵۸	۲۶/۳۴
	Alk	mg/L	۲۰۳/۶۴	۶۴/۶۰	۱۰/۴۶	۴۰۹/۳۰	۵۷/۲۰	۲۱۴/۰۹	۱۹۳/۱۸
	Ca	mg/L	۷۲/۱۰	۲۵/۱۹	۴/۰۸	۱۷۸/۷۰	۲۱/۰۰	۷۶/۱۷	۶۸/۰۲

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2024-07-28]

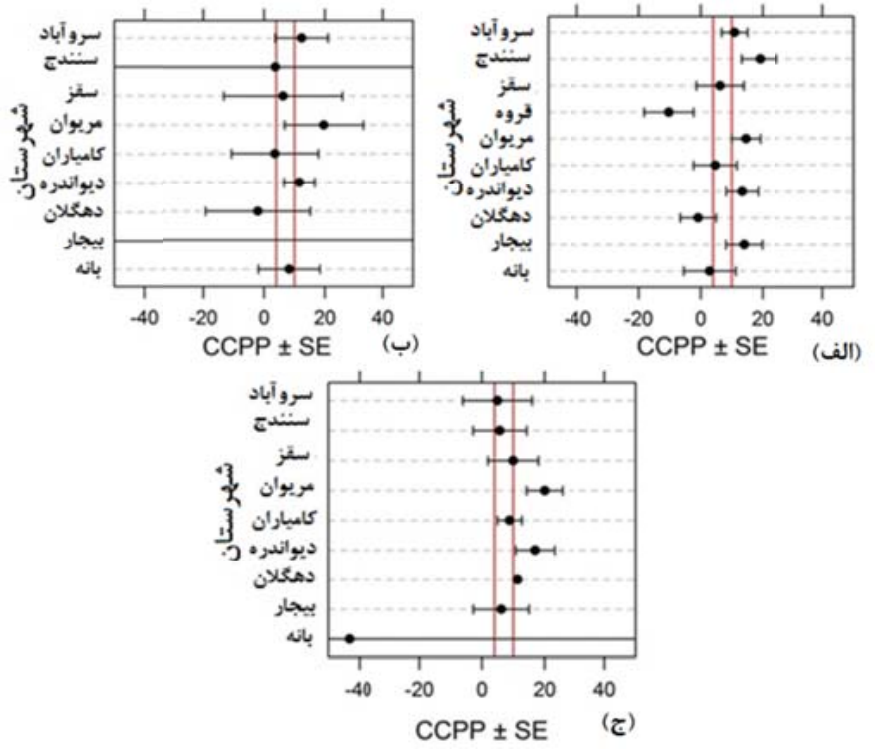
جدول ۴- آنالیز واریانس مقدار شاخص‌ها در بین منابع آب مورد بررسی

شاخص	آنالیز واریانس						مقایسه Tukey Multiple Comparison		
	منبع واریانس	*Df*	مجموع مربعات خطا	میانگین مربعات خط	*F*	*P-value*	محل اختلاف	اختلاف	*P-value*
LI	منبع آب	۲	۲/۲۴	۱/۱۲	۶/۸۷	۰/۰۰۱	شبکه-آب زیرزمینی	۰/۱۳۵۷	۰/۰۰۱۰
	باقیمانده	۷۴۷	۱۲۱/۸۵	۰/۱۶			مخزن-آب زیرزمینی	۰/۰۶۹۶	۰/۲۸۵۱
							مخزن-شبکه	-۰/۰۶۶۱	۰/۴۳۵۳
RY	منبع آب	۲	۱/۴۹	۰/۷۵	۲/۱۶۷	۰/۱۱۵	شبکه-آب زیرزمینی	-۰/۱۰۸۹	۰/۱۱۴۴
	باقیمانده	۷۴۷	۲۵۶/۹	۰/۳۴			مخزن-آب زیرزمینی	-۰/۰۶۳۹	۰/۶۰۳۸
							مخزن-شبکه	۰/۰۴۵۰	۰/۸۳۲۸
PSI	منبع آب	۲	۰/۰۲	۰/۰۱	۰/۰۷۰	۰/۹۳۳	شبکه-آب زیرزمینی	۰/۰۰۵۸	۰/۹۸۰۳
	باقیمانده	۷۴۷	۷۹/۸۲	۰/۱۱			مخزن-آب زیرزمینی	-۰/۰۱۰۴	۰/۹۵۷۵
							مخزن-شبکه	-۰/۰۱۶۲	۰/۹۲۶۲
LS	منبع آب	۲	۷/۴۹	۳/۷۵	۳/۲۷۲	۰/۰۳۸	شبکه-آب زیرزمینی	-۰/۲۲۳۵	۰/۰۴۴۸
	باقیمانده	۷۴۷	۸۵۵/۳۲	۱/۱۵			مخزن-آب زیرزمینی	-۰/۱۹۷۶	۰/۲۳۶۵
							مخزن-شبکه	۰/۰۲۵۹	۰/۹۸۱۹
CCPP	منبع آب	۲	۰/۱۴۳۵	۷۱۷/۶۳	۱/۲۹۲	۰/۲۷۵	شبکه-آب زیرزمینی	۲/۹۸۹۱	۰/۳۶۱۵
	باقیمانده	۷۴۷	۴۱۴۸۳۶	۵۵۵/۳۴			مخزن-آب زیرزمینی	۲/۹۲۶۵	۰/۵۱۹۸
							مخزن-شبکه	-۰/۰۶۲۶	۰/۹۹۹۸



شکل ۱- آزمون فرض مقایسه مقدار میانگین شاخص‌های خورندگی با حدود آستانه

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2024-07-28]



شکل ۲- مقدار شاخص CCPP منابع آب زیرزمینی (الف) مخازن ذخیره آب (ب) و شبکه توزیع آب (ج) به تفکیک شهرستان

شاخص خورندگی دیگری که در این مطالعه مورد بررسی قرار گرفت شاخص اشباع پوکوریوس (PSI) است. همانطور که قبلا اشاره شد در این شاخص این امکان فراهم شده است که رابطه بین وضعیت فوق اشباع آب و رسوبگذاری با لحاظ شدن دو پارامتر یعنی ظرفیت بافری آب و حداکثر مقدار ته نشست ناشی از آب طبیعی، در شرایط تعادل بررسی شود. در این شاخص به جای استفاده از مقدار pH اندازه‌گیری شده، از pH تعادل که نشان‌دهنده اکتیویته تعادلی یون هیدروژن است استفاده می‌شود. در جدول ۲ به نحوه محاسبه pH تعادل (pH_{eq}) و محاسبه شاخص اشاره شد. این شاخص یک شاخص تجربی بوده و مقادیر آن مانند شاخص رایزنار تفسیر می‌شوند. مقدار متوسط شاخص پوکوریوس در آب‌های زیرزمینی، مخازن و شبکه به ترتیب برابر با ۷/۴۱±۰/۰۱۷، ۷/۴۵±۰/۰۱۷، ۷/۴۲±۰/۰۱۶ تعیین گردید. مطابق جدول ۱ چنانچه مقدار شاخص پوکوریوس بیشتر از ۸/۵ باشد می‌تواند نشانه تمایل آب به خورندگی و در صورتی که کمتر از ۷/۱ باشد نشانه تمایل آب به رسوبگذاری باشد. قرار گرفتن مقدار شاخص پوکوریوس بین مقادیر مذکور نشان‌دهنده وضعیت تعادل آب است. با مشاهده شکل ۱-(ج) مشخص است که شاخص پوکوریوس نیز مانند شاخص رایزنار نتایج نسبتا مشابهی را ایجاد کرده است و تفاوت قابل ملاحظه‌ای با یکدیگر از نظر تعیین وضعیت آب ندارند. براساس این شاخص نیز، تمایل آب هر سه منبع مورد بررسی نزدیک به وضعیت رسوبگذار است با این‌حال به لحاظ آماری همچنان در وضعیت تعادل قرار دارند. شاخص خورندگی دیگری که در این مطالعه به آن پرداخته شد شاخص خورندگی لارسون اسکولد (LS) (۲۱) است. این شاخص از نسبت مجموع اکی والانی آنیون‌های سولفات و کلرور بر مجموع اکی والانی آنیون‌های کربنات و بی‌کربنات محاسبه می‌شود. به عبارتی در این شاخص نقش آنیون‌های سولفات، کلرور و گونه‌های کربناته و بی‌کربناته بر تمایل آب به خورندگی در نظر گرفته شده است. حد آستانه بروز خوردگی براساس این شاخص

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2024-07-28]

مقـدار بالای ۱/۲ است. چنانچه مقدار شاخص بین ۰/۸ تا ۱/۲ باشـد یون‌های کلرور و سولفات مانع از ایجاد فیلم محافظ در مقابل خورندگی شده و در مقادیر نزدیک به ۱/۲ باعث تشدید پدیده خورندگی می‌شونـد. در مقادیر کمتر از ۰/۸ سولفات و کلرور نقش مزاحمتی قابل توجهی در تشکیل لایه‌های رسوبی محافظ ندارنـد و در این شرایـط آب در وضعیت تعادل قرار دارد (۲۱). مقدار متوسـط شاخص LS در آب‌های زیرزمینی، مخازن و شبکـه به ترتیب برابر بـا ۰/۰۴±۰/۵۲، ۰/۰۲±۰/۴، ۰/۰۱±۰/۰ تعییـن گردید. همچنین براسـاس شکل ۱- (د) با اطمینان ۹۵ درصد مقدار این شاخص برای آب‌های زیرزمینی، مخـازن و شبکه کمتر از مقدار ۰/۸ است. لذا براساس تفسـیر جدول ۱ می‌توان این نتیجه‌گیری را کرد که آنیون‌های سولفات و کلرور در تشـکیل فیلم محافظ رسوبی نقشی ایفا نمی‌کنند از اینرو چنانچه آب رسوبگذار باشد آنیون‌های سولفات و کلرور در این پدیده نقشی ندارند. لذا این دو آنیون، آنیون‌های موثری بـر پدیـده رسوبگـذاری در آب‌های مورد بررسی محسـوب نمی‌شونـد. در مورد نتایجی که از شاخـص لارسون-اسکولد بدست آمد می‌توان اینگونه توضیح داد که این شاخص در مورد آب‌هایی که مقدار آنیون‌های سولفات و کلرور در آنها بالا است و این آنیون‌ها می‌توانند سیستم تعادل کربناته را مختل کرده و از تشکیل رسوب محافظ جلوگیری کنند، اهمیت بیشتری دارد. در مورد منابع آب مورد مطالعه در این تحقیق آنیون‌های سولفات و کلـرور براساس این شاخص تاثیـری بر فرایند رسوبگذاری ندارند. براساس نتایج آنالیز واریانس و انجام مقایسـه Tukey Multiple Comparison اختـلاف معنـی‌داری بین مقدار شاخص‌های لانژلیر و لارسـون اسکولد برای آب زیرزمینی و آب شبکـه توزیع در سطح اطمینـان ۹۵ درصد وجود دارد. به عبـارت دیگر زمانی که هدف مقایسـه کیفیت آب زیرزمینی با مخازن و شبکـه از نظر تمایل به خورندگی باشد شاخص‌های لانژلیر و لارسون اسکولد می‌توانند استفاده شوند و نسـبت به سایر شاخص‌ها حساسیت بیشتری در نشان دادن وجود تفاوت در کیفیت آب دارند. در بین شاخص‌های مورد استفاده در این مطالعه شاخص CCPP بر خلاف سه شاخص دیگر بر حسب میلی‌گرم کربنات کلسیم بر لیتر است. این شاخص یک شاخص واقعی‌تر از وضعیت آب است چرا که یک شاخص کمی است (۲۳). ایـن شاخص تخمینی از غلظت کربنات کلسـیمی است که بایسـتی رسوب کند یا حل شـود تا آب در وضعیت تعادل قرار گیرد. مقدار منفی این شاخص به مفهوم پتانسیل آب برای حـل کردن رسوب کربنات کلسـیم و مقدار مثبت آن به مفهوم پتانسـیل آب برای تشکیل رسوب است. براساس مطالعه انجام شـده توسط Merrill و همکاران جلوگیـری از بروز شرایط خورنده در سیستم توزیع آب تحت شرایط زیر مقدور خواهد شد (۳۱):

• آب نسبت به کربنات کلسیم می‌بایست در حالت فوق اشباع بـوده و مقـدار شاخص CCPP بین ۴ تـا mg/L ۱۰ باشد و مقدار قلیاییت بیشتر از mg/L ۴۰ باشد.

• مقدار pH بایستی بین ۶/۸ تا ۷/۳ باشد.

طبق پیشـنهاد فـوق مقدار هدف توصیه شده بـرای تنظیم این شاخـص به منظور حفظ وضعیت تعـادل آب، محدوده بین ۴ تا ۱۰ میلی‌گرم کربنات کلسـیم بر لیتـر است. از این شاخص معمـولا به طـور گسـترده‌ای برای کنتـرل تشـکیل رسوب مخصوصا در آب‌هایی با مقـدار سختی و قلیاییت بالا استفاده شده است (۳۲، ۳۳). Al-Rawajfe و همکاران تحقیقی را در سال ۲۰۰۷ در کشور اردن بر روی خورندگی شبکه آب شرب شهـری Tafila با استفاده از شاخص‌هـای رایزنار و لانژلیر و CCPP انجام دادند. نتایج حاصل از این تحقیق خورنده بودن آب این شهر را تایید نمود. مقدار شاخص لانژلیر بین ۰/۳۹- و ۱/۵-، شاخـص رایزنار بیـن ۸/۷-۹/۸ و شاخص CCPP نیز بیـن ۱/۷۷ تـا ۱۶/۷۶- تعیین شدند. در این تحقیق مشـخص گردید که شاخص CCPP برخلاف سایر شاخص‌های متداول خورندگی به نحو مطلوب‌تـری می‌تواند شرایط خورندگی را نشـان دهد (۴). در مطالعه انجام شده توسط Mesdaghinia و همکاران نیز (۱۷) مقدار CCPP در کنار سایر شاخص‌های کیفی شامـل لانژلیر، رایزنـار، پوکوریـوس در بررسی تمایل خورندگـی آب در شبکـه توزیـع آب شهـر همـدان مـورد بررسـی قرار گرفت و مقدار ایـن شاخص‌ها به ترتیب برابر با ۶/۹±۱۰/۹۵- میلی‌گرم کربنات کلسیم بر لیتر و ۰/۳۰±۰/۶۰-، ۰/۵۷±۸/۶۳ و ۰/۳۴±۸/۱۸ تعییـن شـد. در این مطالعه نیز بر استفاده از شاخص CCPP به عنوان ابزاری کمی در کنار سایر شاخص‌هـای کیفی تاکید شده اسـت. در مطالعه حاضر مقدار

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2024-07-28]

متوسط شاخص CCPP در آب‌های زیرزمینی، مخازن و شبکه به ترتیب برابر با ۱/۲۹±۹/۲۷، ۱/۲۵±۹/۱۳، ۱/۲۳±۱۱/۲۵ تعیین گردید. در شکل ۱-(ی) با اطمینان ۹۵ درصد مقدار این شاخص برای آب‌های زیرزمینی، مخازن و شبکه در محدوده بین ۴ تا ۱۰ میلی‌گرم کربنات کلسیم بر لیتر خواهد بود. با این وجود از آنجا که مقدار میانگین این شاخص برای آب مخازن و شبکه بالاتر از آستانه ۱۰ است، بررسی بیشتر این شاخص در شکل ۲ به تفکیک شهرستان انجام شد. در شکل ۲-الف مقدار شاخص CCPP برای منابع آب زیرزمینی به تفکیک شهرستان نشان داده شده است. همانطور که دیده می‌شود در مورد منابع آب زیرزمینی شهرستان سنندج و شهرستان قروه نتیجه آزمون میانگین شاخص معنی‌دار است. در مورد شهرستان سنندج با اطمینان ۹۵ درصد مقدار میانگین شاخص از مقدار آستانه ۱۰ mg/L بیشتر است و از اینرو آب زیرزمینی این شهرستان رسوبگذار است. اما آب زیرزمینی شهرستان قروه با احتمال ۹۵ درصد خورنده است چون مقدار میانگین شاخص از مقدار آستانه ۴ کمتر است. در مورد سایر شهرستان‌ها براساس شکل ۲-الف آب زیرزمینی در وضعیت تعادل است. در شکل ۲-ب مقدار شاخص CCPP برای مخازن ذخیره آب به تفکیک شهرستان نشان داده شده است. با توجه به اینکه در این شکل آزمون مقایسه مقدار میانگین CCPP با محدوده مورد آزمون در مورد هیچ یک از شهرستان ها معنی‌دار نیست می‌توان وضعیت آب را در مخازن ذخیره‌سازی در وضعیت متعادل در نظر گرفت. بررسی وضعیت آب در شبکه توزیع نیز به تفکیک شهرستان در شکل ۲-ج نشان داده شده است. در بین تمامی شهرستان‌ها، آب شبکه در شهرستان‌های دیواندره، مریوان و دهگلان در وضعیت رسوبگذار و برای سایر شهرستان‌ها وضعیت تعادل قابل تائید است. با توجه به اینکه اطلاعات مربوط به شبکه شهرستان قروه در دسترس نبود در این نمودار مقدار میانگین شاخص CCPP برای این شهرستان ترسیم نشده است. همچنین وضعیت آب در شبکه توزیع روستایی شهرستان‌های مریوان، دیواندره و دهگلان متمایل به رسوبگذار است. تمایل آب به رسوبگذاری به ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی آن بستگی دارد. به همین خاطر می‌بایست تمهیداتی اتخاذ شود که آب از نظر کیفیت به سمت شرایط تعادلی سوق پیدا کند. به لحاظ اجرائی و عملیاتی تغییر pH و یا تنظیم آن به عنوان یک پارامتر اصلی عملیاتی‌تر است و از طرفی این پارامتر نیز بیشترین تاثیر را بر روی شاخص CCPP دارد. به نظر می‌رسد به منظور حفظ مقدار شاخص CCPP در محدده تعادل (بین ۴ تا ۱۰) می‌توان با افزایش مقدار pH تا مقدار ۸/۳ و کاهش مقدار قلیائیت، تمایل آب به شرایط خنثی و تعادل را بیشتر و آب را از وضعیت رسوبگذار خارج نمود.

نتیجه گیری

بررسی همزمان شاخص‌های کیفی در کنار شاخص کمی CCPP می‌تواند اطلاعات بیشتر و دقیق‌تری از نظر وضعیت کیفی آب در خصوص تمایل به پدیده‌های خورندگی و رسوبگذاری فراهم نماید. از طریق بررسی ارتباط بین شاخص‌های کیفی با مقدار شاخص کمی CCPP محدوده تعادل آب براساس شاخص‌های لانژلیر، رایزنار و پوکوریوس به ترتیب ۰/۰۵-۰/۱-، ۹-۷ و ۸/۵-۷/۱ تعیین شد. براساس نتایج تحلیل آماری مقادیر شاخص‌های لانژلیر، پوکوریوس و رایزنار برای هر سه منبع مورد بررسی، نزدیک به وضعیت رسوبگذار تعیین شد با این‌حال به لحاظ آماری همچنان وضعیت تعادل معنی‌دار شد. بر مبنای نتایج حاصل از آنالیز واریانس زمانی که هدف مقایسه کیفیت آب زیرزمینی با مخازن و شبکه از نظر تمایل به خورندگی باشد شاخص‌های لانژلیر و لارسون اسکولد می‌توانند استفاده شوند و نسبت به سایر شاخص‌ها حساسیت بیشتری نسبت به تمایل آب به خورندگی و رسوبگذاری دارند. براساس مقادیر برآوردی برای شاخص لارسون اسکولد، آنیون‌های سولفات و کلرور تاثیری بر فرایند رسوبگذاری در منابع آب مورد بررسی ندارند. استفاده از شاخص CCPP به عنوان مبنایی در تعیین حدود آستانه شاخص‌های کیفی، تفسیر مقادیر این شاخص‌ها را به واقعیت نزدیک‌تر کرده و می‌تواند تفسیر دقیق‌تری را از وضعیت کیفی آب فراهم کند. بررسی این شاخص به تفکیک شهرستان‌های مختلف در استان کردستان نشان داد که آب زیرزمینی مناطق روستایی در شهرستان سنندج با اطمینان ۹۵ درصد رسوبگذار و در شهرستان قروه با احتمال ۹۵ درصد خورنده است. در مورد سایر شهرستان‌ها براساس این شاخص، آب زیرزمینی در

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2024-07-28]

وضعیت تعادل است. شاخص‌های خورندگی مناسب‌ترین ابزار برای ایجاد یک درک کلی از کیفیت آب از نظر رسوبگذاری و خورندگی به حساب می‌آیند. توصیه می‌شود تعیین و بررسی مقدار شاخص‌های کیفی همواره در کنار شاخص CCPP که یک شاخص کمی محسوب می‌شود انجام شود و ضرورت آن در روش‌های کنترل کیفی منابع تامین آب گنجانده شود. همچنین پیشنهاد می‌شود در مطالعات آینده تحلیل ارتباط بین مقدار شاخص‌ها و مشخصات کیفی آب با استفاده از روابط همبستگی به منظور شناسایی مهمترین پارامترهای کیفی آب که در کنترل خورندگی و یا رسوبگذاری اثرگذار هستند انجام شود.

تشکر و قدردانی

این مقاله حاصل نتایج طرح تحقیقاتی با شماره ۲۵۸۷۶-۴۶-۰۲-۹۳ مصوب دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی، درمانی تهران در سال ۱۳۹۳ است که با حمایت پژوهشکده محیط زیست دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی، درمانی تهران اجرا شده است.

منابع

1. Talbot DE, Talbot JD. Corrosion Science and Technology. Boca Raton: CRC Press; 2010.
2. Poorzamani HR, Ghazaie M, Samani AM. survey the quality of drinking water source in Esfahan oshtorejan industrial park based on corrosion properties. Environmental Health Congress; 2005; Tehran (in Persian).
3. Hosseinian SM. The quality of corrosion and scalling determination methods. First National Congress on Corrosion; 1988; University of Tehran, Tehran (in Persian).
4. 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.
5. Koch GH, Brongers MP, Thompson NG, Virmani YP, Payer JH. Corrosion cost and preventive strategies in the United States. Dublin, Ohio: CC Technologies Laboratories; 2002.
6. Ghaneian MT, Ehrampoush MH, Ghanizadeh G, Amrollahi M. Survey of corrosion and precipitation potential in dual water distribution system in Kharanagh District of Yazd Province. The Journal of Toloo-Ebehdasht. 2009;7(3,4):65-73 (in Persian).
7. Savari J, Jaafarzadeh N, Hassani AH, Shams Khoramabadi G. Heavy metals leakage and corrosion potential in ahvaz drinking water distribution network. Water & Wastewater Journal. 2007;18(4):16-

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2024-07-28]

24 (in Persian).
8. Babaie A, Mazloomi S, rabie A, Abouee E, Fazlzadeh Davil m, Nouroozie M. Corrosion and scaling potential of Shiraz drinking water. 12th National Conference on Environmental Health; 2009; Shahid Beheshti University of Medical Science, Tehran (in Persian).
9. Nasehinia H, Naghizadeh A, Ravankhah M. Determining of corrosion or sedimentation of drinking water in Dameghan city with corrision indexes. 4th Conference & Exhibition on Environmental Engineering; 2010; Tehran University, Tehran (in Persian).
10. Qazavati M, Noshadi M. Evaluation of Chemical quality and corrosion potential of drinking water produced at the Bandar Abbas refiner. 12th National Conference on Environmental Health; 2009; Shahid Beheshti University of Medical Science, Tehran (in Persian).
11. Loewenthal R, Morrison I, Wentzel M. Control of corrosion and aggression in drinking water systems. Water Science & Technology. 2004;49(2):9-18.
12. Atasoy AD, Yesilnacar MI. Effect of high sulfate concentration on the corrosivity: a case study from groundwater in Harran Plain, Turkey. Environmental Monitoring and Assessment. 2010;166(1-4):595-607.
13. TWAS. Safe drinking water: the need, the problem, solution and action plan. Trieste, Italy: Third World Academy of Sciences; 2002.
14. Haybati B, Mazlomi S, FazlZadeh D, Derakhshan S, Norozi M. Evaluation of corrosion and sedimentation potential of drinking water in Mianeh City. 12th National Conference on Environmental Health; 2009; Shahid Beheshti University of Medical Science, Tehran (in Persian).
15. Savari J, JafarZadeh N, Hasani AH, Shams G, RabieiRad MH. Comparison of survey methods of corrosion in distribution system of drinking water in Ahwaz. 10th National Conference on Environmental Health; 2007; Hamedan University of Medical Science, Hamedan (in Persian).
16. Mahvi AH, Eslami A. Corrosion and scaling analysis of water supply and distribution system in Zanjan. Journal of Environmental Science and Technology. 2006;8(1(28)):90-95.
17. Mesdaghinia A, Nabizadeh Nodehi R, Nasseri S, Imran SA, Samadi MT, Hadi M. Potential for iron release in drinking water distribution system: a case study of Hamedan city, Iran. Desalination and Water Treatment. 2015;57(31):14461-72.
18. Langelier WF. The analytical control of anti-corrosion water treatment. Journal of American Water Works Association. 1936;28(10):1500-21.
19. Ryznar JW. A new index for determining amount of calcium carbonate scale formed by a water. Journal of American Water Works Association. 1944;36(4):472.
20. Puckorius P, Brooke J. A new practical index for calcium carbonate scale prediction in cooling tower systems. Corrosion. 1991;47(4):280-84.
21. Larson TE, Skold RV. Laboratory studies relating mineral quality of water to corrosion of steel and cast iron. Corrosion. 1958;14(6):43-46.
22. Langelier WF. The analytical control of anti-corrosion water treatment. Journal of American Water Works Association. 1936;10(28):1500-21.
23. Rossum JR, Merrill DT. An evaluation of the calcium carbonate saturation indexes. Journal of American Water Works Association. 1983:95-100.
24. Benefield LD, Judkins Jr JF, Weand BL. Process Chemistry for Water and Wastewater Treatment. Englewood Cliffs: Prentice-Hall; 1982.
25. Agatemor C, Okolo PO. Studies of corrosion tendency of drinking water in the distribution system at the University of Benin. The Environmentalist. 2008;28(4):379-84.
26. Pátzay G, Stáhl G, Karman F, Kálmán E. Modeling of scale formation and corrosion from geothermal water. Electrochimica Acta. 1998;43(1):137-47.
27. Pakshir M, Moalem A, Nazarboland A, Abbasi S, . Limitations of Precipitation and Corrosivity Indices in the Cooling Water Systems. Water & Wastewater Journal. 2003;51:60-65 (in Persian).
28. Güler C, Thyne GD, McCray JE, Turner KA. Evaluation of graphical and multivariate statistical methods for classification of water chemistry data. Hydrogeology Journal. 2002;10(4):455-74.
29. Al-Rawajfeh AE. Factors influencing CaCO3 scale precipitation and CO2-H2O system in flowing water

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2024-07-28]

in natural water piping system. Desalination and Water Treatment. 2009;12(1-3):337-43.
30. Kemmer FN. The NALCO Water Handbook. 2 ed. New York: McGraw-Hill; 1988.
31. Merrill DT, Sanks RL. Corrosion control by deposition of $CaCO_3$ films: Part 1, A practical approach for plant operators. Journal of American Water Works Association. 1977:69(11);592-99.
32. Hamedan Water and Wastewater Company. 35% of the water distribution shystem is exhausted Hamedan. Hamedan: Hamedan Water and Wastewater Company; 2014. [cited 2016 Jul 9]. Available from: http://www.hww.ir/news/default.aspx?ni=1066841199.
33. Ferguson J, von Franque O, Schock MR. Corrosion of copper in potable water systems. Internal corrosion of water distribution systems, 2nd ed. Denver: American Water Work Association Research Foundation; 1996.

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2024-07-28]

Available online: http://ijhe.tums.ac.ir

Original Article

Analysis of Water Corrosion Tendency in Water Supply System Using Qualitative Indices and Calcium Carbonate Precipitation Potential Index

R Nabizadeh Nodehi[1], AR Mesdaghinia[2], S Nasseri[2], M Hadi*[2], H Soleimani[1], P Bahmani[3]

1. Department of Environmental Health Engineering, School of Public Health, Tehran University of Medical Sciences, Tehran, Iran
2. Center for Water Quality Research (CWQR), Institute for Environmental Research (IER), Tehran University of Medical Sciences, Tehran, Iran
3. Environmental Health Engineering, Kurdistan Rural Water and Wastewater Company, Sanandaj, Iran

ARTICLE INFORMATIONS:

Received: 19 November 2016
Revised: 6 February 2017
Accepted: 12 February 2017
Published: 6 March 2017

Key words: Calcium carbonate precipitation potential, Drinking water system, Water corrosion indices

***Corresponding Author:**

hadi_rfm@yahoo.com

ABSTRACT

Background and Objective: Water corrosion and scaling are known as destructive phenomenon of drinking water quality and water facilities. In this study, the groundwater tendency to corrosion or scaling in source water, water storage reservoirs and distribution system were studied. Simultaneous use of some qualitative and a quantitative index along with statistical analyses to assess the water scaling or corrosion tendency were investigated.

Materials and Methods: The data analysis of groundwater, water storage reservoirs and water distribution system in rural area of Kurdistan province were analyzed and the amount of Langelier (LI), Ryznar (RY), Pockorius (PSI) and Larson–Skold (LS) and CCPP indices were determined. Corrosion and scaling threshold for qualitative indices were determined based on CCPP index. The mean of indices was compared with the thresholds using independent t-test. ANOVA was used to assess the difference between the indices in different sources of water.

Results: The balance range for LI, RY and PSI found to be -0.1-0.05, 7-9 and 7.1-8.5. The mean CCPP for groundwater, reservoirs and networks were 9.27 ± 1.29, 9.13 ± 1.25, 11.25 ± 1.23, respectively. All three sources of water have some tendencies toward scaling; however, a significant balance status was confirmed statistically. According to Larson–Skold index, sulfate and chloride anions did not play a role in scaling process.

Conclusion: The use of qualitative indices with CCPP index can provide more accurate estimation of water tendency toward scaling or corrosion. The assessment of qualitative indices along with CCPP is recommended in drinking water corrosion monitoring studies.

Please cite this article as: Nabizadeh Nodehi R, Mesdaghinia AR, Nasseri S, Hadi M, Soleimani H, Bahmani P. Analysis of water corrosion tendency in water supply system using qualitative indices and Calcium Carbonate Precipitation Potential index. Iranian Journal of Health and Environment. 2017;9(4):457-70.

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2024-07-28]