

Journal of Water and Wastewater, Vol. 32, No.1, pp: 106-124

Investigation of the Sediment Formation Factors in Drinking Water Distribution Network of the City of Sough and its Relationship to Water Properties

A. H. Salehi Servak¹, A. Almodaresi², S. A. Mirhosseini³
M. Shishebor⁴, A. A. Jamali⁵, A. H. Kangazian⁶

1. PhD Student, Dept. of Environmental Pollution, Islamic Azad University, Yazd Branch, Yazd, Iran
2. Assoc. Prof., Dept. of GIS-RS, Islamic Azad University, Yazd Branch, Yazd, Iran
3. Assist. Prof., Dept. of Environmental Pollution, Islamic Azad University, Yazd Branch, Yazd, Iran (Corresponding Author) mirhosseini@yahoo.com
4. Assoc. Prof., Dept. of Chemistry, Faculty of Science, Islamic Azad University, Yazd Branch, Yazd, Iran
5. Assoc. Prof., Dept. of GIS-RS and Nature Resources, Islamic Azad University, Maybod Branch, Maybod, Iran
6. Assist. Prof., Dept. of Geology, Faculty of Engineering, Islamic Azad University Isfahan (Khoorasgan) Branch, Isfahan, Iran

(Received Mar. 18, 2020 Accepted Aug. 9, 2020)

To cite this article:

Salehi Servak, A. H., Almodaresi, A., Mirhosseini, S. A., Shishebor, M., Jamali, A. A., Kangazian, A. H. 2021. "Investigation of the sediment formation factors in drinking water distribution network of the city of Sough and its relationship to water properties" Journal of Water and Wastewater, 32(1), 106-124.
Doi: 10.22093/wwj.2020.223858.3004. (In Persian)

Abstract

Given the increasing consumption of potable water in the world, efforts to adopt new solutions for the obtainment of the right amount of desirable water is essential. One of the chief issues facing the majority of industries including water industry is corrosion and sedimentation. The present study was conducted to address the corrosion and sedimentation of drinking water supply and distribution reservoirs in the city of Sough, Kohgiluyeh-Boyer-Ahmad province. Through descriptive analysis, the Langelier, Raisner, Pokorius, and aggressive indices to determine the corrosion and sedimentation potential of the water supply network were used. This study was aimed measure chemical and physicochemical information of 84 water samples from wells, water reservoirs and allocated water supply network of the area. The samples were collected and analyzed from 2007 to 2016 by the provincial Water and Wastewater Company. The results indicated that the mean indices were -0.589 ± 0.63 (low to moderate corrosion), 8.470 ± 0.797 , (low to moderate corrosion), 7.472 ± 0.228 (low to moderate corrosion), respectively and 12.015 ± 0.227 (mild aggressive or very corrosive) respectively. The water



supply sources under investigation had low to moderate corrosion and little tendency to develop eggshell sedimentation. The water supply sources of the study area had low to moderate corrosion and had a slight tendency for eggshell sedimentation. Drinking water allocated to Sough water supply network in the direction of joint drinking water transmission of Dehdasht and Sough within 17 km of joint water supply from Sepah Tapeh reservoir (Dehdasht and Sough joint) is separated and directed, within 15 km by the transfer line and pump station, to Sough city. The average values of corrosion and sedimentation indices of the city of Sough water supply and distribution network (Lanzeley, Reisner, Pokoris and aggressive) were 0.63, 6.8, 7.28 and 12.8, respectively which indicate tendency toward sedimentation, relative tendency toward CaCO_3 , and non-aggressiveness. Despite the fact that the average pH of the joint water resources of both cities was 7.78. In summer, the water pH of Sough allocated water network increased to 8.5. Values and mean values of corrosion and sedimentation indices of Sough water supply network during hot seasons of the year show that the water of this network tends to precipitate. The findings also suggest that the average water temperature of the allocated water supply network in these 15 kilometers of transition which includes the transmission line and surfaced metal reservoirs had an increase in temperature around 10 °C. This temperature rise was due to the environment temperature (above 48 °C), the hot water in metal reservoirs and the surfaced steel transmission line in water supply network components. This physical change of water temperature is the main factor behind sedimentation.

Keywords: Sedimentation, Temperature, Distribution Network, Lanzeley Saturation Indicator, Reisner, Pokoris.



مجله آب و فاضلاب، دوره ۳۲، شماره ۱، صفحه: ۱۲۴-۱۰۶

بررسی عوامل تشکیل رسوب در شبکه توزیع آب شرب شهر سق و رابطه آن با خواص آب

عبدالحسین صالحی سروک^۱، علی المدرسی^۲، سید ابولقاسم میرحسینی^۳،
مسعود شیشه بر^۴، علی اکبر جمالی^۵، عبدالحسین کنگازیان^۶

- ۱- دانشجوی دکترا، گروه آلودگی محیط زیست، دانشگاه آزاد اسلامی واحد یزد، یزد، ایران
- ۲- دانشیار، گروه سنجش از دور و GIS، دانشگاه آزاد اسلامی واحد یزد، یزد، ایران
- ۳- استادیار، گروه آلودگی محیط زیست، دانشگاه آزاد اسلامی واحد یزد، یزد، ایران
(نویسنده مسئول) mirhosseinid@yahoo.com
- ۴- دانشیار، گروه شیمی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد یزد، یزد، ایران
- ۵- دانشیار، گروه سنجش از دور - GIS و منابع طبیعی،
دانشگاه آزاد اسلامی واحد میبد، میبد، ایران
- ۶- استادیار، گروه زمین شناسی، دانشکده مهندسی،
دانشگاه آزاد اسلامی واحد اصفهان (خوراسگان)، اصفهان، ایران

(دریافت ۹۸/۱۲/۲۸ پذیرش ۹۹/۵/۱۹)

برای ارجاع به این مقاله به صورت زیر اقدام بفرمایید:

صالحی سروک، ع.، المدرسی، ع.، میرحسینی، س.، شیشه بر، م.، جمالی، ع.، کنگازیان، ع.، ح.، ۱۴۰۰، "بررسی عوامل تشکیل رسوب در شبکه توزیع آب شرب شهر سق و رابطه آن با خواص آب" مجله آب و فاضلاب، ۳۲(۱)، ۱۲۴-۱۰۶. Doi: 10.22093/wwj.2020.223858.3004

چکیده

با توجه به افزایش مصرف آب شرب در جهان، تلاش برای به کارگیری راهکارهای جدید برای دست یافتن به مقدار مناسب آب با کیفیت مطلوب لازم است. یکی از مسائل عمده‌ای که اکثر صنایع از جمله صنعت آب با آن مواجه‌اند، خوردگی و رسوب گذاری است. این پژوهش به منظور بررسی عوامل رسوب گذاری و خوردگی منابع تأمین و توزیع آب شرب شهر سق در استان کهگیلویه و بویراحمد انجام شد. در این پژوهش با استفاده از شاخص‌های لانژلیه، رایزتر، پوکوریوس و تهاجمی به صورت مطالعه توصیفی به منظور تعیین پتانسیل خوردگی و رسوب گذاری آب شبکه آب رسانی، اطلاعات شیمیایی و فیزیکوشیمیایی ۸۴ نمونه آب مربوط به چاه‌های تغذیه، مخازن آب و شبکه آب رسانی اختصاصی این منطقه استفاده شدند. نمونه‌ها بین سال‌های ۱۳۸۶ تا ۱۳۹۵ توسط شرکت آب و فاضلاب شهری استان جمع‌آوری و آنالیز شدند. با توجه به این اطلاعات، اندیس‌های لانژلیه، رایزتر، پوکوریوس و تهاجمی برای این نمونه‌ها محاسبه شد و یافته‌های به دست آمده از به کارگیری شاخص‌های فوق نشان داد که متوسط شاخص‌ها به ترتیب $0/598 \pm 0/63$ خوردگی کم تا متوسط، $0/797 \pm 0/470$ خوردگی کم تا متوسط، $0/286 \pm 0/472$ خوردگی کم تا متوسط و $0/227 \pm 0/15$ تهاجمی ملایم یا خوردگی خیلی کم بود. منابع تأمین آب منطقه بررسی شده دارای خوردگی کم تا متوسط بودند و اندکی تمایل به ایجاد رسوب پوسته تخم‌مرغی داشتند. آب شرب شهر سق در مسیر انتقال آب شرب مشترک شهر دهدشت و سق در فاصله ۱۷ کیلومتری از محل منابع تأمین آب مشترک (چاه) از مخزن ذخیره تپه سپاه (مشترک شهر دهدشت و سق) مجزا شده و به فاصله ۱۵ کیلومتر توسط خط انتقال و ایستگاه پمپاژ آب به سمت شهر سق



هدایت می‌شود. میانگین مقدار شاخص‌های خوردگی و رسوب‌گذاری شبکه اختصاصی تأمین و توزیع آب شهر سوق (لانزلیه، رایزنر، پوکوریس و تهاجمی) به ترتیب ۶/۳، ۶/۸، ۷/۲۸ و ۱۲/۸ به دست آمد که تمایل به رسوب، به‌طور متوسط تمایل به ته‌نشست CaCO_3 ، غیرتهاجمی است. علی‌رغم این واقعیت که pH متوسط منابع تأمین آب مشترک هر دو شهر ۷/۷۸ بود. در فصل تابستان pH آب شبکه اختصاصی شهر سوق به ۸/۵ افزایش یافت. مقدار و میانگین مقدار شاخص‌های خوردگی و رسوب‌گذاری شبکه اختصاصی آب‌رسانی شهر سوق در فصل گرم سال نشان می‌دهد که آب این شبکه تمایل به رسوب دارد. بر اساس یافته‌های این بررسی میانگین دمای آب شبکه آب‌رسانی اختصاصی در این ۱۵ کیلومتر انتقالی که شامل خط انتقال و مخازن ذخیره فلزی روکار هستند، حدود ۱۰ درجه سلسیوس افزایش دما داشته است. این افزایش دما ناشی از دمای محیط بیش از ۴۸ درجه سلسیوس و گرم شدن آب در مخازن ذخیره فلزی و خط انتقال فولادی روکار در اجزای شبکه آب‌رسانی آب اختصاصی شهر سوق هستند که این تغییر فیزیکی آب یا دما عامل اصلی تشکیل رسوب است.

واژه‌های کلیدی: رسوب، دما، شبکه توزیع، شاخص اشباع لانزلیه، رایزنر، پوکوریس



۱- مقدمه

مانند اندیس اشباع لانتزیه، اندیس پایداری رایزنر و شاخص خورندگی قابل بررسی است. مطابق معیارهای جهانی اکثر اندیس‌های کنترل خورندگی و رسوب‌گذاری باید حداقل هر دو سال یک‌بار برای شبکه‌های توزیعی که از منابع آب‌های سطحی استفاده می‌کنند و سالی یک‌بار برای شبکه‌های توزیع که از آب‌های زیرزمینی استفاده می‌کنند، تعیین شوند (Nikpour et al., 2007).

بلوکر و همکاران در پژوهش بررسی تشکیل رسوب در شبکه توزیع آب هلند اظهار کردند که رسوب‌گذاری در شبکه‌های آب آشامیدنی ممکن است منجر به شکایات تغییر رنگ شود. ملاک مناسب برای سیستم‌های شبکه توزیع آب آشامیدنی هلندی با جنس‌های شامل پلی‌اتیلن، آزبست و لوله اصلی چدنی قبل از تخلیه رسوب، حداکثر سرعت روزانه ۰/۲۵ متر بر ثانیه است (Blokker et al., 2010).

هدف از این پژوهش بررسی علت تشکیل رسوب در شبکه تأمین و توزیع آب شهر سوق از شهرهای استان کهگیلویه و بویراحمد بود. شهر سوق در جنوب غربی شهر دهدشت واقع شده است که منابع تأمین آب این دو شهر از طریق چاه‌های آهکی واقع در چشمه سیاه شهر چرام تأمین شده است. در این پژوهش علت تشکیل رسوب در شبکه اختصاصی تأمین و توزیع آب شهر سوق شناسایی شد.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- منطقه بررسی شده

شهر سوق از نظر تقسیمات کشوری جزء شهرهای گرمسیری استان کهگیلویه و بویراحمد محسوب می‌شود، مساحت این استان ۱۶۲۶۴ کیلومتر مربع است. شهر سوق در محدوده عرض جغرافیایی ۳۰ درجه و ۵۱ دقیقه و در طول جغرافیایی ۵۰ درجه و ۲۷ دقیقه قرار گرفته است و در فاصله حدود ۱۵ کیلومتری شمال غربی شهر دهدشت قرار دارد. آب و هوای این شهر گرم و حداکثر مطلق درجه حرارت شهر سوق حدود ۴۸ درجه سلسیوس و حداقل آن ۴- درجه سلسیوس گزارش شد که موقعیت آن در شکل ۱ نشان داده شده است.

آب شرب شهر سوق و روستاهای اطراف آن، از طریق ۷ حلقه چاه آهکی حفر شده در منطقه چشمه سیاه، واقع در فاصله تقریبی ۳۶ کیلومتری جنوب شرقی شهر سوق تأمین می‌شود. چاه‌های

یکی از فاکتورهای مهم در بحث کیفیت شیمیایی منابع تأمین آب آشامیدنی مسئله خورندگی و یا مسئله رسوب‌گذاری آنهاست، زیرا وجود هر کدام از این دو مورد نقش بسیار مؤثری در سیستم شبکه انتقال و توزیع آب آشامیدنی چه از جنبه‌های اقتصادی و چه از جنبه‌های بهداشتی می‌تواند ایفا کند (Barikbin et al., 2005).

به دلیل افزایش مصرف آب شرب در جهان، تلاش برای به‌کارگیری راهکارهای جدید برای دست یافتن به مقدار مناسب آب با کیفیت مطلوب به وجود آمده است. همچنین استفاده بهینه از انرژی و یافتن راه‌حلی برای کاهش مشکلات رسوب در لوله‌های آب شرب، یکی از دغدغه‌های مهم در آب‌رسانی شهری است. سالانه مبالغ زیادی صرف رسوب‌زدایی از لوله‌ها و تجهیزات خانگی و صنعتی می‌شود (Tavanpour, 2012).

سیستم‌های توزیع آب از جمله مهم‌ترین زیرساخت‌های منابع آب است. اجزای مختلف این سیستم‌ها شامل لوله‌های انتقال آب، شیرها و مخازن، هر یک دارای شرایط خاصی هستند که در تمام دوره بهره‌برداری با خطرات مختلفی مواجه می‌شوند. مهم‌ترین خطر میکروبیولوژیکی که خطوط لوله و سیستم‌های توزیع را تهدید می‌کند، تشکیل بیوفیلم در سطح لوله و متعاقب آن آلودگی شیمیایی سیستم توزیع و تغییر کیفیت آب است. از طرفی خوردگی داخلی محلی در لوله‌های توزیع آب برای کشف و تشخیص بسیار مشکل است (Onsoarinejad, 2012).

اسماعیلی در پژوهش خود اظهار کرد که رسوب‌گذاری به‌عنوان یک معضل خیلی جدی در تأسیسات انتقال و توزیع آب مطرح است. افزایش ضریب زبری جدار داخلی لوله، کاهش قطر لوله، افزایش هزینه انرژی پمپاژ و کاهش فشار آب و دبی در خطوط انتقال و شبکه‌های توزیع آب در اثر رسوب‌گذاری و اعتراضات مردمی در اثر کمبود آب، ممکن است جایگزینی مجدد آنها را ضروری کند (Esmaeili, 2007).

یکی از مسائل عمده‌ای که اکثر صنایع از جمله صنعت آب با آن مواجه‌اند، خورندگی و رسوب‌گذاری است. این دو عامل به‌عنوان یکی از شاخص‌های مهم آب آشامیدنی مشکلاتی را مانند کاهش بهداشت عمومی، کاهش کیفیت آب و کاهش عمر مفید تجهیزات لوله‌کشی ایجاد می‌کند و در نهایت کنترل آن تأثیر به‌سزایی در بهداشت و کیفیت آب دارد. این پدیده با استفاده از شاخص‌هایی



سطح دریا قرار گرفته است. مخزن ذخیره آب شهر سوق، علاوه بر ذخیره آب مورد نیاز شبکه شهر سوق، ذخیره مصارف شرب روستاهای اطراف شهر را نیز بر عهده دارد.

آب از چاه‌های آهکی محفوره در چشمه سیاه با پمپاژ و خط انتقال ۴۰۰ میلی‌متر فولادی به طول تقریبی ۱۲ کیلومتر به ایستگاه پمپاژ دم دره و از آنجا مجدداً به وسیله ایستگاه پمپاژ و خط انتقال ۴۰۰ میلی‌متر فولادی به طول ۱۱ کیلومتر به مخزن ۵۰۰۰ مترمکعبی گردنه بردیان و از این مخزن به صورت ثقلی وارد مخزن ذخیره آب تپه سپاه، مشرف بر شهر دهدشت و سوق می‌شود. از مخزن تپه سپاه آب به صورت ثقلی به وسیله خط انتقال ۲۵۰ میلی‌متر فولادی به مخازن ذخیره فلزی (رو سطحی) بین راهی ایستگاه پمپاژ دره لبک انتقال داده شده و در آن محل با احداث چاهک، به وسیله ایستگاه پمپاژ و خط انتقال ۲۰۰ میلی‌متر فولادی به مخزن ذخیره آب شهر سوق انتقال داده می‌شود. در این مخزن ذخیره، آب پس از گندزدایی با کلر به وسیله خط انتقال ۳۰۰ میلی‌متر فولادی وارد شبکه توزیع آب شهر می‌شود. شهر سوق ۳۰۱۴۰ متر شبکه توزیع آب از جنس آهن، آزیست و پلی‌اتیلن دارد که در شکل ۲ نشان داده شده است (Salehi Servak, 2020).

۲-۲- جمع‌آوری داده‌ها

برای بررسی مقدار رسوب‌گذاری و خوردگی شبکه توزیع آب



Fig. 1. Iran map and location of Kohgiluyeh and Boyer Ahmad province and Sough city

شکل ۱- نقشه ایران و موقعیت استان کهگیلویه و بویراحمد و شهر سوق

آهکی چشمه سیاه، علاوه بر تأمین آب شهر سوق، مصارف آب شهر دهدشت و مناطق اطراف آن را نیز تأمین کرده‌اند. به همین لحاظ تأسیسات تأمین و انتقال آب شهر سوق در بخش اعظم مسیر با تأسیسات انتقال آب شهر دهدشت مشترک هستند. مخزن ذخیره آب شهر سوق از جنس بتن مسلح، با ظرفیت ۲۰۰۰ مترمکعب است که طی سال‌های ۱۳۷۲ تا ۱۳۷۳ احداث شده است. مخزن ذخیره سوق، در فاصله تقریبی یک کیلومتری، بر فراز ارتفاعات جنوب شرقی شهر سوق و در ارتفاع حدود ۹۲۵ متری از

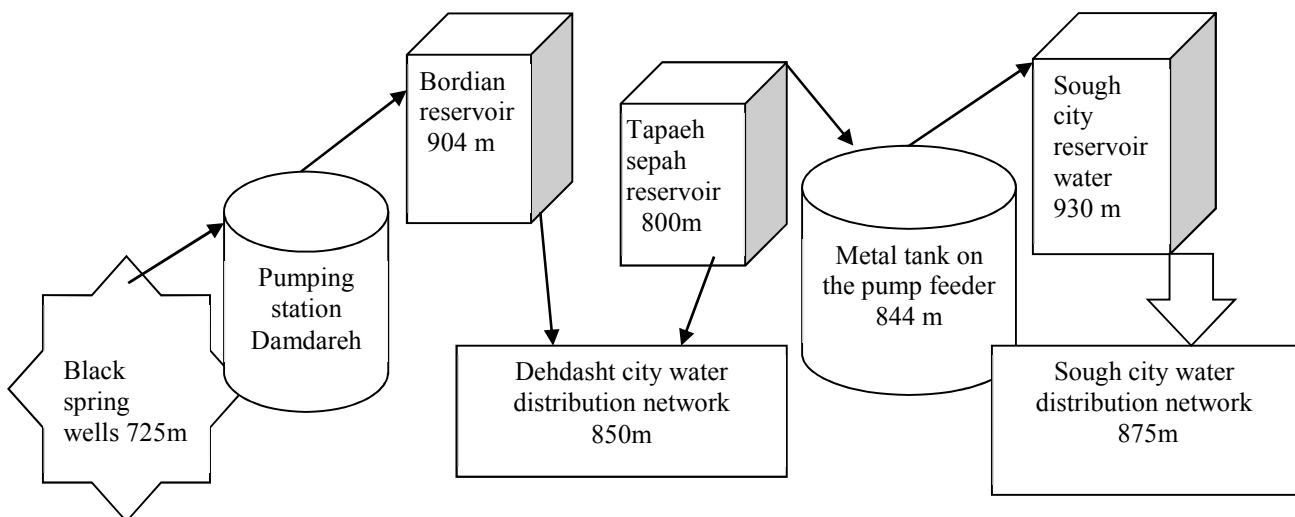


Fig. 2. Schematic of water supply network Dehdasht and Sough cities from sea level

شکل ۲- شماتیک شبکه آبرسانی شهرهای دهدشت و سوق با ارتفاع از سطح دریا



$$B = -13.2 \cdot \log_{10} (C + 273) + 34.53 \quad (4)$$

$$A = \log_{10} [\text{Ca as CaCO}_3] - 0.43 \quad (5)$$

$$D = \log_{10} [\text{alkalinity as CaCO}_3] \quad (6)$$

چنانچه مقدار LSI به دست آمده، مثبت باشد بیانگر تمایل آب به رسوب گذاری است. چنانچه مقدار آن منفی باشد آب خورنده است و مقدار صفر آن نشانگر حالت تعادل است یا به عبارت دیگر در این حالت آب خورنده است و رسوب گذار نیست (Kerri, 1992).

۲-۱-۲-۲ روش تعیین اندیس رایزنر^۴

این شاخص بر اساس معادله ۷ محاسبه شد

$$SI = 2(\text{pHs}) - \text{pH} \quad (7)$$

هنگامی که $RSI < 5/5$ باشد رسوب ایجاد می شود، اگر RSI در محدوده $5/5$ تا 7 باشد اشباع آب و رسوب CaCO_3 در تعادل است، در صورتی که RSI از 7 تا $8/5$ باشد آب به طور متوسط تمایل به حل CaCO_3 دارد و سرانجام وقتی RSI از $8/5$ بزرگتر باشد خوردگی زیادی را نشان می دهد (Rossum and Merrill, 1983).

۲-۱-۲-۳ روش تعیین اندیس پوکوریس^۵

برای محاسبه این اندیس از معادلات ۸ و ۹ استفاده شد (Pishnamazi, 1998)

$$PSI = 2\text{pH} - \text{pHseq} \quad (8)$$

$$\text{pHseq} = 1.465 \log(T.ALK) + 4.54 \quad (9)$$

شهر سق^۱ دو مولفه کیفیت و کمیت آب شرب بررسی شد.

۲-۲-۱-۱ کیفیت آب

در این پژوهش برای بررسی کیفیت آب ۸۴ نمونه آب از هفت حلقه چاه شماره ۱ تا ۷ منطقه چشمه سیاه، مخازن ذخیره آب و شبکه توزیع آب که در سال های ۱۳۸۵ تا ۱۳۹۶ در آزمایشگاه معتمد شرکت آبفای شهری انجام شده بود، جمع آوری و در تمام نمونه ها پارامترهای مختلف کیفیت آب از قبیل pH، هدایت الکتریکی، شوری، کل مواد جامد محلول، قلیائیت کل، سختی کلسیم، سختی منیزیم و درجه حرارت آب بررسی شدند. سختی کل، کلراید و فلوراید با پیروی از روش های استاندارد تحلیلی APHA^۲ ارزیابی شدند. پس از بررسی و صحت سنجی نمونه ها، شاخص های پایداری آب محاسبه شدند. محاسبه شاخص ها بر معادلات زیر استوار هستند (Salehi Servak, 2020).

۲-۲-۱-۲ روش تعیین اندیس لانزلیه^۳

برای به دست آوردن LSI معادله ۱ بیان شده است (Treatment, 1995)

$$LSI = \text{pH} - \text{pHs} \quad (1)$$

که در آن

pH، مقدار اسیدیته آب است و pHs، pH آب در حالت اشباع از کلسیت یا کربنات کلسیم است. pHs با معادله ۲ محاسبه می شود

$$\text{pHs} = (9.3 + A + B) - (C + D) \quad (2)$$

که در آن

A تا D با معادلات ۳ تا ۶ محاسبه شده است

$$A = \frac{(\log_{10} + [\text{TDS}])}{10} \quad (3)$$

¹ Drinking Water Distribution system (DWDs)

² American Public Health Association (APHA)

³ Langelier Saturation Indicator (LSI)

⁴ Rayznr Saturation Indicator (RSI)

⁵ Pokurious Saturation Indicator (PSI)



جدول ۱- میانگین رسوب‌گذاری در جنس‌های مختلف لوله

Table 1. Average sediment yielding in different pipe substances

| Genus | Mean | Number | Standard deviation |
|-------|-------|--------|--------------------|
| PE | 24.83 | 104 | 12.91 |
| FE | 0 | 1 | 0 |
| AC | 40.20 | 5 | 0.44 |
| Sum | 25.08 | 110 | 13.34 |

لوله‌های شبکه توزیع آب را نشان می‌دهند (Salehi Servak, 2020).

به‌طور معمول، رسوب در $PSI < 6$ رخ می‌دهد. رسوب احتمالاً توسط $PSI > 7$ حل می‌شود.

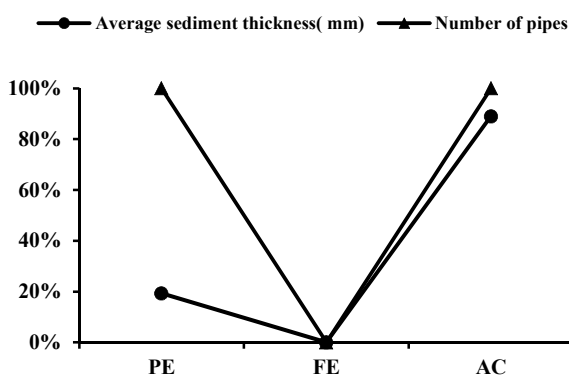


Fig. 3. Average sediment thickness in pipes during the days under study

شکل ۳- میانگین ضخامت رسوب در لوله‌های در طی روزهای بررسی شده

۲-۲-۳- خصوصیات شیمیایی و فیزیکی

در عمل، عوامل مختلفی می‌تواند باعث ایجاد رسوب شود که ارتباط بین این عوامل بسیار پیچیده است. رسوب‌گذاری یک فرایند چند مرحله‌ای است که مسبب آن، نمک‌های محلول درون آب هستند عوامل مختلف تأثیرگذار بر روی فرایند رسوب‌گذاری عبارت‌اند از فوق اشباع بودن، دما و سرعت جریان. یکی از این نمک‌های رسوب‌گذار کربنات کلسیم است که برای کنترل و اصلاح رسوب‌گذاری آن روش‌های مختلف فیزیکی، بیولوژیکی و شیمیایی وجود دارد. امروزه کاربرد روش‌های فیزیکی و شیمیایی بسیار متداول شده است (Kheradmand, 2013).

چن و همکاران در پژوهشی اظهار کردند که اصولاً رسوب‌گذاری کلسیت به وسیله این عوامل کنترل می‌شود، ۱- درجه حرارت: حلالیت کلسیت و CO_2 در آب سرد بسیار بیشتر است به

۲-۲-۱-۴- روش تعیین اندیس تهاجمی^۱

برای محاسبه این اندیس از معادله ۱۰ استفاده شد (Poulin et al., 2008)

$$AI = pH + \log[(A)(H)] \quad (10)$$

که در آن

A و H به ترتیب مقدار غلظت کلیتیت برحسب میلی‌گرم در لیتر کربنات کلسیم و سختی کلسیم برحسب میلی‌گرم در لیتر کربنات کلسیم است. آب با $AI < 10$ بسیار تهاجمی $10 < AI < 12$ به‌عنوان تهاجمی نسبی و $AI > 12$ غیرتهاجمی در نظر گرفته می‌شود.

۲-۲-۲- کمیت آب (شبکه توزیع)

به‌منظور تعیین پتانسیل رسوب‌گذاری در شبکه آب‌رسانی شهر سوق، اطلاعات شبکه توزیع آب که استفاده شدند شامل تعداد ۱۱۰ لوله و ۱۱ گره از شبکه توزیع آب که بیشترین و کمترین حادثه گرفتگی لوله در اثر رسوب را داشتند، انتخاب شدند. اطلاعات شبکه توزیع آب از قبیل جنس لوله، قطر لوله، عمر لوله، سرعت جریان آب، فشار آب، نوع شبکه و ضخامت رسوب، جمع‌آوری و آنالیز شدند. جنس لوله‌های شبکه توزیع آب به سه شکل پلی‌اتیلن PE، فلزی FE و آزیست AC بود. برای این کار با توجه به اینکه متغیر جنس کیفی لوله‌های شبکه توزیع آب، سه سطحی هستند. جنس لوله‌های شبکه با آزمون آنالیز واریانس تجزیه و تحلیل شد. اطلاعات جدول ۱ و شکل ۳ میانگین ضخامت رسوب‌گذاری در

¹ Aggressive Indicator (AI)



جدول ۲- آنالیز پارامترهای فیزیکی شیمیایی آب شبکه آبرسانی منطقه بررسی شده

Table 2. Analysis of physical and chemical parameters of water supply network of the study area

| Parameter | Min | Average | Max | Standard deviation | Standard EPA | Standard Iran |
|---|--------|---------|------|--------------------|--------------|---------------|
| Temperature (°C) | 15 | 20.15 | 27.4 | 3.7 | - | - |
| Alkalinity (mg/l as CaCO ₃) | 109.72 | 231.46 | 300 | 30.72 | - | - |
| Calcium (mg/l) | 35.6 | 63.82 | 78 | 8.73 | - | 250 |
| Calcium hardness (mg/l as CaCO ₃) | 100 | 162.92 | 195 | 17.45 | - | - |
| Total dissolve solid (mg/l) | 222 | 310.89 | 481 | 52.56 | 500 | 1500 |
| pH | 6.5 | 7.78 | 8 | 0.44 | 6.5-8.5 | 6.5-8.5 |

(۲۳۱/۴۶±۳۰/۷۲) میلی‌گرم در لیتر برحسب کربنات کلسیم) متوسط تا کم برآورد شد (Salehi Servak, 2020).

هیچ شاخصی برای تعیین خوردگی وجود ندارد که بتوان آن را برای همه مواد به کار برد. همچنین شاخص‌های خوردگی، به ویژه آنهایی که مربوط به اشباع کربنات کلسیم هستند نتایج مختلفی داده‌اند. پارامترهای مربوط به وضعیت اشباع کربنات کلسیم، نشانگر تمایل به رسوب یا حل کربنات کلسیم است و نشانگر مقدار خوردگی آب نیست. به عنوان مثال، آب‌های زیادی با LSI منفی وجود دارند که خوردگی ندارند و بسیاری از آب‌ها نیز با وجود LSI مثبت خورنده هستند. با این وجود موارد مستند بسیاری استفاده از شاخص‌های اشباع برای کنترل خوردگی را براساس مفهوم وجود پوسته نازک کلسیتی "در حد پوسته تخم‌مرغ" در لوله‌های آهنی تأیید می‌کند. به طور کلی، آب‌هایی با pH، کلسیم و قلیایت زیاد خوردگی کمتری دارند و این تمایل با LSI مثبت سازگاری دارد. به هر حال، این شاخص‌ها لزوماً برای پیش‌بینی خوردگی سیستم‌های مس مناسب نیستند (WHO, 1993).

۲-۲-۴- شاخص‌های خوردگی

۲-۲-۴-۱- شاخص‌های خوردگی منابع تأمین آب شهر دهدشت و شهر سوق

میانگین، حداقل، حداکثر مقدار و همچنین انحراف استاندارد شاخص‌های خوردگی LSI, RSI, PSI, AI در جدول ۳ نشان داده شده است. میانگین مقدار به ترتیب ۰/۵۹۸، ۰/۴۷۰، ۸/۷۴۲ و ۱۲/۰۱۵ به دست آمد (Salehi Servak, 2020).

با توجه به مقدار میانگین به دست آمده از LSI, RSI, PSI و AI کیفیت منابع تأمین آب شهرهای سوق و دهدشت به ترتیب اندکی

نحوی که با افزایش درجه حرارت شاخص اشباع آن افزایش می‌یابد. ۲- خروج CO₂ از آب: خروج این گاز از آب باعث افزایش pH آن می‌شود. خروج دی‌اکسید کربن از آب موجب افزایش pH به دلیل مصرف H⁺ و HCO₃⁻ و همچنین افزایش CO₃²⁻ می‌شود. به نظر می‌رسد خروج مکانیکی CO₂ مهم‌ترین عامل جابجایی CO₂ است که باعث رسوب‌گذاری کلسیت می‌شود. خروج گاز دی‌اکسید کربن در آب‌های متلاطم مانند مناطق دارای جریان‌های سریع و آشفته (مانند آبشارها، تنداب‌ها، و سواحل دریاچه‌ها) بیشتر رخ می‌دهد. عوامل هوادهی و جریانات جت مانند در طول سطح آب با هوا، در خروج CO₂ تأثیر به‌سزایی دارند (Chen et al., 2004).

اگرچه سختی دائمی روی خوردگی تأثیر نمی‌گذارد، اما می‌توان یکی از منابع رسوب محسوب شود (Kurdi et al., 2015). در ضمن، pH بیشترین تأثیر را در شاخص خوردگی دارد. مانگ و همکاران نتیجه گرفتند که ترتیب حساسیت شاخص‌های خوردگی به عوامل خوردگی به صورت pH < قلیایی < سختی کلسیم < دما < TDS است (Maeng et al., 2015).

در این پژوهش، این عوامل در مقایسه با استاندارد آژانس حفاظت از محیط‌زیست^۱ و استاندارد شماره ۱۰۵۳ مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران به دست آمده در جدول ۲ خلاصه شده است. مقدار میانگین محاسبه شده برای سختی کلسیم (۱۶۲/۹۲±۸/۷۳) میلی‌گرم در لیتر) و TDS (۳۱۰/۸۹±۵۶/۵۲) میلی‌گرم در لیتر) و pH (۷/۷۸±۰/۴۴) درجه حرارت (۲۰/۱۵±۳/۷) درجه سلسیوس) متوسط و برای قلیایت

¹ Environmental Protection Agency (EPA)



در جدول ۴ نشان داده شده است، آب منابع تأمین شهرهای دهدشت و سوق به جز در زمستان سال ۱۳۹۶ دارای خوردگی متوسط بود (شکل ۵). مقدار PSI در کل فصول این سالها بیش از ۷ بود که آب خوردنده را نشان می‌داد (جدول ۳ و شکل ۶). علاوه بر این، در جدول ۴ و شکل ۷، AI در تمام فصول در این دوره تقریباً برابر با ۱۲ بود (به جز پاییز سال ۱۳۹۴). بنابراین آب خوردنده ملایم را نشان می‌دهد (Salehi Servak, 2020).

تمایل به خوردگی، به طور متوسط تمایل به حل CaCO_3 خوردنده و تهاجمی است. علی‌رغم این واقعیت که pH متوسط ۷/۷۸ بود. جدول ۴ میانگین مقدار LSI، RSI، PSI و AI را در فصول مختلف سالهای ۱۳۸۵ تا ۱۳۹۶ نشان می‌دهد. واضح است که منابع تأمین آب تقریباً در تمام فصول در این دوره کمی تمایل به خوردگی داشته است. فقط مقدار LSI در بهار ۱۳۸۶ برابر با صفر نشان داد که آب در تعادل است (شکل ۴). بر اساس میانگین مقدار RSI که

جدول ۳- وضعیت شاخص‌های خوردگی منابع تأمین آب شهرهای دهدشت و سوق

Table 3. Status of corrosion indicators for the Dehdasht and Sough city water supply resources

| Corrosion index | Max | Min | Average | Standard deviation | Exposition |
|----------------------|-------|-------|---------|--------------------|--------------------|
| Langelier indicator | -0.34 | -1 | -0.598 | 0.62 | Low corrosion |
| Rayznr indicator | 9.02 | 8.17 | 8.48 | 0.797 | Moderate corrosion |
| Pokurious indicator | 8.67 | 8.67 | 7.24 | 0.285 | Moderate corrosion |
| Aggressive indicator | 12.61 | 11.49 | 12.01 | 0.227 | Moderate corrosion |

جدول ۴- میانگین شاخص‌های خوردگی منابع تأمین آب در فصول سالهای (۱۳۸۵-۱۳۹۶)

Table 4. Average corrosion indicators of water supply resources in the four seasons (2006-2017)

| Season year | Langelier ave. | Rayznr ave. | Pokurious ave. | Aggressive ave. |
|-------------|----------------|-------------|----------------|-----------------|
| Spring 2006 | -0.4358 | 8.2817 | 7.7296 | 11.9 |
| Summer 2006 | -0.5628 | 8.4257 | 7.7218 | 11.8 |
| Spring 2007 | 0.0054 | 7.8891 | 7.6871 | 12.41 |
| Summer 2007 | -0.3596 | 8.2764 | 7.7637 | 12.13 |
| Summer 2008 | -0.2528 | 7.9891 | 7.4616 | 12.10 |
| Autumn 2008 | -0.5888 | 8.4765 | 7.7923 | 11.89 |
| Spring 2009 | -0.1007 | 7.9682 | 7.6662 | 11.337 |
| Autumn 2009 | -0.5147 | 8.3255 | 7.5511 | 11.93 |
| Winter 2010 | -0.6903 | 8.6806 | 8.0122 | 11.84 |
| Summer 2010 | -0.3684 | 8.3083 | 7.9109 | 12.118 |
| Summer 2013 | - | ---- | 7.6090 | - |
| Winter 2014 | -0.4499 | 9.3999 | 7.9408 | 12.064 |
| Summer 2014 | -0.3680 | 8.3861 | 8.3063 | 11.9724 |
| Autumn 2014 | -0.2263 | 8.0727 | 7.7276 | 12.2188 |
| Summer 2015 | -0.2853 | 8.0432 | 7.5437 | 12.0406 |
| Autumn 2015 | -0.8809 | 8.7218 | 7.7267 | 11.5516 |
| Spring 2016 | -0.6951 | 8.4628 | 7.5560 | - |
| Autumn 2016 | - | - | 7.9281 | - |
| Winter 2017 | -1.3189 | 9.4218 | 8.3341 | - |
| Summer 2017 | -0.0846 | 7.8193 | 7.3486 | - |



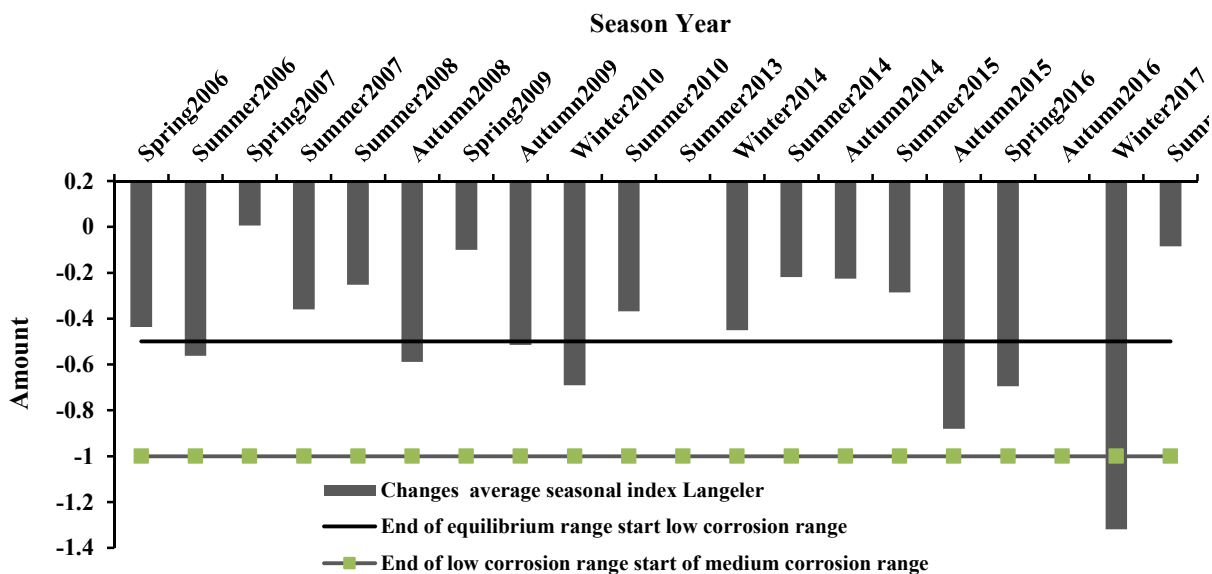


Fig. 4. Average Langelier index of water supply sources of Dehdasht and Sough city in the 2006-2017 seasons

شکل ۴- میانگین مقدار شاخص لانزلیه منابع تأمین آب شهرهای دهدشت و سوق در فصول سالهای ۱۳۸۵-۱۳۹۶

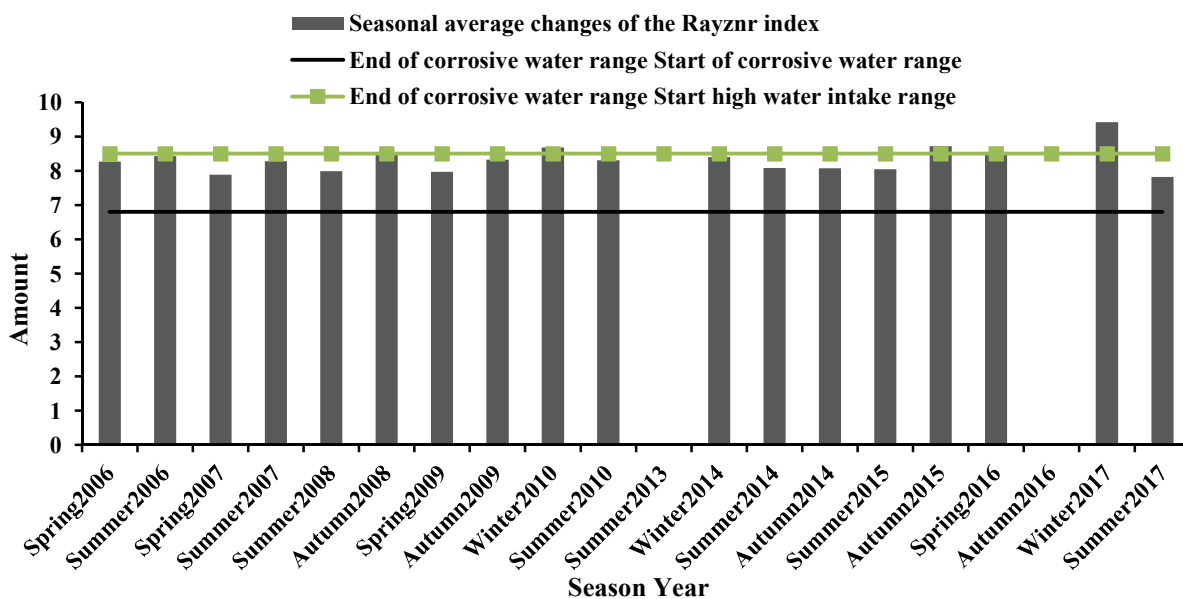


Fig. 5. Average Rayzner index of water supply resources of Dehdasht and Sough city during the 2006-2017 seasons

شکل ۵- میانگین مقدار شاخص رایزنر منابع تأمین آب شهرهای دهدشت و سوق در فصول سالهای ۱۳۸۵-۱۳۹۶

شبکه توزیع آب شهر سوق که در شکل ۲ نشان داده شده است، به ترتیب ۶۳/۸، ۶/۸، ۷/۲۸ و ۲/۸ به دست آمد که اندکی تمایل به رسوب، به طور متوسط تمایل به ته نشینت CaCO_3 و غیرتهاجمی است، علی‌رغم این واقعیت که pH متوسط منابع تأمین آب ۷/۷۸

۲-۴-۲- شاخص‌های خوردگی آب شبکه اختصاصی شهر سوق میانگین و مقدار شاخص‌های خوردگی LSI, RSI, PSI و AI در جدول ۵ نشان داده شده است. میانگین مقدار شبکه اختصاصی تأمین آب از ورودی مخزن فلزی بین راهی دره لبک تا انتهای



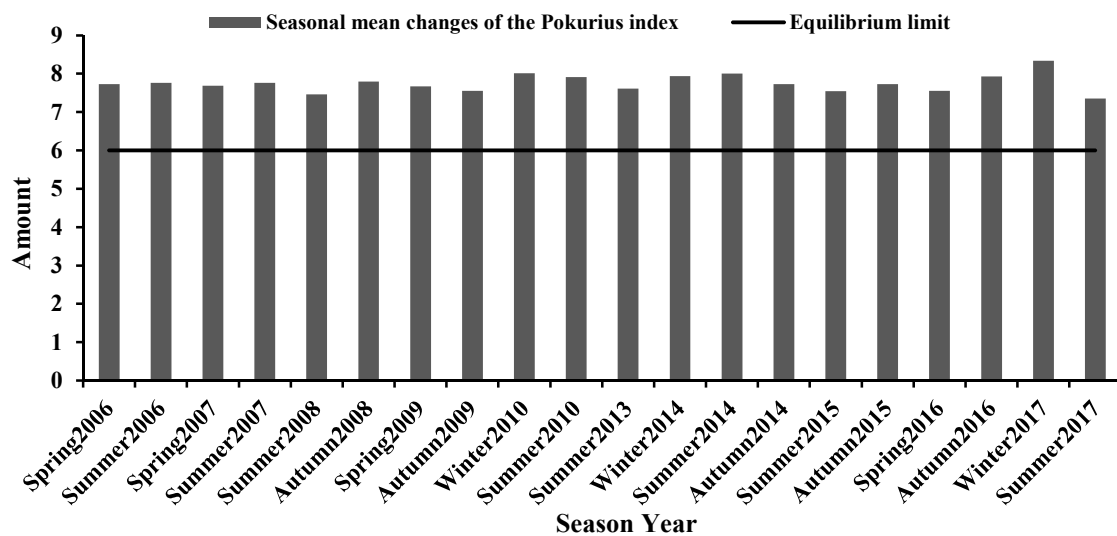


Fig. 6. Average Pokurius index of water supply sources of Dehdasht and Sough city in the 2006-2017 seasons

شکل ۶- میانگین مقدار شاخص پوکوریس منابع تأمین آب شهرهای دهدشت و سوق در فصول سال‌های ۱۳۸۵-۱۳۹۶

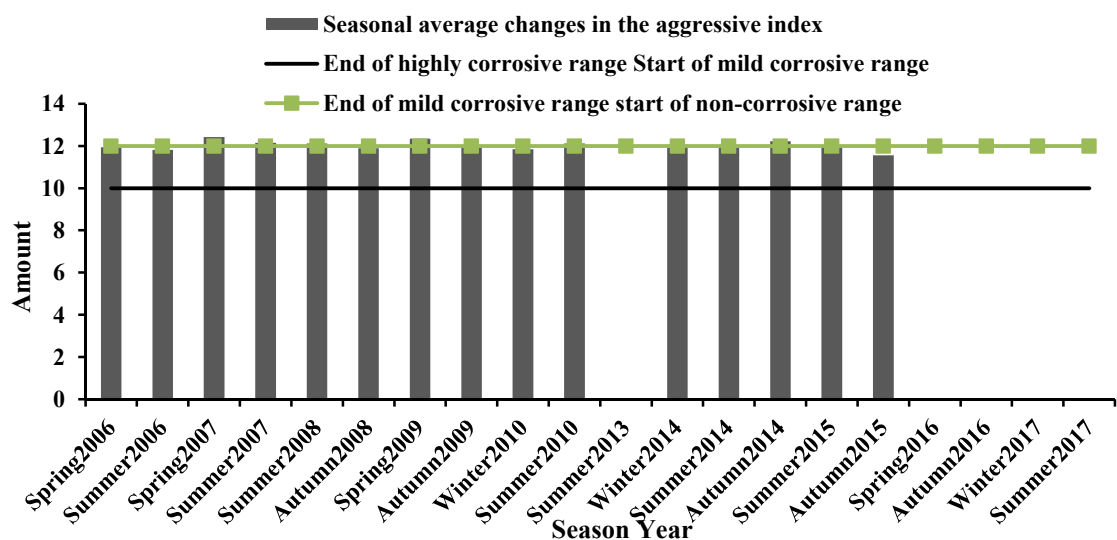


Fig. 7. Average aggressive index of water supply resources of Dehdasht and Sough city during the 2006-2017 seasons

شکل ۷- میانگین مقدار شاخص تهاجمی منابع تأمین آب شهرهای دهدشت و سوق در فصول سال‌های ۱۳۸۵-۱۳۹۶

یافته‌های این پژوهش مشاهده شد که افزایش دمای آب، ناشی از افزایش دمای محیط با بیش از ۴۸ درجه سلسیوس و گرم شدن آن در مخازن ذخیره فلزی روکار و خط انتقال فولادی روکار در اجزای شبکه توزیع آب اختصاصی شهر سوق عامل اصلی تشکیل رسوب هستند (شکل ۸ و ۹) (Salehi Servak, 2020).

بود (جدول ۲). در فصل تابستان pH آب شبکه اختصاصی شهر سوق به ۸/۵ افزایش یافته است (جدول ۵). این جدول مقدار و میانگین مقدار RSI, LSI, PSI و AI را در فصل گرم (تابستان) سال ۱۳۹۰ نشان می‌دهد. واضح است که آب شبکه اختصاصی شهر سوق تقریباً در این فصل کمی تمایل به رسوب دارد (شکل‌های ۱۰ تا ۱۳). بنابراین با توجه به



جدول ۵- مقدار شاخص‌های خوردگی شبکه اختصاصی آب شهر سوق در تابستان سال ۱۳۹۰

Table 5. Values of corrosion indices of Sough city water supply network in summer 2011

| Sampling location | Index temp. (C ^o) | LI | RSI | PI | AI | pH | Interpretation |
|--|-------------------------------|------|------|------|-------|-----|--|
| Tapa sepah reservoir | 23 | 0.26 | 8.03 | 7.53 | 12.09 | 7.5 | Corrosive |
| Entrance of the metal tank between the Labak valley path | 27 | 0.12 | 7.82 | 7.48 | 12.16 | 7.6 | |
| Exit the metal tank between the Labak valley path | 32 | 0.37 | 6.5 | 7.29 | 12.5 | 8 | |
| Entrance water storage tank Sough city | 33 | 0.89 | 6.72 | 7.14 | 13.06 | 8.5 | Super saturation and tendency to precipitate |
| Exit water storage tank Sough city | 34 | 0.94 | 6.62 | 7.16 | 13.08 | 8.5 | |
| Elementary water distribution network | 36 | 0.85 | 6.79 | 7.28 | 12.96 | 8.5 | |
| End of water distribution network | 38 | 0.89 | 6.70 | 7.27 | 12.96 | 8.5 | Sediment with low and smooth shell |
| Average index | | 0.63 | 6.86 | 7.28 | 12.8 | | |

۲-۲-۵- یافته‌های مربوط به رسوب تشکیل شده در شبکه توزیع آب شهر سوق

نمونه‌هایی از توده رسوب تشکیل شده در سه راهی‌های چدنی شبکه توزیع آب شهر در شکل ۹ نشان داده شده است. به منظور مشخص کردن نوع رسوب تشکیل شده، با توجه به مشخصات ظاهری آن، خواص آب منطقه و مقایسه ترکیب شیمیایی توده رسوب آنالیز شده موجود در شبکه توزیع آب به شرح جدول ۶ تشخیص داده شد که رسوب تشکیل شده از جنس کربناته و سیلیس بود و استحکام زیاد آن ناشی از وجود سیلیس در این ترکیب است (Salehi Servak, 2020).

۳- نتایج و بحث

بر اساس آنالیز ۸۴ نمونه آب منطقه (شهر دهدشت و سوق) از چاه‌های تغذیه گرفته تا مخازن ذخیره در فصول مختلف دوره زمانی بررسی شده بر اساس اندیس‌های آب‌شناسی هیچ‌گاه در محدوده



Fig. 8. Surfaced steel transfer line
شکل ۸- خط انتقال روکار فولادی





Fig. 9. Sedimentation formed on water distribution network components

شکل ۹- رسوب تشکیل شده در اجزاء شبکه توزیع آب

جدول ۶- نمونه آنالیز شده توسط آزمایشگاه بخش شیمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد یزد در سال ۱۳۹۷

Table 6. Sample analyzed by the chemistry laboratory, Islamic Azad University, Yazd branch (2019)

| The parameter under review | Technique used | Standard deviation(result) (n = 3) |
|--------------------------------|-----------------------|------------------------------------|
| LOI | - | 44.1% (900 °C) |
| CaO | Sedimentary titration | 56.7%±0.6 |
| Na ₂ O | Publish the flame | 0.2%±0.003 |
| K ₂ O | Publish the flame | 0.14%± 0.002 |
| Fe ₂ O ₃ | Atomic absorption | 0.24%±0.002 |
| Cl | Mohr Titration | 12.07 ± 0.2 _{ppm} |
| Zn | Atomic absorption | 251.2±2.4 _{ppm} |
| Cu | Atomic absorption | 268.1±3.1 _{ppm} |
| Cr | Atomic absorption | 2.8 ±0.03 _{ppm} |

pH، خروج گاز دی اکسید کربن و ورود مواد خارجی در مسیر هستند. نتایج این پژوهش با نتایج به دست آمده از پژوهش های چن و همکاران (Chen et al., 2004) مطابقت داشت.

آلونسو زارزا و تانر در پژوهشی نشان دادند که نهشته های چشمه های آهکی که به انحای گوناگون از آراگونیت، کلسیت و در برخی موارد دولومیت ساخته شده اند، با آرایش های جالبی از تجمع بلورها و اشکالی که به وجود می آورند مشخص می شوند. کانی شناسی و بلورشناسی این رسوبات به وسیله گروهی از عوامل پیچیده که ممکن است به صورت انفرادی یا گروهی فعالیت کند کنترل می شود. به دلیل عدم توجه آشکار به ارتباطات بین نوع کانی، شکل بلور با شرایط فیزیکوشیمیایی آب چشمه تحلیل های نادرستی در مورد این نهشته ها به عمل آمده است (Alonso-Zarza and Tanner, 2009). آرایش ظاهری بلورهای رسوب تشکیل شده در شبکه تأمین آب اختصاصی شهر سوق با پژوهش آلونسو زارزا و

رسوب گذاری قرار نداشته است (شکل های ۴ تا ۷). آنالیز نمونه آب شبکه اختصاصی شهر سوق از مخزن ذخیره آب بین راهی دره لبک تا انتهای شبکه توزیع آب که در شکل ۲ نشان داده شده است، در فصل تابستان سال ۹۰ بر اساس اندیس های آب شناسی در محدوده رسوب گذاری با قشر کم قرار داشت که عامل اصلی این رسوب گذاری افزایش درجه حرارت آب به وسیله مخازن ذخیره فلزی این ایستگاه و روکار بودن لوله های فلزی خطوط انتقال آب در مسیر مخزن ذخیره آب شهر و انتقال به شبکه توزیع آب شهر هستند (شکل های ۸ تا ۱۳). نتایج این پژوهش نشان داد که وجود رسوب در شبکه آب رسانی و توزیع انتقال آب منطقه دهدشت و سوق ارتباطی با ویژگی های شیمیایی و فیزیکوشیمیایی آب سفره زیرزمینی ندارد. بنابراین با توجه به تحلیل های انجام شده، در این پژوهش رسوبات ایجاد شده در شبکه اختصاصی آب رسانی شهر سوق مربوط به به افزایش دمای آب، فوق اشباع شدن آب، افزایش



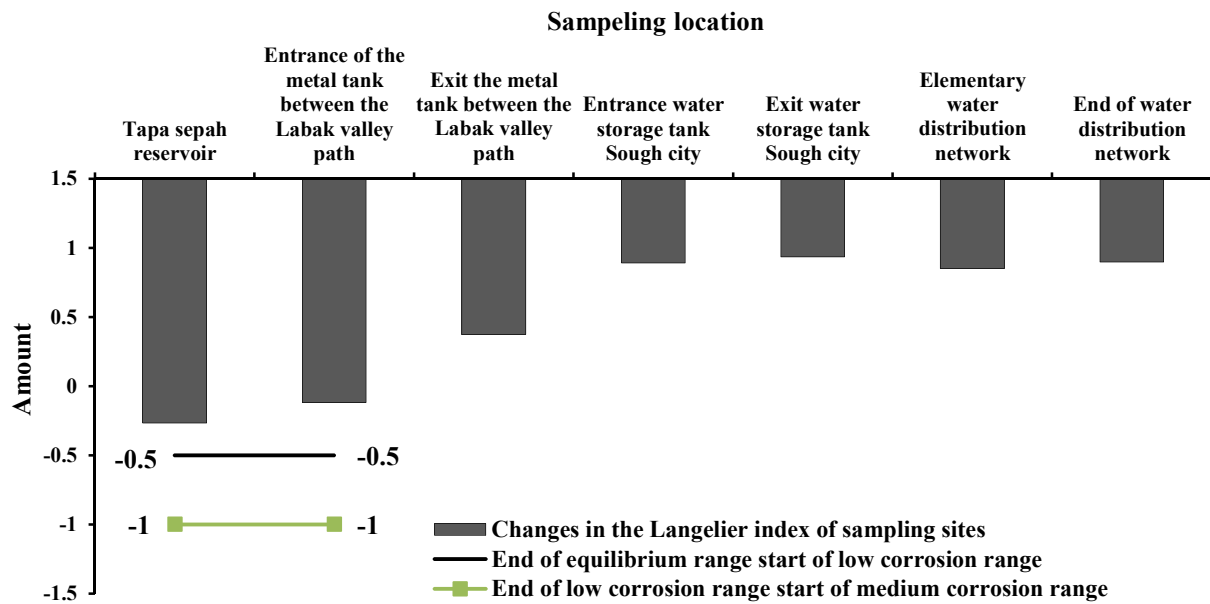


Fig. 10. Langlier index water network of Sough city in summer 2011

شکل ۱۰- اندیس لانزلیه شبکه اختصاصی آب شهر سوق در تابستان ۱۳۹۰

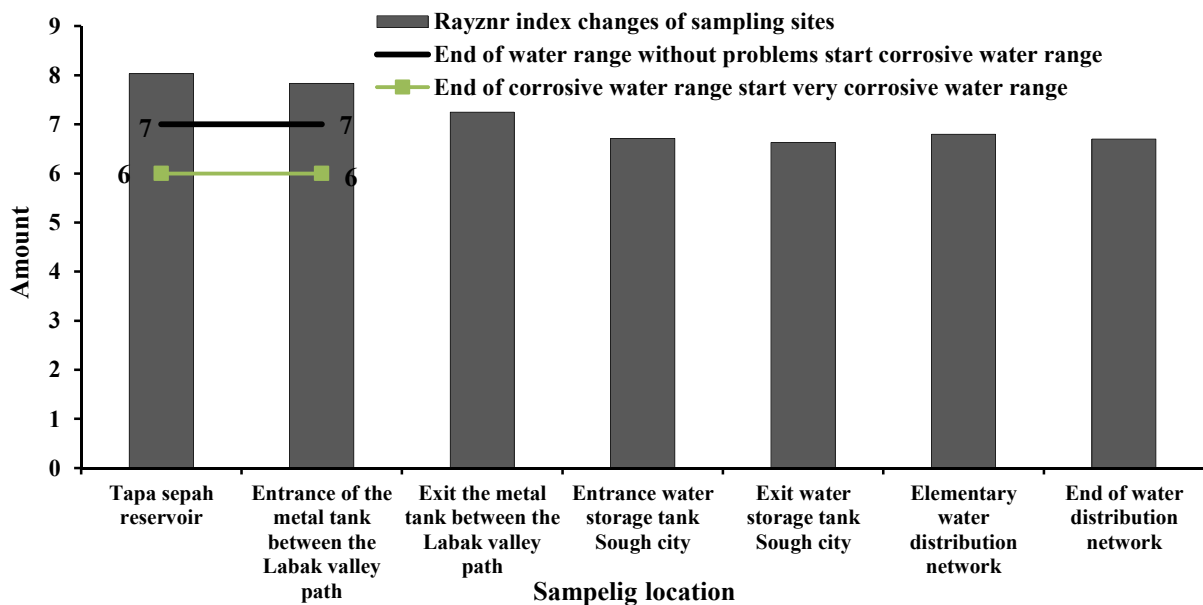


Fig. 11. Index Rayznr water network of Sough city in summer 2011

شکل ۱۱- اندیس رایزنر شبکه اختصاصی آب شهر سوق در تابستان ۱۳۹۰

کیتانو نیز کنترل درجه حرارت را بر این ته‌نشینی آراگونیت پذیرفته است اما معتقد است که آراگونیت تنها وقتی درجه حرارت آب بیش از ۶۰ درجه سلیسیوس باشد رسوب می‌کند (Kitano, 1962).

کاهش سرعت آب در لوله‌های شبکه توزیع در سطح شهر سوق

تأثر مطابقت دارند (Alonso-Zarza and Tanner, 2009).

مور، سیگل و کیتانو در پژوهش‌های خود گزارش کردند که معمولاً ته‌نشینی آراگونیت را به آب‌هایی با درجه حرارت بیش از ۴۰ تا ۴۵ درجه سلیسیوس نسبت می‌دادند (Moore, 1956, Siegel, 1965, Kitano, 1962).

Siegel, 1965, Kitano, 1962)



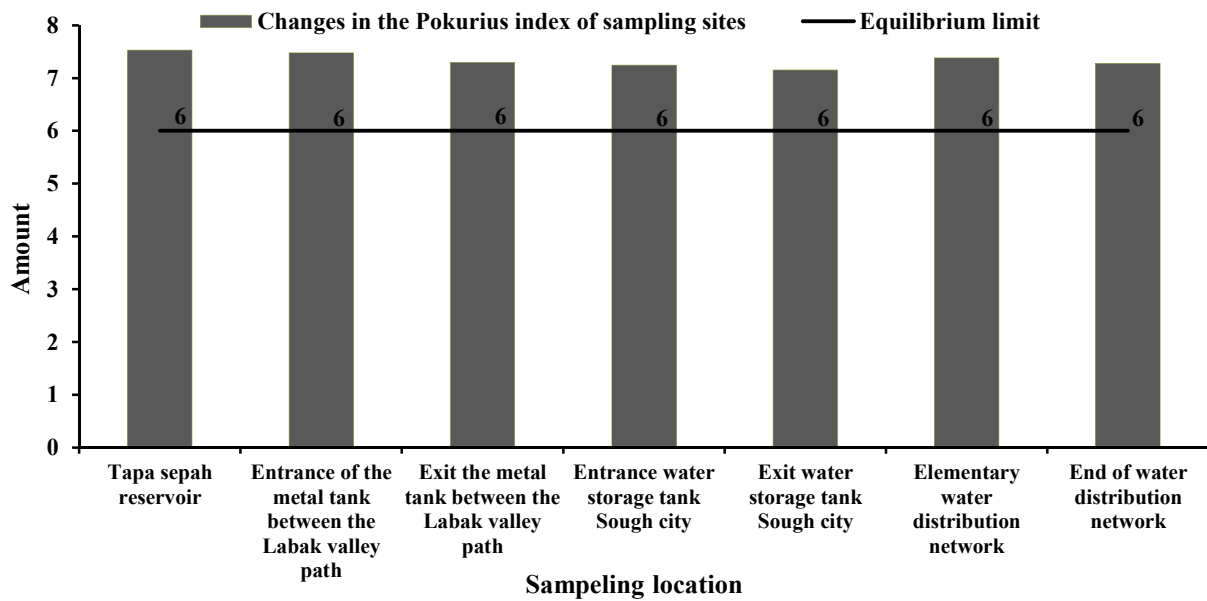


Fig. 12. The Pokurius index water network of Sough city in summer 2011

شکل ۱۲- اندیس پوکوریس شبکه اختصاصی آب شهر سوق در تابستان ۱۳۹۰

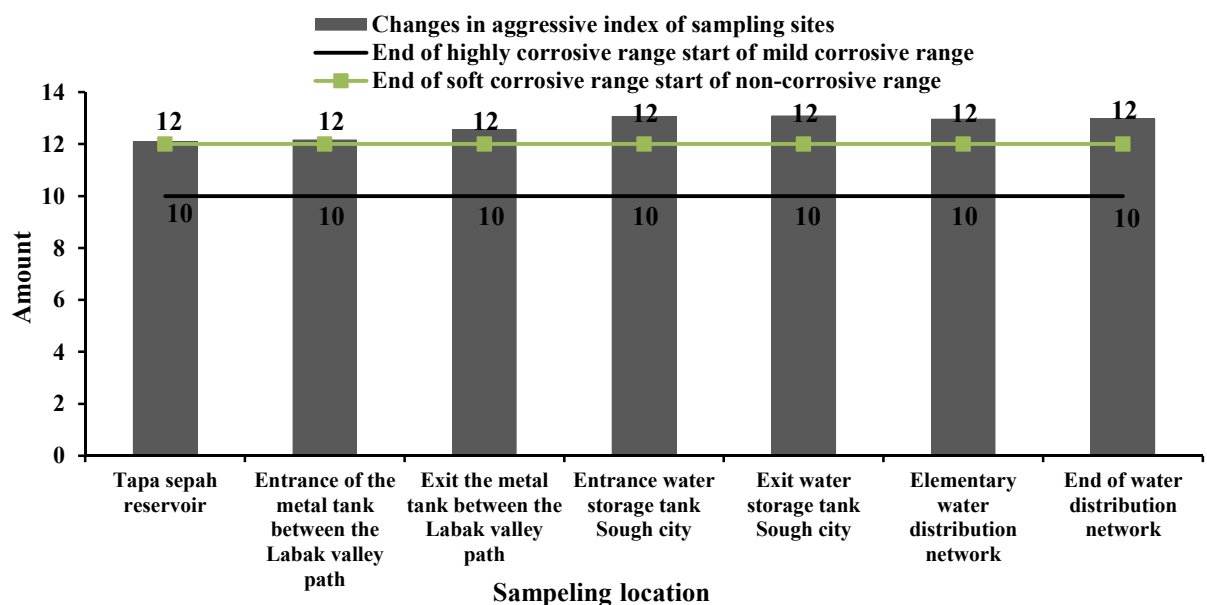


Fig. 13. Corrosion index (aggressive) water network of Sough city in summer 2011

شکل ۱۳- اندیس خوردگی (تهاجمی) شبکه اختصاصی آب شهر سوق در تابستان ۱۳۹۰

Blokker, 2012) یک معیار عالی برای جلوگیری از رسوب در شبکه آب آشامیدنی هلند، حداکثر سرعت روزانه ۰/۲۵ متر بر ثانیه است. آزمایش‌های فلاشینگ نشان می‌دهد که این معیار یک شرایط

کمتر از ۰/۳ متر در ثانیه و عامل تشدید ایجاد رسوب در شبکه توزیع بوده است. که این نتایج با نتایج پژوهش پوتوف و بلوکر که اظهار می‌کنند رسوب در شبکه‌های آب آشامیدنی می‌تواند منجر به تغییر رنگ و ناراضی‌تی شود، هم‌خوانی دارد (Pothof and



عوامل مختلفی می‌تواند باعث ایجاد رسوب شود. ارتباط بین این عوامل بسیار پیچیده است. رسوب‌گذاری یک فرایند چند مرحله‌ای است که مسبب آن نمک‌های محلول درون آب هستند. عوامل مختلف تأثیرگذار بر روی فرایند رسوب‌گذاری عبارت‌اند از: فوق اشباع بودن، دما و سرعت جریان. یکی از این نمک‌های رسوب‌گذار کربنات کلسیم است که برای کنترل و اصلاح رسوب‌گذاری آن روش‌های مختلف فیزیکی، بیولوژیکی و شیمیایی وجود دارد. امروزه کاربرد روش‌های فیزیکی و شیمیایی بسیار متداول شده است. هسته‌های اولیه در واقع تسهیل‌کننده راه رسوب‌گذاری در سیستم هستند و عوامل زیادی مانند ذرات، غبار، ارتعاش و اصطکاک می‌توانند نقش هسته اولیه را بازی کنند. رسوبات قبلی و نیز محصولات خوردگی، خود می‌توانند نقش هسته‌های اولیه را ایفا کنند. در واقع در این نوع سیستم‌ها ذرات لجن نقش هسته‌های اولیه را بازی کرده و باعث رشد سریع کریستال‌ها خواهند شد (Kheradmand, 2013).

۴- نتیجه‌گیری

در این پژوهش در دوره زمانی بررسی شده در سال‌های ۱۳۹۶-۱۳۸۵ آب شبکه آب‌رسانی منطقه شهر دهدشت و سوق از چاه‌های تغذیه گرفته تا مخازن ذخیره در فصول مختلف سال بر اساس اندیس‌های آب‌شناسی هیچ‌گاه در محدوده رسوب‌گذاری قرار نداشت. آب شبکه اختصاصی آب‌رسانی شهر سوق از مخزن فلزی ذخیره آب بین راهی دره لیک (روکار) تا انتهای شبکه توزیع آب در فصل تابستان سال ۱۳۹۰ بررسی شده بر اساس اندیس‌های آب‌شناسی در محدوده رسوب‌گذاری با قشر کم قرار داشت. عامل اصلی این رسوب‌گذاری افزایش درجه حرارت آب به وسیله مخازن ذخیره فلزی این ایستگاه و روکار بودن لوله‌های فلزی خطوط انتقال آب در مسیر مخزن ذخیره آب شهر و انتقال به شبکه توزیع آب شهر بود (شکل ۲). این نتایج حاکی از آن است که وجود رسوب در شبکه آب‌رسانی و توزیع انتقال آب شهر سوق ارتباطی با ویژگی‌های شیمیایی و فیزیکوشیمیایی آب سفره زیرزمینی ندارد. بنابراین، با توجه به تحلیل‌های انجام شده در این پژوهش رسوبات ایجاد شده در شبکه اختصاصی آب‌رسانی این شهر مربوط به افزایش دمای آب، فوق اشباع شدن آب، افزایش pH، خروج گاز دی‌اکسید کربن و ورود مواد خارجی در مسیر شبکه انتقال و توزیع آب

اولیه برای یک شبکه جدید است. اما یک الزام نیست. شبکه‌های آب آشامیدنی شامل بسیاری از نقاط با سرعت حداکثر زیر ۰/۲۵ متر در ثانیه بدون شرایط ایجاد رسوب است. معیارهای دیگری برای پیش‌بینی محل‌های حساس به رسوب و جلوگیری از رسوب در شبکه‌ها در آینده وجود دارد. معیارهای متمایزی برای اولویت دادن به عملیات فلش کردن و جلوگیری از شکایت کیفیت آب وجود دارد.

منزوی در پژوهش خود اظهار می‌کند که کمترین سرعت آب در لوله‌های شبکه آب‌رسانی شهر به این منظور در نظر گرفته می‌شود که در اثر سرعت کم، رسوب در لوله‌ها بیشتر ایجاد می‌شود و گازهای محلول در آب به صورت حباب‌های در می‌آیند که در بخش‌های بلند شبکه پخش آب جمع شده و جریان آب را مختل می‌سازد. به جز آن، کمی سرعت و یا ایستادن آب سبب تغییر مزه آب شده و از گوارایی آن می‌کاهد (Monzavi, 2013).

همچنین پژوهش خردمند در سال ۲۰۱۳ حاکی از تعیین اثر سرعت بر روی تشکیل رسوب بیانگر این مطلب است که سرعت‌های زیاد سیال گاهی مزاحم تشکیل رسوب می‌شوند و در پاره‌ای از موارد تشکیل رسوب را تشدید می‌کنند. دلیل این امر وجود لایه مرزی است. همان‌گونه که می‌دانیم لایه مرزی در انتقال جرم، ممنتوم و حرارت نقش به‌سزایی دارد. هر سه این پدیده‌ها در رسوب‌گذاری مهم هستند. از این رو تأثیر لایه مرزی در رسوب‌گذاری، طبیعی به نظر می‌رسد. رفتار لایه مرزی با رفتار محلول کاملاً متفاوت است. زبری سطح به‌طور مشخص بر روی رفتار لایه مرزی تأثیر می‌گذارد. آن قسمت از مواد محلول در آب که تمایل به رسوب‌گذاری دارند معمولاً در نواحی متلاطم زودتر رسوب می‌کنند. در صنایع بسیار دیده شده است که در قسمت مستقیم یک خط لوله هیچ رسوبی ایجاد نشده است ولی در زانویی که در قسمتی از همان خط لوله قرار دارد، رسوب‌گذاری شدید انجام شده است (Kheradmand, 2013).

در این پژوهش جنس لوله‌ها و گره‌های ناصاف (سه راهی و شیر فلکه‌ها) یکی دیگر از عوامل تشکیل رسوب در شبکه توزیع آب بودند و با ورود مواد جامد به بخش‌هایی از لوله‌های انتقال و شبکه توزیع آب به هنگام حوادث، شرایط محیطی را برای تشکیل رسوب مهیا کردند (شکل ۹).

خردمند در پژوهش ۲۰۱۳ خود اظهار می‌کند که در عمل



افزایش دمای آب حذف مخازن ذخیره روکار فلزی و محفور کردن خط انتقال فولادی پیشنهاد می‌شود. با این اقدام عامل اصلی تشکیل رسوب برطرف می‌شود و برای حذف رسوبات سنواتی تعدادی دستگاه ضد رسوب مغناطیسی به صورت پایلوت نصب شده است که تأثیرات این دستگاه‌ها پس از بررسی در یک پژوهشی ارائه خواهد شد.

۵- قدردانی

به این وسیله از مجموعه مدیریت کنترل کیفی شرکت آبفای شهری استان کهگیلویه و بویراحمد در خصوص جمع‌آوری و انجام آزمایش‌های آب و بخش شیمی دانشگاه آزاد یزد برای آنالیز نمونه رسوب تشکیل شده در شبکه آب شهر سوق که ما را یاری کردند صمیمانه تشکر می‌شود.

هستند. عامل مهم در رسوب‌گذاری در شبکه انتقال و توزیع آب این شهر، بیشتر ناشی از گرم شدن آب در مسیر انتقال به‌ویژه مخازن ذخیره فلزی و خط انتقال فولادی روکار در مسیر هستند. افزایش درجه حرارت آب در این مسیر ناشی از درجه حرارت محیط در فصل تابستان با ۴۸ درجه سلسیوس هستند. سرعت جریان آب در شبکه انتقال اختصاصی شهر سوق ۱/۲-۰/۸ متر در ثانیه و شبکه توزیع آب شهر دهدشت کمتر از ۰/۳ است که منابع تأمین آب هر دو شهر یکی بوده و در شبکه انتقال و توزیع آب شهر دهدشت این رسوب تشکیل نمی‌شود. نتایج نشان داد که سرعت آب، نقش کاتالیزوری دارد و درجه اهمیت آن نسبت به افزایش دمای آب در رسوب‌گذاری، کمتر است. بنابراین عامل اصلی رسوب در شبکه آبرسانی این شهر افزایش دمای آب است که برای جلوگیری از

References

- Alonso-Zarza, A. M. & Tanner, L. H. 2009. *Carbonates in continental settings: facies, environments and processes*, Elsevier. Pub., Amsterdam, The Netherlands.
- Barikbin, B., Khodadadi, M., Khara-Shadizadeh, M. & Azizi, M. 2005. An investigation of corrosion and sediment of Birjand drinking water resources. *8th National Conference on Environmental Health Tehran*. Tehran University of Medical Sciences. Tehran, Iran. (In Persian)
- Blokker, E., Vreeburg, J., Schaap, P. & Van Dijk, J. 2010. The self-cleaning velocity in practice. *12th Annual Conference on Water Distribution Systems Analysis (WDSA)*, Tucson, Arizona, USA.
- Chen, J., Zhang, D. D., Wang, S., Xiao, T. & Huang, R. 2004. Factors controlling tufa deposition in natural waters at waterfall sites. *Sedimentary Geology*, 166, 353-366.
- Esmaili, L. 2007. Calcium carbonate deposition in transmission lines and drinking water distribution networks of maku thin complex. *9th National Conference on Environmental Health*. Isfahan University of Medical Sciences. Isfahan, Iran. (In Persian)
- Kerri, K. D. 1992. *Operation of wastewater treatment plants: a field study training program*, American Water Works Association Pub., Denver, USA.
- Kitano, Y. 1962. A study of the polymorphic formation of calcium carbonate in thermal springs with an emphasis on the effect of temperature. *Bulletin of the Chemical Society of Japan*, 35, 1980-1985.
- Kurdi, M., Ferdows, M. S. & Maghsoudi, A. 2015. Sensitivity of corrosion and scaling indices based on ions; case study Iran. *Water Quality, Exposure and Health*, 7, 363-372.
- Kheradmand, Z. 2013. *An investigation of the cause of sedimentation, its problems and ways of coping research*, Project of Islamic Azad University of Quchan Branch, Quchan, Iran. (In Persian)
- Maeng, M., Hyun, I., Choi, S. & Dockko, S. 2015. Effects of rainfall characteristics on corrosion indices in Korean river basins. *Desalination and Water Treatment*, 54, 1233-1241.



- Moore, G. W. 1956. Aragonite speleothems as indicators of paleotemperature. *American Journal of Science*, 254, 746-753.
- Monzavi, M, T. 2013. *Urban water supply*. University of Tehran Publications, Tehran, Iran. (In Persian)
- Nikpour, B., Yousefi, Z., Mortazavi, M. S. & Noshadi, M. 2007. Survey on corrosion and sedimentation potential in drinking water system of Behshar city. 9th *National Conference on Environmental Health*. Isfahan University of Medical Sciences. Isfahan, Iran. (In Persian)
- Onsoarinezad, A. & Khanjani, M. J. 2012. Optimization of sensor placement to detect contamination in water distribution systems. 1st *International Conference on Natrava Concrete Drinking Water Reservoirs*, Rasht. Water and Wastewater Company of Golestan Province. Gorgan, Iran. (In Persian)
- WHO, 1993. *Guidelines for drinking-water quality*, World Health Organization, USA.
- Pishnamazi, S. 1998. The water and it's corrosion in industry with analysis of corroded samples. Arkan Publishing, Isfahan, Iran. (In Persian)
- Pothof, I. & Blokker, E. 2012. Dynamic hydraulic models to study sedimentation in drinking water networks in detail. *Drinking Water Engineering and Science*, 5, 87-92.
- Poulin, A., Mailhot, A., Grondin, P., Delorme, L., Periche, N. & Villeneuve, J. P. 2008. Heuristic approach for operational response to drinking water contamination. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 134, 457-465.
- Rossum, J. R. & Merrill, D. T. 1983. An evaluation of the calcium carbonate saturation indexes. *Journal-American Water Works Association*, 75, 95-100.
- Siegel, F. R. 1965. Aspects of calcium carbonate deposition in great onyx cave, Kentucky. *Sedimentology*, 4, 285-299.
- Salehi Servak, A. 2020. The investigation of sediment formation factors in drinking water distribution networks and its relationship with water properties and pollution, provision of technical and economic solutions to remove it and reduce the likelihood of re-sediment formation Souk city drinking water (case study). PhD Thesis, Yazd Branch Azad University. (In Persian)
- Tavanpour, N. & Sefolla, A. 2012. Study of sedimentation potential in drinking water pipes (case study of Shiraz water network). MSc. Thesis, Shiraz University, Faculty of Agriculture and Natural. Shiraz, Iran. (In Persian)
- Treatment, W. 1995. *Principles and practices of water supply operations*. American Water Works Association Pub., Denver, USA.

