

Determining and Analyzing Corrosion Potential of Groundwater in Ghorveh Through Simulating Corrosion Indices

Soraya Movahhed^{*1}, Roshanak Rezaei Kalantari^{2,3}, Mostafa Khezri⁴, Ali Azari⁵

1. M.Sc. Student, Environmental Engineering, Islamic Azad University, Science and Research Unit, Tehran, Iran
2. Professor, Department of Environmental Health Engineering, School of Public Health, Iran University of Medical Sciences, Tehran, Iran
3. Research Center for Environmental Health Technology, Iran University of Medical Sciences, Tehran, Iran
4. Associate professor, School of Environmental Engineering, Islamic Azad University, Science and Research Unit, Tehran, Iran
5. PhD student in Environmental Health, School of Public Health, Tehran University of Medical Sciences, Tehran, Iran

* E-mail: enviromentalh@yahoo.com

Received: 28 Jan 2017 ; Accepted: 8 May 2017

ABSTRACT

Background and Objective: Scaling and corrosion are factors that cause loss of drinking water quality. They create problems for public health, reduce water quality, and decrease useful life of plumbing equipment. Therefore, their control substantially influences public health and water quality. Consequently, the present research intended to study corrosion or scaling indices of groundwater resources in Ghorveh County in Kurdistan Province using the Monte Carlo statistical method in order to reduce uncertainty and increase accuracy in estimating the values of the indices.

Materials and Methods: Sixty four samples from 16 wells supplying water for Ghorveh County were taken during a 12- month period in 2012-2013 in order to study the qualitative characteristics of water and identify the corrosion and scaling potential of the water in the region using the Langelier, Ryznar, Larson-Skold, and Puckorius indices.

Results: The mean values for the Langelier, Ryznar, Puckorius, and Larson-Skold indices were 0.5449 ± 0.015 , 6.8878 ± 0.017 , 7.3754 ± 0.0078 , and 0.0919 ± 0.0390 , respectively. Moreover, the estimated probabilities for the occurrence of corrosion and scaling phenomena were 6.59% and 47.57% for the Langelier index, less than 11.77% and 54.33% for the Ryznar index, less than 17.47% and 36.33% for the Puckorius index, and 0.15% and 99.74% for the Larson-Skold index.

Conclusions All of the studied indices yielded identical results for the water status: they indicated a relatively high scaling potential of the water in the region. Based on Pearson's test, the most important factors influencing the values of the studied indices were pH and concentration of calcium ions.

Keywords: Corrosion indices of Water, Monte Carlo Simulation, Groundwater, Ghorveh County

تحلیل و بررسی پتانسیل خوردگی آب‌های زیرزمینی شهرستان قروه از طریق شبیه‌سازی شاخص‌های خوردگی به روش مونت-کارلو

ثریا موحد^{۱*}، روشنگ رضایی کلانتری^۲، مصطفی خضری^۳، علی آذری^۴

^۱ دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی محیط‌زیست، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم تحقیقات تهران، تهران، ایران

^۲ استاد، گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشگاه علوم پزشکی ایران، تهران، ایران

^۳ مرکز تحقیقات تکنولوژی بهداشت محیط، دانشگاه علوم پزشکی ایران، تهران، ایران

^۴ دانشیار، دانشکده مهندسی محیط‌زیست، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم تحقیقات تهران، تهران، ایران

^۵ دانشجوی دکتری بهداشت محیط، دانشگاه علوم پزشکی تهران، دانشکده بهداشت، تهران، ایران

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۵/۱۱/۰۹ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۲/۱۸

چکیده

زمینه و هدف: رسوب‌گذاری و خوردگی به‌عنوان عوامل مخرب کیفیت آب آشامیدنی مشکلاتی را نظیر کاهش بهداشت عمومی، کاهش کیفیت آب و کاهش عمر مفید تجهیزات لوله‌کشی ایجاد می‌کند و در نهایت کنترل آن تأثیر بسزایی در بهداشت و کیفیت آب دارد. لذا هدف از این مطالعه بررسی شاخص‌های کیفیت خوردگی یا رسوب‌گذاری منابع آب‌های زیرزمینی شهرستان قروه در استان کردستان، با استفاده از روش آماری مونت‌کارلو به‌منظور کاهش عدم قطعیت و افزایش دقت برآورد مقدار شاخص‌ها، صورت پذیرفت.

مواد و روش‌ها: اطلاعات موردنیاز در این مطالعه شامل ۶۴ نمونه از ۱۶ چاه تأمین‌کننده آب شهرستان قروه در مدت ۱۲ ماه طی سال‌های ۹۱-۹۲ به‌منظور خصوصیات کیفی آب و تشخیص خوردگی و رسوب‌گذاری آب منطقه با استفاده از شاخص‌های لانژیر، رایزنر، لارسون - اسکولد و پوکوریوس برداشت و مورد مطالعه قرار گرفت.

یافته‌ها: مقدار متوسط شاخص‌های لانژیر، رایزنر، پوکوریوس و لارسون-اسکولد به ترتیب برابر با 0.5449 ± 0.015 ، 6.8878 ± 0.017 ، 7.3754 ± 0.007 و 0.919 ± 0.039 تعیین گردید. همچنین مقادیر احتمال‌های برآورد شده برای بروز پدیده‌های خوردگی و رسوب‌گذاری به ترتیب برای شاخص لانژیر $4/59\%$ و $47/57\%$ ، برای شاخص رایزنر کمتر از $11/77\%$ و $54/33\%$ ، برای شاخص پوکوریوس کمتر $17/47\%$ و $36/33\%$ و نهایتاً برای شاخص لارسون-اسکولد $0/15\%$ و $99/74\%$ تعیین گردید.

نتیجه‌گیری: تمامی شاخص‌ها مورد بررسی نتایج یکسانی را برای وضعیت آب نشان دادند و حاکی از وضعیت نسبتاً رسوب‌گذار آب منطقه می‌باشند. مهم‌ترین عامل اثرگذار بر مقدار شاخص‌های مورد مطالعه بر اساس آزمون پیرسون pH و مقدار یون کلسیم می‌باشد.

کلمات کلیدی: شاخص‌های خوردگی آب، شبیه‌سازی مونت-کارلو، آب‌های زیرزمینی شهرستان قروه

* نویسنده مسئول: دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی محیط‌زیست دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم تحقیقات تهران، تهران، ایران

ایمیل: enviromentalh@yahoo.com - شماره تماس: ۰۹۱۰۰۱۶۰۶۳۰

مقدمه

حیات موجودات و سلامتی انسان‌ها بیش از هر چیز به آب سالم و بهداشتی بستگی دارد^۱. به موازات افزایش جمعیت در دنیا، نیاز آبی در بخش‌های خانگی، صنعتی و کشاورزی نیز به شکل قابل توجهی افزایش یافته که این امر استفاده بیش از حد از منابع آبی، بخصوص منابع آب زیرزمینی را به همراه داشته است^{۲،۳}. منابع آب زیرزمینی از اصلی‌ترین منابع تأمین‌کننده آب در مناطق دچار افزایش جمعیت به حساب می‌آیند به گونه‌ای که در بسیاری از کشورهای دنیا آب‌های زیرزمینی حدود ۶۰٪ از آب‌های آشامیدنی و ۳۰٪ از آب‌های بخش کشاورزی را به خود اختصاص داده‌اند. این منابع آبی محدود بوده و زدید انسان‌ها پنهان می‌باشند این امر سبب افزایش غیر محسوس آلودگی در آب زیرزمینی شده به گونه‌ای که در درازمدت دیگر این منابع کارایی سابق را نخواهند داشت. کیفیت شیمیایی آب‌های زیرزمینی در رسوب‌گذاری و خوردگی تأسیسات آبی نیز اثر شایانی دارد. با توجه به اهمیت این منابع و با در نظر گرفتن این موضوع که کشور ما جزء مناطق خشک و نیمه‌خشک طبقه‌بندی می‌شود، بررسی کیفیت شیمیایی آب امری ضروری به نظر می‌رسد^{۳،۴}. ایران به‌خصوص در دو دهه گذشته که در مرحله توسعه علمی و اقتصادی است، این مسائل به‌عنوان یک رقابت اقتصادی به وجود آمده است. در گذشته همه تحقیقات بر روی نشت و خسارت اقتصادی حاصل از خوردگی متمرکز شده است، اما در حال حاضر جنبه‌های بهداشتی و زیباشناختی کیفیت بیشتر مدنظر است. خوردگی در سیستم‌های انتقال و توزیع آب باعث ورود آلاینده‌های خطرناکی مانند کادمیوم، مس، سرب و دیگر آلاینده‌ها به آب می‌شود. این آلاینده‌ها اثرات نامطلوب بهداشتی زیادی به دنبال دارند. رسوب‌گذاری

فرآیندی است که در آن کاتیون‌های دو ظرفیتی مانند کلسیم و منیزیم با سایر مواد محلول در آب واکنش داده و به شکل لایه‌ای در جداره داخلی لوله ته‌نشین می‌شوند^۵. متداول‌ترین لایه رسوبی ایجادشده از جنس کربنات کلسیم می‌باشد^{۳،۶}. فرایند رسوب‌گذاری سبب مشکلاتی مانند گرفتگی لوله‌ها، کاهش میزان جریان آب و افزایش افت فشار در شبکه می‌شود که این امر نیز افزایش هزینه بهره‌برداری تأسیسات آبی را به همراه خواهد داشت^{۷-۹}. شمس و همکاران ارسال ۲۰۱۲ با بررسی خوردگی و رسوب‌گذاری آب در شبکه‌های آب‌رسانی روستایی طبس گزارش نمودند که آب در این شهر دارای خاصیت خوردگی بوده است و علت اصلی آن را می‌توان وجود آنیون‌های سولفات و کلراید در آب این شهر دانست^{۱۰}. لیونتان و همکاران در سال ۲۰۰۴ در مطالعه‌ای در کشور آفریقای جنوبی، گزارش کردند که خوردگی رسوب‌گذاری از مشکلات عمده در خطوط انتقال و توزیع آب‌های زیرزمینی است و مکانیزم اثر و شدت آن به کیفیت آب و جنس لوله بستگی دارد^{۱۱}. یکی از روش‌های غیرمستقیم جهت تعیین پتانسیل خوردگی آب آشامیدنی، اندیس‌های خوردگی هستند. این اندیس‌ها بیانگر خصوصیات کیفی آب می‌باشد. ارزیابی دقت اندیس‌ها بر اساس توانایی آن‌ها در تعیین حالت تحت اشباع، اشباع و یا فوق اشباع آب بر حسب کربنات کلسیم و نیز پیشگویی ظرفیت آب‌ها در ذخیره‌سازی و یا ایجاد رسوب کربنات کلسیم می‌باشد. در حال حاضر کاربرد شاخص‌های خوردگی از جمله رایزنر و لانژلیه از کارایی زیادی برخوردار می‌باشد به‌کارگیری شاخص لانژلیه به‌تنهایی و به‌طور مستقل جهت پایش و تعیین پتانسیل خوردگی آب آشامیدنی شهر مناسب نیست و همواره نتایج را با شک و تردید همراه می‌سازد در نتیجه به‌عنوان مبنای

تحلیل و بررسی پتانسیل خوردگی آب‌های زیرزمینی شهرستان قروه از طریق شبیه‌سازی شاخص‌های خوردگی به روش مونت-کارلو

دلیل میزان بارندگی پایین و خشک‌سالی‌های اخیر و همچنین ضرورت پایش سالیانه منابع آب زیرزمینی از نظر پتانسیل خوردگی، به شمار می‌آیند. هدف از این مطالعه، آنالیز فیزیکی و شیمیایی و بررسی خورنده یا رسوب‌گذار بودن منابع آب شهرستان قروه با توجه شاخص‌های لانژلیه، رایزنر، لارسون - اسکولد، پوکوریوس و استفاده از روش تحلیلی آماری مونت-کارلو شبیه‌سازی شده و مقایسه با مقادیر آستانه خوردگی می‌باشد. در این مطالعه با استفاده از اطلاعات کیفیت شیمیایی ۱۶ حلقه آب چاه شهرستان قروه با مقادیر شاخص‌های خوردگی نشان داد که آب چاه تمایل رسوب‌گذاری کربنات کلسیم می‌باشند.

مواد و روش‌ها

این مطالعه از نوع توصیفی - مقطعی است. در این مطالعه تعداد ۱۶ چاه تأمین‌کننده آب شهرستان قروه طی ۱۲ ماه از نظر شاخص‌های فیزیکی و شیمیایی مورد بررسی و آنالیز قرار گرفتند. برای نمونه‌برداری از ظروف پلاستیکی با حجم نیم لیتر استفاده شد. پس از برداشت نمونه‌ها و انتقال سریع آن‌ها به آزمایشگاه مرکزی شرکت آب و فاضلاب استان کردستان، نسبت به انجام آزمایش‌ها بر روی نمونه‌ها با توجه به پارامترهای مورد نظر اقدام گردید. پارامترهای pH و دما در محل نمونه‌برداری و به ترتیب به وسیله pH سنچ و دماسنج اندازه‌گیری شد. مقادیر سختی کلسیم، قلیائیات، کلر باقیمانده، کل جامدات نامحلول، کاتیون‌ها و آنیون‌ها در آزمایشگاه و با استفاده از استاندارد ۱۰۵۳ سنچش شدند^{۱۷}، در ادامه شاخص‌های لانژلیه (Langelier Saturation Index)، رایزنر (Ryzner Saturation Index)، لارسون اسکولد (Larson-Skold Index) و پوکوریوس (Pokurious index) با

تصمیم‌گیری قابل استفاده نیست مگر این که با سایر روش‌ها به‌طور هم‌زمان به کار گرفته شود.

شاخص اشباع لانژلیه (LSI) مدلی است که درجه اشباع آب را نسبت به کربنات کلسیم نشان می‌دهد. این شاخص مفهوم اشباع را با استفاده از pH به‌عنوان یک متغیر اصلی بیان می‌کند. در تعریف دیگر LSI به‌عنوان تغییر pH جهت رسیدن آب به تعادل مطرح می‌شود.^{۱۲} شاخص پایداری رایزنر (RSI) ارتباط بین حالت اشباع کربنات کلسیم و تشکیل پوسته را به‌صورت کمی نشان می‌دهد. دراندیش رایزنر مقدار pHs به‌وسیله pH واقعی، غلظت یون‌های کلسیم، بیکربنات، کل جامدات محلول و دما تعیین می‌شود.^{۱۳،۱۴} به عبارتی شاخص‌های لانژلیه و رایزنر تفاوت بین pH واقعی آب و pH اشباع‌شده توسط کربنات کلسیم را نشان می‌دهد.^{۱۴} که در آن pHs یعنی pH اشباع از رابطه زیر به دست می‌آید:^{۱۵}

رابطه (۱)

کلسیم ضریب - ضریب قلیائیت - ضریب TDS + ضریب دما = pHs
اندیس لارسون - اسکولد به‌منظور بررسی خورنده بودن آب در مجاورت با لوله‌های فولادی و لوله‌های فولادی با ساختار کربنی سبک و لوله‌های چدنی را نشان می‌دهد. اندیس پوکوریوس بر اساس ظرفیت بافری آب بوده و حداکثر مقدار رسوبی که جهت ایجاد تعادل در آب می‌تواند تشکیل شود را بیان می‌کند. اندیس فوق به‌صورت تجربی بوده و مقادیر عددی به‌دست‌آمده از این رابطه همانند اندیس رایزنر می‌باشند.^{۱۶} با در نظر گرفتن شرایط جغرافیایی دشت قروه یکی از دشت‌های بسیار مهم استان کردستان به لحاظ تأمین آب شرب و صنعتی و کشاورزی منطقه و همچنین وجود منابع آب زیرزمینی، محسوب می‌گردد و کنترل کیفی این منابع آب زیرزمینی امری لازم و ضروری می‌باشد و از طرفی به

ثريا موحد و همکاران

بالاتر است یا کمتر) و آزمون اندرسون-دارلینگ برای بررسی میزان انطباق خوب توابع تراکمی استفاده شد.

یافته‌ها

شهرستان قروه وسعتی در حدود ۵۸۴۰۰۰ کیلومتر مربع از کل استان کردستان را در بر گرفته است. آب‌وهوای قروه نسبتاً سرد و نیمه‌خشک است و میزان بارندگی در این شهرستان سالانه به‌طور متوسط در حدود ۴۸۰ میلی‌متر باشد. به همین علت آب‌های زیرزمینی عمده ترین منابع تأمین‌کننده آب در این بخش‌ها به شمار می‌آید.

به همین منظور بررسی میزان پایداری و کیفیت آب‌های زیرزمینی امری ضروری به نظر می‌رسد. در این راستا پارامترهای دخیل در خوردگی و رسوب‌گذاری سنجش گردید که نتایج این سنجش‌ها در جدول شماره ۳ ارائه شده است.

کمک جدول ۱ محاسبه گردید و بر مبنای اعداد حاصله و مقایسه با جدول ۲ آب‌ها به سه دسته رسوب‌گذار، خنثی و خورنده تقسیم شد.

در ادامه به‌منظور مطالعه دقیق میزان پایداری چاه‌های مورد مطالعه از روش مونت‌کارلو استفاده شد. روش مونت-کارلو یک الگوریتم محاسباتی است و برای شبیه‌سازی پدیده‌هایی که عدم قطعیت زیادی در ورودی‌های آن‌ها وجود دارد مفید می‌باشد. به‌منظور محاسبه نتایج، نمونه‌ها به روش تصادفی از چاه‌های مورد مطالعه اندازه‌گیری شد. نحوه استفاده از این شبیه‌ساز به این صورت است که پس از جمع‌آوری اطلاعات، نتایج آنالیز داده‌ها در نرم‌افزار محاسبه‌کننده شاخص‌های خوردگی وارد و تعیین خواهد شد.^{۱۹}

در نهایت از روش‌های آماری Single T-test جهت تفسیر میانگین اندیس‌ها (یا به عبارت دیگر تعیین این موضوع که مقدار متوسط هر شاخص در جامعه آماری از حد آستانه

جدول ۱: معادلات مربوط به شاخص‌های پایداری^{۱۸}

| شاخص‌های پایداری | معادله مربوط به شاخص‌ها |
|------------------|---|
| لانژیر | $LI = pH - PH_s$ |
| رایزنر | $RI = 2pH_s - pH$ |
| لارسون-اسکولد | $LS = (C_{(Cl^-)} + C_{(SO_4^{2-})}) (C_{(HCO_3^-)} + C_{(CO_3^{2-})})^{-1}$ |
| پوکوریوس | $pH_{eq} = 1/465 \log (T \text{ Alkalinit}) + 4/54$ $PI = 2pH_s - pH_{eq}$ |

جدول ۲: تقسیم‌بندی آب بر اساس شاخص‌های پایداری^{۱۸}

| خوردند | خنثی | رسوب‌گذار |
|----------|----------------|-----------|
| 0 < LSI | 0 = LSI | LSI > 0 |
| RSI > 7 | 6 < RSI < 7 | RSI < 6 |
| LS < 0.8 | 0.8 < LS < 1.2 | LS > 1.2 |
| PSI > 6 | 6 = PSI | PSI < 6 |

تحلیل و بررسی پتانسیل خوردگی آب‌های زیرزمینی شهرستان قروه از طریق شبیه‌سازی شاخص‌های خوردگی به روش مونت-کارلو



جدول ۳: میانگین پارامترهای اندازه‌گیری شده در شهرستان قروه طی ۱۲ ماه

| عوامل فیزیکی-شیمیایی | | | | | | | | نام بخش |
|----------------------|------------|-----------|---------|--------|------|-------|-------|-------------|
| قلیائیات | سختی کلسیم | سختی دائم | سختی کل | TDS | pH | کدورت | رنگ | |
| ۱۴۵/۴۸ | ۲۸۱/۳۵ | ۲۳۱/۴۸ | ۱۵۴/۴۱ | ۶۸۵/۰۰ | ۷/۷۳ | ۰/۲۷ | ندارد | فصل بهار |
| ۱۹۹/۰۷ | ۳۲۴/۴۷ | ۱۰۲/۲۱ | ۱۶۱/۲۶ | ۷۱۴/۱۹ | ۷/۷۶ | ۰/۸۸ | ندارد | فصل تابستان |
| ۲۷۵/۶ | ۳۰۱/۱۷ | ۱۶۲/۶ | ۱۷۷/۹۱ | ۴۸۶/۴۴ | ۷/۸۲ | ۰/۴۱ | ندارد | فصل پاییز |
| ۱۸۳/۷ | ۲۵۱/۲۸ | ۱۲۴ | ۱۵۸/۰۶ | ۵۰۱/۹۸ | ۷/۶۳ | ۰/۲۷ | ندارد | فصل زمستان |

جدول ۴: میانگین کاتیون‌ها و آنیون‌های اندازه‌گیری شده در شهرستان قروه طی ۱۲ ماه

| آنیون‌ها | | | | | | کاتیون‌ها | | | | | نام بخش |
|----------|-----------|--------|--------|-------|---------|-----------|--------|------|--------|-------|-------------|
| فسفات | بی‌کربنات | کربنات | سولفات | کلرور | فلوراید | آمونیاک | پتاسیم | سدیم | منیزیم | کلسیم | |
| ۰/۲۲ | ۲۴۴/۶۳ | ۰ | ۴۱ | ۱۱/۰۸ | ۰/۹۱ | ۰ | ۱/۰۶ | ۱۶ | ۱۶/۹۷ | ۶۶/۱۲ | فصل بهار |
| ۰/۸۹ | ۲۸۹/۹۹ | ۰ | ۴۹/۶۵ | ۱۳/۵ | ۰/۳۹ | ۰ | ۰/۵ | ۱۰/۸ | ۱۱/۰۳ | ۷۷/۸ | فصل تابستان |
| ۰/۰۱ | ۲۷۱/۶۳ | ۰ | ۳۴/۷۰ | ۱۶ | ۰/۹۵ | ۰ | ۱/۰۰ | ۱۷/۲ | ۸/۲ | ۳۹/۵ | فصل پاییز |
| ۰ | ۲۶۶/۰۸ | ۰ | ۳۸ | ۱۴ | ۰/۹۵ | ۰ | ۱/۴۰ | ۱۸/۲ | ۱۸/۰۴ | ۷۷/۲ | فصل زمستان |

ثريا موحد و همکاران

همان‌طور که در جدول فوق دیده می‌شود بر اساس تمامی شاخص‌های مورد مطالعه آب منطقه از نظر خوردگی یا رسوب‌گذاری در وضعیتی است که در مورد شاخص‌های لائزلیر، رایزنار و لارسون-اسکولد با بیشترین احتمال به رسوب‌گذاری تمایل دارد. از این‌رو بر اساس شاخص‌های لائزلیر، رایزنار و پوکوریوس و لارسون-اسکولد به ترتیب با احتمال‌های ۸۰٪، ۶۴٫۳۳٪ و ۵۶٫۳۳٪ و ۷۹٫۷۴٪ آب منطقه به رسوب‌گذاری متمایل است. این مسئله در مورد شاخص پوکوریوس که با احتمال بیشتر یعنی ۴۶٫۱۹٪ آب را در وضعیت تعادل می‌داند انطباق دارد. از این‌رو آب منطقه مورد مطالعه رسوب‌گذار می‌باشد.

سپس با توجه به مقادیر مندرج در جدول شماره ۳ و محاسبات انجام‌شده، بر اساس روابط لائزلیر، رایزنر، لارسون-اسکولد و پوکوریوس وضعیت آب‌های زیرزمینی در شهرستان قروه تعیین گردید. در جدول شماره ۴ نیز وضعیت کاتیون‌ها و آنیون‌های شهرستان قروه ذکر شده است.

بحث

با توجه به این موضوع که آب‌های زیرزمینی شهرستان قروه تأمین‌کننده آب شرب و صنعتی و کشاورزی منطقه می‌باشند پس بررسی این منابع از لحاظ بهداشتی حائز اهمیت خواهد بود. نتایج وضعیت آب‌های زیرزمینی شهرستان قروه، از نظر تمایل به خوردگی و رسوب‌گذاری که بر اساس روش شبیه‌سازی مونت کارلو برآورد گردید، ارائه شده است.

جدول ۵: خلاصه نتایج بررسی شاخص‌های خوردگی با استفاده از روش مونت کارلو

| شاخص خوردگی | میانگین نتایج با حدود اطمینان ۹۵٪ | احتمال خوردگی | وضعیت تعادل | احتمال رسوب‌گذاری |
|-------------|-----------------------------------|---------------|-------------|-------------------|
| LI | ۰/۵۲۹۵-۰/۵۶۰۲ | ۶/۵۹٪ | ۲۰ | ۷۳/۴۱٪ |
| RI | ۵/۸۷۰۲-۵/۹۰۵۵ | ۱۱/۷۷٪ | ۳۵/۶۷٪ | ۲۵/۵۶٪ |
| PSI | ۵/۳۶۷۶-۵/۳۸۳۲ | ۱۷/۴۷٪ | ۴۳/۶۷٪ | ۴۱/۸۶٪ |
| LSI | ۱/۲۵۱۸-۱/۳۱۰۲ | ۱۵٪ | ۲۰/۲۶٪ | ۷۹/۵۹٪ |

جدول ۶: همبستگی بین مقادیر شاخص‌های خوردگی و مشخصات کیفی آب

| شاخص خوردگی | مقدار ضریب همبستگی پیرسون | | | | | |
|-------------|---------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | TDS | Cl | ALK | Ca | SO4 | T |
| LI | -۰/۱۰ | -۰/۰۱ | ۰/۱۹ | ۰/۲۲ | ۰/۰۰ | ۰/۱۹ |
| RY | ۰/۱۱ | ۰/۰۱ | -۰/۳۱ | -۰/۴۳ | -۰/۰۱ | -۰/۳۴ |
| LS | ۰/۰۴ | ۰/۱۷ | -۰/۱۰ | ۰/۰۰ | ۰/۰۶ | ۰/۰۱ |
| PSI | ۰/۱۰ | ۰/۰۱ | -۰/۴۲ | -۰/۵۵ | -۰/۰۲ | -۰/۴۷ |

تحلیل و بررسی پتانسیل خوردگی آب‌های زیرزمینی شهرستان قروه از طریق شبیه‌سازی شاخص‌های خوردگی به روش مونت-کارلو

رسوب‌گذاری رسیده است که نشان‌دهنده تأثیر صنایع بر کیفیت آب زیرزمینی منطقه است.^{۲۰}

همان‌گونه که جدول ۶ نشان می‌دهد، در خصوص شاخص لائزلیر، ابتدا pH و سپس کلسیم بیشترین اثر را بر روی این اندیس دارند، یعنی با افزایش pH، و کلسیم میزان شاخص لائزلیر افزایش خواهد یافت. که این مورد درباره شاخص رایزنر کاملاً برعکس می‌باشد یعنی pH کمترین اثر را دارد. به همین خاطر چون کیفیت آب مورد مطالعه بر اساس نتایج قبل رسوب‌گذار می‌باشد لذا می‌بایستی تمهیداتی اتخاذ شود که آب از نظر کیفیت به سمت شرایط تعادلی سوق پیدا کند. چون به لحاظ اجرائی و عملیاتی تغییر pH و یا تنظیم آن به‌عنوان یک پارامتر اصلی عملیاتی‌تر است و از طرفی این پارامتر نیز بیشترین تأثیر را بر روی شاخص‌های لائزلیر و رایزنر دارد از این‌رو بایستی با کاهش مقدار pH آب مقدار شاخص لائزلیر را کاهش و مقدار شاخص رایزنر را افزایش داد تا آب در وضعیت مطلوب قرار گیرد. در مورد نتایجی که از شاخص لارسون-اسکولد به دست آمد می‌توان این‌گونه توضیح داد که این شاخص در مورد آب‌هایی که مقدار آنیون‌های سولفات و کلرور بالا است اهمیت بیشتری دارد زیرا این آنیون‌ها می‌توانند سیستم تعادل کربنات را مختل کرده و از تشکیل رسوب محافظ جلوگیری کنند. در مورد منابع آب مورد مطالعه در این تحقیق آنیون‌های سولفات و کلرور در محدوده استانداردهای تعیین شده توسط ترجمان‌های ذیربط قرار دارد، به همین منظور این شاخص تأثیری بر فرایند رسوب‌گذاری ندارند. با این وجود پارامتر قلیابیت یک رابطه معکوس با مقدار شاخص لارسون-اسکولد دارد، از این‌رو با کاهش مقدار قلیابیت آب می‌توان تمایل آن را برای رسیدن به شرایط خنثی و تعادل بیشتر کرد و آب را از وضعیت

همان‌طور از نتایج این مطالعه برمی‌آید خوشبختانه تمامی شاخص‌ها مورد بررسی نتایج نسبتاً یکسانی را برای وضعیت آب پیش‌بینی کردند. همچنین بر اساس شاخص لارسون-اسکولد مشخص گردید که آنیون‌های کلرید و سولفات در تشکیل فیلم محافظ کربنات که به‌عنوان لایه محافظ در مقابل خوردگی نقش دارد، هیچ نقشی ندارند. به‌منظور بررسی مهم‌ترین پارامترهای اثرگذار بر مقدار هریک از شاخص‌های خوردگی مقدار ضریب همبستگی پیرسون برای روابط همبستگی بین هر یک از شاخص‌های خوردگی با پارامترهای کیفی آب محاسبه گردید. هر چه مقدار ضریب همبستگی به یک نزدیک‌تر باشد نشان‌دهنده وجود ارتباط بیشتر بین هر متغیر با شاخص خوردگی خواهد بود و علامت منفی نشان‌دهنده رابطه معکوس هر یک از پارامترهای مورد مطالعه با شاخص‌های پایداری آب می‌باشد.

لیونتان و همکاران در سال ۲۰۰۴^{۱۱} در کشور آفریقای جنوبی اعلام کردند که خوردگی و رسوب‌گذاری از مشکلات متداول در خطوط انتقال و توزیع آب‌های زیرزمینی است و مکانیزم اثر و شدت آن به دو عامل یکی کیفیت آب و دیگری جنس لوله بستگی دارد. صرف‌نظر از عوامل این مشکل، راه‌حل آن تنظیم pH، غلظت کربنات کلسیم و تثبیت آب می‌باشد. در مطالعه‌ای که در سال ۱۳۸۴ توسط حمیدرضا پور زمانی به‌منظور تعیین پتانسیل خوردگی در آب زیرزمینی منطقه صنعتی اشترجان انجام شد پارامترهای دما، سختی کلسیم، قلیابیت، TDS و pH در ۵ محل نمونه‌برداری و در ۱۲۵ نمونه مورد سنجش قرار گرفت مقایسه نتایج به‌دست‌آمده نشان داد که آب زیرزمینی منطقه صنعتی اشترجان در ابتدا حالت خوردگی داشته ولی در طول مسیر حرکت آب زیرزمینی خاصیت خوردگی آن کم شده و تقریباً به شرایط

مطالعاتی دارای خاصیتی رسوب‌گذار بوده که این خاصیت در آب‌رسانی شهری موجب رسوب و گرفتگی لوله‌های آب خواهد شد. با توجه به معرفی منطقه و ترکیب بافت‌های صنعتی و کشاورزی دشت قروه، رسوب‌گذاری آب در صنایع مصرف‌کننده آب موجب کاهش کارایی دستگاه‌های مصرف‌کننده و در نتیجه کاهش عمر دستگاه‌ها و افزایش مصرف انرژی در آن‌ها می‌گردد. همچنین مصرف مستقیم آب با چنین کیفیتی، موجب آسیب‌های جدی بر سلامت افراد استفاده‌کننده برای مصرف شرب را خواهد داشت. مواردی از قبیل بیماری‌های کلیوی و دستگاه گوارش از این قبیل خواهند بود. تصفیه منابع آب زیرزمینی و استفاده از بازدارنده‌های رسوب مانند ترکیبات فسفات دار موجب کم‌تر کردن میزان تأثیرات رسوب‌گذاری خواهد شد.

رسوب‌گذار خارج نمود. مهم‌ترین پارامترهای کیفی آب که بر مقدار شاخص پوکوریوس اثرگذار هستند عبارتند از pH و سپس کلسیم. به همین منظور می‌توان با تنظیم مقدار کلسیم در منابع تأمین‌کننده آب شهرستان قروه وضعیت آب را از نظر تمایل به رسوب‌گذاری یا خوردگی تغییر داد. این نکته نیز لازم به ذکر است که بین شاخص پوکوریوس و میزان یون کلسیم رابطه معکوسی برقرار می‌باشد. در مورد منابع آب مورد مطالعه در این تحقیق به منظور افزایش شاخص پوکوریوس و رساندن آن حالت رسوب‌گذار به صورت تعادلی باید مقدار کلسیم آب کاهش پیدا کند که این امر از طریق سختی زدایی قابل اجرا است.

نتیجه‌گیری

با توجه به یافته‌های این مطالعه مشخص شد آب محدوده

References

- Dehghani MH, Ghaderpoori M, Fazlzadeh M, Golmohamadi S. Survey of bacteriological quality of the drinking water in rural areas of saqqez city. Iran J Health Environ 2009;2(2): 132-9 [In persian].
- Heydari M, Bidgoli H. Chemical analysis of drinking water of Kashan district, central Iran. World Appl Sci J 2012;16(6): 799-805.
- Rezaei Kalantari R, Yari AR, Ahmadi E, et al. 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. Arch Hyg Sci 2013;2(4): 127-34.
- Parastoo s, Zinatizade A, Hasani A, sharifpour M. Analysis of the chemical quality of groundwater resources using software Aq.Qa (prairie Songhor village of Kermanshah). 14th Environmental Health Conference: Shahid Sadooghi University of Medical Science; 2011.
- Mofidi J. Principles of Corrosion and Protection of Metals. 2004.
- Geldreich EE. Microbial Quality of Water Supply in Distribution Systems: CRC Press; 1996.
- Ghanizadeh G, Ghaneian M. Corrosion and precipitation potential of drinking-water distribution systems in military centers. J Mil Med 2009;11(3): 155-60.
- Association AWW. Introduction to Water Treatment: Principles and Practices of Water Supply Operations. American Water Works Association, Denver, Co 1984.
- Rezaei Kalantary R, Azari A, Ahmadi E, Ahmadi Jebelli M. Quality evaluation and stability index determination of Qom rural drinking water resources. J Health Field 2013;1(3): 9-16 [In persian].
- Shams M, Mohamadi A, Sajadi SA. Evaluation of corrosion and scaling potential of water in rural water supply distribution networks of Tabas, Iran. World Appl Sci J 2012;17(11): 1484-89.
- Loewenthal R, Morrison I, Wentzel M. Control of corrosion and aggression in drinking water systems. Water Sci Technol 2004;49(2): 9-18.

تحلیل و بررسی پتانسیل خوردگی آب‌های زیرزمینی شهرستان قروه از طریق شبیه‌سازی شاخص‌های خوردگی به روش مونت-کارلو

12. Federation WE, Association APH. Standard Methods for The Examination of Water and Wastewater. American Public Health Association (APHA): Washington, DC, USA 2005.
13. Rafferty K. Scaling in geothermal heat pump systems. Prepared for: US Department of Energy, Idaho Operations Office, and 785 DOE Place, Idaho Falls, ID 83401. Contract No DE-FG07-90ID 1999;13040.
14. Chalkeshamiri M. Principles of Water Treatment. 2007.
15. Wagner EG, Pinheiro RG, Organization WH. Upgrading Water Treatment Plants. 2001.
16. Colin M. Stress corrosion cracking: Senior Engineering Consultant Materials Technology. 2008.
17. Iranian Institution for Standards and Economic Research, Physical and Chemical Properties of Drinking Water. Standard Number 1053. 5th edition ed.
18. Pontius FW, Association AWW. Water Quality and Treatment: A Handbook of Community Water Supplies. AWWA; 1990.
19. Hadi M. Preparation of the software calculates eight important corrosive water indexes. 12th National Conference on Environmental Health; Shahid Beheshti University of Medical Science 2009.
20. 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; 2005.