

Evaluation of corrosion and scaling indices of drinking water in the villages of Khorasan Razavi province in 2013

ABSTRACT

Background & Objective: One of the most complicated and costly problems associated with drinking water providing, is called as corrosion. Corrosion processes can cause pitting problems, reducing lifetime of water utilities and loss of water which can lead to high cost. Therefore the aim of this study is to determine the corrosion and scaling indices of rural drinking water resources of Khorasan Razavi.

Material & Methods: In this cross sectional study to evaluate water quality characteristics in the Khorasan Razavi resources, 879 samples were taken during 2013 were analyzed based on standard manual method book. Five indices including Langlier, Ryznar, Puckorius, Larson-Skold and Aggressiveness Index were programmed in Excel software then scaling potential and corrosiveness of rural water of Khorasan razavi was studied.

Results: The results indicated that values of Langlier equals 0.33 ± 0.14 , Ryznar equals 7.36 ± 0.37 , Puckorius equals 7.4 ± 0.6 , Larson Ratio is equal to 2.1 ± 1.4 (and Aggressiveness Index equals 12.03 ± 0.18).

Conclusions: In comparison of five stability indices, it was found that drinking water in the study area is corrosive. Thus essential actions for reducing corrosion and corrosion by-products, health and economic loss are required.

Keywords: Stability indices, Corrosion, Scaling, Drinking Water, Khorasan razavi

► **Citation:** Mirzabeygi M, Mahvi A, Naji M, Abbasnia A. Evaluation of corrosion and scaling indices of drinking water in the villages of Khorasan Razavi province in 2013. *Iranian Journal of Research in Environmental Health*. Spring 2016;2 (1):60-70.

Majid mirzabeygi

M.Sc.Student Environmental Health Engineering, School of public Health, Tehran University of Medical Science, Tehran, Iran.

Amir Hossein Mahvi

* Assistant Professor, Department of Environmental Health Engineering, School of public Health, Tehran University of Medical Science, Tehran, Iran. (Corresponding Author): ahmahvi@yahoo.com

Mozhgan Naji

M.Sc.Student Environmental Health Engineering, School of public Health, Tehran University of Medical Science, Tehran, Iran.

Abbas Abbasnia

M.Sc.Student Environmental Health Engineering, School of public Health, Tehran University of Medical Science, Tehran, Iran.

REceived: 7 May 2016

Accepted: 21 May 2016

بررسی شاخص‌های خوردنگی و رسوب‌گذاری آب شرب روستاهای استان خراسان رضوی در سال ۱۳۹۲

چکیده

زمینه و هدف: خوردنگی، یکی از پیچیده‌ترین و پرهزینه‌ترین مشکلات مربوط به تولید آب آشامیدنی است. فرآیند خوردنگی باعث ایجاد مشکلاتی نظیر ایجاد حفره در لوله‌ها، کاهش طول عمر تأسیسات و هدررفت آب می‌شود که هزینه‌های زیادی را به دنبال خواهد داشت. لذا مطالعه حاضر با هدف تعیین شاخص‌های خوردنگی و رسوب‌گذاری منابع آب تأمین کننده روستاهای شهرستان‌های خراسان رضوی انجام شد.

مواد و روش‌ها: در این مطالعه مقطعی ۸۷۹ نمونه آب شرب از ۲۲۰ روستا در سال ۱۳۹۲ به منظور بررسی خصوصیات کیفی آب برداشت و بر اساس روش‌های مندرج در کتاب مرجع آزمایش‌های آب و فاضلاب مورد آنالیز قرار گرفت. سپس پنج شاخص لانتزلیه، رایزنر، پوکوریوس، لارسون-اسکولد و شاخص ته‌اجم در نرم‌افزار اکسل برنامه‌نویسی شد و سپس خوردنگی و رسوب‌گذاری آب روستاهای شهرستان‌های خراسان رضوی تعیین شد.

یافته‌ها: بر اساس نتایج این مطالعه شاخص لانتزلیه $0/14 \pm 0/33$ ، شاخص رایزنر $0/37 \pm 0/7/36$ ، شاخص پوکوریوس $0/6 \pm 0/7/4$ ، شاخص لارسون - اسکولد $1/4 \pm 2/1$ و شاخص ته‌اجمی $0/18 \pm 0/12/03$ بود.

نتیجه‌گیری: مقایسه ۵ شاخص پایداری نشان داد وضعیت آب در بخش‌های مورد مطالعه در محدوده خوردنده می‌باشد. بر اساس شاخص لانتزلیه، آب در تمامی مناطق رسوب‌گذار می‌باشد، لذا برای کاهش خوردنگی و مواد جانبی حاصل از آن و آسیب‌های بهداشتی و اقتصادی آن اقدامات لازم ضروری است.

نوع مقاله: مقاله پژوهشی

کلیدواژه‌ها: آب شرب، خراسان رضوی، خوردنگی، رسوب‌گذاری، شاخص‌های خوردنگی

مجید میرزاییگی

دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی تهران، تهران، ایران.

امیرحسین محوی

* استادیار، گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی تهران، تهران، ایران.
(نویسنده مسئول): ahmahvi@yahoo.com

مژگان ناجی

دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی تهران، تهران، ایران.

عباس عباس‌نیا

دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی تهران، تهران، ایران.

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۲/۱۸

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۰۳/۰۱

◀ **استناد:** میرزاییگی م، محوی الف ح، ناجی م، عباس‌نیا ع. بررسی شاخص‌های خوردنگی و رسوب‌گذاری آب شرب روستاهای استان خراسان رضوی در سال ۱۳۹۲. *فصلنامه پژوهش در بهداشت محیط*. بهار ۱۳۹۵؛ ۲۱(۱): ۶۰-۷۰.

مقدمه

می‌باشد. فرآیند رسوب‌گذاری می‌تواند باعث مشکلاتی مانند مسدود شدن لوله‌ها، کاهش دبی عبوری و افزایش افت فشار در شبکه شود که این امر نیز باعث افزایش هزینه بهره‌برداری تأسیسات آبی خواهد شد [۱۵، ۱۶].

علیپور و همکاران (۲۰۱۵) با بررسی خوردگی و رسوب‌گذاری آب در شبکه‌های سانی شهر بندرعباس با استفاده از شش شاخص رایزنز، لانژلیه، لارسون-اسکولد، پوکوریوس، تهاجمی و تست ماربل به این نتیجه رسیدند که آب در این شهر دارای خاصیت خوردگی است [۱۷]. آگاتمور و همکاران (۲۰۰۸) در مطالعه‌ای در دانشگاه بنین کشور نیجریه با استفاده از سه شاخص رایزنز، لانژلیه و لارسون-اسکولد به این نتیجه رسیدند که آب منطقه مورد مطالعه در محدوده خوردنده می‌باشد و بین غلظت آهن و شاخص‌های مورد بررسی ارتباط مستقیم و مثبتی وجود داشت [۱۸]. ملکوتیان و همکاران (۲۰۱۴) در مطالعه‌ای در رفسنجان با استفاده از چهار شاخص لانژله، رایزنز، پوکوریوس و تهاجمی به این نتیجه رسیدند که آب منطقه مورد مطالعه در محدوده رسوب‌گذار است [۱۹]. خورسندی و همکاران (۲۰۱۵) در مطالعه‌ای بر روی منابع آب مناطق روستایی ارومیه به این نتیجه رسیدند که آب منطقه مورد نظر بر اساس شاخص‌های لانژلیه، رایزنز، پوکوریوس و لارسون در اکثر منابع در محدوده خوردنده می‌باشد [۲۰].

استان خراسان رضوی یکی از استان‌های شرقی ایران و جزء مناطق نیمه خشک ایران محسوب می‌شود. میانگین بارندگی در استان ۲۱۰ میلی‌متر می‌باشد. میانگین سالانه دمای استان ۱۵/۶ درجه سانتی‌گراد است. میانگین سالانه تبخیر استان خراسان رضوی ۲۲۲۵/۷ میلی‌متر محاسبه شده است. با در نظر گرفتن شرایط جغرافیایی، وضعیت زمین‌شناسی و نیز میزان بارندگی پایین در این شهرستان‌ها، آب‌های زیرزمینی، مهم‌ترین منبع تأمین‌کننده آب در این مناطق به شمار می‌روند که بخش عمده این آب‌ها از طریق چاه‌های عمیق و نیمه عمیق موجود تأمین می‌شود. بنابراین مطالعه حاضر با هدف بررسی خوردنده

خوردگی، یکی از پیچیده‌ترین و پرهزینه‌ترین مشکلات مربوط به تولید آب آشامیدنی می‌باشد. فرآیند خوردگی یک پدیده فیزیکی-شیمیایی است که بین یک ماده و محیط اطراف آن اتفاق می‌افتد و باعث تغییراتی در خواص آن ماده می‌شود [۲۱، ۲]. فرآیند خوردگی باعث ایجاد مشکلاتی همچون ایجاد حفره در لوله‌ها، کاهش طول عمر تأسیسات و هدررفت آب می‌شود که هزینه‌های زیادی را به دنبال خواهد داشت [۳].

بر اساس تحقیقات انجام شده در سال ۲۰۰۲ مشخص شد خسارت‌های وارد شده توسط فرآیند خوردگی در کشورهای نظیر ژاپن، آمریکا، بریتانیا، استرالیا و چند کشور دیگر چند برابر تولید ناخالص داخلی بوده است [۴-۶]. علاوه بر خسارت‌های مالی ناشی از خوردگی، مهم‌ترین مسئله بهداشتی مربوط به خوردگی، حضور فلزات سنگین مانند سرب، مس، روی و آرسنیک بوده که باعث ایجاد بیماری‌های متعددی می‌شود. سرب، یک مسموم‌کننده عمومی است که در استخوان تجمع پیدا می‌کند و باعث تخریب سیستم اعصاب مرکزی و محیطی می‌شود. مس و روی در غلظت‌های پایین به عنوان میکرونوترینت برای حیات آبی محسوب می‌شوند، اما در غلظت‌های بالا می‌توانند باعث مسمومیت شوند. آرسنیک یکی از شبه فلزات خطرناک است که در صورت بلع از طریق آب آلوده باعث ایجاد مشکلات سلامتی شدیدی مانند سرطان، بیماری‌های قلبی و عروقی، فشارخون بالا، گانگرن، هایپرکراتوسیس و ضایعه پوستی می‌شود [۷-۹].

عوامل متعددی در فرآیند خوردگی تأثیرگذارند که از مهم‌ترین آنها می‌توان به PH، درجه حرارت، سختی، اسیدیته، کلر باقی‌مانده، کل جامدات محلول، نمک‌های محلول و میکروارگانسیم‌ها در آب اشاره کرد [۴، ۱۰-۱۳].

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 [۱۴]. متداول‌ترین لایه رسوبی ایجاد شده از جنس کربنات کلسیم

کاتیون‌های فلوئور، نیترات و سولفات با دستگاه اسپکتروفتومتر لارسون- اسکولد و پوکوریوس با کمک جدول ۱ و برنامه‌نویسی HACH مدل DR ۵۰۰۰ ساخت کشور آمریکا) در آزمایشگاه آب و فاضلاب روستایی هر شهر انجام و با استانداردهای داخلی مقایسه شدند. در ادامه شاخص‌های لانزلیه، رایزنر، تهاجمی

جدول ۱. شاخص‌های خوردگی مورد استفاده برای تعیین وضعیت خوردگی و رسوب‌گذاری آب شرب روستاهای خراسان رضوی در سال ۱۳۹۲ [۲۲]

مقدار شاخص	شرایط آب	شاخص
>OLSI	رسوب‌گذار	شاخص لانزلیه $pHs - pH = LSI$
0=LSI	تثبیت شده	
<OLSI	خورنده	
7>RSI	رسوب‌گذار	شاخص رایزنر $pH - 2pHs = RSI$
6<RSI<7	تثبیت شده	
RSI>7	خورنده	
PSI<6	تمایل به رسوب‌گذاری	شاخص پوکوریوس $PSI = 2 pHs - pHeq$ $pH = 1.465 + \log (T.ALK) + 4.54$
PSI>6	تمایل به خوردگی	
LS<0.8	تشکیل فیلم محافظ بدون دخالت یون‌های کلرید و سولفات	شاخص لارسون - اسکولد $LS = (c(Cl^-) + c(SO_4^{2-})) / (c(HCO_3^-) + c(CO_3^{2-}))$
0.8<LS<1.2	تشکیل فیلم محافظ با دخالت یون‌های کلرید و سولفات	
LS>1.2	خورنده	
AI<10	به شدت خورنده	شاخص تهاجم $((H)(A)) \log + pH = AI$
10<AI<12	خورنده	
AI>12	رسوب‌گذار	
$pHs = (9.3 + A + B) - (C + D)$	لایه محافظ در حالت تعادل قرار دارد	pH اشباع
A = $(\log_{10} (TDS) - 1) / 10$ B = $-13.12 * \log_{10} (oC + 273) + 34.55$ C = $\log_{10} (Ca^{2+} \text{ as } CaCO_3) - 0.4$ D = $\log_{10} (\text{alkalinity as } CaCO_3)$		

آبی در روستاهای استان خراسان رضوی تعیین شد که نتایج حاصل از آن در جدول ۴ ارائه شده است.

یافته‌ها

در این مطالعه پارامترهای فیزیکی و شیمیایی آب دخیل در خوردگی و رسوب‌گذاری سنجش شدند که نتایج این آنالیزها در جداول ۲ و ۳ ارائه شده است. سپس با توجه به مقادیر مندرج در جداول ۲ و ۳ و محاسبات انجام شده بر اساس روابط لانزلیه، رایزنر، تهاجمی، لارسون- اسکولد و پوکوریوس، وضعیت منابع

جدول ۲. میانگین و انحراف معیار حد مطلوب و حد مجاز پارامترهای فیزیکی و شیمیایی اندازه‌گیری شده آب شرب روستاهای خراسان رضوی در سال ۱۳۹۲

شهرستان	بخش	کدورت	دما	pH	TDS	EC	سختی کل	قلیابیت کل
باخرز	بالا ولایت	(۱/۴±)۱/۲	(۴±)۲۱/۴	(۰/۲±)۷/۸	(۸۱۳±)۱۰۰۶	(۷۸۶±)۱۳۳۷	(۱۱۹±)۲۸۶	(۱۲۷±)۲۸۸
	مرکزی	(۱/۶±)۱/۶	(۰/۰۵±)۲۲/۷	(۰/۳±)۷/۵۶	(۸۸۰±)۹۱۶	(۱۴۱۹±)۱۴۷۸	(۲۴۳±)۳۷۳	(۴۵±)۲۸۵
بجستان	مرکزی	(۰/۷۵±)۰/۷۵	(۰/۵±)۲۱	(۰/۳±)۸/۰۸	(۵۷۸±)۸۳۷	(۱۷۰۴±)۲۴۲۹	(۱۴۳±)۲۲۹	(۴۰±)۲۱۷
	یونسی	(۰/۰۶±)۰/۲۳	(۰/۲±)۲۰/۷	(۰/۱۶±)۸/۰۴	(۹۱۸±)۱۱۹۶	(۱۶۵۴±)۳۸۳۰	(۱۱۶±)۲۴۴	(۲۶±)۲۰۸
بردسکن	مرکزی	(۰/۳±)۰/۴	(۱/۵±)۲۵	(۰/۲±)۸/۰۱	(۱۳۳±)۵۳۳	(۲۱۲±)۸۴۵	(۸۳±)۱۷۵	(۱۰۰±)۲۸۷
	شهر آباد	(۱/۷±)۱/۴	(۰/۴±)۲۲/۴	(۰/۰۶±)۸/۳	(۶۹±)۶۱۴	(۱۰۹±)۹۷۵	(۱۶±)۷۸	(۳۹±)۱۹۴
	انابند	(۱/۵±)۰/۷	(۲/۴±)۲۰/۶	(۰/۱۱±)۸/۱	(۵۸۳±)۱۱۹۱	(۹۲۵±)۱۸۹۰	(۱۷۵±)۲۳۱	(۸۸±)۲۷۹
تایباد	مرکزی	(۳/۵±)۱/۴	(۱±)۲۱/۶	(۰/۱۱±)۷/۹	(۵۷۵±)۸۴۴	(۸۹۵±)۱۳۲۴	(۸۴±)۲۷۳	(۲۵±)۲۲۶
	میان ولایت	(۰/۵۴±)۰/۵۴	(۱/۲±)۲۱/۱	(۰/۱۵±)۷/۸	(۶۴۹±)۹۹۷	(۹۳۴±)۱۵۱۰	(۱۶۹±)۳۴۱	(۴۹±)۲۳۲
ترت حیدریه	مرکزی	(۰/۴±)۰/۵	(۲/۸±)۲۲/۲	(۰/۳±)۷/۸۶	(۷۷۰±)۱۱۳۶	(۱۲۳۲±)۱۸۱۸	(۱۶۷±)۲۴۵	(۶۹±)۲۴۴
	جلگه رخ	(۵/۵±)۲/۸	(۲/۶±)۲۰/۷	(۰/۱۲±)۸/۲	(۳۱۷±)۸۳۷	(۵۰۷±)۱۳۳۹	(۱۱۴±)۲۲۱	(۶۶±)۲۰۹
	بایگ	(۱/۸±)۱/۳	(۱/۷±)۱۸/۲	(۰/۳±)۷/۶۷	(۲۵۶±)۵۹۳	(۴۰۹±)۹۴۸	(۱۲۷±)۳۱۶	(۷۷±)۳۴۶
	کدکن	(۰/۳۳±)۰/۵۶	(۱/۳±)۲۲/۷	(۰/۲۵±)۸/۰۴	(۴۲۵±)۷۶۷	(۴۲۵±)۱۲۲۸	(۴۲۵±)۲۵۲	(۹۰±)۲۲۸
خلیل آباد	شش‌طراز	(۰/۲۴±)۰/۵۷	(۰/۵±)۲۳/۶	(۰/۲۷±)۸/۳	(۱۲۲±)۴۶۰	(۲۰۱±)۷۳۴	(۲۹±)۷۱	(۲۶±)۱۴۷
	مرکزی	(۲/۵±)۲	(۱±)۲۳/۳	(۰/۲±)۸/۳	(۱۴۹±)۴۸۳	(۲۳۶±)۷۷۶	(۴۹±)۷۶	(۱۹±)۱۴۲
خواف	مرکزی	(۰/۲±)۰/۳۵	(۰/۹±)۲۱/۲	(۰/۲±)۸/۰۷	(۷۰۶±)۱۳۲۱	(۱۰۸۷±)۲۰۳۲	(۱۷۲±)۲۵۷	(۵۰±)۲۵۹
	سلامی	(۰/۷±)۰/۷۶	(۰/۸±)۲۱/۶	(۰/۲۶±)۸	(۱۶۱±)۵۱۶	(۲۴۷±)۷۹۴	(۱۱۷±)۲۴۶	(۴۱±)۲۱۲
	سنگان	(۰/۱۵±)۰/۳	(۰/۸±)۲۱/۲	(۰/۱±)۸/۱۴	(۶۳۴±)۱۶۶۴	(۹۷۶±)۲۵۲۹	(۴۵±)۱۷۰	(۱۷±)۲۰۹
	جلگه زوزن	(۲/۵±)۱/۲	(۰/۷±)۲۱/۴	(۰/۳±)۸/۰۴	(۱۰۳۷±)۱۸۳۰	(۱۵۹۵±)۲۸۱۵	(۱۵۴±)۱۹۹	(۷۷±)۲۶۷
رشتخوار	مرکزی	(۰/۸±)۰/۵۲	(۲±)۱۹	(۰/۱±)۷/۹۴	(۳۲۱±)۹۷۰	(۴۹۳±)۱۴۹۲	(۶۴±)۱۶۷	(۸۶±)۲۶۵
	جنگل	(۰/۱±)۰/۳	(۰/۱±)۲۱/۲	(۰/۱±)۸/۱	(۶۳۴±)۱۷۲۱	(۷۶۹±)۲۶۴۷	(۶۹±)۳۱۷	(۵۳±)۳۵۱
زاوه	مرکزی	(۰/۳۷±)۰/۴۵	(۵/۳±)۱۷/۴	(۰/۱±)۸/۱۹	(۴۶۵±)۷۶۲	(۷۱۵±)۱۱۷۲	(۱۲۳±)۲۸۶	(۵۹±)۲۸۰
	جلگه زاوه	(۱۰±)۲/۲	(۱/۷±)۲۳	(۰/۲۷±)۸/۰۸	(۴۱۱±)۶۵۴	(۶۳۳±)۱۰۰۷	(۱۲۰±)۲۴۲	(۹۵±)۲۶۳
کاشمر	مرکزی	(۱/۳±)۰/۷	(۲/۶±)۲۰/۲	(۰/۱±)۸/۲	(۲۸۶±)۵۱۰	(۴۶۱±)۸۲۲	(۵۴±)۱۵۵	(۱۳۵±)۱۸۷
	کوهسرخ	(۶/۹±)۲/۶	(۱/۸±)۲۲/۳	(۰/۳±)۸/۱	(۴۰۲±)۶۲۲	(۶۴۸±)۱۰۶۷	(۱۴۶±)۲۳۲	(۱۰۴±)۲۹۳
گناباد	مرکزی	(۰/۸۴±)۰/۸۶	(۰/۷±)۲۲/۶	(۰/۲±)۸	(۱۰۴۰±)۲۰۹۵	(۱۶۰۰±)۳۲۳	(۲۹۲±)۵۱۶	(۱۰۹±)۳۲۰
	کاخک	(۹/۴±)۵/۱۳	(۰/۲±)۲۲/۷	(۰/۲±)۸/۱۵	(۷۷۷±)۷۱۰۸	(۱۱۹۶±)۱۶۷۲	(۲۴۰±)۳۱۸	(۷۶±)۲۶۵
مه ولات	مرکزی	(۵/۹±)۵/۵	(۰/۱±)۲۱/۸	(۰/۱±)۸/۰۹	(۱۸۹±)۱۲۷۲	(۲۹۱±)۱۹۵۶	(۴۶±)۲۰۳	(۱۴±)۱۷۶
	شادمهر	(۱/۴±)۰/۸	(۱/۲±)۲۲/۳	(۰/۲±)۸/۱۳	(۳۱۵±)۶۱۵	(۴۸۴±)۹۴۷	(۸۳±)۱۴۴	(۴۹±)۲۰۴
حد مطلوب		۱	-	۸/۵-۶/۵	۱۰۰۰	-	۱۲۰	۲۰۰
حد مجاز		۵	-	۹-۶/۵	۱۵۰۰	-	-	۵۰۰

جدول ۳. میانگین و انحراف معیار حد مطلوب و حد مجاز آنیون‌ها و کاتیون‌های اندازه‌گیری شده آب شرب روستاهای خراسان رضوی در سال ۱۳۹۲

شهرستان	بخش	تعداد چاه	کاتیون‌ها (mg/l)						آنیون‌ها (mg/l)		
			کلسیم	منیزیم	سدیم	پتاسیم	فلوراید	کلرور	سولفات	نترات	بی کربنات
باخرز	بالا ولایت	۲۷	۶۶±۲۹	۳۰±۲۱	۲۱۴±۱۳۰	۱/۶±۰/۸	۰/۲±۰/۴	(۱۲۷±)۱۲۳	(۱۶۲±)۲۳۲	(۲۱±)۲۳	(۱۲۷±)۲۸۸
	مرکزی	۳۱	۸۲±۴۱	(۳۴±)۴۱	(۹±)۲۶۹	(۲±)۲/۵	(۰/۳±)۰/۵	(۲۰۵±)۱۳۶	(۳۹۹±)۲۹۸	(۱۹±)۲۳	(۴۵±)۲۸۵
بجستان	مرکزی	۳۷	(۳۷±)۶۴	(۱۳±)۱۷	(۳۷۰±)۴۵۴	(۰/۶±)۱/۵	(۰/۶±)۰/۸	(۴۸۰±)۴۱۷	(۲۷۱±)۴۰۵	(۱۵±)۲۸	(۴۰±)۲۱۷
	یونسی	۱۲	(۳۰±)۶۶	(۱۰±)۱۹	(۳۲۰±)۷۷۰	(۰/۳±)۱/۷	(۰/۸±)۰/۸	(۵۹۰±)۸۷۴	(۳۲۲±)۴۱۵	(۳±)۲۷	(۲۶±)۲۰۸
بردسکن	مرکزی	۳۲	(۲۲±)۴۳	(۸±)۱۷	(۳۸±)۱۱۹	(۰/۵±)۱/۱	(۰/۱±)۰/۵	(۲۹±)۵۹	(۴۱±)۱۰۵	(۱۱±)۱۸	(۱۰۰±)۲۸۷
	شهر آباد	۱۹	(۲±)۱۴	(۳±)۱۱	(۶۴۰±)۴۲۸	(۰/۲±)۱/۴	(۰/۱±)۰/۶	(۱۷±)۹۱	(۴۶±)۱۷۷	(۲±)۷	(۴۰±)۱۹۴
	انابد	۵۶	(۳۲±)۴۳	(۲۸±)۳۰	(۱۹۶±)۳۳۶	(۱/۴±)۲	(۰/۲±)۰/۶	(۲۱۸±)۲۶۵	(۱۸۱±)۳۰۲	(۲۲±)۲۱	(۸۸±)۲۷۹
تایباد	مرکزی	۲۴	(۲۵±)۷۰	(۱۰±)۲۴	(۱۹۹±)۱۸۹	(۱±)۲/۲	(۰/۴±)۰/۷	(۱۵۴±)۱۵۴	(۲۲۶±)۲۴۷	(۷±)۱۸	(۲۵±)۲۲۶
	میان ولایت	۱۴	(۳۶±)۸۵	(۲۰±)۳۱	(۱۶۶±)۲۰۰	(۱±)۲/۵	(۰/۳±)۰/۶	(۲۰۲±)۱۷۵	(۲۰۷±)۲۶۰	(۱۳±)۲۵	(۴۹±)۲۳۲
تربت حیدریه	مرکزی	۵۸	(۳۷±)۵۹	(۲۵±)۲۴	(۲۳۶±)۲۸۶	(۳/۵±)۳/۶	(۰/۲±)۰/۵	(۲۸۵±)۳۱۹	(۱۵۲±)۱۷۹	(۱۱±)۱۷	(۶۹±)۲۴۴
	جلگه رخ	۵۳	(۱۳±)۲۶	(۲۵±)۳۷	(۸۷±)۲۰۳	(۰/۹±)۱/۴	(۰/۱±)۰/۴	(۱۲۰±)۱۸۴	(۱۳۴±)۲۲۳	(۶±)۱۶	(۶۶±)۲۰۸
	بایگ	۸	(۴۱±)۸۴	(۸±)۲۶	(۶۱±)۸۶	(۰/۶±)۱/۳	(۰/۱±)۰/۳	(۵۸±)۶۷	(۶۴±)۷۹	(۲۴±)۲۱	(۷۷±)۳۴۶
	کدکن	۱۷	(۴۳±)۵۴	(۱۷±)۲۸	(۱۴۵±)۱۷۱	(۱/۶±)۱/۶	(۰/۲±)۰/۴	(۱۲۴±)۱۴۷	(۱۳۵±)۲۱۸	(۵±)۹	(۹۰±)۸۲۲
خلیل آباد	شش‌طراز	۱۵	(۷±)۱۷	(۳±)۷	(۳۸±)۱۱۶	(۰/۹±)۱/۴	(۰/۱±)۰/۵	(۴۷±)۷۰	(۲۸±)۱۲۵	(۱/۳±)۶	(۲۶±)۱۴۷
	مرکزی	۱۲	(۱۵±)۲۱	(۲±)۶	(۲۰±)۱۴۰	(۰/۳±)۱/۲	(۰/۱±)۰/۶	(۶۵±)۷۷	(۲۱±)۱۳۷	(۲±)۶	(۱۹±)۱۴۹
خواف	مرکزی	۲۵	(۳۲±)۵۱	(۲۳±)۳۲	(۲۲۹±)۳۶۱	(۰/۹±)۱/۹	(۰/۷±)۰/۸	(۱۵۸±)۲۴۰	(۳۶۰±)۴۴۲	(۶±)۱۵	(۵۰±)۲۵۹
	سلامی	۲۵	(۲۶±)۵۶	(۱۳±)۲۶	(۴۳±)۷۵	(۰/۶±)۱/۹	(۰/۱±)۰/۳	(۳۲±)۴۸	(۷۵±)۱۴۴	(۶±)۷	(۴۱±)۲۱۲
	سنگان	۲۱	(۸±)۳۴	(۶±)۲۱	(۲۲۱±)۴۸۴	(۰/۴±)۱/۵	(۰/۴±)۱	(۲۲۶±)۴۵۸	(۱۵۸±)۳۷۷	(۲±)۱۲	(۱۷±)۲۰۹
	جلگه زوزن	۲۵	(۵۰±)۵۶	(۹±)۱۴	(۳۰۶±)۵۵۶	(۰/۸±)۱/۵	(۱±)۱/۴	(۳۹۵±)۴۹۲	(۵۸۹±)۷۰۶	(۱۸±)۳۵	(۷۷±)۲۶۷
رشتخوار	مرکزی	۴۰	(۱۷±)۳۷	(۱۳±)۱۸	(۸۰±)۲۸۱	(۰/۸±)۲	(۰/۲±)۰/۶	(۹۶±)۱۹۰	(۷۵±)۲۱۹	(۱۱±)۱۷	(۷۷±)۲۶۷
	جنگل	۲۰	(۱۳±)۳۹	(۹±)۵۳	(۱۸۵±)۴۶۲	(۰/۵±)۳/۵	(۰/۱±)۰/۶	(۲۴۶±)۴۲۲	(۱۵۲±)۳۹۲	(۳±)۱۳	(۵۲±)۳۵۱
زاوه	مرکزی	۴۴	(۲۰±)۳۷	(۱۸±)۴۷	(۱۴۱±)۱۵۰	(۰/۶±)۱	(۰/۱±)۰/۴	(۱۵۱±)۱۱۳	(۱۵۲±)۲۱۰	(۱/۵±)۱۲	(۵۸±)۲۸۰
	سلیمان	۲۸	(۲۶±)۴۸	(۱۹±)۳۰	(۱۱۰±)۱۲۳	(۰/۸±)۱/۲	(۰/۲±)۰/۳	(۰۷۱±)۹۵	(۱۵۰±)۱۳۸	(۱۵±)۲۰	(۹۵±)۲۶۳
کاشمر	مرکزی	۳۴	(۲۴±)۵۱	(۶±)۱۴	(۷۹±)۹۶	(۰/۵±)۱/۴	(۰/۱±)۰/۵	(۸۷±)۷۳	(۶۲±)۱۲۱	(۸±)۱۴	(۳۵±)۱۸۷
	کوهسرخ	۲۹	(۳۸±)۵۶	(۱۵±)۲۳	(۱۰۷±)۱۵۱	(۰/۶±)۱	(۰/۱±)۰/۳	(۱۱۱±)۹۵	(۱۴۳±)۱۵۲	(۱۹±)۱۷	(۱۰۴±)۲۹۳
گناباد	مرکزی	۳۹	(۶۶±)۱۰۸	(۳۵±)۶۰	(۲۸۴±)۵۱۵	(۱/۲±)۳/۶	(۰/۲±)۰/۶	(۳۰۳±)۵۰۱	(۴۳۹±)۶۱۴	(۱۷±)۳۱	(۱۰۹±)۳۲۰
	کاخک	۶۷	(۲۰±)۵۱	(۵۲±)۴۶	(۲۰۷±)۲۳۷	(۱/۴±)۲	(۰/۳±)۰/۵	(۲۵۷±)۲۶۰	(۲۱۱±)۲۵۸	(۱۷±)۲۲	(۷۶±)۲۶۵
مه ولات	مرکزی	۴۸	(۱۰±)۴۰	(۵±)۲۵	(۵۰±)۳۴۲	(۰/۵±)۱/۵	(۰/۱±)۰/۶	(۶۰±)۲۸۰	(۱۳۸±)۳۷۳	(۴±)۲۰	(۱۴±)۱۷۶
	شادمهر	۱۹	(۲۲±)۳۶	(۸±)۱۳	(۹۷±)۱۴۹	(۰/۴±)۱/۳	(۰/۱±)۰/۴	(۸۴±)۷۹	(۱۳۵±)۱۷۰	(۷±)۱۸	(۴۹±)۲۰۴
	حد مطلوب		۷۵	۳۰	۲۰۰	-	۰/۵	۲۵۰	۲۵۰	-	-
	حد مجاز		۳۰۰	۱۵۰	۲۵۰	-	۱/۵	۴۰۰	۴۰۰	۵۰	-

جدول ۴. وضعیت آب شرب روستاهای استان خراسان رضوی بر اساس شاخص‌های خوردگی در سال ۱۳۹۲

شهرستان	بخش	(Lsi) شاخص لانتزلیه	(Rsi) شاخص رایزنر	(Psi) شاخص پوکوریوس	(Ls) شاخص لارسون - اسکولد	(AI) شاخص تهاجم
باخرز	بالا ولایت	۰/۳۷±۰/۲	(۰/۴±)۷/۱	(۰/۸±)۶/۸	(۱/۲±)۱/۳	(۰/۲±)۱۲/۰۶
	مرکزی	(۰/۲±)۰/۲۴	(۰/۲±)۷/۱	(۰/۴±)۶/۵	(۱/۷±)۱/۳	(۰/۲±)۱۱/۸۹
بجستان	مرکزی	(۰/۲±)۰/۳۸	(۰/۳±)۷/۳	(۰/۴±)۷/۴	(۴/۱±)۴/۲	(۰/۲±)۱۲/۱۵
	یونسی	(۰/۱±)۰/۳	(۰/۰۸±)۷/۵	(۰/۰۸±)۷/۶	(۴±)۶/۵	(۰/۱±)۱۲/۱۵
بردسکن	مرکزی	(۰/۳±)۰/۴۲	(۰/۷۴±)۷/۱۶	(۱±)۷/۰۶	(۰/۳±)۰/۶۲	(۰/۲±)۱۱/۹۹
	شهر آباد	(۰/۰۵±)۰/۱	(۰/۱±)۸/۱۲	(۰/۲±)۸/۵	(۰/۴±)۱/۴	(۰/۰۶±)۱۱/۷
	انابد	(۰/۲±)۰/۲۹	(۰/۵±)۷/۵	(۰/۸±)۷/۵	(۲/۱±)۲/۴	(۰/۲±)۱۲/۰۵
تایباد	مرکزی	(۰/۲±)۰/۴	(۰/۳±)۷/۱	(۰/۳±)۷/۰۱	(۱/۵±)۱/۷	(۰/۲±)۱۲/۰۸
	میان ولایت	(۰/۲±)۰/۳۸	(۰/۳±)۷/۱	(۰/۴۵±)۶/۹	(۲/۲±)۲/۲	(۰/۱۷±)۱۲/۰۹
تربت حیدریه	مرکزی	(۰/۳±)۰/۲۳	(۰/۵±)۷/۴	(۰/۶±)۷/۲۵	(۲/۷±)۲/۲	(۰/۳±)۱۱/۹۴
	جلگه رخ	(۰/۲±)۰/۲	(۰/۴±)۷/۸	(۰/۳۸±)۸/۱۶	(۱/۲±)۲/۰۹	(۰/۲±)۱۱/۹
	بایگ	(۰/۲۵±)۰/۳۴	(۰/۴۸±)۶/۹۹	(۰/۸±)۶/۴	(۰/۲۴±)۰/۳۹	(۰/۲۷±)۱۲/۰۷
	کدکن	(۰/۲۷±)۰/۳۴	(۰/۶±)۷/۳۵	(۰/۹۷±)۷/۴	(۰/۸۶±)۱/۷	(۰/۳±)۱۱/۹۹
خلیل آباد	شش‌طراز	(۰/۲±)۰/۰۷	(۰/۳±)۸/۱۵	(۰/۴۷±)۸/۷	(۰/۴±)۱/۳	(۰/۲±)۱۱/۶۵
	مرکزی	(۰/۱۷±)۰/۱۲	(۰/۵۴±)۸/۰۸	(۰/۸±)۸/۷	(۰/۴±)۱/۵	(۰/۲±)۱۱/۷
خواف	مرکزی	(۰/۳۲±)۰/۳۷	(۰/۶±)۷/۳	(۰/۶±)۷/۳	(۱/۹±)۲/۶	(۰/۳±)۱۲/۱۲
	سلامی	(۰/۲۷±)۰/۳۹	(۰/۴±)۷/۲	(۰/۶±)۷/۳	(۰/۴±)۰/۹	(۰/۳±)۱۲/۰۲
	سنگان	(۰/۱±)۰/۲	(۰/۲±)۷/۷	(۰/۲±)۸	(۱/۷±)۳/۹۸	(۰/۱±)۱۱/۹۷
	جلگه زوزن	(۰/۲۷±)۰/۲۸	(۰/۴±)۷/۵	(۰/۴۵±)۷/۴۵	(۴/۴±)۴/۹	(۰/۳±)۱۲/۰۷
رشتخوار	مرکزی	(۰/۲±)۰/۱	(۰/۳±)۷/۷	(۰/۴±)۷/۶	(۰/۶±)۱/۶	(۰/۱±)۱۱/۸۷
	جنگل	(۰/۱±)۰/۴	(۰/۱±)۷/۲	(۰/۱±)۷/۱	(۱/۴±)۲/۴	(۰/۱±)۱۲/۲
زاوه	مرکزی	(۰/۲۵±)۰/۳۸	(۰/۵±)۷/۴	(۰/۵±)۷/۵	(۰/۹±)۱/۱	(۰/۳±)۱۲/۱۵
	جلگه زاوه	(۰/۳±)۰/۴۸	(۰/۶±)۷/۱	(۰/۷±)۷/۱۵	(۱±)۰/۹	(۰/۳±)۱۲/۰۹
کاشمر	مرکزی	(۰/۲±)۰/۴	(۰/۴±)۷/۳	(۰/۵±)۷/۶	(۰/۵±)۱	(۰/۳±)۱۲/۱
	کوهسرخ	(۰/۳±)۰/۵	(۰/۷±)۷/۰۵	(۱±)۷/۰۵	(۰/۷±)۰/۸	(۰/۳±)۱۲/۲
گناباد	مرکزی	(۰/۲±)۰/۶۶	(۰/۴±)۶/۷	(۰/۷±)۶/۵	(۴/۷±)۴/۳	(۰/۳±)۱۲/۴
	کاخک	(۰/۳±)۰/۵	(۰/۵±)۷/۰۴	(۰/۷±)۷/۱۳	(۱/۷±)۱/۹	(۰/۳±)۱۲/۲
مه ولات	مرکزی	(۰/۱±)۰/۲	(۰/۲±)۷/۷	(۰/۲۶±)۸	(۰/۵۶±)۳/۷	(۰/۱±)۱۱/۹
	شادمهر	(۰/۲±)۰/۲۷	(۰/۵±)۷/۶	(۰/۸±)۷/۸	(۱/۳±)۱/۳	(۰/۲±)۱۱/۹

بحث

با توجه به این موضوع که آب‌های زیرزمینی در بخش‌های مورد مطالعه جمعیتی معادل ۵۳۷۹۲۰ نفر را تحت پوشش قرار داده‌اند، بررسی این منابع از لحاظ بهداشتی حائز اهمیت خواهد بود.

بر اساس جدول ۲، میانگین pH در چاه‌های مورد مطالعه نسبت به استاندارد داخلی در حد مطلوبی قرار داشت و محدودیتی از نظر مصارف شرب و صنعتی ایجاد نمی‌کرد. جامدات محلول در آب نیز به جز در بخش‌های مرکزی شهرستان گناباد، بخش سنگان، جلگه زوزن شهرستان خواف و همچنین بخش جنگل از شهرستان رشتخوار که بالاتر از حد مجاز بودند، در تمامی بخش‌ها در حد مطلوب بود. بالا بودن کل جامدات محلول در این بخش‌ها مشکلاتی نظیر ایجاد طعم در آب و رسوب‌گذاری در لوله‌ها را به همراه داشت. میزان کدورت به جز در بخش کاخک شهرستان گناباد و بخش مرکزی شهرستان مه ولات، در سایر بخش‌ها در محدوده مجاز بود و میزان رنگ در ۱۰۰ درصد مناطق در محدوده مطلوب بود. میانگین سختی کل در اکثر منابع تأمین‌کننده آب بخش‌های استان خراسان رضوی بیشتر از حد مطلوب بود و در بخش مرکزی شهرستان گناباد از حد مجاز نیز تجاوز کرده بود که این موضوع علاوه بر گرفتگی در لوله‌ها، باعث اختلالاتی در برخی وسایل خانگی مانند آب‌گرم‌کن‌ها شده بود. همچنین با مقایسه میزان سختی منابع آب روستاهای استان خراسان رضوی با استانداردهای داخلی و خارجی مشخص شد که آب این منابع در ردیف آب‌های سخت قرار دارد. بر اساس جدول ۳، میانگین غلظت‌های کلسیم، منیزیم و فلوراید نسبت به استانداردهای داخلی در محدوده قابل قبولی قرار داشت.

بر اساس جدول ۴، شاخص‌های خوردگی و رسوب‌گذاری برای منابع تأمین‌کننده آب روستاهای استان خراسان رضوی بر اساس شاخص لانتزیه در تمامی مناطق مورد مطالعه در محدوده رسوب‌گذار بود.

بر اساس شاخص رایزنر، منابع آب بخش بایگ شهرستان تربت‌حیدریه در محدوده تثبیت بود. میزان شاخص برای این

منطقه ۶/۹۹ بود. همچنین بخش مرکزی شهرستان گناباد در محدوده تثبیت و میزان شاخص برای این منطقه ۶/۴ بود.

سایر بخش‌های مورد مطالعه بر اساس شاخص رایزنر در محدوده خورنده بودند. بر اساس شاخص ته‌اجمی، بخش بالا ولایت شهرستان باخرز، بخش مرکزی و یونسی شهرستان بجستان بخش انابد شهرستان بردسکن، بخش مرکزی و میان ولایت شهرستان تایباد، بخش بایگ شهرستان تربت‌حیدریه، بخش مرکزی و سلامی و جلگه زوزن شهرستان خواف، بخش جنگل شهرستان رشتخوار، بخش مرکزی و سلیمان شهرستان زاوه، بخش مرکزی و کوهسرخ شهرستان کاشمر و بخش مرکزی و کاخک شهرستان گناباد در محدوده رسوب‌گذار و سایر بخش‌های مورد مطالعه در محدوده خورنده بودند.

بر اساس شاخص لارسون-اسکولد، بخش مرکزی شهرستان بردسکن و بخش بایگ شهرستان تربت‌حیدریه بدون دخالت یون‌های کلرید و سولفات تشکیل رسوب می‌دادند و بخش سلامی شهرستان خواف، بخش مرکزی و سلیمان شهرستان زاوه و بخش مرکزی و کوهسرخ شهرستان کاشمر تشکیل فیلم محافظ با دخالت یون‌های کلراید و سولفات داشتند و سایر مناطق مورد مطالعه در محدوده خورنده بودند.

بر اساس شاخص پوکوریوس تمامی مناطق در محدوده خورنده بودند. البته توجه به این نکته ضروری است که شاخص پوکوریوس برای مناطقی که pH کمتر از ۸ دارند، شاخص مناسبی برای نمایش خوردگی و رسوب‌گذاری آب به شمار نمی‌رود [۱].

در مطالعه تقی‌پور و همکاران (۲۰۱۲) تحت عنوان بررسی خوردگی و رسوب‌گذاری آب آشامیدنی شهر تبریز، میزان شاخص لانتزیه، رایزنر، ته‌اجمی و پوکوریوس به ترتیب برابر ۰/۷۹، ۸/۱۶، ۸ و ۱۱/۱۶ بود که خورنده بودن آب شهر تبریز را نشان می‌دهد و برای رفع این مشکل پیشنهاد شد که پارامترهای مؤثر در خوردگی مانند pH کنترل شود [۲۳]. در مطالعه شمس و همکاران (۲۰۱۲) تحت عنوان بررسی خوردگی

و رسوب‌گذاری آب در شبکه‌های آب‌رسانی روستایی طیس،

درصد خوردگی آب منطقه بر اساس شاخص لائزلیه، رایزنر، پوکوریوس، لارسون- اسکولد و شاخص تهاجمی به ترتیب برابر ۲۹ درصد، ۹۰ درصد، ۹۷ درصد، ۹۷ درصد و ۱۲ درصد بود [۲۴]. در مطالعه فضل‌زاده داویل و همکاران (۲۰۰۹)

تحت عنوان بررسی رسوب‌گذاری و خوردگی آب در شهر ایلام با استفاده از ۵ شاخص لائزلیه، رایزنر، لارسون- اسکولد، پوکوریوس و تهاجمی به این نتیجه رسیدند که آب شهر ایلام

تمایل به خوردگی دارد [۲۵]. کلانتری و همکاران (۲۰۱۳) در بررسی کیفیت و تعیین شاخص‌های پایداری منابع آب شرب روستاهای استان قم با استفاده از چهار شاخص لائزلیه، رایزنر، پوکوریوس و شاخص خوردگی به این نتیجه رسیدند که وضعیت آب در بخش‌های مورد مطالعه در محدوده خوردگی می‌باشد [۱].

نتیجه‌گیری

عواملی مانند بالا بودن میزان کلراید، کل جامدات محلول و سولفات در برخی از مناطق باعث تشدید فرآیند خوردگی شده است. لذا کنترل فرآیند خوردگی امری ضروری محسوب می‌شود. به منظور کنترل این فرآیند مشکل‌ساز و پرهزینه باید از روش‌هایی نظیر رنگ زدن لوله‌ها، استفاده از لوله‌های مقاوم پلی‌اتیلنی به جای لوله‌های فلزی و آزبست- سیمان، پوشش دادن لوله‌ها، نگهداری مناسب، اجرای حفاظت کاتدی برای لوله‌های فلزی، تنظیم pH و تزریق مواد بازدارنده به سیستم توزیع استفاده شود. انتخاب روش مناسب به منظور جلوگیری از فرآیند خوردگی به ویژگی‌های شیمیایی آب، تأثیر فرآیند انتخابی بر سایر فرآیندها و اثر آن بر کیفیت آب بستگی دارد. بر اساس مطالعات انجام شده بهترین و متداول‌ترین روش مورد استفاده برای کنترل فرآیند خوردگی، تنظیم pH آب به وسیله آهک می‌باشد. افزودن آهک به آب با ایجاد پوسته که اصطلاحاً به آن رسوب پوسته تخم‌مرغی می‌گویند، مانع فرآیند خوردگی می‌شود.

تشکر و قدردانی

بدین‌وسیله از شرکت آب و فاضلاب روستایی خراسان رضوی که در ارائه اطلاعات کیفی آب شرب شبکه‌های روستایی همکاری کردند، تشکر و قدردانی می‌شود.

شاخص‌های فیزیکی و شیمیایی، کاتیون‌ها و میزان آنیون‌ها در آب اکثر روستاهای خراسان رضوی در حد مطلوب واقع شده و فقط پارامترهای سختی، قلیائیت، سولفات، کلرور، سدیم و کل جامدات محلول در بخش‌هایی مانند روستاهای مرکزی شهرستان گناباد، روستاهای بخش مرکزی و یونسی شهرستان بجستان و روستاهای بخش مرکزی و سنگان و جلگه زوزن شهرستان خواف از حد استانداردها فراتر رفته است. علت اصلی این موضوع به وجود جامدات محلول، سدیم، سولفات و کلراید بالا در این مناطق برمی‌گردد. به همین منظور برای استحصال آب با طعم و کیفیت مناسب باید روش‌های تصفیه مناسب در منطقه به کار برده شود که از جمله روش‌های کابردی می‌توان به اسمز معکوس اشاره کرد.

همچنین مطالعه حاضر نشان داد که منابع تأمین کننده آب روستاهای خراسان رضوی بر اساس شاخص لائزلیه که عمومی‌ترین شاخص می‌باشد، در تمامی مناطق تمایل به رسوب‌گذاری دارند. بر اساس شاخص رایزنر در تمامی مناطق مورد نظر تمایل به خوردگی ضعیفی وجود دارد.

بر اساس شاخص پوکوریوس منابع آب مورد مطالعه در

ReferenCes:

- Kalantari, R.R., 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. Archives of Hygiene Sciences, 2013. 2(4).
- Malakootian, M. and J. Momeni, Quality Survey of Drinking Water in Bardsir, Iran 2009-2010. Journal of Rafsanjan University of Medical Sciences, 2012. 11(4): p. 403-410.
- Reyes, A., et al., Microbiologically induced corrosion of copper pipes in low-pH water. International Biodeterioration & Biodegradation, 2008. 61(2): p. 135-141.
- Roberge, P.R., Corrosion Basics: An Introduction. 2006: NACE International.
- Edwards, M., Controlling corrosion in drinking water distribution systems: a grand challenge for the 21st century. Water Science & Technology, 2004. 49(2): p. 1-8.
- Brongers, M., P. Virmani, and J. Payer, Drinking water and sewer systems in corrosion costs and preventative strategies in the United States. Federal Highway Administration Publication FHWA-RD-01-156, US Department of Transportation, Washington, DC, 2002.
- Ha, H., et al., Effects of selected water chemistry variables on copper pitting propagation in potable water. Electrochimica Acta, 2011. 56(17): p. 6165-6183.
- Merkel, T.H., et al., Copper corrosion by-product release in long-term stagnation experiments. Water Research, 2002. 36(6): p. 1547-1555.
- Bazrafshan, E., et al., Concentration of heavy metals in surface water and sediments of Chah Nimeh water reservoir in Sistan and Baluchestan province, Iran. Desalination and Water Treatment, 2015(ahead-of-print): p. 1-11.
- Letterman, R.D. and A.W.W. Association, Water quality and treatment: a handbook of community water supplies. 1999: McGraw-Hill.
- Refait, P., et al., Corrosion and cathodic protection of carbon steel in the tidal zone: Products, mechanisms and kinetics. Corrosion Science, 2015. 90: p. 375-382.
- Sarin, P., et al., Physico-chemical characteristics of corrosion scales in old iron pipes. Water Research, 2001. 35(12): p. 2961-2969.
- Weber, W.J., Physicochemical processes for water quality control. 1972: Wiley interscience.
- Mudali, U.K. and B. Raj, Corrosion Science and Technology: Mechanism, Mitigation and Monitoring. 2008: Alpha Science International.
- Dąbrowski, W., et al., Calcium carbonate equilibria in water supply systems. Environment Protection Engineering, 2010. 36(2): p. 75-94.
- Liang, J., et al., Impact of elevated Ca(2+)/Mg(2+) concentrations of reverse osmosis membrane desalinated seawater on the stability of water pipe materials. J Water Health, 2014. 12(1): p. 24-33.
- Alipour, V., et al., Evaluation of corrosion and scaling tendency indices in a drinking water distribution system: a case study of Bandar Abbas city, Iran. J Water Health, 2015. 13(1): p. 203-9.
- Agatemor, C. and P.O. Okolo, Studies of corrosion tendency of drinking water in the distribution system at the University of Benin. The Environmentalist, 2008. 28(4): p. 379-384.
- Malakootian, M., M. Mobini, and I. Sharife, Evaluation of Corrosion and Scaling Potential of Wells Drinking Water and Aqueducts in Rural Areas Adjacent to Rafsanjan Fault in During October to December 2013. Journal of Rafsanjan University of Medical Sciences, 2014. 13(3): p. 293-304.
- Khorsandi, H., et al., Evaluation of corrosion and scaling potential in rural water distribution network of Urmia, Iran. Desalination and Water Treatment, 2015(ahead-of-print): p. 1-8.
- Clesceri, L.S., et al., Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 1998: American Public Health Association.
- Mirzabeygi, M., et al., Evaluation of corrosion and scaling tendency indices in water distribution system: a case study of Torbat Heydariye, Iran. Desalination and Water Treatment, 2016: p. 1-9.
- Taghipour, H., et al., Corrosion and scaling potential in drinking water distribution system of Tabriz, northwestern Iran. Health promotion perspectives, 2012. 2(1): p. 103.
- Shams, M., A. Mohamadi, and S.A. Sajadi, Evaluation of Corrosion and Scaling Potential of Water in Rural Water Supply Distribution Networks of Tabas, Iran. World Appl Sci J, 2012. 17(11): p. 1484-9.
- Davil, M.F., et al., Survey of corrosion and scaling potential produced water from Ilam water treatment plant. World Appl Sci J, 2009. 7(11): p. 11-24.