

Research Paper

مقاله پژوهشی

**Investigating Corrosion and Scaling Indices
of Potable Water in City of Pardis Water
Treatment Plant**

**بررسی شاخص‌های خوردگی و رسوب‌گذاری آب
شرب تصفیه‌خانه پردیس**

Farzanreh Faridirad^{1*} and Masoomeh Gholinazhad²

فرزانه فریدی‌راد^{۱*} و معصومه قلی‌نژاد^۲

1- Ph.D. of Polymer Engineering, Quality Control Expert of Pardis Drinking Water Treatment Plant, East Tehran Water and Wastewater Company, Tehran, Iran.

۱- دکتری مهندسی پلیمر، کارشناس کنترل کیفی تصفیه‌خانه آب شرب پردیس، شرکت آب و فاضلاب شرق استان تهران، تهران، ایران.

2- M.Sc. of Biotechnology, Biological Lab Expert, East Tehran Water and Wastewater Company, Tehran, Iran.

۲- کارشناسی ارشد بیوتکنولوژی، کارشناس آزمایشگاه بیولوژی، شرکت آب و فاضلاب شرق استان تهران، تهران، ایران.

*Corresponding Author, Email: faridyrad.f@gmail.com

* نویسنده مسئول، ایمیل: faridyrad.f@gmail.com

Received: 27/12/2020

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱۰/۰۷

Revised: 31/08/2021

تاریخ اصلاح: ۱۴۰۰/۰۶/۰۹

Accepted: 01/09/2021

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۶/۱۰

© IWWA

© انجمن آب و فاضلاب ایران

Abstract

چکیده

Investigating the corrosion and scaling indices of water is one of the effective strategies to manage the potable water resources. Water corrosion, will cause economic damages, reduce the useful life of water supply facilities and spread diseases among consumers. The aim of this study is to investigate the chemical parameters and assess the corrosion potential of potable water in Pardis City. Samples were collected from five wells around the Jajroud River and the reservoir correspondent to intake from the Latian dam for one year. Then corrosion potential of water determined based on Langelier, Ryznar, corrosion, Porkorios and Larson indices through qualitative parameters such as pH, TDS, total and permanent hardness, alkalinity and the anion concentrations in water samples. All the tests were done according to the standard methods mentioned in the standard handbook of water and wastewater analysis methods. According to the results, the inflowing water was slightly corrosive which suggests to use resistant materials in the distribution network or covering the inner wall of the transmission water pipes. It should be noted that the treated water showed scaling potential and has an acceptable quality.

تعیین شاخص‌های خوردگی آب یکی از راهبردهای مؤثر در مدیریت منابع آب شرب است. خوردگی آب می‌تواند باعث آسیب‌های اقتصادی، کاهش عمر مفید تاسیسات آبرسانی و بیماری در مصرف‌کنندگان شود. هدف این مطالعه بررسی ویژگی‌های کیفیت شیمیایی و تعیین پتانسیل خوردگی آب آشامیدنی شهر پردیس است، به‌همین منظور طی یک سال از پنج چاه فلمن اطراف رودخانه جاجرود و مخزن مربوط به آبگیر سد لتیان نمونه‌برداری انجام شد. سپس براساس مقادیر پارامترهای کیفی نمونه‌های آب شامل pH، کل جامدهای محلول، سختی‌های دائم، موقت و کل، قلیاییت و آنیون‌های آب و پتانسیل خوردگی آب با محاسبه شاخص‌های لانژلیه، رایزنر، خوردگی، پورکوروس و لارسون مشخص شد. آزمایش‌ها براساس روش‌های مندرج در کتاب استاندارد روش‌های آزمایش آب و فاضلاب انجام شد. طبق نتایج به‌دست آمده، در کل، کیفیت آب ورودی متمایل به خوردگی بوده و توصیه می‌شود خطوط انتقال و توزیع آب از جنس مقاوم انتخاب شود یا اقداماتی هم‌چون پوشش دیواره داخلی لوله یا اصلاح کیفیت آب انجام گیرد. این درحالی است که آب خروجی از تصفیه‌خانه کمی رسوب‌گذار بوده و کیفیت مطلوبی دارد.

Keywords: Corrosion, Potable Water, Qualitative Parameters, Scaling.

کلمات کلیدی: خوردگی، رسوب‌گذاری، پارامترهای کیفی، آب آشامیدنی

در حال حاضر مسائل مربوط به خوردگی و رسوب‌گذاری درصد قابل توجهی از درآمد سالانه کشورها را به خود اختصاص می‌دهد. بدیهی است هزینه‌های تعویض و ترمیم لوله‌های فرسوده این زیان را چند برابر خواهد نمود (غنی زاده و قانعیان، ۱۳۸۸؛ Ghaneian et al., 2009; Li et al., 2014). رسوب‌گذاری آب در جدار لوله‌ها سبب افت فشار در سیستم توزیع و نارضایتی مصرف‌کنندگان، افزایش هزینه پمپاژ و سوخت در سیستم‌های گرمایشی خواهد شد (Shams et al., 2012; Świetlik et al., 2012). تمایل آب به خوردگی و رسوب‌گذاری با بررسی پایداری آب مشخص می‌شود. آب پایدار تمایل به خوردگی و رسوب‌گذاری کمی دارد و مقادیر آن برای نوع استفاده متفاوت است (Świetlik et al., 2012). کاربرد شاخص‌های خوردگی روشی غیرمستقیم در اندازه‌گیری و تشخیص ساده تمایل آب به خوردگی و رسوب‌گذاری است. شاخص‌های متداول عبارتند از: شاخص اشباع لانژلیه (LSI)، شاخص پایداری رایزنر (RSI)، شاخص خوردگی (AI) و شاخص پوکوریوس (PI) (Shams et al., 2012).

بر اساس استانداردهای معتبر جهانی از جمله استانداردهای سازمان حفاظت محیط‌زیست ایالات متحده، آب‌های مصرفی نباید خورنده باشند (APHA, 2005). طبق معیارهای جهانی شاخص‌های کنترل خوردگی و رسوب‌گذاری حداقل باید هر دو سال یکبار برای شبکه‌های توزیع با منبع سطحی و سالی یکبار برای شبکه‌های توزیع با منبع زیرزمینی تعیین شود (Peng and Korshin, 2011).

شاخص لانژلیه یکی از سه حالت عدد مثبت، صفر و یا عدد منفی است. شاخص لانژلیه در عمل دارای محدودیت‌هایی است؛ از جمله این‌که آب‌های با سختی کم و سختی زیاد مقادیر برابر را نشان می‌دهند. در سال ۱۹۴۴ Ryznar اصلاحیه‌ای را برای شاخص لانژلیه پیشنهاد داد و نام آن را شاخص پایداری رایزنر گذاشت. مطابق با این فرمول، نقطه تعادل آب در شاخص برابر با شش به دست می‌آید (Shankar, 2014). شاخص رسوب‌گذاری پوکوریوس براساس ظرفیت بافری آب و حداکثر رسوب کربنات کلسیم قابل تشکیل ارائه شده است. در آب‌های با میزان کلسیم زیاد، خاصیت قلیایی بودن کم و دارای ظرفیت بافری، کربنات کلسیم در حد اشباع در آب حل می‌شود. غلظت زیاد کلسیم موجب افزایش فعالیت یونی می‌شود؛ در نتیجه با وجود تمایل به تشکیل رسوب، عملاً میزان رسوب تشکیل شده بسیار پایین خواهد بود. شاخص رسوب‌گذاری پوکوریوس را شاخص رسوب‌گذاری واقعی نیز می‌نامند (Saifelnasr et al., 2013). با توجه به این‌که یون‌های کلراید و سولفات، خاصیت خوردگی در

پیشرفت علم و صنعتی شدن جوامع سبب تولید آلاینده‌های مختلفی شده است که ورود آن‌ها به منابع آب باعث کاهش کیفیت آن می‌شود (Kawamura, 2000; Spellman, 2008). وجود ترکیبات شیمیایی در مقادیر بسیار کم چنانچه بیش از حد مجاز تعیین شده در استانداردهای جهانی باشد موجب مسمومیت انسان‌ها و تمام موجودات می‌شود (AWWA, 2005).

یکی از مشکل‌های سیستم‌های انتقال و توزیع آب، رسوب‌گذاری یا خوردگی آن است. آب‌های رسوب‌گذار، آب‌هایی هستند که املاح محلول در آب نظیر بی‌کربنات کلسیم به صورت کربنات کلسیم در آن‌ها رسوب می‌کند (Cavano, 2005). در صورت خوردن آب، لایه پوششی کربنات کلسیم در جدار داخلی لوله‌ها حل شده و موجب ورود ناخالصی‌های فلزات سنگین از لوله‌های فلزی به آب می‌شود که خطر بهداشتی برای مصرف‌کنندگان را در پی خواهد داشت (Palazzo et al., 2015). واکنش‌های خوردگی به طور مستقیم بر مصرف‌کننده‌های آب اثر گذاشته و موجب به حداقل رساندن باقیمانده گندزدا در آب می‌شود و فعالیت زیستی میکروارگانیسم‌ها را افزایش می‌دهد (Vasconcelos et al., 2015). خوردگی موجب کاهش طول عمر لوله‌ها، آسیب به تجهیزات و هدررفت آب در شبکه توزیع می‌شود (Tarantseva and Firsova, 2006).

خوردگی واکنش فیزیکی- شیمیایی است که در اثر تماس مواد با محیط اطراف ایجاد و باعث تغییر خواص ماده می‌شود. در حوزه مهندسی مواد، خوردگی حاصل فرسایش و یا واکنش الکتروشیمیایی است. در نوع اول، عوامل فیزیکی نظیر برخورد مواد جامد معلق آب یا فاضلاب با دیواره لوله عامل تخریب لوله است، در حالی که نوع دوم، حاصل تشکیل پیل الکتریکی و انجام واکنش الکتروشیمیایی بین ماده و محیط است.

خوردگی نوع اول در لوله‌های فلزی و غیرفلزی نظیر بتن مسلح و نوع دوم در لوله‌های فلزی بیشتر است (مختاری و همکاران، ۱۳۸۹). خوردگی داخلی لوله می‌تواند در اثر عوامل متعددی همچون کیفیت میکروبی آب، کیفیت فیزیکی- شیمیایی آب، غلظت اکسیژن و غلظت کلر باقی‌مانده و غلظت یون‌های کلرور، سولفات، کلسیم، دمای آب و pH، شرایط هیدرولیکی آب در لوله (سرعت جریان) و جنس لوله تأثیر بپذیرد (مظلومی و همکاران، ۱۳۸۷). البته وجود یون‌هایی چون CrO_2^- ، SiO_3^- و OH^- در آب باعث کاهش خوردگی می‌شود (Metcalf et al., 2003).

علی‌دادی و همکاران (۱۳۹۷) وضعیت خوردگی و یا رسوب‌گذاری آب شبکه توزیع شهر مشهد را مورد مطالعه قرار دادند. طی این تحقیق نمونه‌برداری از سطح شهر و براساس روش‌های مندرج در کتاب مرجع آزمایش‌های آب و فاضلاب صورت پذیرفت و محاسبات مربوط به شاخص‌های رایزنر، لانژلیه و تهاجمی انجام شد. براساس تجزیه و تحلیل نتایج حاصل، شبکه توزیع آب شهر مشهد دارای پتانسیل رسوب‌گذاری بود که نیازمند اندیشیدن تدابیری در زمینه کنترل آن به‌خصوص در مناطق با رسوب‌گذاری زیاد است.

پژوهش دیانتی و محمودی (۱۳۹۷) با هدف تعیین پتانسیل رسوب‌گذاری و خوردگی با استفاده از شاخص‌های لانژلیه، رایزنر، پوکوریوس و لارسون در شهرهای آمل، بابل، قائمشهر، ساری و نکا صورت پذیرفت. در این نواحی به‌دلیل زیادبودن غلظت نمک‌های محلول و سختی در این آب‌ها، احتمال رسوب‌گذاری و یا خوردگی در شبکه توزیع آب این مناطق وجود دارد. با توجه به نتایج حاصل، آبی که در شبکه توزیع شهرهای مورد بررسی در جریان بود، به‌طور نسبی در وضعیت رسوب‌گذار قرار داشت.

صالحی و همکاران (۱۴۰۰) عوامل رسوب‌گذاری و خوردگی منابع تامین و توزیع آب شرب شهر سوق در استان کهگیلویه و بویر احمد را مورد بررسی قرار دادند. در این پژوهش از شاخص‌های لانژلیه، رایزنر، پوکوریوس و تهاجمی به‌صورت مطالعه توصیفی به‌منظور تعیین پتانسیل خوردگی و رسوب‌گذاری آب شبکه آبرسانی اختصاصی این منطقه استفاده شد. با توجه به موارد بیان شده، هدف از مطالعه حاضر تعیین وضعیت شاخص‌های رسوب‌گذاری و خوردگی منابع آب آشامیدنی خروجی از تصفیه‌خانه آب شرب پردیس در سال ۱۳۹۷ است.

۲- مواد و روش‌ها

در مطالعه حاضر کیفیت شیمیایی و وضعیت خوردگی و یا رسوب‌گذاری آب ورودی و خروجی تصفیه‌خانه آب شرب پردیس بررسی شد. منابع عمده آب آشامیدنی تصفیه‌خانه آب شرب پردیس آبگیر سد لتیان که منشأ آن رودخانه جاجرود است و پنج حلقه چاه فلن حاشیه رودخانه جاجرود است. در این تصفیه‌خانه فرآیند تصفیه به‌صورت فیلتراسیون مستقیم است که آب ورودی بعد از عبور از زلال‌ساز از نوع پولساتور وارد چهار صافی شنی شده و در نهایت در مخزن ذخیره شده و وارد شبکه توزیع می‌شود. نمونه‌ها در فصول مختلف از نقاط مذکور طبق دستورالعمل‌های ارائه شده از سوی سازمان استاندارد ملی ایران (استاندارد ملی

آب ایجاد می‌کنند و در مقابل یون بی‌کربنات مانع خوردگی می‌شود، در سال ۱۹۵۷ Larson و Skold رابطه‌ای را برای تعیین پتانسیل خوردگی آب معرفی نمودند. آن‌ها مشاهده کردند که کلسیم در حضور قلیایی بودن، صرف‌نظر از pH یا شاخص اشباع، به‌طور چشم‌گیری مانع از ایجاد خاصیت خوردگی می‌شود (جدول ۱) (Imran et al., 2005).

مطالعات مختلفی در دنیا به منظور تعیین پتانسیل خوردگی و رسوب‌گذاری آب در منابع آب شرب و شبکه توزیع انجام شده است که از آن جمله می‌توان به (Zazuli et al., 2013) در مورد منابع آب شرب شهر یاسوج، مهوی و همکاران (۱۳۸۷) در ارتباط با آب در مخازن آب شرب شهر زنجان، (Hosseini, 2009) در راستای بررسی رسوب‌گذاری و انسداد خطوط انتقال و توزیع آب شرب روستاهای شهرستان ملارد، (Hosseini, 2009) در مورد بررسی شاخص‌های خوردگی و رسوب‌گذاری آب شرب شهرستان جواهرود، جعفرزاده (۱۳۸۸) در مورد احتمال خوردگی شبکه آب اهواز، (Dehghani et al., 2010) در مورد پتانسیل خوردگی آب شبکه توزیع شیراز و ملکوتیان و همکاران (۱۳۹۱) در ارتباط با رسوب‌گذار بودن و یا خورنده بودن آب شرب شهر کرمان اشاره نمود.

داودی و همکاران (۱۳۹۵) در تحقیقی که در خصوص بررسی پتانسیل خوردگی و رسوب‌گذاری آب شرب روستایی شهرستان تایباد انجام دادند نشان دادند که از نظر اکثر شاخص‌ها آب منطقه در وضعیت خنثی و پایدار قرار نداشت. در پژوهش انجام شده توسط فرزادکیا (۱۳۹۶) در شبکه توزیع آب آشامیدنی شهرستان ملکشاهی نشان داده شد که آب شرب این منطقه خورنده است. (Agatemor and Okolo, 2008) در نیجریه نشان دادند با توجه به شاخص‌های لانژلیه و رایزنر آب مورد بررسی خاصیت خوردگی داشته است. همچنین با توجه به مطالعات (Shyam and Kalwania, 2010) در کشور هند آب‌های زیرزمینی مورد بررسی دارای کیفیت خوردگی بودند.

در مطالعه‌ای که توسط (Shahmohammadi and Noori, 2018) در ۴۷ روستای سروآباد صورت گرفت پارامترهای شیمی فیزیک و برخی اندیس‌های مربوط به رسوب‌گذاری از جمله شاخص لانژلیه، رایزنر و پوکوریوس محاسبه شدند. طبق شاخص لانژلیه در برخی نواحی آب تمایل به خوردگی (انحلال کربنات کلسیم) از خود نشان داد در حالی که برخی نقاط تمایل به رسوب‌دهی کربنات کلسیم داشت. علاوه بر این بر اساس مقادیر اندیس‌های رایزنر، پتانسیل آب برای خوردگی در لوله‌های استیل افزایش یافت.

درجه حرارت و pH با استفاده از pH متر مجهز به دماسنج در محل (USA. Co Hach) آنیون ها و کاتیون ها با اسپکتروفوتومتر مدل (DR5000- USA. Co Hach) تعیین مقدار شد. تمام مواد شیمیایی مورد استفاده در آزمایش های شیمیایی آب محصول شرکت مرک آلمان بود.

۱۰۱۱ و ۱۰۵۳) و شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور، در ظروف پلاستیکی مخصوص نمونه برداری شیمی فیزیکی آب، جمع آوری و به آزمایشگاه منتقل شدند. کل جامدات محلول با روش محاسباتی، کلرور، اجزا سختی و قلیائیت آب با روش تیتراسیون براساس دستورالعمل های C-2543، B-2323 و C-2343 کتاب استاندارد متد (APHA, 2005) اندازه گیری شدند.

جدول ۱- شاخص های مربوط به پتانسیل خوردگی و رسوبگذاری آب

| تفسیر | مقدار شاخص | معادله | شاخص |
|--|------------------|---|------------------------|
| آب فوق اشباع بوده و تمایل به رسوبگذاری دارد | $SI > 0$ | $SI = pH - pH_s$ | شاخص اشباع لانه لیه |
| حالت تعادل | $S = 0$ | | |
| آب زیر اشباع بوده و تمایل به تجزیه $CaCO_3$ دارد | $SI < 0$ | | |
| آب فوق اشباع بوده و تمایل به رسوبگذاری دارد | $RSI < 6$ | $RSI = 2pH_s - pH$ | شاخص پایداری رایزنر |
| حالت تعادل | $6 < RSI < 7$ | | |
| آب زیر اشباع بوده و تمایل به تجزیه $CaCO_3$ دارد | $RSI > 7$ | | |
| آب بسیار خورنده است | $AI < 10$ | $AI = [pH + \log[(A)(H)]]$ | شاخص خوردگی |
| آب خوردگی متوسط دارد | $10 < AI < 12$ | | |
| آب خورنده نیست | $AL > 12$ | | |
| آب خورنده است | $PI > 6$ | $PI = 2pH_s - pHeq$ | شاخص پوکوریوس |
| آب رسوب گذار است | $PI < 6$ | $pHeq = 1.465 \log(T.ALK) + 4.54$ | |
| آب خورنده نیست | $LR < 0.8$ | $LR = (Cl^- + SO_4^{2-}) / (HCO_3^- + CO_3^{2-})$ | نسبت (لارسون - اسکولد) |
| آب در حالت تعادل است | $0.8 < LR < 1.2$ | | |
| آب خورنده است | $LR > 1.2$ | | |

جدول های ۲ و ۳ پارامترهای کیفی و میزان غلظت آنیون های منابع ورودی به تصفیه خانه را نشان می دهند. همان طور که ملاحظه می شود با مقایسه اندیس های مربوط به خوردگی و رسوب گذاری، آب مربوط به چاه های شماره ۱، ۲، ۳، ۴ و ۵ جاجرود به ترتیب خورنده، رسوب گذار، رسوب گذار، خورنده و خورنده است. آب مربوط به مخزن آبگیر نیز تا حدودی رسوب گذار است. همچنین لازم به ذکر است در جدول ۲ مقادیر مربوط به حد مجاز و مطلوب ثبت شده در استاندارد نیز آمده است.

جدول های ۴ و ۵ نتایج مربوط به نوع آب ورودی و خروجی از تصفیه خانه را نشان می دهند. همان طور که ملاحظه می شود آب ورودی به تصفیه خانه با توجه به پارامترهای محاسبه شده خورنده تر است. اما آب خروجی میزان خوردگی کمتری دارد که نشان دهنده عملکرد مناسب تصفیه خانه است. با توجه به نتایج در فصول مختلف سال ملاحظه می شود میزان قابلیت خوردگی آب در فصول گرم افزایش یافته است که می تواند ناشی از افزایش انحلال پذیری مواد در آب نیز باشد. تغییرات مربوط به مقادیر کمی شاخص های مختلف

عوامل شیمیایی موثر بر خوردگی عبارتند از: غلظت اکسیژن محلول در آب، غلظت کل جامدات محلول در آب، قلیائیت، pH، کربن دی اکسید، غلظت آنیون های موجود در آب و غلظت کلر باقی مانده. همان طور که ملاحظه می شود اثر این عوامل در پارامترهای تعیین کننده خوردگی یا رسوب گذاری آب دخالت داده شده اند. اندیس لانه لیه و رایزنر تحت تاثیر میزان pH، قلیائیت، سختی و جامدات محلول در آب است. اندیس لارسون تحت تاثیر میزان CO_2 محلول در آب و سایر آنیون های محلول است. از طرفی هرچه میزان اکسیژن محلول در آب بالاتر باشد آب خورنده تر است. میانگین مقادیر پارامترهای مورد بررسی در طی سال ۱۳۹۷ برای منابع آب تأمین کننده تصفیه خانه آب شرب پردیس در جدول ۲ آورده شده است.

۳- نتایج و بحث

مقادیر مربوط به پارامترهای خوردگی و رسوبگذاری منابع آب ورودی به تصفیه خانه در جدول ۳ محاسبه شده اند.

رسوب‌گذاری و خوردگی برای آب ورودی و خروجی تصفیه‌خانه، با زمان در شکل ۱ بهتر نمایش داده شده است. با توجه به این شکل همان‌طور که پیش‌تر نیز توضیح داده شد، میزان قابلیت خوردگی آب در فصول گرم به دلیل افزایش انحلال‌پذیری مواد در آب بیشتر شده است. مقادیر مربوط به میزان اکسیژن محلول

در آب، قبل و بعد از فرآیند تصفیه در جدول ۶ آمده است. همان‌طور که از مقایسه میزان اکسیژن محلول در آب ملاحظه می‌شود طی فرآیند تصفیه مقدار اکسیژن محلول در آب کاهش یافته است که دلیلی بر کاهش میزان خوردگی آب است.

جدول ۲- پارامترهای کیفی منابع تأمین‌کننده تصفیه‌خانه آب شرب پردیس سال ۱۳۹۷

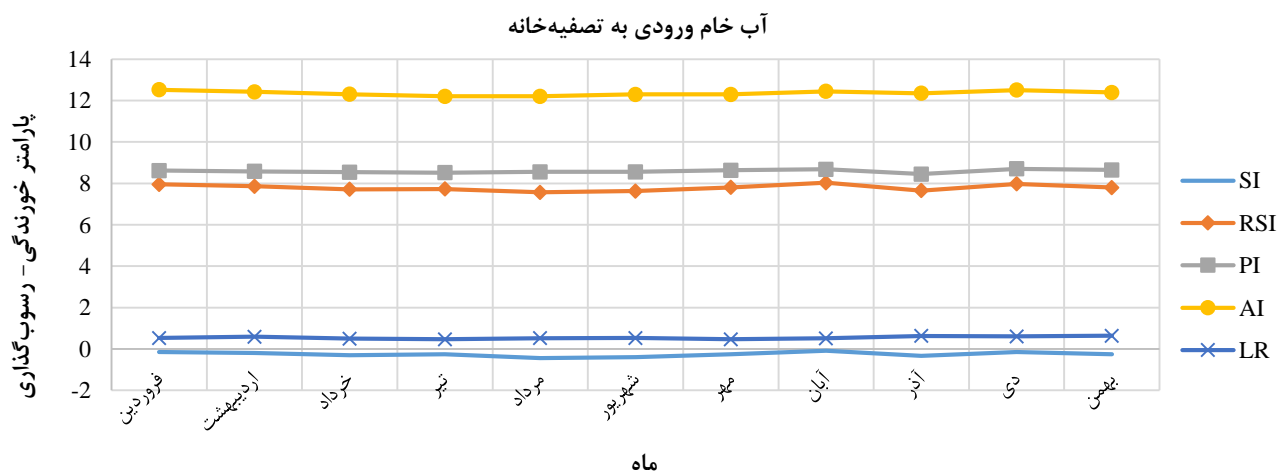
| محل نمونه برداری | PH | کلسیم (mg/L) | قلیائیت (mg/L) | سختی کل (mg/L) | هدایت الکتریکی (μmhos/cm) | TDS (mg/L) | کلور (mg/L) | سولفات (mg/L) | نترات (mg/L) | نیتریت (mg/L) | فسفات (mg/L) | HCO ₃ (mg/L) | فلوراید (mg/L) |
|--------------------------|---------|--------------|----------------|----------------|---------------------------|------------|-------------|---------------|--------------|---------------|--------------|-------------------------|----------------|
| چاه فلمن ۱ | 8 | 53.31 | 220 | 157.56 | 581 | 314 | 45.9 | 53 | 8.15 | 0.03 | 0.25 | 192 | 0.61 |
| چاه فلمن ۲ | 7.9 | 75.9 | 299 | 248 | 653 | 349.4 | 33.32 | 40 | 4.39 | 0.01 | 0.11 | 303 | 0.35 |
| چاه فلمن ۳ | 7.9 | 61.15 | 227 | 169.68 | 491 | 313.3 | 35.7 | 56 | 7.23 | 0.03 | 0.16 | 207 | 0.52 |
| چاه فلمن ۴ | 7.7 | 53.31 | 212 | 149.46 | 544 | 299.9 | 41.82 | 53 | 8.04 | 0.03 | 0.12 | 182 | 0.49 |
| چاه فلمن ۵ | 7.9 | 51.74 | 188 | 141.4 | 492 | 270.4 | 33.66 | 46 | 7.49 | 0.04 | 0.13 | 172 | 0.48 |
| آبگیر | 8.4 | 59.57 | 212 | 148 | 513 | 290.1 | 32 | 42 | 9.61 | 0.02 | 0.04 | 181 | 0.31 |
| مقادیر مجاز آشامیدنی | 6.5-9 | - | - | 500 | - | 1500 | 400 | 400 | 50 | 3 | - | - | - |
| مقادیر مطلوب آب آشامیدنی | 6.5-8.5 | 300 | - | 200 | - | 1000 | 250 | 250 | - | - | - | - | - |

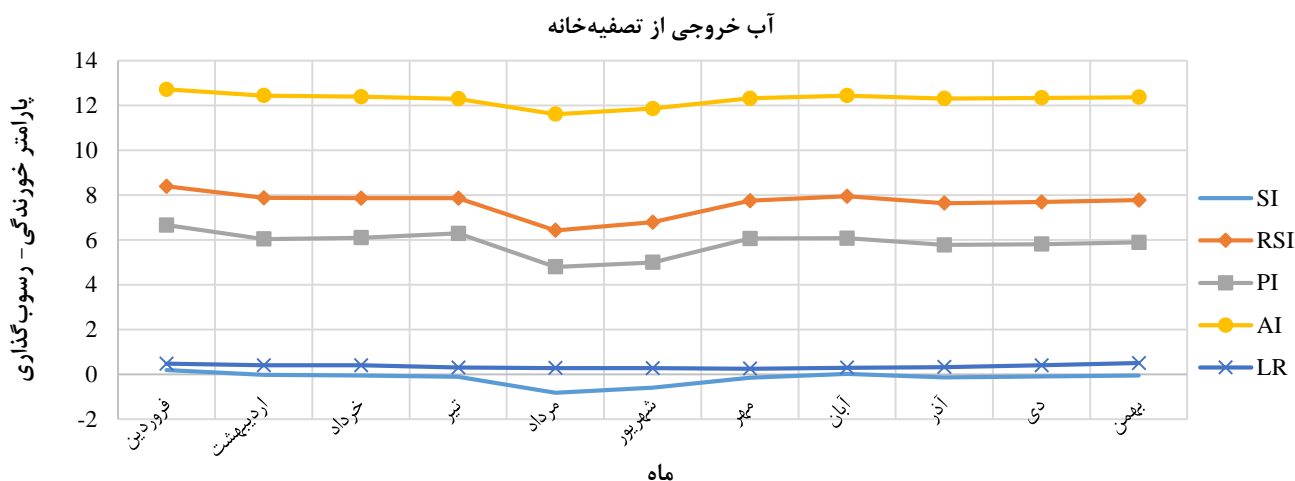
جدول ۳- مقادیر مربوط به شاخص‌های خوردگی و رسوب‌گذاری منابع آب ورودی به تصفیه‌خانه آب شرب پردیس در سال ۱۳۹۷

| محل نمونه‌برداری | دما (°C) | فاکتور دما | TDS فاکتور | لگاریتم قلیائیت | لگاریتم کلسیم | (eq) pH | PHs | SI | RI | PI | AI | LR |
|---------------------------|----------|------------|------------|-----------------|---------------|---------|------|-------|------|------|--------|------|
| چاه فلمن ۱ | 24.7 | 2.1 | 9.84 | 2.34 | 1.73 | 7.97 | 7.87 | 0.08 | 7.79 | 7.77 | 12.411 | 0.52 |
| چاه فلمن ۲ | 20.5 | 2.1 | 9.84 | 2.48 | 1.88 | 8.17 | 7.58 | 0.28 | 7.31 | 7 | 12.45 | 0.24 |
| چاه فلمن ۳ | 20.5 | 2.1 | 9.84 | 2.34 | 1.76 | 7.97 | 7.84 | 0.1 | 7.73 | 7.71 | 12.44 | 0.30 |
| چاه فلمن ۴ | 24.7 | 2.1 | 9.84 | 2.33 | 1.73 | 7.95 | 7.89 | -0.15 | 8.04 | 7.83 | 12.38 | 0.52 |
| چاه فلمن ۵ | 24.8 | 2.1 | 9.84 | 2.27 | 1.71 | 7.57 | 7.95 | -0.01 | 7.96 | 8.03 | 12.37 | 0.46 |
| مخزن حوضچه جمع‌آوری آبگیر | 20.1 | 2.1 | 9.84 | 2.33 | 1.78 | 7.95 | 7.84 | 0.55 | 7.29 | 7.73 | 12.33 | 0.41 |

جدول ۴- مقادیر پارامترهای کیفی و اندیس‌های خوردگی و رسوب‌گذاری آب ورودی و خروجی تصفیه‌خانه آب پردیس در سال ۱۳۹۷

| محل نمونه برداری | ماه | pH | TDS (mg/L) | سختی کل (CaCO ₃ mg/Las) | قلیائیت کل (mg/L as CaCO ₃) | HCO ₃ (mg/L) | کلرور (mg/L) | سولفات (mg/L) | کلسیم (mg/L) | PHs | SI | RSI | PI | AI | LR |
|------------------|----------|--------|------------|------------------------------------|---|-------------------------|--------------|---------------|--------------|-------|-------|------|-------|-------|------|
| خروجی تصفیه‌خانه | فروردین | 8.19 | 292.96 | 212.2 | 160 | 171 | 41 | 41 | 53.86 | 7.99 | 0.2 | 8.39 | 6.66 | 12.72 | 0.48 |
| | اردیبهشت | 7.9 | 291.6 | 206 | 170 | 182 | 40.2 | 35 | 60 | 7.92 | -0.02 | 7.88 | 6.04 | 12.44 | 0.41 |
| | خرداد | 7.91 | 256.1 | 189.9 | 160 | 153 | 30.1 | 32 | 58 | 7.96 | -0.05 | 7.86 | 6.1 | 12.39 | 0.41 |
| | تیر | 7.96 | 228.32 | 156.8 | 140 | 166 | 21.2 | 31 | 53 | 8.06 | -0.1 | 7.86 | 6.29 | 12.3 | 0.31 |
| | مرداد | 7.24 | 210.48 | 157.6 | 150 | 183 | 22.5 | 31 | 50 | 8.05 | -0.81 | 6.43 | 4.8 | 11.61 | 0.29 |
| | شهریور | 7.38 | 230.06 | 177.8 | 170 | 191 | 21.5 | 32 | 54 | 7.97 | -0.59 | 6.79 | 5 | 11.86 | 0.28 |
| | مهر | 7.89 | 202.75 | 169.7 | 160 | 175 | 18 | 28 | 50 | 8.03 | -0.14 | 7.75 | 6.06 | 12.32 | 0.26 |
| | آبان | 7.92 | 254.14 | 195.9 | 170 | 165 | 20 | 30 | 64 | 7.89 | 0.03 | 7.95 | 6.08 | 12.44 | 0.3 |
| | آذر | 7.77 | 256.34 | 202 | 170 | 175 | 27 | 30 | 63 | 7.9 | -0.13 | 7.64 | 5.78 | 12.31 | 0.33 |
| | دی | 7.78 | 271.38 | 214.2 | 168 | 169 | 31 | 38 | 68 | 7.87 | -0.09 | 7.69 | 5.81 | 12.34 | 0.41 |
| بهمن | 7.82 | 305.47 | 214.2 | 167 | 158 | 40 | 40 | 70 | 7.86 | -0.04 | 7.78 | 5.89 | 12.37 | 0.51 | |
| ورودی تصفیه‌خانه | فروردین | 8.1 | 296.88 | 220.3 | 120 | 184 | 58 | 40 | 40 | 8.25 | -0.15 | 7.95 | 8.62 | 12.52 | 0.53 |
| | اردیبهشت | 8.06 | 286.77 | 202 | 114 | 165 | 49 | 48 | 41 | 8.26 | -0.2 | 7.86 | 8.58 | 12.42 | 0.59 |
| | خرداد | 8.01 | 252.06 | 189.9 | 104 | 180 | 40 | 49 | 40 | 8.31 | -0.3 | 7.71 | 8.54 | 12.31 | 0.5 |
| | تیر | 7.99 | 215.24 | 164.6 | 100 | 169 | 38 | 42 | 38 | 8.25 | -0.26 | 7.73 | 8.52 | 12.21 | 0.47 |
| | مرداد | 8.01 | 206.72 | 157.6 | 100 | 157 | 35 | 46 | 30 | 8.45 | -0.44 | 7.57 | 8.56 | 12.21 | 0.52 |
| | شهریور | 8.02 | 243.37 | 185.8 | 103 | 168 | 39 | 50 | 32/5 | 8.41 | -0.39 | 7.63 | 8.56 | 12.3 | 0.53 |
| | مهر | 8.06 | 204.42 | 165.6 | 105 | 171 | 32 | 49 | 40.1 | 8.31 | -0.25 | 7.81 | 8.63 | 12.3 | 0.47 |
| | آبان | 8.11 | 253.31 | 193.9 | 114 | 185 | 42 | 52 | 48 | 8.19 | -0.08 | 8.03 | 8.68 | 12.45 | 0.51 |
| | آذر | 7.99 | 271.52 | 204 | 112 | 160 | 46 | 54 | 35.2 | 8.33 | -0.34 | 7.65 | 8.45 | 12.35 | 0.63 |
| | دی | 8.12 | 269.11 | 216.2 | 113 | 174 | 48 | 58 | 41.2 | 8.26 | -0.14 | 7.98 | 8.7 | 12.51 | 0.61 |
| بهمن | 8.06 | 302.14 | 210.1 | 102 | 182 | 59.1 | 57 | 40 | 8.32 | -0.26 | 7.8 | 8.65 | 12.39 | 0.64 | |





شکل ۱- مقایسه شاخص‌های مربوط به پتانسیل خوردگی و رسوب‌گذاری آب با زمان برای آب ورودی و خروجی تصفیه‌خانه در سال ۱۳۹۷

جدول ۵- میانگین مقادیر اندیس‌های خوردگی و رسوب‌گذاری برای آب ورودی و خروجی تصفیه‌خانه آب پردیس در سال ۱۳۹۷

| محل نمونه‌برداری | SI | RSI | PI | AI | LR |
|------------------|-------|------|------|-------|------|
| میانگین ورودی | -0.26 | 7.79 | 8.59 | 12.36 | 0.54 |
| میانگین خروجی | -0.16 | 7.64 | 5.87 | 12.28 | 0.36 |

جدول ۶- میزان اکسیژن محلول در آب ورودی و خروجی تصفیه‌خانه آب شرب پردیس در سال ۱۳۹۷

| محل نمونه‌برداری | میانگین اکسیژن محلول در آب |
|------------------|----------------------------|
| آب ورودی | 8.9 |
| آب خروجی | 7.51 |

هستند و برخی دیگر پتانسیل خوردگی دارند، مخلوط شدن این آب‌ها با هم در ورودی تصفیه‌خانه موجب متعادل شدن وضعیت رسوب‌گذاری یا خوردگی می‌شود، ولی هم‌چنان آب ورودی نسبت به خروجی تصفیه‌خانه خورنده‌تر است.

براساس نتایج به‌دست آمده در جدول ۴ مقدار pH آب خروجی از تصفیه‌خانه در محدوده مناسبی قرار گرفته و در حد مطلوب استاندارد است. این موضوع محدودیتی را از نظر مصارف آشامیدنی آب ایجاد نمی‌کند. هم‌چنین مقدار جامدات محلول در آب (TDS) نیز از حد مطلوب ۱۰۰۰ پایین‌تر است. نتایج نشان می‌دهد مقدار TDS آب خروجی و ورودی تقریباً در یک محدوده هستند و تغییر محسوسی در آن ایجاد نشده است. با توجه به نتایج مربوط به سختی کل و قلیائیت کل مقدار سختی کل بعد از فرآیند تصفیه اندکی افزایش و مقدار قلیائیت تا حدودی کاهش یافته است. به‌طور کلی چنان‌چه آب ورودی به شبکه توزیع براساس شاخص لانژلیه کمی رسوب‌گذار باشد، مناسب است. زیرا تشکیل لایه نازکی از کربنات کلسیم در جدار داخلی لوله‌ها موجب جلوگیری از خوردگی و ورود آلودگی به آب می‌شود.

از آنجایی که آب شرب تصفیه‌خانه پردیس، مورد مصرف ساکنین شهرهای پردیس رودهن و بخشی از بومهن است بررسی آن از نظر کیفیت و پتانسیل خوردگی و یا رسوب‌گذاری حائز اهمیت است. هم‌چنین پیش کیفیت شیمیایی آب و کنترل آن به افزایش عمر مفید تاسیسات آبرسانی و شبکه‌های توزیع کمک نموده و احتمال نشت و هدررفت آب را کاهش می‌دهد.

در اغلب منابع آب زیرزمینی مقداری از کربنات کلسیم موجود در خاک به‌واسطه وجود دی‌اکسیدکربن در آب حل می‌شود که نتیجه آن تشکیل یک سیستم تعادلی کربنات به‌صورت بی‌کربنات در آب هست که موجب ایجاد سختی در آن می‌شود. هنگام انتقال آب به سطح زمین و افت فشار، دی‌اکسید کربن آن خارج شده و منجر به تغییر تعادل کربنات می‌شود. همان‌طور که قبلاً ذکر شد پتانسیل تشکیل رسوب و یا خوردگی به فاکتورهایی شامل pH آب، غلظت کلسیم، میزان قلیائیت، غلظت مواد محلول در آب، غلظت آنیون‌ها (کلراید و سولفات) بستگی دارد. چنان‌چه بر اساس شاخص‌های مذکور آب شبکه توزیع رسوب‌گذار باشد، رسوب کربنات کلسیم در خطوط انتقال شبکه تشکیل خواهد شد. از آنجایی که برخی از چاه‌ها و آبگیرها دارای پتانسیل رسوب‌گذاری

۴- نتیجه گیری

علی‌دادی، ح. توکلی، ب.، و ظریف، ب.، (۱۳۹۸)، "پتانسیل خوردگی و رسوب‌گذاری در شبکه توزیع آب آشامیدنی: مطالعه موردی شهر مشهد، ۱۳۹۶"، *فصلنامه پژوهش در بهداشت محیط*، ۴(۴)، ۲۷۲-۲۸۲.

غنی‌زاده، ج.، و قانعیان، م.، (۱۳۸۸)، "پتانسیل خوردگی و رسوب‌گذاری آب آشامیدنی در سیستم‌های آبرسانی مراکز نظامی"، *مجله طب نظامی*، ۱۱(۳)، ۱۵۵-۱۶۰.

فرزادکیا، م.، و عسگری، ای.، (۱۳۹۶)، "مطالعه پتانسیل خوردگی آب آشامیدنی در شبکه توزیع شهر ملکشاهی استان ایلام، بهار ۹۳"، *مجله رهاورد سلامت*، ۲(۱)، ۲۱-۲۸.

مختاری، س.، علی قادری، م.، و حضرتی، س.، (۱۳۸۹)، "ارزیابی وضعیت خوردگی و رسوب‌گذاری شبکه توزیع آب آشامیدنی شهر اردبیل با استفاده از شاخصهای لانژلیه و رایزنر"، *مجله سلامت و بهداشت*، ۱(۲)، ۱۴-۲۳.

مظلومی، س.، بابایی، ع.، و فضل زاده، م.، (۱۳۸۷)، "پتانسیل خوردگی آب آشامیدنی شهر شیراز"، *مجله طلوع بهداشت*، ۲(۲)، ۶۴-۷۱.

مهوی، ع.، (۱۳۸۷)، "فاکتورهای خوردگی در سیستم توزیع آب آشامیدنی زنجان"، پایان نامه دکتری، دانشکده سلامت، دانشگاه علوم پزشکی تهران.

ملکوتیان، م.، فاتحیان، ع.، و میدانی، ا.، (۱۳۹۱)، "بررسی پتانسیل خوردگی و رسوب‌گذاری آب شرب شبکه توزیع شهر کرمان"، *مجله طلوع بهداشت*، ۱۱(۳)، ۱-۱۰.

American Public Health Association (APHA), (2005), *Standard methods for the examination of water and wastewater*, Washington, DC, USA.

AWWA. (2005), *Water treatment plant design*, 4th Edition, Mc Graw Hill, New York.

Agatemor, C., and Okolo, P.O., (2008), "Studies of corrosion tendency of drinking water in the distribution system at the University of Benin", *Journal of Environmentalist*, 28(3), 379-84.

Cavano R.R., (2005), "Understanding scaling indices and calculating inhibitor dosages", In *CORROSION 2005*, OnePetro.

Dehghani, M., Tex, F., and Zamanian, Z., (2010), "Assessment of the potential of scale formation and corrosivity of tap water resources and the network distribution system in Shiraz, South Iran", *Pakistan Journal of Biological Sciences*, 13(2), 88-92.

Ghaneian, MT., Ehrampoush, MH. and Ghanizadeh, GH., (2009), "Survey of corrosion and precipitation potential in dual water distribution system in Kharanagh district of Yazd", *Journal of Toloos- Behdasht*, 7(3-4), 65-72.

Hosseini, H., (2009), "Study on corrosion and scaling indexes of drinking water in west regions of Iran (case study Javanroud city)", *12th National Conference of*

سیستم پایدارسازی آب و تثبیت ویژگی‌های کیفی آب قبل ورود آب به شبکه‌های توزیع عامل مهمی در کنترل و پیشگیری از بروز خوردگی و رسوب‌گذاری است. با توجه به یافته‌های این مطالعه مشخص شد که شاخص‌های فیزیکی و شیمیایی، آنیون‌ها، پارامترهای سختی، قلیائیت و TDS در تمام نقاط مربوط به منابع آب، آب ورودی به تصفیه‌خانه و آب خروجی در حد مطلوب استاندارد قرار دارد. طبق نتایج به دست آمده، آب ورودی به تصفیه‌خانه براساس پارامترهای لانژلیه، پوکوریوس اندکی خورنده است؛ در حالی که آب خروجی تصفیه‌خانه پردیس براساس شاخص خوردگی، لارسون و پوکوریوس رسوب‌گذار بوده و شاخص‌های رایزنر و لانژلیه نشان‌دهنده خورنده بودن آب است. در اکثر موارد آب ورودی به تصفیه‌خانه ماهیت خورنده‌تری نسبت به آب خروجی دارد، لذا کنترل فرآیند خوردگی امری ضروری محسوب می‌شود. اما از آنجایی که طی فرآیند تصفیه با انجام تزریقات صحیح مواد منعقدکننده و کمک منعقدکننده (که در این تصفیه‌خانه کلرور فریک و آهک هستند) آب خروجی ماهیت رسوب‌گذار دارد. بر این اساس می‌توان ادعا کرد رسوب‌گذاری آب خروجی تصفیه‌خانه همواره در محدوده مناسبی قرار دارد و برای ورود به شبکه توزیع و مصرف قابل قبول است.

۵- مراجع

دیانتی تیلکی، ر.، و محمودی، م.، (۱۳۷۹)، "بررسی شاخص‌های رسوب‌گذاری و خوردگی منابع آب شرب برخی از شهرهای استان مازندران"، *مجله تحقیقات سلامت در جامعه*، ۴(۲)، ۵۷-۶۷.

جعفرزاده، ن.، و سواری، ع.، (۱۳۸۸)، "بررسی پتانسیل خوردگی و رسوب‌گذاری آب شرب شبکه توزیع شهر اهواز"، *مجله علوم طبیعی و تکنولوژی*، ۱۰(۴)، ۶۵-۷۴.

داودی، م.، اسکندری، ع.، برجسته، ف.، سرمدی، م.، و سلیمی، ج.، (۱۳۹۵)، "بررسی پتانسیل خوردگی و رسوب‌گذاری آب شرب روستایی شهرستان تایباد در سال ۹۴-۹۵"، *مجله طنین سلامت*، ۴(۲)، ۴-۱۳.

صالحی، س.، المدرسی، ع.، و میرحسینی، الف.، (۱۴۰۰)، "بررسی عوامل تشکیل رسوب در شبکه توزیع آب شرب شهر سوق و رابطه آن با خواص آب"، *مجله آب و فاضلاب*، ۳۲(۱)، ۱۰۶-۱۲۴.

“Characterization of the corrosive action of mineral waters from thermal sources, A case study at Azores Archipelago, Portugal”, *Water*, 7(7), 3515-30.

Zazouli, M., BarafrashtehPour, M., Sedaghat, F., and Mahdavi, Y., (2013), “Assessment of scale formation and corrosion of drinking water supplies in Yasuj (Iran) in 2012”, *Journal of Mazandaran University of Medical Science*, 22(2), 100-8.



This article is an open-access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC-BY) license.

Environmental Health, Shahid Beheshti Medical University, Tehran, Iran, pp. 123-126

Imran, S.A., Dietz, J.D., Mutoti, G., Taylor, J.S., and Randall, A.A., (2005), “Modified Larsons ratio incorporating temperature, water age, and electroneutrality effects on red water release”, *Journal of Environmental engineering*, 131(11), 1514-20.

Kawamura S., (2000), *Integrated design and operation of water treatment facilities*, 2nd Edition, John Wiley and Sons, New York.

Li, X., Wang, H., and Zh, Yu. (2014), “Characterization of the bacterial communities and iron corrosion scales in drinking groundwater distribution systems with chlorine/chloramine”, *Journal of International Biodeter Biodegradation*, 96(2), 71-79.

Metcalf, E., Tchobanogolus, G., and Burton, F.L., (2003), *Wastewater treatment: Treatment and reuse*, 4th Edition, McGraw-Hill, New York.

Palazzo, A., van der Merwe, J., and Combrink, G., (2015), “The accuracy of calcium-carbonate-based saturation indices in predicting the corrosivity of hot brackish water towards mild steel”, *Journal of Southern Afr Instit Mining Metallurgy*, 115(12), 1229-38.

Peng, C.Y., and Korshin, G.V. (2011), “Speciation of trace inorganic contaminants in corrosion scales and deposits formed in drinking water distribution systems”, *Journal of Water Research*, 45(3), 5553-5563.

Świetlik, J., Raczyk-Stanisławiak, U., and Piszora, P., (2012), “Corrosion in drinking water pipes: The importance of green rusts”, *Journal of Water Research*, 46(3), 1-10.

Spellman, F., (2008), *The science of water concepts and application*, 2nd Edition, CRC Press, New York.

Shankar, B.S. (2014), “Determination of scaling and corrosion tendencies of water through the use of Langelier and Ryznar indices”, *Scholars Journal of Engineering and Technology*, 2(2A), 123-127.

Saifelnasr, A., Bakheit, M., Kamal, K., and Lila, A., (2013), “Calcium carbonate scale formation, prediction and treatment”, *Journal of International Letters Chemistry Physics Astronomy*, 12(3), 47-58.

Shyam, R., and Kalwania, G.S. (2010), “Corrosiveness and scaling potential of ground water from Sikar city, Rajasthan (India)”, *Journal of ENatura Conscientia*, 1(3), 223-239.

Shams, M., Mohamadi, A., and Sajadi, S.A., (2012) “Evaluation of corrosion and scaling potential of water in rural water supply distribution networks of Tabas”, *Journal of Iran World Applied Science*, 17(2), 1484-1489.

Shahmohammadi, S., and Noori, A., (2018), “A study on corrosion and scaling potential of drinking water supply resources in rural areas of Sarvabad, west of Iran “”, *Journal of Advanced Environment and Health Research*, 6(2), 52-60

Tarantseva, K.R., and Firsova, V.N., (2006), “The effect of corrosion products on the toxicity of industrial sewage”, *Journal of Protect Metals*, 42(2), 188-93

Vasconcelos, H.C., Fernández-Pérez, B.M., González, S., Souto, R.M., and Santana, J.J., (2015),