

Corrosion and Scaling Potential in Drinking Water Distribution System: a Case Study of Mashhad. 2017

ABSTRACT

Background and Aim: Corrosion and Scaling in distribution network pipes is one of the most important indices in water quality assessment and one of the most common environmental phenomena that deteriorate water quality, color, odor, taste and also increases the concentrations of heavy metals in water. Corrosion causes entry of by-products to water and decreases pipe life and sedimentation, reduces the flow rate and the efficiency of valves and fittings. The purpose of this study was to determine the corrosion or scaling state of drinking water in Mashhad in 2017.

Materials and Methods: In this study, 72 samples were taken during 2017 to evaluate water quality characteristics, and analyzed based on the standard Methods. Then, three indices including Langlier, Ryznar and Aggressiveness Indices were programmed in Excel software and based on this, Corrosion and scaling potential of drinking water were determined.

Results: Results showed that the averages of Langlier, Ryznar and Aggressiveness Indices for water were 0.14 ± 0.48 , 6.67 ± 0.38 and 12.23 ± 0.23 , respectively. According to the Langlier and Ryznar indices, 86.1% of total samples had low scaling potential and according to Aggressive index 97.2% of total samples had scaling. Also, the results showed that 58.33% of the samples were low scaling in spring and other samples were high scaling. In addition, in the summer, 33.3% of the total samples were high scaling and other samples were low scaling.

Conclusion: The results showed that drinking water of Mashhad city was Scaling. Therefore, it is necessary to take measures to control scaling in distribution network pipes, especially in areas located in high scaling zones.

Keywords: Distribution Network, water, Corrosion, Scaling, Mashhad

Hosein Alidadi

Professor, Management & Social Determinants of Health Research Center, School of Health, Mashhad University of Medical Sciences, Mashhad, Iran.

Seyedeh Blin Tavakoli Sani

Department of Health Education and Health Promotion, Faculty of Health, Mashhad University of Medical Sciences, Mashhad, Iran.

Batoul Zarif Gharaati Oftadeh

* MSc. Department of Environmental Health Engineering, Student Research Committee, School of Health, Mashhad University of Medical Sciences, Mashhad, Iran. (Corresponding Author): zarifgb931@mums.ac.ir.

Mohammad Tafaghodi

MSc. Chemistry, Azad University of Mashhad, Mashhad, Iran.

Seyed Hossein Shamszadeh

MSc. in Water Resource Engineering, Azad University of Ferdows, Iran.

Maryam Fakhari

MSc. in Environmental geology, Azad University of Mashhad Mashhad, Iran.

Ali Asghar Navaei fezabady

MSc. Department of Environmental Health Engineering, Student Research Committee, School of Health, Mashhad University of Medical Sciences, Mashhad, Iran.

Mohsen Yazdani

PhD student of Environmental Health Engineering, Department of Environmental Health Engineering, Student Research Committee, School of Public Health, Ahvaz Jundishapur University of Medical Sciences, Ahvaz, Iran.

Received: 2018/07/05

Accepted: 2018/10/10

Document Type: Research article

► **Citation:** Alidadi H, Tavakoli Sani B, Zarif Gharaati Oftadeh B, Tafaghodi M, Shamszadeh H, Fakhari M, Navaei fezabady AA, Yazdani M. Corrosion and Scaling Potential in Drinking Water Distribution System: a Case Study of Mashhad, 2017. *Journal of Research in Environmental Health*. Winter 2019;4 (4): 272-282.

پتانسیل خوردگی و رسوب گذاری در شبکه توزیع آب آشامیدنی:

مطالعه موردی شهر مشهد، ۱۳۹۶

چکیده

زمینه و هدف: خوردگی و رسوب گذاری لوله های شبکه توزیع، یکی از شاخص های مهم ارزیابی کیفی آب و نیز از متداول ترین فرآیندهای زیان آوری است که سبب کاهش کیفیت، رنگ، بو و طعم آب آشامیدنی و افزایش فلزات سنگین در آب می گردد. خوردگی سبب ورود محصولات جانبی به آب و کاهش عمر لوله و رسوب گذاری سبب کاهش دبی و کاهش کارایی شیرها و اتصالات می گردد. مطالعه حاضر با هدف تعیین وضعیت خوردگی و یا رسوب گذاری آب شبکه توزیع آب شهر مشهد انجام شد.

مواد و روش ها: در مطالعه مقطعی حاضر، ۷۲ نمونه از سطح شهر مشهد در سال ۱۳۹۶ به منظور بررسی خصوصیات کیفی آب، برداشت و بر اساس روش های مندرج در کتاب مرجع آزمایش های آب و فاضلاب مورد آنالیز قرار گرفت. سپس سه شاخص لانتزلیه، رایزنر و تهاجمی در نرم افزار Excel برنامه نویسی شده و خوردگی و رسوب گذاری آب تعیین گردید.

یافته ها: میانگین کلی شاخص های لانتزلیه، رایزنر و تهاجمی برای آب شهر به ترتیب $0/14 \pm 48/0$ ، $6/67 \pm 23/23$ و $12/2 \pm 0/23$ بود. بر اساس شاخص لانتزلیه و رایزنر، $86/1\%$ از کل نقاط مورد مطالعه رسوب گذار کم می باشند و بر اساس شاخص تهاجمی، $97/2\%$ از کل نقاط رسوب گذار می باشند. همچنین نتایج نشان داد $58/3\%$ نمونه های بررسی شده در فصل بهار رسوب گذاری کم و سایر نمونه ها رسوب گذار زیاد می باشند. در فصل تابستان $23/3\%$ از کل نمونه ها رسوب گذار زیاد و سایر نمونه ها رسوب گذار کم می باشند.

نتیجه گیری: بر اساس نتایج، آب شبکه توزیع آب آشامیدنی شهر مشهد دارای پتانسیل رسوب گذاری است، لذا اندیشیدن تدابیری در زمینه کنترل رسوب گذاری در شبکه توزیع آب شرب به خصوص در مناطق با رسوب گذار زیاد امری ضروری است.

کلید واژه ها: آب، خوردگی، رسوب گذاری، شبکه توزیع، مشهد

حسین علیدادی

استاد، گروه مهندسی بهداشت محیط، مرکز تحقیقات مدیریت و عوامل اجتماعی مؤثر بر سلامت، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی مشهد، مشهد، ایران.

سیده بلین توکلی ثانی

استادیار، گروه آموزش بهداشت، مرکز تحقیقات مدیریت و عوامل اجتماعی مؤثر بر سلامت، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی مشهد، مشهد، ایران.

بتول ظریف قرائتی افتاده

* دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی بهداشت محیط، کمیته تحقیقات دانشجویی، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی مشهد، مشهد، ایران. نویسنده مسئول: zarifgb931@mums.ac.ir

محمد تفقیدی

کارشناس ارشد شیمی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد مشهد، مشهد، ایران.

سید حسین شمس زاده

کارشناس ارشد مهندسی منابع آب، دانشگاه آزاد اسلامی، فردوس، ایران.

مریم فخاری

کارشناس ارشد زمین شناسی زیست محیطی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه آزاد اسلامی، مشهد، ایران.

علی اصغر نوائی فیض آبادی

دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی بهداشت محیط، کمیته تحقیقات دانشجویی، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی مشهد، مشهد، ایران.

محسن یزدانی

دانشجوی دکترای مهندسی بهداشت محیط، گروه مهندسی بهداشت محیط، کمیته تحقیقات دانشجویی، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی جندی شاپور اهواز، اهواز، ایران.

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۴/۱۴

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۷/۱۹

نوع مقاله: مقاله پژوهشی

◀ **استناد:** علیدادی ح، توکلی ثانی ب، ظریف قرائتی افتاده ب، تفقیدی م، شمس زاده ح، فخاری م، نوائی فیض آبادی ع، یزدانی م. پتانسیل خوردگی و رسوب گذاری در شبکه توزیع آب آشامیدنی: مطالعه موردی شهر مشهد، ۱۳۹۶. *فصلنامه پژوهش در بهداشت محیط*. زمستان ۱۳۹۷؛ ۴: ۲۷۲-۲۸۲.

مقدمه

تحقیقات انجام شده بر روی آب آشامیدنی بسیاری از کشورها نشان می‌دهد فرآیند خوردگی و رسوب‌گذاری در لوله‌های شبکه توزیع آب آشامیدنی، یکی از متداول‌ترین فرآیندهای زیان‌آوری است که اثرات سوئی بر بهداشت و سلامت شهروندان و مسائل اقتصادی، اجتماعی و فنی بیولوژیکی ایجاد می‌کند و مرتبط با تغییرات pH، دی‌اکسیدکربن، سختی و قلیائیت، درجه حرارت، سرعت آب، جامدات محلول، اکسیژن محلول و کلر باقی‌مانده می‌باشد (۲،۱). طبق استاندارد ISO ۸۰۴۴، خوردگی برهمکنش فیزیکی و شیمیایی بین فلز و محیط اطراف است که نتیجه آن تغییر خاص فلز بوده و سبب صدماتی به فلز، محیط پیرامون و یا سیستم‌های فنی که در آن شرکت دارند، می‌گردد (۳). رسوب‌گذاری نیز شامل ترکیب یون‌های فلزی دوفرفیتی موجود در آب با عوامل سختی است. عمده‌ترین رسوبات در شبکه توزیع آب آشامیدنی شامل: کربنات کلسیم، کربنات منیزیم، سولفات کلسیم و کلراید منیزیم می‌باشد. پایداری آب باعث عدم خوردگی و رسوب‌گذاری آن می‌شود، بنابراین تمایل آب به خوردگی و رسوب‌گذاری با پایداری آب مشخص می‌شود. آب پایدار، تمایل به خوردگی و رسوب‌گذاری کمی دارد و مطلوب‌ترین آب برای آشامیدن است (۴). خوردگی و رسوب‌گذاری می‌تواند سبب مشکلاتی مانند مسدود شدن لوله‌ها، افت فشار، کاهش دبی عبوری، ایجاد حفره در لوله‌ها، کاهش طول عمر تأسیسات و هدررفت آب گردد (۵). این مشکلات باعث افزایش هزینه بهره‌برداری تأسیسات آبی خواهد شد. خوردگی سبب ورود فلزات سنگین (آهن، سرب، مس، روی، آرسنیک و کادمیوم) از طریق لوله‌های شبکه توزیع به آب شده و بر روی سلامت و بهداشت عمومی و کیفی آب تأثیر نامطلوب می‌گذارد (۶). سرب، یک مسموم کننده عمومی است و باعث تخریب سیستم اعصاب مرکزی و محیطی می‌شود. مس و روی در غلظت‌های بالا می‌توانند باعث مسمومیت شوند. آرسنیک که از شبه فلزات سمی است، در صورت بلع از طریق آب آلوده، باعث ایجاد مشکلات سلامتی شدید مانند سرطان، بیماری‌های قلبی - عروقی و فشارخون بالا می‌گردد.

علاوه بر این مشکلات، خوردگی باعث رشد باکتری‌ها در آب و بالا رفتن کدورت آب شده و کیفیت آب را از نظر رنگ، بو، مزه و زیبایی‌شناسی کاهش می‌دهد (۷).

مسائل مربوط به خوردگی و رسوب‌گذاری، درصد قابل توجهی از درآمد سالیانه کشورها را به خود اختصاص می‌دهد. در ژاپن، بریتانیا، استرالیا و ایالات متحده آمریکا سالانه بیش از ۴ درصد تا ۵ درصد تولید ناخالص ملی این کشور، صرف زیان‌های ناشی از خوردگی و جلوگیری از آن می‌شود (۲). در کشور ما سالانه بیش از ۳۰٪ آب‌های توزیعی (متوسط جهانی ۸٪) به علت پوسیدگی حاصل از خوردگی لوله‌های انتقال و توزیع آب هدر می‌رود (۸). پایداری آب، باعث عدم خوردگی و رسوب‌گذاری آن می‌شود، بنابراین تمایل به خوردگی و رسوب‌گذاری، با پایداری آب مشخص می‌شود. آب پایدار رسوب‌گذاری، تمایل به خوردگی و رسوب‌گذاری کمی دارد و مطلوب‌ترین آب برای آشامیدن می‌باشد. شاخص‌های کنترل خوردگی و رسوب‌گذاری طبق استانداردهای معتبر جهانی از جمله استاندارد آژانس حفاظت محیط زیست آمریکا، باید حداقل هر ۲ سال یک‌بار برای شبکه‌های توزیع با منبع سطحی و سالی یک‌بار برای شبکه‌های توزیع با منبع زیرزمینی تعیین شود و آب‌های مصرفی برای آشامیدن نباید خورنده باشند (۸،۶).

شهر مشهد مرکز استان خراسان رضوی و دارای ۳ میلیون نفر جمعیت است و از نظر اقلیمی، جزء مناطق خشک محسوب می‌شود (۵). بر اساس گزارشات انجام شده، شبکه توزیع آب آشامیدنی شهر نیز در برخی نقاط فرسوده می‌باشد (۱۰،۹)، بنابراین کنترل دائمی کیفیت آب آشامیدنی در این شهر امری ضروری می‌باشد (۱۱،۹). با توجه به عدم وجود سابقه قبلی انجام چنین تحقیقی در شهر مشهد و نبود الزامات قانونی و استاندارد کیفیت آب و به‌منظور ارزیابی وضعیت خوردگی و رسوب‌گذاری آب شبکه توزیع در کشور، انجام مطالعه با توصیفی از وضعیت آب شرب شهر مشهد لازم می‌باشد.

اساس دستورالعمل‌های کتاب استاندارد متد ۲۰۰۵ صورت گرفت (۱۲). آزمایشات تیترمتری شامل: سختی موقت و دائم، منیزیم، کلسیم و قلیائیت و آزمایشات دستگاهی شامل: سنجش دما، هدایت الکتریکی و pH بود که در محل نمونه برداری و توسط دستگاه‌های هدایت‌سنج و pH متر پرتابل WTW ساخت کشور آلمان با دقت بیش از ۰/۰۱ اندازه‌گیری شدند. پس از نمونه برداری، نمونه‌ها در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد به آزمایشگاه شیمی آب و فاضلاب شهر مشهد منتقل گردید. مقدار کل جامدات محلول در آب با استفاده از رابطه هدایت الکتریکی با جامدات محلول EC $(TDS = 0.65 - 0.55)$ محاسبه شد. سپس شاخص‌های لانژلیه، رایزنر و ته‌اجمی محاسبه شد، سپس بر اساس نتایج حاصل، وضعیت کیفی نمونه‌های آب به سه دسته رسوب‌گذار^۳، خنثی^۴ و خورنده^۵ تقسیم شدند.

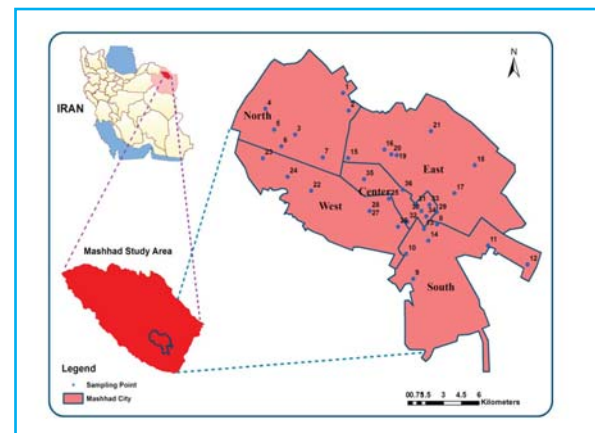
شاخص‌های لانژلیه^۵، رایزنر^۶ و شاخص ته‌اجمی^۷ (۱۴، ۱۳) برای سنجش رسوب‌گذاری و خوردگی توسط نرم‌افزار اکسل طرح‌ریزی شدند. این شاخص‌ها از طریق فرمول و به‌وسیله متغیرهای کل جامدات محلول، سختی کلسیم، قلیائیت کل، درجه حرارت آب، pH و pHs^۸ محاسبه می‌شود (۵).

پس از محاسبه اندیس‌های خوردگی، نتایج حاصل با استفاده از نرم‌افزار آماری SPSS، ورژن ۲۱ جهت آنالیزهای توصیفی (فراوانی، شاخص‌های میانگین، انحراف معیار)، تحلیل واریانس (مقایسه بین تغییرات متغیرها در بازه زمانی و مکانی) و تحلیل خوشه‌ای (برای گروه‌بندی داده‌ها، با توجه به شباهت یا درجه نزدیکی آن‌ها) مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند.

این تحقیق با هدف شناخت وضعیت کیفی آب شرب شهر مشهد بر اساس تعیین وضعیت احتمالی خوردگی و یا رسوب‌گذاری موجود در شبکه توزیع آب آشامیدنی و ارائه راهکارهای اصلاحی لازم جهت حل مشکلات احتمالی انجام گرفت.

روش کار

در این مطالعه مقطعی، شبکه توزیع شهر مشهد به ۵ منطقه و ۳۶ ایستگاه با پراکندگی یکنواخت جهت نمونه‌برداری تقسیم شد (شکل ۱).



شکل ۱. ایستگاه‌های انتخابی برای نمونه‌برداری در سطح شهر مشهد

محل انتخاب ایستگاه‌های نمونه‌گیری بر اساس حضور چاه‌های جاذب و تراکم جمعیت انسانی بود. نمونه‌ها در دو مرحله (اوایل بهار و اواخر خرداد ماه ۱۳۹۶ جهت بررسی تأثیر احتمالی دمای محیط بر وضعیت خوردگی یا رسوب‌گذاری) از نظر شاخص‌های فیزیکی و شیمیایی مورد بررسی و آنالیز قرار گرفتند. تعداد نمونه‌ها در هر مرحله ۳۶ مورد بود و در مجموع ۷۲ نمونه مورد آزمایش قرار گرفت. نمونه‌ها در ظروف پلی‌اتیلنی یک لیتری جهت انجام آزمایش متعدد ذخیره شدند. قبل از نمونه‌برداری، ۲ دقیقه آب در لوله جریان یافته و سپس نمونه برداشت گردید. آزمایش در دو دسته کلی آزمایش‌های دستگاهی و تیترمتری بر

1. Total Dissolved Solids
2. Scaling
3. Neutral
4. Corrosive
5. Langlier Saturation Index (LSI)
6. Ryznar Stability Index (RSI)
7. Aggressive Index(AI)
8. pH Saturation

یافته‌ها

در این مطالعه پارامترهای فیزیکی و شیمیایی آب دخیل در خوردندگی و رسوب‌گذاری سنجش شدند که نتایج این آنالیزها در فصل بهار و تابستان به ترتیب در جدول ۱ و ۲ ارائه شده است. بر اساس نتایج مطالعه، اختلاف معناداری در تغییرات شاخص‌های خوردندگی LSI و RI در ایستگاه‌های مختلف وجود داشت (p AI=۰/۸۳، p RI=۰/۴۹، p LSI=۰/۳۶۱).

جدول ۱. محاسبه شاخص‌های پایداری در فصل بهار

ایستگاه	EC ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	pH	TDS (mg/l)	قلیائیت کل (mg/l.CaCO ₃)	سختی کلسیم (mg/l.CaCO ₃)	LSI	RI	AI
۱	۵۲۰	۷/۹۵	۳۳۸/۹	۲۳۱/۸	۱۰۰	۰/۵۷	۶/۸۱	۱۲/۳۲
۲	۵۴۰	۷/۸۵	۳۴۰/۲	۲۴۴	۱۰۰	۰/۴۹	۶/۸۷	۱۲/۲۴
۳	۶۲۹	۸	۳۹۶/۳	۲۱۹/۶	۱۵۰	۱/۰۶	۵/۸۷	۱۲/۵۲
۴	۵۹۲	۷/۸۳	۳۷۳	۲۰۱/۳	۱۲۵	۰/۴۸	۵/۸۷	۱۲/۳۲
۵	۶۳۶	۷/۸۸	۴۰۰/۷	۲۲۵/۷	۱۲۵	۰/۹۸	۵/۹۳	۱۲/۳۳
۶	۶۱۴	۷/۸۱	۳۸۶/۸	۲۱۳/۵	۱۴۰	۰/۹۳	۵/۹۴	۱۲/۲۹
۷	۵۷۵	۷/۹	۳۶۲/۳	۲۰۱/۳	۱۲۵	۰/۹۵	۶	۱۲/۳۰
۸	۱۱۵۷	۷/۸۱	۷۲۸/۹	۱۸۳	۱۷۵	۰/۴۴	۶/۹۴	۱۲/۳۲
۹	۱۱۶۶	۷/۸۸	۷۳۴/۶	۱۷۰/۸	۱۷۵	۰/۹۸	۵/۶۳	۱۲/۳۶
۱۰	۷۸۴	۷/۸۶	۴۳۹/۹	۱۹۵/۲	۱۳۵	۰/۴۹	۶/۹۱	۱۲/۲۸
۱۱	۱۱۱۸	۷/۸۲	۷۰۴/۳	۱۷۰/۸	۱۷۵	۰/۴۹	۶/۷۹	۱۲/۳۰
۱۲	۱۰۶۵	۷/۷۸	۶۷۱	۱۹۵/۲	۱۵۰	۰/۴۷	۶/۸۴	۱۲/۲۵
۱۳	۱۶۲۱	۷/۶۳	۱۰۲۱	۱۹۵/۲	۲۰۰	۰/۴۳	۶/۷۸	۱۲/۲۲
۱۴	۱۲۳۱	۷/۷۶	۸۶۸/۱	۱۹۵/۲	۱۷۵	۰/۴۹	۶/۷۵	۱۲/۲۹
۱۵	۸۲۳	۷/۷۸	۵۱۸/۵	۱۹۵/۲	۱۰۰	۰/۴۱	۶/۹۷	۱۲/۰۷
۱۶	۱۱۴۱	۷/۹۱	۷۱۸/۸	۱۷۰/۸	۱۸۰	۱/۰۲	۵/۸۷	۱۲/۴۰
۱۷	۱۰۲۴	۷/۸۷	۶۴۵/۱	۱۸۳	۱۵۰	۰/۵۳	۶/۸	۱۲/۳۱
۱۸	۱۰۲۹	۷/۹	۶۴۸/۳	۱۸۹/۱	۱۰۰	۰/۴۰	۷/۱	۱۲/۱۸
۱۹	۱۱۰۷	۷/۸۲	۶۹۷/۴	۱۸۳	۲۰۰	۱/۰۱	۵/۸۱	۱۲/۳۷
۲۰	۱۰۴۰	۷/۴۲	۶۵۵/۲	۲۲۵/۷	۲۲۵	۰/۲۵	۶/۹۲	۱۲/۱۳
۲۱	۹۳۷	۷/۶۳	۵۰۹/۳	۲۱۳/۵	۱۹۰	۰/۳۷	۶/۸۹	۱۲/۲۴
۲۲	۱۰۷۶	۷/۸۵	۶۷۷/۹	۱۷۶/۹	۱۸۵	۰/۹۹	۵/۸۷	۱۲/۳۶
۲۳	۶۲۵	۷/۹	۳۹۳/۸	۲۱۳/۵	۱۳۰	۰/۹۹	۲/۹۲	۱۲/۳۴
۲۴	۶۲۷	۷/۸۴	۳۹۵	۲۱۳/۵	۱۳۵	۰/۹۵	۵/۹۵	۱۲/۳۰
۲۵	۹۰۱	۷/۸۱	۵۶۷/۶	۱۸۳	۱۶۰	۰/۵۱	۶/۷۹	۱۲/۲۸
۲۶	۸۸۸	۷/۸۴	۵۵۹/۴	۱۸۳	۱۵۰	۰/۵۱	۶/۸۲	۱۲/۲۸
۲۷	۷۸۶	۷/۹	۴۹۵/۲	۱۸۳	۱۳۵	۱/۰۳	۵/۸۴	۱۲/۲۹

ادامه جدول ۱. محاسبه شاخص‌های پایداری در فصل بهار

ایستگاه	EC ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	pH	TDS (mg/l)	قلیائیت کل (mg/l.CaCO ₃)	سختی کلسیم (mg/l.CaCO ₃)	LSI	RI	AI
۲۸	۸۷۶	۷/۷۴	۵۵۱/۹	۱۹۵/۲	۱۷۰	۰/۳۹	۶/۹۵	۱۲/۲۶
۲۹	۱۱۱۵	۷/۸۹	۷۰۲/۵	۱۸۳	۲۰۵	۰/۹۹	۵/۹۲	۱۲/۴۶
۳۰	۱۰۱۸	۸/۰۹	۶۴۱/۳	۱۷۶/۹	۱۷۵	۱/۲۱	۵/۶۸	۱۲/۵۸
۳۱	۱۰۹۵	۷/۸۴	۶۸۹/۹	۱۷۰/۸	۱۷۵	۰/۵۴	۶/۷۶	۱۲/۳۲
۳۲	۱۰۴۴	۷/۹۴	۶۵۷/۷	۱۷۰/۸	۱۷۵	۱/۰۴	۲/۸۶	۱۲/۴۲
۳۳	۱۰۹۸	۷/۸۸	۶۹۱/۷	۱۸۳	۱۷۵	۱/۰۱	۵/۸۶	۱۲/۳۹
۳۴	۱۰۹۱	۷/۸۸	۶۸۷/۳	۱۷۰/۸	۱۷۵	۰/۴۸	۶/۹۲	۱۲/۳۶
۳۵	۹۰۳	۷/۸۴	۵۷۲	۱۹۵/۲	۱۷۵	۰/۴۹	۶/۸۳	۱۲/۳۷
۳۶	۹۹۷	۷/۰۴	۶۲۸/۱	۱۸۳	۱۷۵	۰/۱۷	۶/۷	۱۱/۵۵
میانگین	۹۲۹/۸۹	۷/۸۲	۵۸۷/۵	۱۹۴/۰۱	۱۵۸/۱	۰/۶۸	۶/۴۵	۱۲/۲۹
انحراف معیار	۲۴۳/۱۲	۰/۱۷	۱۵۸/۲	۱۹/۳۹	۳۱/۸۳	۰/۲۹	۰/۴۹	۰/۱۶

میانگین دمای آب در بهار برابر با ۲۷ درجه سانتی گراد اندازه‌گیری شد.

جدول ۲. محاسبه شاخص‌های پایداری در فصل تابستان

ایستگاه	EC ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	pH	TDS (mg/l)	قلیائیت کل (mg/l.CaCO ₃)	سختی کلسیم (mg/l.CaCO ₃)	LSI	RI	AI
۱	۵۴۴/۵	۷/۶۵	۳۴۷	۲۳۱/۸	۱۰۵	۰/۲۳	۶/۹	۱۲/۰۴
۲	۵۴۴	۷/۶۹	۳۴۵/۲	۲۳۱/۸	۱۱۰	۰/۲۹	۶/۸۹	۱۲/۱
۳	۶۳۳/۵	۷/۸۸	۴۰۱/۹	۲۰۷/۴	۱۳۰	۰/۴۹	۶/۸۹	۱۲/۳۱
۴	۶۰۳/۵	۷/۸۶	۳۸۷/۵	۲۰۱/۳	۱۰۵	۰/۳۷	۶/۸۷	۱۲/۱۹
۵	۱۰۰۰	۷/۹	۴۰۳/۲	۲۰۱/۳	۱۳۵	۱/۰۲	۵/۸۶	۱۲/۳۳
۶	۶۲۴/۵	۷/۸۵	۴۰۰/۱	۲۱۳/۵	۱۷۵	۱/۱۱	۵/۶۴	۱۲/۴۲
۷	۶۰۷/۵	۷/۹۳	۴۰۳/۲	۲۱۳/۵	۱۷۵	۱/۱۹	۵/۵۶	۱۲/۵۰
۸	۱۰۲۶	۷/۹۱	۵۶۲	۱۸۹/۱	۱۲۰	۰/۴۳	۶/۹۰	۱۲/۲۷
۹	۱۱۸۷/۵	۷/۹۸	۷۶۱/۷	۱۵۲/۵	۱۴۰	۰/۴۷	۶/۸۹	۱۲/۳۱
۱۰	۸۰۱/۵	۷/۹	۵۱۶	۱۲۸/۱	۱۲۵	۰/۲۸	۶/۸۷	۱۲/۱۰
۱۱	۱۰۰۰	۷/۵۷	۷۵۷/۹	۳۰۵	۱۰۵	۰/۲۳	۶/۹۲	۱۲/۰۸
۱۲	۱۰۱۹/۵	۷/۷۱	۶۱۳/۶	۱۸۹/۱	۱۴۰	۰/۳۰	۶/۹۳	۱۲/۱۳
۱۳	۱۴۹۹/۵	۷/۷۶	۸۰۰/۷	۱۸۹/۱	۱۷۵	۰/۴۳	۶/۸۹	۱۲/۲۸
۱۴	۱۰۱۸	۷/۶۶	۷۶۲/۲	۱۹۵/۲	۱۷۰	۰/۳۴	۶/۹۹	۱۲/۱۸
۱۵	۸۳۶	۷/۸۳	۵۳۴/۹	۱۷۰/۸	۱۵۰	۰/۴۱	۶/۹۰	۱۲/۲۴
۱۶	۱۱۷۳/۵	۸	۷۵۹/۸	۱۶۴/۷	۱۷۵	۱/۰۲	۵/۹۷	۱۲/۴۶
۱۷	۱۰۱۶/۵	۷/۸	۶۳۵/۷	۱۸۹/۱	۱۳۰	۰/۳۵	۶/۹۰	۱۱/۸۹
۱۸	۱۰۰۵/۵	۷/۸	۶۱۸/۷	۱۸۳	۱۴۵	۰/۳۹	۶/۹۲	۱۲/۲۲
۱۹	۱۱۰۶/۵	۸/۰۹	۶۹۶/۸	۱۴۰/۳	۱۱۵	۰/۴۶	۶/۹۳	۱۲/۳
۲۰	۱۰۸۸/۵	۷/۶۵	۷۱۶/۳	۱۹۵/۲	۱۶۰	۰/۳۰	۶/۹۱	۱۲/۱۴

ادامه جدول ۲. محاسبه شاخص‌های پایداری در فصل تابستان

ایستگاه	EC ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	pH	TDS (mg/l)	قلیائیت کل (mg/l.CaCO ₃)	سختی کلسیم (mg/l.CaCO ₃)	LSI	RI	AI
۲۱	۸۸۷	۷/۶۸	۵۲۷/۳	۲۱۹/۶	۱۸۰	۰/۴۵	۶/۷۸	۱۲/۲۸
۲۲	۱۰۶۵	۸	۶۶۴	۱۶۴/۷	۱۳۵	۱/۰۱	۵/۹۸	۱۲/۳۵
۲۳	۶۳۵/۵	۷/۸۷	۴۰۰/۷	۲۱۳/۵	۱۷۵	۱/۱۳	۵/۶۲	۱۲/۴۴
۲۴	۶۳۰	۷/۹۴	۳۹۸/۸	۲۱۳/۵	۱۷۵	۱/۲	۵/۵۵	۱۲/۵۱
۲۵	۹۳۷/۵	۷/۷۳	۶۱۳/۶	۱۸۳	۱۵۵	۰/۳۵	۵/۹۳	۱۲/۱۸
۲۶	۸۶۵/۵	۷/۹	۵۳۱/۱	۱۸۹/۱	۱۳۵	۰/۴۸	۶/۹۴	۱۲/۳۱
۲۷	۸۰۷/۵	۷/۹۳	۵۲۲/۳	۱۸۹/۱	۱۳۵	۱/۰۱	۵/۹۱	۱۲/۳۴
۲۸	۹۶۳/۵	۷/۸۶	۶۲۲/۱	۱۷۰/۸	۱۶۰	۰/۴۶	۶/۶۴	۱۲/۳۱
۲۹	۱۰۵۹	۷/۷۷	۶۳۱/۹	۱۷۰/۸	۱۶۰	۰/۳۷	۶/۹۱	۱۲/۲۱
۳۰	۹۲۲/۵	۸/۱۶	۵۲۱	۱۶۴/۷	۱۵۰	۱/۲۳	۵/۷۱	۱۲/۵۵
۳۱	۱۰۶۸	۷/۹۲	۶۵۵/۸	۱۵۸/۶	۱۵۵	۰/۴۷	۶/۹۷	۱۲/۳۱
۳۲	۱۰۷۴/۵	۷/۹۵	۶۹۶/۲	۱۵۲/۵	۱۶۵	۱/۰۱	۵/۹۳	۱۲/۳۵
۳۳	۱۰۶۹۳۵	۸/۰۲	۶۵۵/۸	۱۵۸/۶	۱۸۵	۱/۱۵	۵/۷۲	۱۲/۴۹
۳۴	۱۰۶۴/۵	۷/۸۸	۶۳۵/۹	۱۶۴/۷	۱۵۵	۰/۴۵	۶/۹۸	۱۲/۲۹
۳۵	۹۳۳	۷/۷۶	۶۰۳/۵	۱۹۵/۲	۱۴۵	۰/۳۸	۶/۸۳	۱۲/۲۱
۳۶	۱۰۳۶/۵	۸/۰۵	۶۷۷/۹	۱۷۰/۸	۱۷۵	۱/۱۹	۵/۶۸	۱۲/۵۳
میانگین	۹۲۶/۳۹	۷/۸۶	۷۵۸/۹۵	۱۸۸/۰۸	۱۴۷/۹	۰/۶۲	۶/۵۳	۱۲/۲۸
انحراف معیار	۲۱۳/۴۲	۰/۱۴	۱۳۴/۴	۳۱/۸۶	۲۳/۷۴	۰/۳۵	۰/۵۶	۰/۱۵

میانگین دمای آب در بهار برابر با ۳۰ درجه سانتی‌گراد اندازه‌گیری شد.

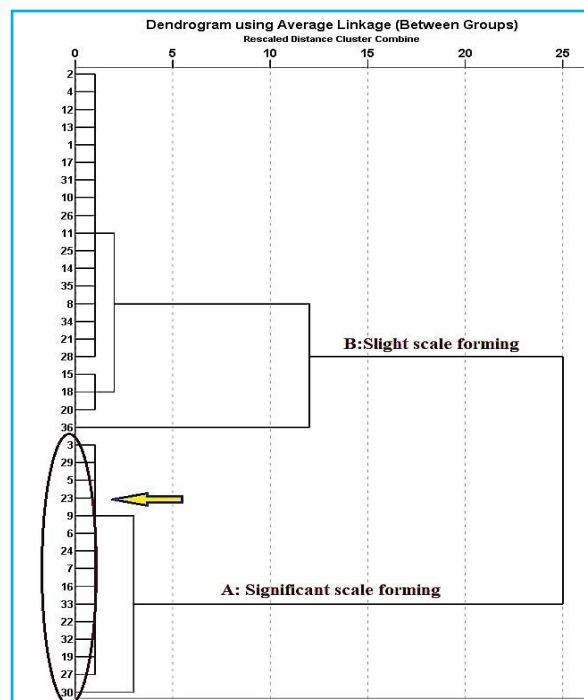
در نهایت بر اساس نتایج مطالعه در شکل ۲ و ۳، مناطق قاسم‌آباد، شاهد ۴ (ایستگاه ۳)، قاسم‌آباد، شریعتی ۶۵ (۵)، میدان تربیت (۶)، معلم ۱۹ (۷)، سیدی، دائی ۳۴ (۹)، عبدالمطلب ۴۷ (۱۶)، رضاشهر، رضوی ۳۳ (۲۲)، اقبال ۱۹ (۲۳)، بین هفت تیر ۱۹ و ۲۱ (۲۴)، بین امام رضا ۶۳ و ۶۵ (۲۷)، وحدت ۱۸، (۲۹)، حرم مطهر، سقاخانه (۳۰)، امام رضا ۹ (۳۲) و طبرسی ۲۱ (۳۳) در محدوده رسوب‌گذاری زیاد قرار گرفته‌اند و سایر مناطق شهر مشهد در محدوده رسوب‌گذاری قرار دارند.

در این مطالعه مناطق مختلف شهر مشهد بر اساس محاسبات و نتایج شاخص‌های خوردگی با استفاده از آزمون خوشه‌ای به ۲ گروه رسوب‌گذاری کم (A) و زیاد (B) تقسیم‌بندی شدند (شکل ۲، ۳). در فصل بهار، ۲۱ ایستگاه (۳/۵۸٪) رسوب‌گذاری کم به همراه تمایل به خوردگی کم بوده و سایر ایستگاه‌ها (۶۶/۴۱٪) رسوب‌گذار زیاد (عدم تمایل به خوردگی) بودند (شکل ۲). در فصل تابستان، ۱۲ ایستگاه (۳/۳۳٪) از کل نمونه‌ها رسوب‌گذار زیاد و ۲۴ ایستگاه (۶/۶۶٪) دیگر رسوب‌گذاری کم به همراه تمایل به خوردگی کم بودند (شکل ۳).

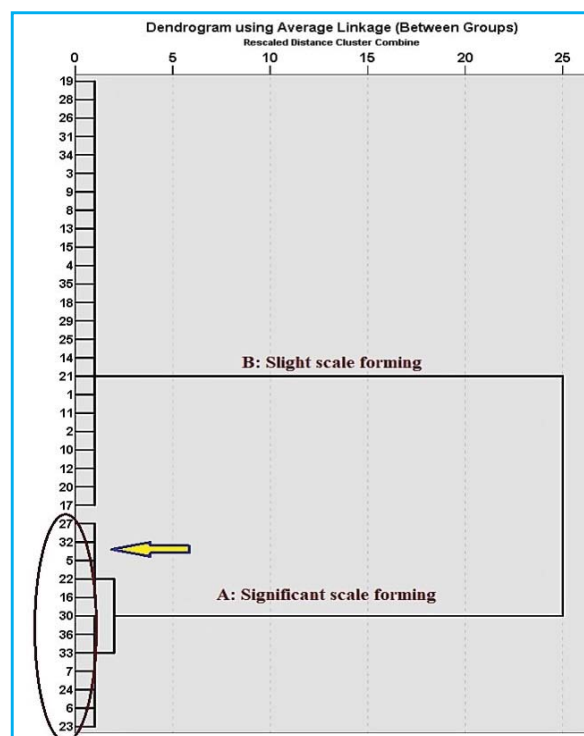
بحث

خوردگی و رسوب گذاری آب، از مسائل مهمی است که در پایش سیستم‌های توزیع آب باید با دقت بیشتری مورد توجه قرار گیرد، زیرا عدم توجه به هر کدام از پدیده‌های فوق می‌تواند باعث آسیب‌های بهداشتی و اقتصادی فراوانی گردد. با توجه به اینکه آب شرب شهر مشهد نیاز آبی جمعیت حدود ۳ میلیون نفر ساکنین شهر و جمعیت زائری که در سال ۳۰ میلیون نفر تخمین زده می‌شود، را تأمین می‌کند، بررسی وضعیت کیفیت آن امری مهم برای جلوگیری از آسیب‌های بهداشتی و اقتصادی می‌باشد (۱۰، ۱۲). بر اساس نتایج مطالعه حاضر، اختلاف معناداری در تغییرات شاخص‌های LSI و RI در ایستگاه‌های مختلف وجود داشت که احتمالاً به دلیل تفاوت در منابع تأمین کننده آب شرب، بافت و ترکیب زمین‌شناسی و کیفیت سیستم آب‌رسانی در هر منطقه مطالعاتی باشد (۱۶).

همچنین بر اساس نتایج، میانگین تغییرات تمامی شاخص‌های مورد بررسی در آب آشامیدنی شهر مشهد در دو فصل بهار و تابستان با یکدیگر تفاوت معناداری نداشت ($p < 0.05$). با توجه به مقادیر ضریب همبستگی (R -value)، بین دمای نمونه‌ها با میانگین غلظت تجمع یافته کلسیم ($p = 0.16$ ، R -value = ۰/۱۱)، قلیائیت کل ($p = 0.09$ ، R -value = ۰/۱۴) و pH ($p = 0.08$ ، R -value = ۰/۱۶) همبستگی معنی‌داری مشاهده نشد. بنابراین می‌توان چنین استنباط کرد که احتمالاً تغییرات دما در دو فصل مطالعاتی، نقش چندانی در تغییر میانگین غلظت تجمع یافته عناصر مورد مطالعه در نمونه‌ها نداشته است. مشابه آنچه که در خصوص شاخص لائزلیه و سایر شاخص‌ها اشاره شد، می‌توان گفت که آب آشامیدنی شهر مشهد در ۲۱ منطقه از ۳۶ منطقه بررسی شده در فصل بهار و ۲۴ منطقه در فصل تابستان، دارای پتانسیل رسوب گذاری به همراه کمی خوردگی می‌باشد، بدون آنکه خوردگی مشکل اساسی برای سیستم آب‌رسانی ایجاد نماید. به عبارت دیگر این خوردگی در واقع سبب شستشوی املاح رسوبی در بستر جریان می‌شود و



شکل ۲. طبقه‌بندی نقاط نمونه برداری در فصل بهار



شکل ۳. طبقه‌بندی نقاط نمونه برداری در فصل تابستان

مشکلی از نظر سوراخ کردن مسیر در کوتاه مدت ایجاد نمی کند. همچنین مقایسه هر دو شاخص لائزلیه و رایزنر نشان داد که آب آشامیدنی موجود در شبکه توزیع شهر مشهد در ۱۵ ایستگاه از ۳۶ ایستگاه بررسی شده (خوشه A) رسوب گذاری متوسط تا زیاد دارد که این رسوب گذاری می تواند زمینه را برای افزایش عوارض بهداشتی، اقتصادی (کاهش مقطع جریان و افت فشار آب در مسیر)، اختلال در برخی وسایل خانگی و ناراحتی مصرف کنندگان را در این مناطق به دنبال داشته باشد، لذا با توجه به این یافته ها، اندیشیدن تدابیری در زمینه کنترل رسوب گذاری در آب آشامیدنی در مناطق واقع شده قاسم آباد، شاهد ۴ (ایستگاه ۳)، قاسم آباد، شریعتی ۶۵ (۵)، میدان تربیت (۶)، معلم ۱۹ (۷)، سیدی، دائی ۳۴ (۹)، عبدالمطلب ۴۷ (۱۶)، رضاشهر، رضوی ۳۳ (۲۲)، اقبال ۱۹ (۲۳)، بین هفت تیر ۱۹ و ۲۱ (۲۴)، بین امام رضا ۶۳ و ۶۵ (۲۷)، وحدت ۱۸ (۲۹)، حرم مطهر، سقاخانه (۳۰)، امام رضا ۹ (۳۲) و طبرسی ۲۱ (۳۳) که رسوب گذار زیاد می باشند، امری ضروری است.

در مطالعه یوسفی و همکاران که بر روی ۳۰ چاه آب آشامیدنی شهر جلفا (استان آذربایجان شرقی) انجام شد، مقایسه شاخص های لائزلیه، رایزنر، پوکوریوس، لارسون - اسکولد و تهاجمی (به ترتیب ۱/۱۵، ۶/۹۲، ۶/۴۲، ۰/۸۵ و ۱۲/۷۹) نشان داد که آب این چاه ها می توانند به عنوان خورنده در نظر گرفته شوند (۱۵). در مطالعه عباس نیا و همکاران که بر روی کیفیت آب آشامیدنی روستاهای چابهار استان سیستان و بلوچستان با استفاده از شاخص پایداری و کیفیت آب انجام گرفت، میانگین شاخص های لائزلیه، رایزنر، پوکوریوس، لارسون - اسکولد و تهاجمی به ترتیب ۰/۵، ۶/۷۶، ۶/۵، ۲/۷۱ و ۱۲/۶۳ محاسبه گردید. نتایج نشان داد ۲۵٪ نمونه ها عالی محسوب می شوند، ۵۰٪ به عنوان آب مناسب و ۲۵٪ به عنوان آب ضعیف شناسایی می شوند (۱۶).

در مطالعه میرزاییگی و همکاران که بر روی پتانسیل خورندگی و رسوب گذاری آب شرب شهر تربت حیدریه انجام شد،

میانگین شاخص های رایزنر، لائزلیه، پوکوریوس، لارسون - اسکولد و تهاجمی به ترتیب ۷/۷۲، ۰/۲۱، ۷/۶۵، ۱/۷۲ و ۱۲ بود و به طور کلی، آب شرب این شهر خورنده گزارش شد (۱۷).

در مطالعه دهقانی و همکاران، شاخص های لائزلیه و رایزنر در آب شرب شیراز به ترتیب ۰/۴۲ - و ۷/۶ محاسبه شد. نتایج این مطالعه نشان داد بر اساس شاخص لائزلیه ۹۵، نمونه ها دارای پتانسیل رسوب گذاری بودند. بر اساس شاخص رایزنر ۸۲، نمونه ها متعادل و ۱۲٪ پتانسیل خورندگی داشتند. لایه های آهکی و زمین های اطراف منابع آب، مسبب افزایش سختی و رسوب گذاری آب شده بودند (۱۸).

مطالعه عوض پور و همکاران که به بررسی شاخص های خوردندگی و رسوب گذاری آب شرب شهر ایلام پرداختند، نشان داد شاخص لائزلیه زیر صفر و دارای مقادیر منفی است و آب شرب این شهر، غیراشباع از کربنات کلسیم بوده و تمایل به خوردندگی دارد. شاخص رایزنر نیز دارای تمایل به خوردندگی بود (۱۹). مطالعه رعیتی نشان داد بر اساس شاخص لائزلیه، ۵۷٪ نمونه های آب شاهرود خورنده و بسیار خورنده و بر اساس شاخص رایزنر، آب این شهر خورنده می باشد (۲۰).

مطالعه زارع و همکاران که بر روی خوردگی و رسوب گذاری آب های زیرزمینی دشت همدان انجام شد، نشان داد در مجموع این منابع در محدوده کم تا متوسط رسوب گذاری و خوردگی قرار دارند، اما رسوب گذاری نسبت به خوردگی در سیستم آب رسانی محسوس تر است و سبب کاهش مقطع جریان و افت در مسیر و زیان های اقتصادی شده است (۲۱). مطالعه غنی زاده و همکاران که به بررسی پتانسیل خورندگی و رسوب گذاری آب آشامیدنی مراکز آب رسانی نظامی توسط شاخص های لائزلیه، رایزنر و تهاجمی پرداختند، نشان داد بر اساس هر سه شاخص، آب آشامیدنی ۳ مرکز دارای پتانسیل خورندگی و آب سایر مراکز تمایل به رسوب گذاری دارند (۲۲). در مطالعه الروحیه و الشماثیله که در استان Tafila جنوب اردن انجام گرفت، نتایج شاخص های لائزلیه و رایزنر نشان داد که آب پتانسیل خورندگی دارد (۴).

فصل تابستان، ۳/۳۳٪ از کل نمونه‌ها رسوب‌گذار زیاد و سایر نمونه‌ها رسوب‌گذار کم می‌باشند. لذا با توجه به این یافته‌ها، اندیشیدن تدابیری در زمینه کنترل بیشتر و دقیق‌تر پارامترهای کیفی مؤثر بر رسوب‌گذاری در آب آشامیدنی امری ضروری بوده و پیشنهاد می‌گردد حداقل به صورت دوره‌ای (یک‌ساله)، شبکه و منابع آب شرب به لحاظ وضعیت خوردگی و رسوب‌گذاری مورد آزمایش و بررسی قرار گیرند تا اقدامات کنترلی لازم در تصفیه‌خانه و شبکه توزیع به عمل آید.

ملاحظات اخلاقی

نویسندگان کلیه نکات اخلاقی شامل عدم سرقت ادبی، انتشار دوگانه، تحریف داده‌ها و داده‌سازی را در این مقاله رعایت کرده‌اند. همچنین هرگونه تضاد منافع حقیقی یا مادی که ممکن است بر نتایج یا تفسیر مقاله تأثیر بگذارد را رد می‌کنند.

تشکر و قدردانی

این مقاله برگرفته از طرح پژوهشی با شماره ۹۵۱۰۹۰ و کد اخلاق IR.MUMS.REC.1395.574 است که با حمایت مالی معاونت پژوهشی دانشگاه علوم پزشکی مشهد انجام شد. بدین‌وسیله از تمام کسانی که در انجام این تحقیق همکاری کردند، تشکر و قدردانی می‌شود.

مطالعه پاتزایا و همکاران در مجارستان نشان داد آب دارای پتانسیل رسوب‌گذاری است (۲۳). مطالعه عمومی و همکاران در بابل نشان داد با استفاده از شاخص‌های لانژلیه، لایزور، پوکوریوس، لارنسون و تهاجمی، آب این شهر دارای پتانسیل خوردگی است (۲۴). مطالعه تقی‌پور و همکاران در تبریز نشان داد با استفاده از شاخص‌های لانژلیه، لایزور، پوکوریوس و تهاجمی، آب این شهر دارای پتانسیل خوردگی است (۲۵). مطالعه ززولی و همکاران در یاسوج نشان داد با استفاده از شاخص‌های لانژلیه، لایزور، پوکوریوس، لارنسون و تهاجمی، آب این شهر دارای خوردگی ملایم است (۲۶).

نتیجه‌گیری

میانگین کلی شاخص‌های لانژلیه، لایزور و تهاجمی برای آب شهر مشهد به ترتیب 0.48 ± 0.14 ، 0.38 ± 0.06 و 0.23 ± 0.02 بود. بر اساس شاخص لانژلیه و لایزور، ۸۶٪ از کل نقاط مورد مطالعه رسوب‌گذار کم می‌باشند و بر اساس شاخص تهاجمی، ۹۷٪ از کل نقاط رسوب‌گذار می‌باشند. همچنین نتایج نشان داد ۵۸٪ نمونه‌های بررسی شده در فصل بهار رسوب‌گذاری کم و سایر نمونه‌ها رسوب‌گذار زیاد می‌باشند. در

References

- Mudali UK, Rai B. Corrosion Science and Technology: Mechanism, Mitigation and Monitoring. 2008.
- Alipour V, Dindarloo K, Mahvi AH, Rezaei L. Evaluation of corrosion and scaling tendency indices in a drinking water distribution system: a case study of Bandar Abbas city, Iran. Journal of water and health. 2015;13(1):203-9.
- Mahvi A, Eslami A. Corrosion And Scaling Analysis Of Water Supply And Distribution System In Zanjan. 2006.
- Al-Rawajfeh AE, Al-Shamaileh EM. Assessment of tap water resources quality and its potential of scale formation and corrosivity in Tafila Province, South Jordan. Desalination. 2007;206(1-3):322-32.
- Mirzabeygi M, Naji M, Abbasnia A. Evaluation of corrosion and scaling indices of drinking water in the villages of Khorasan Razavi province. Journal of Research in Environmental Health. 2016;2(1):60-70.
- Mazloomi S, Babaie A, Fazlzadeh DM, Abouee E, Badiie NA, Hajpoor SK. Corrosion and Scaling Potentiality of Shiraz Drinking Water. 2008.
- Khademian M, Zamani M, Ghafari F, Rahmi MR, Mohammadpour S. Evaluation of Corrosion and precipitation potential in Ghaemshahr, s Village Drinking Water. Journal of Human and Environment. 2016;14(4):1-7.
- Asgari G, Ramavandi B, Tarlaniazar M, Berizie Z. Survey of chemical quality and corrosion and scaling potential of drinking water distribution network of Bushehr city. Journal of South medicine. 2015;18(2):353-61.
- Alidadi H, Ghaderifar S, Ahmadi E, Bakhti S. Comparison of chemical quality of water wells around the Mashhad's old landfill site in 2014. Journal of Torbat Heydariyeh University of Medical Sciences. 2015;3(2):43-37.
- Soltani N, Keshavarzi B, Moore F, Tavakol T, Lahijanzadeh AR, Jaafarzadeh N, et al. Ecological and human health

- hazards of heavy metals and polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in road dust of Isfahan metropolis, Iran. *Science of the Total Environment*. 2015;505:712-23.
11. Pazand K, Javanshir AR. Hydrogeochemistry and arsenic contamination of groundwater in the Rayen area, southeastern Iran. *Environmental earth sciences*. 2013;70(6):2633-44.
 12. Federation WE, Association APH. Standard Methods: for the examination of water and wastewater. American Public Health Association (APHA): Washington, DC, USA. 2005.
 13. Rafferty K. Scaling in geothermal heat pump systems; 1999.
 14. Tchobanoglous G, Burton F, Stensel HD. Wastewater engineering: Treatment and reuse. American Water Works Association Journal. 2003;95(5):201.
 15. Yousefi M, Saleh HN, Mahvi AH, Alimohammadi M, Nabizadeh R, Mohammadi AA. Data on corrosion and scaling potential of drinking water resources using stability indices in Jolfa, East Azerbaijan, Iran. 2018;16:724-31.
 16. Abbasnia A, Alimohammadi M, Mahvi AH, Nabizadeh R, Yousefi M, Mohammadi AA, et al. Assessment of groundwater quality and evaluation of scaling and corrosiveness potential of drinking water samples in villages of Chabahr city, Sistan and Baluchistan province in Iran. *Data in brief*. 2018;16:182-92.
 17. Mirzabeygi M, Salimi J, Biglari H, Naji M, Mahvi AH. Evaluation of Corrosion and Scaling Potential in Water Distribution System of Torbat Heydariyeh City in 2012. *Journal of Torbat Heydariyeh University of Medical Sciences*. 2015;3(1):15-8.
 18. Dehghani M, Tex F, Zamanian Z. 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*. 2010;13(2):88.
 19. Avazpour M, Gholami M, Ali R, editors. Evaluation of corrosion and sedimentation potential of drinking water in Ilam city. 11th National Conference on Environmental Health 2008. (in persian)
 20. Raeiaty Z. Investigation of Corrosion and Quality Monitoring of Water Resources in Shahrood City Using Geographic Information System (GIS). 11th National Congress On Environmental Health. 2011. (in persian)
 21. Zare Abyaneh H, Abdolsalehi SE, Kazemi A. Corrosion and Scaling Analysis of Groundwater Resources of Hamedan Bahar Aquifer. *Journal of Environmental Science and Technology*. 2010;12(2):89-102. (in persian)
 22. Ghadian G, Ghaneian MT. Potential of corrosion and sedimentation of drinking water in military systems water supply systems. *Journal of Military Medicine*. 2009. (in persian)
 23. Pátzay G, Stáhl G, Karman F, Kálmán E. Modeling of scale formation and corrosion from geothermal water. *Electrochimica Acta*. 1998;43(1-2):137-47.
 24. Amouei A, Fallah SH, Asgharnia H, Yari AR, Mahmoudi M. Corrosion and Scaling Potential in Drinking Water Distribution of Babol, Northern Iran Based on the Scaling and Corrosion Indices. *Archives of Hygiene Sciences Volume*. 2017;6(1).
 25. Taghipour H, Shakerkhatibi M, Pourakbar M, Belvasi M. Corrosion and scaling potential in drinking water distribution system of Tabriz, northwestern Iran. *Health promotion perspectives*. 2012;2(1):103.
 26. Zazouli M, BarafrashtehPour M, Sedaghat F, Mahdavi Y. Assessment of scale formation and corrosion of drinking watersupplies in Yasuj (Iran) in 2012. *Journal of Mazandaran University of Medical Sciences*. 2013;22(2):100-8.