JEHE Alborz University of Medical Sciences Journal of Environmental Health Engineering , 2025; 13(3):282-297 Original Article

Investigation of corrosion, scaling potential, and Water Quality Index in storage tanks of hotels in Mashhad

Received: 10 April 2025, Accepted: 03 December 2025

Mahmoud Shams[1,2], Jamshid Jamali[3], Ali Akbar Dehghan[1,2], Hossein Alidadi[1,2], Mojtaba Davoudi [1,2], Farzaneh Hassanzadeh[4], Somayeh Rahdar[4], Ali Akbar Mohammadi[5,6*]

[1] *Social Determinants of Health research center, Mashhad University of Medical Sciences, Mashhad, Iran*
[2] *Department of Environmental Health Engineering, School of Health, Mashhad University of Medical Sciences, Mashhad, Iran*
[3] *Department of Biostatistics, School of Public Health, Mashhad University of Medical Sciences, Mashhad, Iran*
[4] *Student Research Committee, Mashhad University of Medical Sciences, Mashhad, Iran*
[5] *Workplace Health research center, Neyshabur University of Medical Sciences, Neyshabur, Iran*
[6] *Department of Environmental Health Engineering, Neyshabur University of Medical Sciences, Neyshabur, Iran*

***Corresponding Author:**
mohammadi.eng73@gmail.com

How to Cite This Article:

Shams M, Jamali J, Dehghan AA, Alidadi H, Davoudi M, Hassanzadeh F, Rahdar S, Mohammadi AA. Investigation of corrosion, scaling potential, and Water Quality Index in storage tanks of hotels in Mashhad. Journal of Environmental Health Engineering. 2025;13(3):282-97.

DOI:

ABSTRACT

Background: Corrosion and scaling phenomena are among the most important factors affecting water quality, economics, and the lifespan of water transfer and distribution equipment.

Materials and Methods: This study aimed to evaluate the corrosion and scaling potential of water in storage tanks at hotels around the Holy Shrine of Imam Reza, and assess the water quality using the drinking Water Quality Index (WQI) in Mashhad. Random water sampling was conducted from 10 hotels, and the physicochemical parameters of the water, i.e. pH, electrical conductivity (EC), total dissolved solids (TDS), total hardness (TH), total alkalinity (T.ALK), carbonate, bicarbonate, chloride, and sulfate were measured. Water stability indices, including the Langelier Saturation Index (LSI), Ryznar Stability Index (RSI), Puckorius Scaling Index (PSI), Larson-Skold Index (LS), and Aggressiveness Index (AI) were calculated and analyzed at the sampling temperature and other temperature scenarios

Results: The results showed that the average pH of the water ranged from 8.00 to 8.80, with most samples falling within the alkaline range. The Langelier Saturation Index indicated that 90% of the water sources were in equilibrium, with only one hotel showing a corrosion potential (LSI<0). As the temperature scenarios increased from 10 to 30 °C, the LSI value increased from 0.59 to 0.79 but remained in equilibrium state. The RSI indicated that the water in all hotels tended towards corrosion (RSI>7). LS and AI, respectively, showed that 100% of the samples have no corrosive properties and that 90% of the hotels had non-aggressive water (AI>12), with a very low probability of corrosion. The correlation matrix revealed a strong positive correlation between the AI and LSI, while a strong negative correlation was observed between the RSI and AI. Based on the WQI classification, the water sources in the hotels generally fell within 73-76 range.

Conclusion: This study highlights the importance of regular water quality monitoring in distribution and storage systems, especially in populated areas like Mashhad.

Keywords: Langelier, Ryznar, Puckorius, Larson-Skold, Aggressiveness Index, Water Quality

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-05-26]

Copyright © 2025 The Authors.
Published by Alborz University of Medical Sciences
This work is licensed under a Creative Commons Attribution-Noncommercial 4.0 International License. (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/).Non-commercial uses of the work are permitted,provided the original work is properly cited.

JEHE
Alborz University of Medical Sciences
مجله مهندسی بهداشت محیط، دوره ۱۳، شماره ۳، پاییز ۱۴۰۴، صفحات ۲۸۲ تا۲۹۷
مقاله پژوهشی

برسی پتانسیل خورندگی، رسوب‌گذاری و شاخص کیفی آب در مخازن ذخیره‌سازی هتل‌های مشهد

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۱/۲۱ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۹/۱۲

محمود شمس [۲،۱]، جمشید جمالی [۳،۱]، علی اکبر دهقان [۲،۱]، حسین علیدادی [۲،۱]، مجتبی داودی [۲،۱]، فرزانه حسن زاده [۴]، سمیه رهدار [۴]، علی اکبر محمدی [۶،۵] *

[۱] مرکز تحقیقات عوامل اجتماعی موثر بر سلامت، دانشگاه علوم پزشکی مشهد، مشهد، ایران
[۲] گروه مهندسی بهداشت محیط ، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی مشهد، مشهد، ایران
[۳] گروه آمارزیستی، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی مشهد، مشهد، ایران
[۴] کمیته تحقیقات دانشجویی، دانشگاه علوم پزشکی مشهد، مشهد، ایران
[۵] مرکز تحقیقات سلامت محیط کار، دانشگاه علوم پزشکی نیشابور، ایران
[۶] گروه مهندسی بهداشت محیط ، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی نیشابور ، نیشابور ، ایران

***پست الکترونیکی نویسنده مسئول:**
mohammadi.eng73@gmail.com

نحوه استناد به این مقاله:
Shams M, Jamali J, Dehghan AA, Alidadi H, Davoudi M, Hassanzadeh F, Rahdar S, Mohammadi AA. Investigation of corrosion, scaling potential, and Water Quality Index in storage tanks of hotels in Mashhad. Journal of Environmental Health Engineering. 2025;13(3):282-97.

DOI:

چکیده

زمینه و هدف: پدیده‌های خورندگی و رسوب‌گذاری از مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار بر کیفیت آب، اقتصاد و عمر مفید تجهیزات انتقال و توزیع آب محسوب می‌شوند.

مواد و روش ها: مطالعه حاضر با هدف ارزیابی پتانسیل خورندگی و رسوب‌گذاری آب در مخازن ذخیره‌سازی هتل‌های شهر مشهد اطراف حرم مطهر امام رضا (ع) و نیز ارزیابی کیفیت آب در آنها با شاخص کیفی آب آشامیدنی (WQI) انجام شد. نمونه‌برداری از ۱۰ هتل منتخب به‌صورت تصادفی انجام گردید و پارامترهای فیزیکوشیمیایی آب شامل pH، هدایت الکتریکی (EC)، کل جامدات محلول (TDS)، سختی کل (TH)، قلیائیت کل (T.ALK)، کربنات، بی‌کربنات، کلرید و سولفات اندازه‌گیری شد. شاخص‌های پایداری آب شامل شاخص لانژلیه (LSI)، رایزنر (RSI)، پوکوریوس (PSI)، لارسون–اسکلد (LS) و شاخص تهاجمی (AI) در دمای نمونه برداری و سناریو های مختلف دمایی دیگر محاسبه و تحلیل شدند.

یافته ها: نتایج نشان داد که میانگین pH آب در محدوده ۸ تا ۸/۸۰ بوده و بیشتر نمونه‌ها در محدوده قلیایی قرار داشتند. شاخص لانژلیه نشان داد که ۹۰ درصد منابع آبی در حالت تعادل بوده و تنها یک هتل دارای پتانسیل خورندگی(LSI <۰) است و با افزایش دما از ۱۰ به ۳۰ درجه سانتی‌گراد، مقدار LSI از۰/۵۹به ۰/۷۹ افزایش یافت، اما همچنان در حالت تعادل است. شاخص رایزنر نشان‌دهنده تمایل آب تمامی هتل‌ها به خورندگی(RSI >۷)بود. شاخص لارسون–اسکلد (LS)و شاخص تهاجمی (AI) به ترتیب نشان دادند که ۱۰۰ درصد نمونه‌ها فاقد خاصیت خورندگی و ۹۰ درصد نمونه ها آب غیرتهاجمی (AI>۱۲) و احتمال خوردگی در آنها بسیار کم است. ماتریس همبستگی نشان داد که همبستگی مثبت قوی(R=۱) بین شاخص تهاجمی (AI) و شاخص لانژلیه (LSI)وجود دارد، در حالی که بین شاخص رایزنر (RSI) و شاخص تهاجمی (AI) همبستگی منفی قوی مشاهده شد. براساس تقسیم بندی WQI که برای ارزیابی و طبقه‌بندی کیفیت آب شرب استفاده می شود بطور کلی منابع آب هتل در محدوده ۷۶–۷۳ قرار گرفت.

نتیجه گیری: مطالعه حاضر اهمیت پایش منظم کیفیت آب در سیستم‌های توزیع و ذخیره‌سازی آب به‌ویژه در مناطق پرتردد مانند مشهد را برجسته می نماید.

واژه‌های کلیدی: لانژلیه، رایزنر، پوکوریوس، لارسون–اسکلد، شاخص تهاجمی، شاخص کیفی آب

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-05-26]

مقدمه

منابع آب معمولاً حاوی ناخالصی هستند که می‌تواند عامل خوردگی یا رسوب‌گذاری باشد [۱،۲]. پدیده‌های خورندگی و رسوب‌گذاری از مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار بر کیفیت آب، اقتصاد و عمر مفید تجهیزات انتقال و توزیع آب محسوب می‌شوند. بنابراین، بررسی این عوامل در ارزیابی سیستم‌های انتقال و توزیع آب از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است [۳-۵]. علاوه بر شاخص‌های خورندگی و رسوب‌گذاری، شاخص کیفیت آب (WQI)[1] نیز برای ارزیابی جامع کیفیت آب مورد استفاده قرار می گیرد. شاخص کیفی آب از پرکاربردترین ابزارها برای نمایش جامع و صریح کیفیت منابع آب می باشد. مدل‌های WQI با ارائه یک عدد منفرد، وضعیت کیفیت آب را بیان می‌کنند [۶]. از شاخص‌های کیفیت آب به‌طورمعمول دانشمندان و سیاست‌گذاران برای تصمیم‌گیری، ردیابی منابع آلودگی، ارزیابی دستورالعمل‌های نظارتی و سیاست‌های زیست محیطی استفاده می‌کنند [۷].

خورندگی یک فرآیند پیچیده الکتروشیمیایی است که در نتیجه‌ی تعامل فیزیکوشیمیایی آب با محیط اطراف و تأثیر عوامل مختلف شیمیایی، الکتریکی، فیزیکی و بیولوژیکی رخ می‌دهد [۳،۸]. عوامل متعددی مانند pH، دما، اسیدیته، کلر باقی‌مانده، قلیائیت، سختی، کل جامدات محلول و حضور میکروارگانیسم‌ها در این فرآیند مؤثر هستند [۸،۹] در میان این عوامل، واکنش‌های شیمیایی نقش اصلی را در خورندگی ایفا می‌کنند و عوامل بیولوژیکی در درجه‌ی دوم اهمیت قرار دارند [۴]. از اثرات خورندگی، حل شدن لایه‌ی پوششی کربنات کلسیم در جدار داخلی لوله‌ها است که می‌تواند مشکلاتی مانند ایجاد حفره در لوله‌ها، ورود فلزات سنگین نظیر آهن، سرب، مس و قلع از لوله‌های فلزی به آب، کاهش عمر تأسیسات، نشست زمین و هدررفت آب را به همراه داشته باشد [۱۰، ۱۱]. علاوه بر این، واکنش‌های ناشی از خورندگی بر مصرف گندزداهای آب تأثیر گذاشته و حداقل میزان کلر باقی‌مانده را کاهش می‌دهند. این امر موجب افزایش فعالیت زیستی میکروارگانیسم‌ها، افزایش کدورت آب و کاهش کیفیت آن از نظر زیبایی‌شناختی می‌شود [۱۱، ۱۲]. همچنین، رها شدن فلزات آهن، روی، سرب و مس از سطوح داخلی لوله‌ها در شبکه‌های انتقال آب آشامیدنی با تمایل بالای خورندگی، می‌تواند منجر به تغییر رنگ آب و ایجاد رنگ شود [۱۳]. کاتیون‌های دوظرفیتی مانند کلسیم و منیزیم در واکنش با سایر مواد محلول در آب، در جدار داخلی لوله‌ها ته‌نشین شده و تشکیل رسوب می‌دهند. کربنات کلسیم رایج‌ترین ترکیب تشکیل‌دهنده‌ی این لایه‌های رسوبی است [1] . شدت و مکانیسم رسوب‌گذاری به کیفیت آب و جنس لوله بستگی دارد. رسوب‌گذاری می‌تواند مشکلاتی مانند کاهش جریان آب، افزایش افت فشار در شبکه و در نتیجه افزایش هزینه‌های بهره‌برداری از تأسیسات آبی را به دنبال داشته باشد [۴]. مطالعات نشان داده‌اند که در ایران مقادیر قابل‌توجهی از آب به دلیل نشتی ناشی از خورندگی هدر می‌رود. اگرچه آمار دقیقی از خسارات خورندگی و رسوب‌گذاری در شبکه‌ی توزیع آب کشور موجود نیست، اما برخی بررسی‌ها نشان می‌دهند که حدود ۳۰ درصد از آب شبکه‌ی توزیع به دلیل پوسیدگی لوله‌ها ناشی از خوردگی از بین می‌رود [۱۴].

1.Water Quality Index (WQI)

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-05-26]

بر اساس استانداردهای جهانی، شاخص‌های کنترل خورندگی و رسوب‌گذاری باید حداقل سالی یک‌بار در شبکه‌های توزیع آب مورد بررسی قرار گیرند. این پایش، ضمن بهبود کیفیت شیمیایی آب، می‌تواند موجب افزایش عمر مفید تأسیسات آبرسانی و کاهش هدررفت آب شود. این موضوع برای کشورهایی مانند ایران که با کمبود منابع آبی مواجه هستند، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است[۵، ۱۵]. برای ارزیابی پتانسیل خورندگی و رسوب‌گذاری آب، شاخص‌های مختلفی ارائه شده است که از مهم‌ترین آن‌ها می‌توان به شاخص لانژلیه (LSI[1])، رایزن (RSI[2])، پوکوریوس و شاخص تهاجمی (AI[3]) اشاره کرد. شاخص‌های لانژلیه و رایزنر متداول‌ترین روش‌ها برای تعیین میزان خورندگی و رسوب‌گذاری آب محسوب می‌شوند[۱-۳]. استفاده‌ی هم‌زمان از حداقل دو شاخص می‌تواند دقت نتایج را افزایش دهد[۱۱]. شاخص اشباع لانژلیه یکی از مدل‌های پیش‌بینی تمایل آب به رسوب‌گذاری یا انحلال کربنات کلسیم است که میزان اشباع آب با کربنات کلسیم را نشان می‌دهد[۱]. این شاخص همچنین تغییرات pH لازم برای رسیدن آب به تعادل را مشخص می‌کند. مقدار این شاخص می‌تواند در محدوده‌ی منفی تا مثبت تغییر کند. با این حال، شاخص لانژلیه در برخی شرایط دارای محدودیت‌هایی است؛ از جمله اینکه در آب‌های با سختی کم و زیاد، مقادیر مشابهی را نشان می‌دهد. رایزنر برای رفع این محدودیت، اصلاحیه‌ای براساس شاخص لانژلیه ارائه داد که به عنوان شاخص پایداری رایزنر شناخته می‌شود. این شاخص، رابطه‌ی بین اشباع کلسیم کربنات و تشکیل پوسته را به صورت کمی نشان می‌دهد[۱۶]. شاخص رسوب‌گذاری پوکوریوس بر اساس ظرفیت بافری آب و حداکثر میزان رسوب کربنات کلسیم قابل تشکیل ارائه شده است. در آب‌هایی با میزان کلسیم بالا، خاصیت قلیایی کم و ظرفیت بافری بالا، کربنات کلسیم در حد اشباع در آب حل می‌شود. در چنین شرایطی، غلظت زیاد کلسیم موجب افزایش فعالیت یونی شده و در نتیجه، علی‌رغم تمایل آب به تشکیل رسوب، میزان واقعی رسوب تشکیل‌شده بسیار پایین خواهد بود[۱۷]. مطالعه‌ی مازنی و همکاران بر روی پتانسیل خورندگی و رسوب‌گذاری در چاه های تأمین‌کننده‌ی آب شرب شهر گرگان نشان داد که شاخص‌های لانژلیه، رایزنر و لارسون–اسکلد ابزارهای مناسبی برای این ارزیابی هستند. در این مطالعه، نمونه‌برداری از ۶۳ چاه آب شرب این شهر انجام شد و ۱۷ پارامتر فیزیکوشیمیایی در آنالیز آب این چاه‌ها بررسی گردید. نتایج نشان داد که بر اساس شاخص‌های خورندگی، بیش از ۴۴ درصد چاه‌ها تمایل به خورندگی دارند. اگرچه تغییرات خورندگی مشابه تغییرات سختی آب است، اما این پدیده در مناطق حاشیه‌ی ارتفاعات بیشتر بوده و در جهت شمال، با افزایش املاح، خاصیت رسوب‌گذاری آب‌های زیرزمینی نیز افزایش می‌یابد. همچنین، نتایج آماری نشان داد که به‌جز شاخص لارسون–اسکلد، در سایر شاخص‌ها بین دو فصل بهار و پاییز اختلاف معناداری مشاهده نشد[۵].در مطالعه‌ای دیگر، دیانتی و محمودی میزان رسوب‌گذاری آب ۱۹۲ نمونه در استان مازندران را بر اساس شاخص‌های رایزنر، لانژلیه، پوکوریوس، لارسون و خورندگی تهاجمی مورد بررسی قرار دادند. نتایج این پژوهش نشان داد که به‌ترتیب ۷۶، ۸۱ و ۶۸ درصد نمونه‌ها دارای خاصیت رسوب‌گذاری بوده‌اند.[۱۸]

استان خراسان رضوی، دومین استان پرجمعیت کشور

1.Langelier Saturation Index (LSI)
2. Ryznar Stability Index (RSI)
3. Aggressive Index (AI)

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-05-26]

است و با اختصاص۷/۳ درصد از مساحت ایران، به‌عنوان چهارمین استان وسیع کشور شناخته می‌شود. جایگاه این استان در سطح ملی و فراملی، موقعیت مذهبی و وجود حرم مطهر امام رضا (ع) در شهر مشهد، به این شهر موقعیت استراتژیک و ژئوپلیتیکی ویژه‌ای بخشیده است. حرم رضوی سالانه پذیرای بیش از ۳۱ میلیون زائر داخلی و بیش از یک میلیون زائر خارجی است. بخش قابل‌توجهی از این زائران در اماکن اقامتی و هتل‌های اطراف حرم اسکان می‌یابند. ازاین‌رو، تأمین آب آشامیدنی سالم و بهداشتی یکی از وظایف اساسی سازمان‌ها و هتل‌ها برای رفاه زائران محسوب می‌شود. بسیاری از هتل‌ها برای تأمین آب و حفظ فشار آب در مجموعه‌ی خود از مخازن ذخیره‌سازی هوایی و زیرزمینی استفاده می‌کنند. با توجه به اهمیت موضوع، تاکنون مطالعه‌ای جامع درباره‌ی پایداری آب در این مخازن در شهر مشهد انجام نشده است. بنابراین، هدف از این تحقیق، بررسی پایداری آب در مخازن ذخیره‌سازی هتل‌های اطراف حرم مطهر امام رضا (ع) است تا وضعیت کیفی این منابع مورد ارزیابی قرار گیرد.

مواد و روش

منطقه موردمطالعه

مشهد در استان پهناور خراسان رضوی با وسعت ۱۰۴۵۰ کیلومتر مربع و ۹۸۰ متر ارتفاع از سطح دریا قرار دارد. به لحاظ موقعیت در ۵۹ دقیقه و ۳ درجه تا ۶۰ درجه و۳۵ دقیقه طول شرقی و ۳۵ درجه و ۴۲ دقیقه تا ۳۶ درجه و ۵۹ دقیقه عرض شمالی قرار گرفته و از شمال به شهرستان کلات، از شمال غربی به درگز، از غرب به چناران و نیشابور و از شرق به سرخس و تربت جام محدود می گردد. شهر مشهد در حوزه رودخانه کشف‌رود و بین کوه‌های هزارمسجد و بینالود واقع شده است. دومین شهر پرجمعیت ایران پس از تهران و نود و پنجمین شهر پر جمعیت دنیا به‌شمار می‌رود.

روش پژوهش

این مطالعه به‌صورت توصیفی-مقطعی در سال ۱۴۰۳ و بر روی مخازن ذخیره‌سازی آب هتل‌های اطراف حرم انجام شد. در ابتدا، از مراکز بهداشت لیستی از هتل‌های اطراف حرم مطهر و اطلاعاتی نظیر نوع مخزن (هوایی و زیرزمینی)، حجم مخزن و آدرس هتل تهیه گردید. سپس، با مشورت متخصص آمار و با توجه به نوع مخازن (هوایی و زیرزمینی) نمونه‌برداری طبقه‌بندی‌شده تصادفی از ۱۰ هتل انتخاب گردید. روش نمونه‌برداری در این پژوهش، به‌صورت لحظه‌ای از مخازن هوایی و زیرزمینی هتل‌های منتخب با استفاده از ظروف یک‌لیتری در مدت زمان دو ماه انجام شد. نمونه‌ها بلافاصله درون محفظه یخچال‌دار، در مجاورت یخ و در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد، به آزمایشگاه منتقل و آزمایش‌های موردنیاز بر روی آن‌ها انجام شد که شامل اندازه‌گیری برخی از پارامترها نظیرpH ، درجه حرارت (T^1)و هدایت الکتریکی (EC^2) در محل نمونه‌برداری، با استفاده از دستگاه مولتی‌پارامتر پرتابل انجام شد. پارامترهای شیمیایی مانند کل جامدات محلول(TDS^3) ، نیترات (NO_3^-)، نیتریت(NO_2^-) ، بی‌کربنات(HCO_3^-) ، کلراید(Cl^-) ، سولفات($SO4^{2-}$) ، فلوراید(F^-) ، کلسیم (Ca^{2+})، منیزیم(Mg^{2+}) ، سدیم (Na^+) و پتاسیم (K^+) در آزمایشگاه آب مورد اندازه‌گیری قرار گرفتند.

معادلات و محاسبات لازم برای تعیین شاخص‌های لانژلیه(LSI) ، رایزنر(RSI) ، پوکوریوس ^{4}(PSI) ، شاخص تهاجمی(AI) و شاخص لارسون-اسکلوند^5(LS) که برای ارزیابی کیفی پتانسیل آب در تشکیل رسوب کربنات کلسیم اهمیت دارند، در روابط زیر و جدول (۱) ارائه شده‌اند[۱۹]. سختی کل (TH^6) و قلیائیت کل (TA^7) با استفاده از روابط (۱) و (۲) محاسبه می‌شوند

1Temperature
2.Electrical Conductivity (EC)
3.Total Dissolved Solids (TDS)
4.Puckorius Scaling Index
5.Larson-Skold Index
6.Total Hardness (TH)
7.Total Alkalinity (TA)

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-05-26]

که در آن‌ها غلظت کلسیم، منیزیم، کربنات و بی‌کربنات برحسب meq/L بیان شده است.

$$TH\ (CaCO_3, mg/L) = ۵۰ \times\ (Ca^{2+} + Mg^{2+}) \quad (۱)$$

$$TA\ (CaCO_3, mg/L) = (CO_3^{2-} + HCO_3^{-}) \quad (۲)$$

مقدار pH اشباع (pHs) نیز با استفاده از رابطه (۳) محاسبه می‌شود.

$$PHs=[(۹/۳+A+B) -(C+D)] \quad (۳)$$

که در آن،

$$A=(Log\ [TDS]-۱)/۱۰ \quad (۴)$$

$$B=- \times ۱۳/۲\ \ Log(^{\circ}C+۲۷۳)\ \ ۳۴/۵۵ \quad (۵)$$

$$C= Log\ [TH] - ۰/۴ \quad (۶)$$

$$D= Log\ [TA] \quad (۷)$$

pH_{eq} آب در حالت تعادل در شاخص پوکوریوس

$$pH_{eq}= ۱/۴۵۶\ log(\ Total\ Alk.) +۴/۵۴ \quad (۸)$$

قلیائیت کل برحسب مولار

میلیون بر والان اکی حسب بر کلراید یون غلظت Cl^-

میلیون بر والان اکی حسب بر سولفات یونی غلظت 4

برمیلیون والان اکی حسب بر کربنات بی یونی غلظت 3

پارامتر A و H به ترتیب معادل قلیایی بودن و سختی آب بر حسب میلی گرم برلیتر کربنات کلسیم در رابطه شاخص تهاجمی می باشد.

جدول ۱. نحوه محاسبه شاخص‌های پایداری و تقسیم بندی آب براساس آن

اندیس	معادله	شرایط آب	مقدار اندیس
شاخص لانژلیر	LI = pH – pHs	رسوبگذار	LSI>۱
		متعادل	LSI=۰
		خورنده	LSI<۱
شاخص رایزنار	RI=۲ pH_s –pH	رسوبگذار	AI<۶
		متعادل	AI=۶-۷
		خورنده	AI>۷
شاخص پوکوریوس	P I = ۲ p H_s -pH_{eq}	تمایل به رسوبگذاری	PSI<۴/۵
		متعادل	۴/۵<PSI<۶/۵
		تمایل به خورندگی	PSI>۶/۵
	=(+ 4)/(3+ 3)	تشکیل فیلم محافظ بدون دخالت یونهای کلرید و سولفات	LS<۰/۸

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-05-26]

شاخص لارسون-اسکولد		تشکیل فیلم محافظ با دخالت یونهای کلرید و سولفات	۰/۸<LS<۱/۲
		خورنده	LS>۱/۲
شاخص تهاجمی	$AI = pH + \log_{10}(Ca^{2+}) + (Alk)$	خورنده	AI>۱۰
		متعادل	۱۰<AI<۱۲
		رسوبگذار	AI>۱۲

محاسبه شاخص کیفیت آب

محاسبه این شاخص شامل سه مرحله است. گام اول " وزن دهی" است که برای هر پارامتر با توجه به اهمیت نسبی آن یک وزن خاص اختصاص داده شده است و گام دوم که"محاسبه وزن نسبی " است با استفاده از معادله زیر محاسبه می شود :

$$= \frac{}{}$$

دراین معادله وزن هر پارامتر و n تعداد پارامترها است. گام سوم "محاسبه مقیاس نرخ کیفیت" است. این مقیاس (q_i) با تقسیم غلظت هر پارامتر در هر نمونه آب بر مقدار استاندارد آن پارامتر محاسبه می شود.

$$= \frac{}{}$$

که در آن غلظت و استاندارد هر پارامترهای شیمیایی در نمونه آب بر حسب میلی گرم بر لیتر است. سپس، برای برآورد WQI ، SI برای هر پارامترهای شیمیایی با معادلات زیر تعیین می گردد.

$$= \quad \text{WQI} = \Sigma$$

مقدار WQI برای ۸ پارامتر آب بدست آمده، برای تعیین رده بندی کیفیت آب طبقه بندی می شود. در این طبقه بندی آب های با WQI کمتر از ۵۰ در رده بسیار خوب، ۵۰تا ۱۰۰ در رده خوب، ۱۰۰ تا ۲۰۰ در رده ضعیف، ۲۰۰ تا ۳۰۰ در رده بسیار ضعیف و بالاتر از ۳۰۰ در رده آب نامناسب برای آشامیدن قرار می گیرند [۲۰].

یافته ها

به منظور محاسبه شاخص‌های پایداری آب، پارامترهای شیمیایی و فیزیکی آب در نمونه‌برداری از ۱۰ هتل منتخب شهر مشهد آنالیز شده و نتایج آماری آن‌ها به همراه سایر عوامل شیمیایی در جدول ۲ بیان گردیده است. بررسی مقدار pH نشان می‌دهد که مقدار آن در محدوده ۸تا ۸/۸۰ قرار دارد که نشان‌دهنده خاصیت قلیایی آب نمونه‌های مورد بررسی است. این مقدار در مقایسه با محدوده استاندارد آب شرب (۶/۵ تا ۸/۵) در بیشتر نمونه‌ها در محدوده قابل قبول قرار دارد. کل جامدات محلول (TDS) اندازه‌گیری شده در تمام نمونه‌ها کمتر از حد مجاز (۱۵۰۰mg/L) است، اگرچه مقدار آن در یکی از نمونه ها به‌طور جزئی بالاتر از استاندارد بوده است. میانگین این پارامتر ۱۲۷۵/۴mg/Lو انحراف معیار آن ۱۲۷/۵۴ mg/L محاسبه شده است که نشان‌دهنده پراکندگی و تغییرپذیری این شاخص در میان نمونه‌های مختلف می‌باشد و هدایت الکتریکی (EC) نیز در محدوده ۱۶۲۰ تا ۲۲۹۰ µS/cm قرار دارد که مقدار میانگین آن ۱۸۲۲ µS/cm و انحراف معیار آن ۱۸۲/۲به‌دست آمده است. این شاخص بیانگر میزان مواد معدنی حل شده در آب است و می‌تواند به عنوان معیاری برای تعیین کیفیت آب مصرفی در نظر گرفته شود. و پارامتر مهم دیگر سختی آب است که به حضور یون‌های کلسیم و منیزیم در آن اشاره دارد. آب‌های سخت می‌توانند باعث تشکیل رسوبات در لوله‌ها، دیگ‌های بخار و تجهیزات حرارتی شوند که این امر

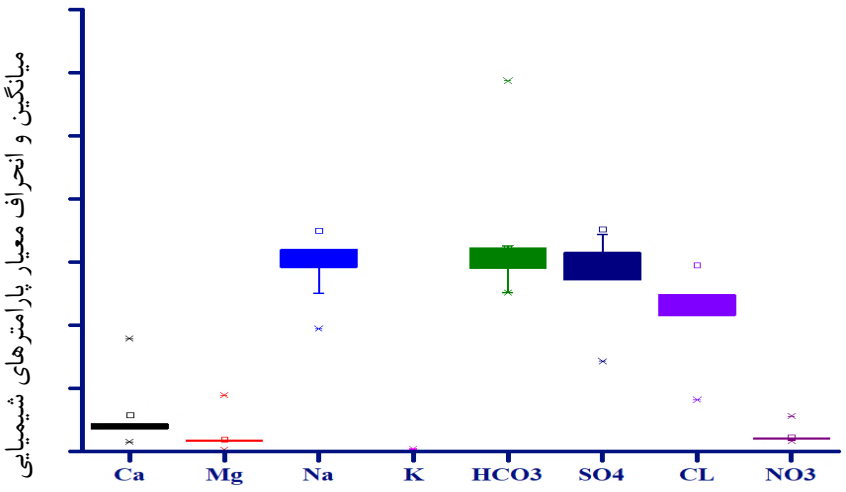
[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-05-26]

منجر به کاهش کارایی و افزایش هزینه‌های نگهداری می‌شود. مقدار میانگین سختی کل (T.H) ۱۹۱/۲ mg/Lبا انحراف معیار۱۷/۷۷ نشان‌دهنده سختی متوسط آب است که می‌تواند تأثیرات متفاوتی بر تجهیزات لوله‌کشی داشته باشد. همچنین، مقدار میانگین قلیائیت کل ۱۴۴/۵mg/L با انحراف معیار۱۹/۶۴ به‌دست آمده است که نشان‌دهنده توانایی آب در خنثی‌سازی اسیدها و حفظ تعادل شیمیایی باشد. میانگین کربنات و بی‌کربنات به‌ترتیب ۲۴ mg/Lو ۱۲۰/۵ mg/L محاسبه شده است. این ترکیبات تأثیر مهمی در تنظیم pH و پایداری شیمیایی آب دارند. غلظت کلرید (Cl) نیز در محدوده ۰/۴ تا ۰/۷۹ mg/Lمشاهده شده و مقدار میانگین آن ۰/۵۷ mg/L تعیین گردیده است. این مقدار بیان کننده پایین بودن غلظت کلرید در نمونه‌های مورد بررسی است که می‌تواند در طعم و خورندگی آب تأثیرگذار باشد.

جدول۲. تحلیل آماری پارامترهای فیزیکوشیمیایی آب

پارامتر	حداقل	حداکثر	میانگین	انحراف معیار
pH	۸	۸/۸۰	۸/۴۸	۰/۲۵
هدایت الکتریکی	۱۶۲۰	۲۲۹۰	۱۸۲۲	۱۸۲/۲
کل جامدات محلول	۱۱۳۴	۱۶۰۳	۱۲۷۵/۴	۱۲۷/۵۴
سختی کل	۱۶۹/۵	۲۲۲	۱۹۱/۲	۱۷/۷۷
قلیائیت کل	۱۰۰	۱۷۰	۱۴۴/۵	۱۶/۶۴
کربنات	۱۵	۴۰	۲۴	۶/۹۹
بی کربنات	۸۰	۱۴۵	۱۲۰/۵	۱۸/۳۳
کلراید	۰/۴	۰/۷۹	۰/۵۷	۰/۱۰
سولفات	۰/۰۹	۰/۸۸	۰/۱۷	۰/۲۵

غلظت میانگین و انحراف معیار ۸ پارامتر شیمیایی در نمودار (۱) ارائه شده است.



شکل ۱. میانگین و انحراف معیار پارامترهای شیمیایی کیفیت آب

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-05-26]

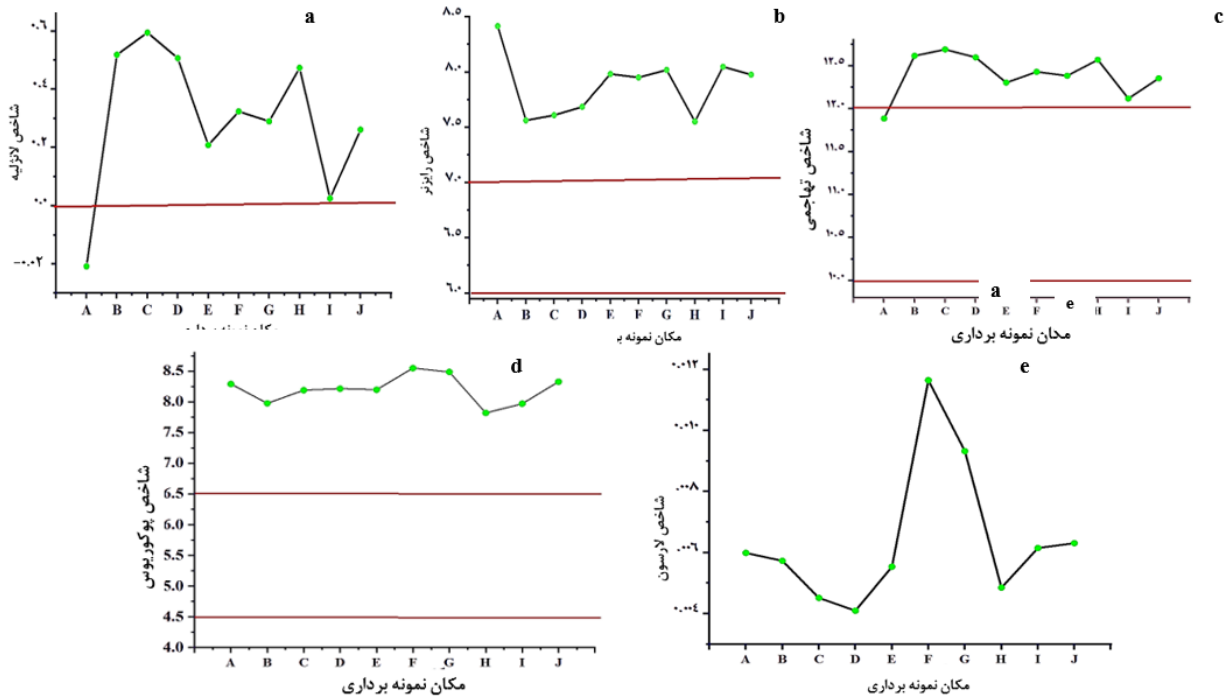
در جدول ۳ استانداردهای ایران، سازمان حفاظت محیط زیست ایالات متحده آمریکا و رهنمودهای سازمان بهداشت جهانی برای پارامترهای شیمیایی آب آشامیدنی ارائه شده است [۲۱-۲۳]. همچنین درصد مواردی که کیفیت شیمیایی آب شبکه خارج از محدوده استاندارد قرار دارد، در این جدول آمده است.

جدول ۳. استانداردهای ایران، سازمان حفاظت محیط زیست ایالات متحده آمریکا و رهنمودهای سازمان بهداشت جهانی آب آشامیدنی

پارامتر	واحد(بر حسب)	ایران		WHO	USEPA	درصد تخطی از حد مجاز		
		حد مطلوب	حد مجاز	رهنمود	حداکثر مجاز	ایران	WHO	USEPA
pH	–	۶/۵–۸/۵	۶/۵–۹	× فاقد رهنمود	۶/۵–۸/۵	۰	-	-
TDS	میلی گرم برلیتر	۱۰۰۰	۱۵۰۰	*فاقد رهنمود	۵۰۰	۴/۴۸	-	-
TH	($CaCO_3$) میلی گرم برلیتر	۲۰۰	۵۰۰	*فاقد رهنمود	–	۶/۲۲	-	-
CL^-	(Cl) میلی گرم برلیتر	۲۵۰	۴۰۰	*فاقد رهنمود	–	۴/۷۷	-	-
SO_4	(SO_4) میلی گرم برلیتر	۲۵۰	۴۰۰	*فاقد رهنمود	–	۸/۵۴	-	-
HNO^3	میلی گرم برلیتر	–	۵۰	۵۰	–	۰	-	-
Ca	(Ca) میلی گرم برلیتر	–	۳	۳	–	۰	-	-
Mg	($CaCO_3$) میلی گرم برلیتر	۳۰۰	–	*فاقد رهنمود	–	–	-	-
Na	میلی گرم برلیتر	۳۰	–	*فاقد رهنمود	–	–	-	-

در سیستم‌های تأمین آب، تعادل بین تمایل آب به ایجاد رسوب (ترسیب) و تمایل آن به خوردگی با استفاده از شاخص‌های پایداری مختلفی مانند شاخص لانژلیه، شاخص رایزنر، شاخص تهاجمی، شاخص پوکوریوس و شاخص لارسون ارزیابی می‌شود. هر یک از این شاخص‌ها اطلاعاتی در مورد رفتار آب در برابر خوردگی و رسوب‌گذاری ارائه می‌دهند. نتایج محاسبه‌شده برای این شاخص‌ها معمولاً به تفکیک مکان نمونه‌برداری در نمودار ۲ ارائه شده است. خط تعادل در هر نمودار به عنوان مرجع برای ارزیابی تمایل آب به رسوب‌گذاری یا خوردگی در نظر گرفته شده است. مقادیر بالاتر یا پایین‌تر از این خط تعادل نشان‌دهنده تمایل آب به ایجاد رسوب یا خوردگی است.

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-05-26]

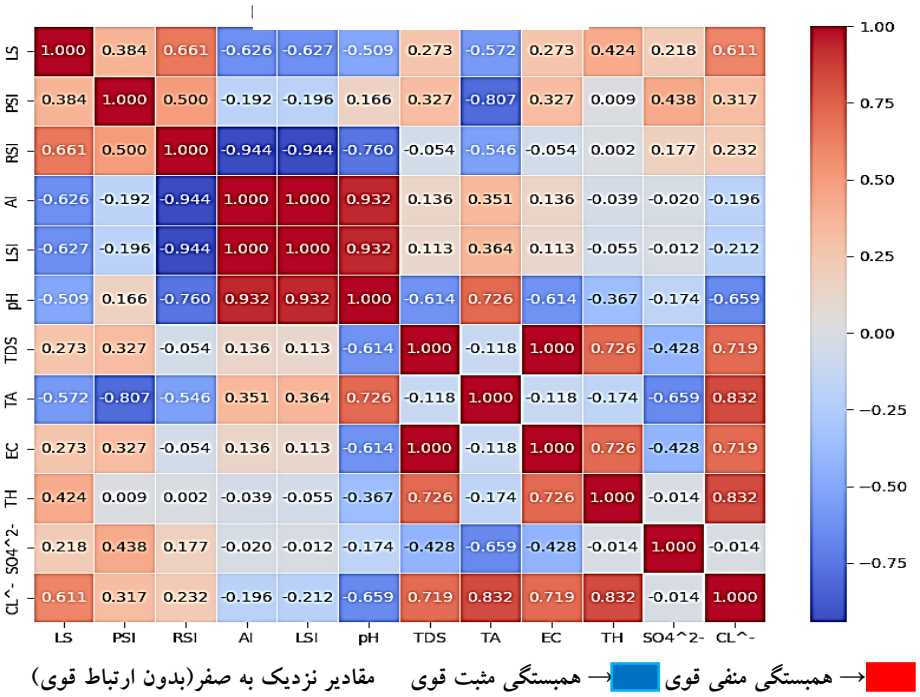


شکل ۲. وضعیت شاخص های پایداری، مقادیر شاخص لانژلیه (a)، شاخص رایزنر(b) ، شاخص تهاجمی (c)، شاخص پوکوریوس (d) ، شاخص لارسون (e) نسبت به شرایط پایدار(خط قرمز)

نقشه حرارتی[1] ضرایب همبستگی اسپیرمن برای بیان شدت همبستگی بین شاخص‌ها و پارامترهای شیمیایی در شکل شماره ۳ ارائه شده است.

1.Heatmap

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-05-26]



شکل ۳. نقشه حرارتی جدول همبستگی اسپیرمن شاخص های پایداری و آنالیز کیفی آب

دما تأثیر مستقیمی بر کیفیت، ویژگی‌های شیمیایی و فیزیکی آب دارد. شاخص‌های پایداری آب تابعی از دما هستند، زیرا با تغییر دما، میزان حلالیت مواد معدنی و گازها در آب تغییر می‌کند. این تغییرات می‌توانند منجر به رسوب‌گذاری یا خوردگی لوله‌ها و تجهیزات مرتبط با سیستم‌های آبی شوند. تأثیر دما بر شاخص‌های پایداری آب و رفتار آن در برابر رسوب‌گذاری و خوردگی به وضوح در جدول ۴ قابل مشاهده است. با افزایش دما، حلالیت برخی از مواد معدنی مانند کربنات کلسیم کاهش می‌یابد. این کاهش حلالیت می‌تواند منجر به تشکیل رسوب در لوله‌ها و تجهیزات شود و از سوی دیگر، کاهش دما ممکن است حلالیت برخی گازها مانند اکسیژن را افزایش دهد، که می‌تواند باعث افزایش خوردگی در سیستم‌های آبی شود.

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-05-26]

جدول ۴. وضعیت شاخص های پایداری آب هتل ها در دمای واقعی زمان نمونه گیری و سناریوهای دماهایی مختلف

اندیس	شرایط آب	درصد فراوانی		دمای واقعی	+۱۰	+۱۵	+۲۰	+۳۰
لانژلیه	رسوبگذار	-	حداکثر	۰/۵۹	۰/۴۰	۰/۵۰	۰/۶۹	۰/۷۹
	تثبیت شده (در حالت تعادل)	۹۰	حداقل	-۰/۲۱	-۰/۴۱	-۰/۳۱	-۰/۱۱	-۰/۰۲
	خورنده	۱۰	میانگین	۰/۳	۰/۱	۰/۲	۰/۴	۰/۴۹
			انحراف معیار	۰/۲۵	۰/۲۵	۰/۲۵	۰/۲۵	۰/۲۵
رایزنار	رسوبگذار	۰	حداکثر	۸/۴۲	۸/۸۱	۸/۶۱	۸/۲۲	۸/۰۳
	تثبیت شده	۰	حداقل	۷/۵۵	۷/۹۵	۷/۷۵	۷/۳۶	۷/۱۷
	خورنده	۱۰۰	میانگین	۷/۸۸	۸/۲۸	۸/۰۸	۷/۶۹	۷/۵۰
			انحراف معیار	۰/۲۷	۰/۲۷	۰/۲۷	۰/۲۷	۰/۲۷
پوکوریوس	تمایل به رسوبگذاری	۰	حداکثر	۸/۵۵	۸/۹۴	۸/۷۴	۸/۳۵	۸/۱۶
	تثبیت شده	۰	حداقل	۷/۸۲	۸/۲۱	۸/۰۱	۷/۶۲	۷/۴۳
	تمایل به خورندگی	۱۰۰	میانگین	۸/۲۰	۸/۶۰	۸/۴۰	۸/۰۱	۷/۸۲
			انحراف معیار	۰/۲۳	۰/۲۳	۰/۲۳	۰/۲۳	۰/۲۳
لارسون-اسکولد	تشکیل فیلم محافظ بدون دخالت یونهای کلرید و سولفات	۱۰۰	حداکثر	۰/۰۱				
	تشکیل فیلم محافظ با دخالت یونهای کلرید و سولفات	۰	حداقل	۰				
	خورنده	۰	میانگین	۰/۰۱				
			انحراف معیار	۰				
تهاجمی	به شدت خورنده	۰	حداکثر	۱۲/۶۹				
	خورنده	۱۰	حداقل	۱۱/۸۹				
	رسوبگذار	۹۰	میانگین	۱۲/۳۹				
			انحراف معیار	۰/۲۵				

در جدول ۵، پارامترهای مختلفی شامل جامدات محلول، بی‌کربنات، کلرور، کلسیم، منیزیم، pH، سختی و هدایت الکتریکی بررسی شده‌اند. هر پارامتر دارای وزن (wi) و وزن نسبی (Wi) است که اهمیت آن را در شاخص کلی نشان می‌دهد.

همچنین مقادیر کیفی (Qi) و حاصل‌ضرب Wi*Qi برای هر پارامتر محاسبه شده‌اند.کل مواد جامد محلول بیشترین سهم را در شاخص کلی دارد. این مساله نشان‌دهنده تأثیر زیاد جامدات محلول بر کیفیت آب و اثر مقدارجزئی کلرور در کیفیت آب دارد.

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-05-26]

جدول ۵. وضعیت شاخص‌های کیفی آب به تفکیک منبع

منبع	pH	TDS	EC	کلسیم	منیزیم	سختی کل	کربنات	بی کربنات	سولفات	کلراید	شاخص کیفی کل
۱	۹/۳۴	۲۸	۱۱/۴۳	۶/۱۸	۴/۹۶	۷/۶۸	۱/۸۷	۴/۰۳	۰/۰۲۱	۰/۰۲۱	۷۳/۵۴
۲	۹/۳۸	۲۸/۴۵	۱۱/۶۲	۷/۲۵	۵/۶	۸/۷۵	۱/۱۲۵	۵/۱۵	۰/۰۲۳	۰/۰۲۳	۷۷/۳۷
۳	۹/۳۵	۲۸/۵۵	۱۱/۶۵	۵/۰۱	۵/۷۶	۸/۰۶	۳	۴/۶۸	۰/۰۱۹	۰/۰۱۹	۷۶/۱۰
۴	۹/۳۱	۲۸/۶	۱۱/۶۷	۵/۷۰	۴/۶۴	۷/۱۴	۲/۲۵	۴/۴۰	۰/۰۱۵	۰/۰۱۵	۷۳/۷۶
۵	۹/۳۲	۲۸/۶۲	۱۱/۶۹	۵/۶	۵/۶	۸/۲۵	۱/۵	۴/۹۶	۰/۰۲۲	۰/۰۲۲	۷۵/۵۹
۶	۹/۲۹	۲۸/۶۷	۱۱/۷۰	۷/۲	۶/۰۸	۹/۲۵	۱/۵	۳	۰/۰۳۱	۰/۰۳۱	۷۶/۷۴
۷	۹/۳۱	۲۸/۷۵	۱۱/۷۳	۴/۸	۴/۸	۷/۰۶	۱/۵	۴/۳۱	۰/۰۲۲	۰/۰۲۲	۷۲/۳۳
۸	۹/۳۴	۲۶/۶	۱۱/۶۷	۷/۳۶	۵/۷۶	۷/۳۱	۱/۸۷	۵/۴۳	۰/۰۲۲	۰/۰۲۲	۷۷/۳۹
۹	۹/۳۵	۲۸/۶۷	۱۱/۷۰	۷/۴۱	۵/۲۸	۸/۶۰	۱/۵	۴/۸۷	۰/۰۲۴	۰/۰۲۴	۷۷/۴۳
۱۰	۹/۳۲	۲۸/۸	۱۱/۷۶	۵/۴۴	۵/۱۲	۷/۵۴	۱/۸۷	۴/۳۱	۰/۰۲۳	۰/۰۲۳	۷۴/۲۱

بحث

خوردگی و رسوب گذاری آب از اهم مسائلی است که پایش سیستم های توزیع آب باید با دقت بیشتر مورد توجه قرار گیرد چرا که عدم توجه کیفیت شیمیایی و پیدایش هرکدام از پدیده های فوق می تواند باعث آسیب های بهداشتی و اقتصادی فراوانی گردد [۲۴].

پتانسیل تشکیل رسوب یا خوردگی آب به فاکتورهایی شامل دما، غلظت کلسیم، میزان pH، قلیائیت آب، غلظت نمک‌های محلول، کلراید و سولفات آب وابسته است [۲۵].

مقایسه نتایج پارامترهای فیزیکی و شیمیایی آب آشامیدنی هتل‌های منتخب مشهد با استانداردها نشان می‌دهد که میانگین غلظت پارامترهای فیزیکی و شیمیایی آب از قبیل کل جامدات محلول، سختی آب، قلیائیت، pH، سولفات، کلراید و هدایت الکتریکی آب در محدوده استاندارد ملی ایران قرار دارد. میزان سختی آب نشان داد که تقریباً بیشتر منابع آب دارای سختی متوسط (کمتر از ۲۰۰mg/L) هستند و تعداد محدودی از آنها (هتل‌های کد 6، 9 و 2) در رده سخت (۳۰۰-۲۰۱ mg/L) قرار می‌گیرند. آب بیشتر هتل‌ها از نظر pH در محدوده قابل قبول است، اما ۵ هتل دارای آب با pH در محدوده قلیایی هستند که نشان‌دهنده تمایل آب به تشکیل رسوب است. میانگین قلیائیت کل آب (۱۴۴/۵ میلی‌گرم بر لیتر کربنات کلسیم) بیشتر از حد مطلوب استاندارد ایران (۱۲۰ میلی‌گرم بر لیتر کربنات کلسیم) است. در مطالعه‌ای که در سال ۱۳۹۳ توسط کاظم‌پور و همکاران به منظور بررسی پتانسیل خوردگی و رسوب‌گذاری منابع آب شرب شهرستان ملکشاهی با استفاده از شاخص‌های پایداری انجام شد، مقدار pH و جامدات آب شهرستان ملکشاهی در محدوده استاندارد ایران و EPA بود. میانگین سختی کلسیمی و قلیائیت بالاتر از حد مطلوب استاندارد ایران گزارش شد [۲۶].

بر اساس شاخص لانژلیه در حدود۹۰درصد دارای حالت تعادل با LSI نزدیک به صفر می باشد و تنها یک هتل LSI<0 داشته که نشان دهنده خورنده بودن آب است. این هتل‌ها ممکن است با مشکل خورندگی مواجه باشند که می‌تواند به لوله‌ها و تجهیزات آسیب برساند و باعث نشت

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-05-26]

یا خرابی شود. با افزایش دما از ۱۰ به ۳۰ درجه سانتیگراد، مقدار LSI از ۰/۵۹ به ۰/۷۹ افزایش یافته ولی همچنان در حالت تعادل است که این نشان‌دهنده افزایش تمایل آب به تغییرات جزیی در پایداری بود. میانگین LSI از ۰/۳در دمای ۱۰ درجه به ۰/۴۹ در دمای ۳۰ درجه افزایش یافته و انحراف معیار ثابت (۰/۲۵) نشان‌دهنده تغییرات نسبتاً یکنواخت بود. بررسی پایداری براساس نتایج شاخص رایزنر هم نشان داد آب تمامی هتل ها دارای خاصیت خورندگی (RSI>۷) بوده و پتانسیل تجزیه$CaCO_3$ در آنها وجود دارد. برای هتل هایی با RSI بیشتر از ۷ استفاده از مواد بازدارنده خوردگی یا تنظیم pH آب به منظور کاهش خورندگی ضروری بنظر می رسد. نتایج حاصل از طبقه بندی منابع آب هتل ها براساس شاخص لارسون- اسکلد تا حدودی با نتایج دو شاخص قبل(لانژلیه و رایزنر) متفاوت می باشد. تمرکز اصلی این شاخص بر نسبت غلظت یون‌های کلرید و سولفات به غلظت بیکربنات (HCO_3^-) است و بیشتر در سیستم‌های آب شور یا آب‌های با غلظت بالای املاح استفاده می شود. شاخص‌های لانژلیه، رایزنر و پوکوریوس تمایل آب به رسوب‌گذاری یا خوردگی را بر اساس اشباع بودن یا نبودن آب از کربنات کلسیم ارزیابی می‌کنند و عمدتاً برای منابع آب شیرین یا آب‌هایی با غلظت متوسط املاح کاربرد دارند[۲۷]. شاخص تهاجمی (AI) به طور خاص برای ارزیابی پتانسیل خوردگی آب در سیستم‌های لوله‌کشی و تجهیزات مرتبط با آب استفاده می‌شود. این شاخص بر اساس pH و قلیاییت آب محاسبه شده و نشان‌دهنده تمایل آب به خوردگی مواد، به ویژه لوله‌ها و تجهیزات فلزی، است. شاخص تهاجمی بیشتر در سیستم‌های آب شهری و صنعتی کاربرد دارد[9]. بر اساس نتایج به‌دست‌آمده، تقریباً ۹۰ درصد هتل‌ها دارای مقدار شاخص تهاجمی بالاتر از ۱۲ هستند که نشان می‌دهد آب این هتل‌ها غیرتهاجمی است و احتمال خوردگی در آن‌ها بسیار کم است. این نوع آب‌ها معمولاً برای سیستم‌های لوله‌کشی و تجهیزات بی‌خطر محسوب می‌شوند. از سوی دیگر، شاخص پوکوریوس (PSI)تفسیری مشابه با شاخص رایزنار دارد و تحت تأثیر ظرفیت بافری آب قرار می‌گیرد[17]. آب کلیه هتل‌ها دارای شاخص PSI بالاتر از ۷ است که نشان‌دهنده تمایل آب این هتل‌ها به خورندگی می‌باشد. از سوی دیگر، نتایج پژوهش دیانتی تیلکی و همکاران در بررسی رسوب‌گذاری و خورندگی منابع آب شرب برخی از شهرهای استان مازندران، بر اساس شاخص‌های رایزنر، لانژلیه و پوکوریوس، نشان داد که به ترتیب ۷۶، ۳/۸۱ و ۸/۶۸ **درصد** از نمونه‌ها دارای پتانسیل رسوب‌گذاری هستند. همچنین، شاخص‌های لارسون و تهاجمی نیز تمایل آب به وضعیت رسوب‌گذار را نشان می دهند[۱۸]. مطالعه جهانگیری‌راد و محمدرفیع در بررسی شاخص‌های پایداری نشان داد که کیفیت اکثر نمونه‌ها، با توجه به استاندارد ۱۰۵۳ ایران، در محدوده مجاز قرار دارد. با این حال، میزان سختی، غلظت منیزیم و سولفات در یکی از مخازن بیشتر از حد مجاز بوده است. شاخص لانژلیه نیز وضعیت رسوب‌گذار آب را نشان می‌داد که به دلیل بالا بودن غلظت کلسیم آب است[۲۸]. ماتریس همبستگی برای بررسی روابط خطی بین متغیرهای مختلف مورد استفاده قرار گرفت. همبستگی مثبت قوی بین متغیرهای شاخص تهاجمی (AI) و شاخص لانژلیه (LSI) مشاهده شد. همچنین، همبستگی منفی قوی(r=۰/۹۴۴) بین متغیرهای شاخص رایزنار (RSI) و شاخص تهاجمی (AI) وجود دارد. شاخص کیفیت آب (WQI)در تمامی نمونه های برداشت شده از آب هتل در محدوده ۶۵ تا است که نشان‌دهنده حالت محافظت‌شده است اما گاهی اوقات دچار اختلالات می‌شود. این سطح نشان می‌دهد که اگرچه بدنه آبی شرایط قابل قبولی را برای اکثر مصارف حفظ می‌کند، اما در برابر رویدادهای آلودگی دوره‌ای یا نوسانات طبیعی که ممکن است به صورت موقت کیفیت آن کاهش یابد. چنین آب‌هایی نیاز به نظارت مداوم و مدیریت پیشگیرانه دارند تا از افت کیفی بیشتر جلوگیری شود و یکپارچگی اکولوژیکی و قابلیت استفاده آنها حفظ شود.

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-05-26]

نتیجه گیری

سیستم پایدارسازی و تثبیت ویژگی‌های کیفی آب نقش مهمی در کنترل و پیشگیری از خورندگی و رسوب‌گذاری دارد. یافته‌های این مطالعه نشان داد که شاخص‌های فیزیکی و شیمیایی، آنیون‌ها، پارامترهای سختی، قلیاییت و جامدات محلول در تمامی هتل‌های مورد بررسی در محدوده استاندارد ملی قرار دارند. میانگین کلی شاخص‌های لانژلیه، رایزنر، پورکویوس، تهاجمی و لارسون–اسکلوند برای آب هتل‌های منتخب به‌ترتیب ۰/۲۵±۰/۳، ۷/۸۸±۰/۲۷، ۸/۲۰±۰/۲۳، ۱۲/۳۹±۰/۲۵ و ۰±۰/۰۱ محاسبه شد. در مجموع، کیفیت آب تمایل به خورندگی داشته و لذا توصیه می‌شود برای خطوط انتقال و توزیع آب از مواد مقاوم استفاده شود یا اقداماتی مانند پوشش‌دهی داخلی لوله‌ها و اصلاح کیفیت آب صورت گیرد. همچنین استفاده از ابزار شاخص کیفی آب برای تفسیر آسان و سریع داده ها به منظور استفاده آب شرب، بسیار مفید بوده و در محدوده ۶۵ تا ۷۹، نشان‌دهنده وضعیت نسبتاً خوب است اما در برابر رویدادهای آلودگی دوره‌ای یا نوسانات طبیعی ممکن است به صورت موقت کاهش یابد. چنین آب‌هایی نیاز به نظارت مداوم و مدیریت پیشگیرانه تا قابلیت استفاده آنها حفظ شود.

سپاسگزاری

نویســـندگان از حوزه معاونت پژوهش و فنآوری دانشـــگاه علوم پزشـــکی مشـــهد برای فراهم کردن امکانات و اجرای مطالعه سپاسگزاری میکنند.

تعارض منافع

نویســـندگان اذعان میدارند که در اجرای پژوهش و همچنین نگارش مقاله تضاد منافع نداشته اند.

حمایت مالی

این طرح تحقیقاتی با کد ۴۰۱۲۳۹۴ با حمایت مالی معاونت تحقیقات و فن آوری دانشگاه علوم پزشکی مشهد به انجام رسیده است.

ملاحظات اخلاقی

این مقـالـه برگرفتـه از طرح تحققـاتی بـا کـد اخلاق IR.MUMS.FHMPM.REC.1402.059 می باشد.

مشارکت نویسندگان

-جمع آوری اطلاعات و اجرای پژوهش: سمیه رهدار ، فرزانه حسن زاده، جمشید جمالی

-آماده ساز نسخه اولیه : محمود شمس، علی اکبر محمدی، حسین علیدادی

-ارائه ایده پژوهش، جمع آوری اطلاعات و آماده سازی نسخه نهایی مقاله: محمود شمس، علی اکبر محمدی و سمیه رهدار

-ارائه مشاوره در اجرای پژوهش و نظارت بر آماده سازی: علی اکبر دهقان، حسین علیدادی، مجتبی داودی

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-05-26]

References

1. Honarbakhsh A, Soori, M. M., & Ostovari, Y. Qualitative Assessment and Mapping of Corrosion and Sedimentation Potential of Marvdasht Groundwater. Environment and Water Engineering, 2018;4(3): 229-40.
2. Berry L, Steffy Y, Shank K. Development of a water quality index (WQI) for the Susquehanna River basin. SRBC, New York USA 2020.
3. Hadi M, Z. Aboosaedi, and H. Pasalari. Corrosion or scaling tendency and trend for water resources in rural areas of Kashan. Iranian Journal of Health & Environment 2019;12.(۱)
4. Kazempour A, Tabasideh, F., & Shokri Dariyan, F. Survey on Potential Sedimentation and Corrosion in Drinking Water Resources of Malekshahi City Using Stability Indexes in. Beyhagh 2017;22(3): 1-15.
5. Mazani H, and G. Mahmoodlu. "M, Jandaghi, N, Raghimi, M, Heshmatpour, A,. Evaluation of the corrosiveness and precipitation potential in the drinking water supply wells of Gorgan city. Water Resources Engineering Journal, 2024;17(61): 52-64.
6. Mukate S, Wagh V, Panaskar D, et al. Development of new integrated water quality index (IWQI) model to evaluate the drinking suitability of water. Ecological indicators 2019;101: 348-54.
7. Kkhalili R, Parvinnia M, Zali A. Water quality assessment of Garmarood River using the national sanitation foundation water quality index (NSFWQI), river pollution index (RPI) and weighted arithmetic water quality index (WAWQI). Environment and Water Engineering 2020;6(3): 274-84.
8. Hussein Farh HM, Ben Seghier MEA, Taiwo R, Zayed T. Analysis and ranking of corrosion causes for water pipelines: a critical review. NPJ Clean Water 2023;6(1): 65.
9. Anshar AM, Musa B, Ayaz M, et al. A Critical Review on Corrosion and Fouling of Water in Water Distribution Networks and Their Control. Acta Chimica Slovenica 2023;70.(۲)
10. Palazzo A, van der Merwe J, Combrink G. The accuracy of calcium-carbonate-based saturation indices in predicting the corrosivity of hot brackish water towards mild steel. Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy 2015;115(12): 1229-38.
11. Mahmoodpour Moteshakker P, Hasani, A., Torabian, A., & Poorrajab, R. Comparative survey on Physico-Chemical parameters of underground waters in Malard county villages with the use of GWQI index and studying the trend of their changes in GIS system . Iranian Journal of Environmental Geology 2018;12(42): 71-85.
12. Vasconcelos HC, Fernández-Pérez BM, González S, et al. Characterization of the corrosive action of mineral waters from thermal sources: a case study at Azores Archipelago, Portugal. Water 20.۳۰-۳۵۱۵ :(۷)۷;۱۵
13. SAHIROU BM, LAOUALI MS, MAHAMANE AA, IDI AAB. Maximum, minimum and typical concentration of copper, iron, lead and zinc that can be leached in tap water. World Journal of Advanced Research and Reviews 2022;14(1): 419-26.
14. MAHMOUDI M, et al. Investigation of Sedimentation and Corrosion Indices of Drinking Water Resources in the Cities of Mazandaran Province. Journal of health research in community, 2018;4(2): 57-67.
15. Hoseinzadeh E, Yusefzadeh A, Rahimi N, Khorsandi H. Evaluation of corrosion and scaling potential of a water treatment plant. 2013.
16. Shankar B. Determination of scaling and corrosion tendencies of water through the use of Langelier and Ryznar indices. Scholars Journal of Engineering and Technology 2014;2(2): 123.۲۷-
17. 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.
18. Mahmoudi M. Investigation of Sedimentation and Corrosion Indices of Drinking Water Resources in the Cities of Mazandaran Province. Journal of health research in community 2018;4(2): 57-67.
19. Shams M, Mohamadi A, Sajadi SA. Evaluation of corrosion and scaling potential of water in rural water supply distribution networks of Tabas, Iran. World Appl Sci J 2012;17(11): 1484-89.
20. Hosseini H, Shakeri A, Rezaei M, et al. Application of water quality index (WQI) and hydro-geochemistry for surface water quality assessment, Chahnimeh reservoirs in the Sistan and Baluchestan Province. 2019.
21. Shahvi S, Torabian A. Studying Iranian Drinking Water Quality Guidelines Compared to the Authentic World Standards. Journal of Water and Wastewater Science and Engineering 2017;2(2): 3-13.
22. Council NR, Earth Do, Studies L, et al. Fluoride in drinking water: a scientific review of EPA's standards. 2007.
23. Pontius F. Drinking water regulation and health: John Wiley & Sons; 2003.
24. Palma L, Hatam F, Di Nardo A, Prévost M. Contaminations in water distribution systems: a critical review of detection and response methods. AQUA—Water Infrastructure, Ecosystems and Society 2024;73(6): 1285-302.
25. Kheradmand Y, Baft F, Moghanizadeh A. Evaluating the potential of corrosion and sedimentation in drinking water distribution system. 2014.
26. Kazempour A, Tabasideh F, Shokri Dariyan F. Survey on Potential Sedimentation and Corrosion in Drinking Water Resources of Malekshahi City Using Stability Indexes in 2014. Beyhagh 2017;22(3): 1-15.
27. Paul R, Taid TC, Bhuyan B. A Software Generated Chart for Balancing Water Indices with Respect to Langelier Saturation Index: A Study in and Around the Tea Gardens of Lakhimpur District, Assam, India. Ecology, Environment & Conservation (0971765X) 2024;30.
28. Jahangiri-Rad M ,Rafiee M. Factors affecting scale formation in water distribution networks of Semnan city and preventive measures. 2021.

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-05-26]