



ارزیابی هم‌بستگی بین شاخص‌های خوردگی و رسوب‌گذاری با پارامترهای کیفی آب شرب در لوله‌های آزیست-سیمان

فرزانه بقال اصغری

کارشناس ارشد مهندسی بهداشت محیط، دانشگاه علوم پزشکی ارومیه، ارومیه، ایران

رضا دهقان‌زاده ریحانی

گروه مهندسی بهداشت محیط دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی تبریز، تبریز، ایران

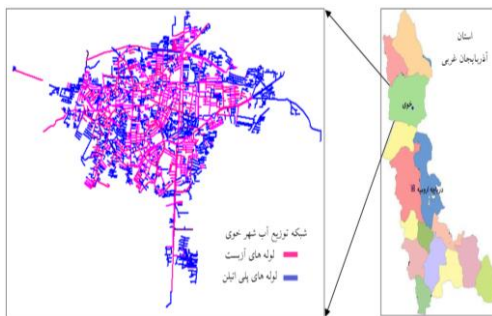
dehghanzadehr@tbzmed.ac.ir

چکیده

خوردگی و رسوب‌گذاری در لوله‌های آب شرب از عوامل مهم تأثیرگذار در کیفیت آب و ایجاد اختلالات بهداشتی و مشکلات اقتصادی است. هدف این مطالعه ارزیابی این پدیده‌ها در یک شبکه آب دارای لوله‌های آزیست-سیمان با استفاده از شاخص‌های خوردگی می‌باشد. شبکه آب شهر خوی به عنوان پایلوت انتخاب و نمونه‌ها از شیرهای برداشت عمومی به حجم ۳-۲ لیتر به روش استاندارد متد برداشت و آنالیز شد. پتانسیل خوردگی و رسوب‌گذاری با استفاده از شاخص‌های لانژلیه، رایزنر، تهاجمی، پوکوریوس و لارسون و با اندازه‌گیری پارامترهای فیزیکی، شیمیایی و میکروبی آب بررسی شد. مقادیر شاخص‌های لانژلیه، رایزنر، پوکوریوس، تهاجمی و لارسون در فصل سرد به ترتیب برابر 0.4 ± 0.2 ، 8 ± 0.3 ، 1.5 ± 0.2 ، 12 ± 0.2 ، 0.3 ± 0.1 و در فصل گرم 0.12 ± 0.25 ، 7.8 ± 0.3 ، 9.2 ± 0.22 ، 0.2 ± 0.1 و 12.1 ± 0.08 به دست آمد. بر اساس اندیس‌های لانژلیه، رایزنر و پوکوریوس، آب شرب شهر زیراشباع بوده و خورنده است. آزمون آماری paired samples t test نشان داد که در دو فصل گرم و سرد سال اندیس‌های لانژلیه، رایزنر و پوکوریوس اختلاف معنی‌داری دارند ($P.value < 0.001$). نتایج بیان‌گر نامتعادل بودن کیفیت شیمیایی آب است که می‌تواند سبب خوردگی در سیستم توزیع آب شود. چون خوردگی در لوله‌های آزیست-سیمان از لحاظ بهداشتی حائز اهمیت است، بنابراین انجام اقدامات لازم جهت متعادل سازی کیفیت آب قبل از ورود به شبکه و جایگزینی لوله‌ها جهت حفظ سلامتی مردم ضروری است.

کلید واژه: اندیس خوردگی، آزیست سیمان، اثرات بهداشتی

۱- مقدمه



شکل ۱: موقعیت جغرافیایی و نقشه شبکه توزیع آب شرب شهر خوی

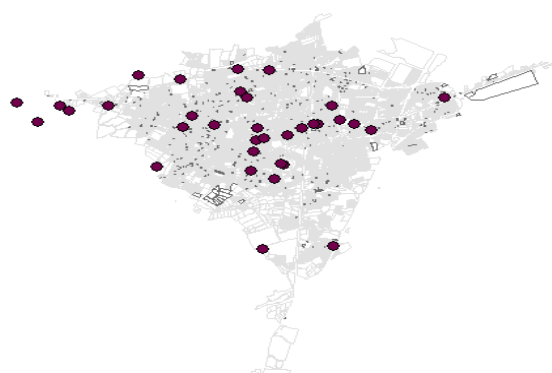
عوامل شیمیایی گوناگونی هم‌چون pH، قلیائیت، سختی کلسیم، کل جامدات محلول، گازهای محلول (اکسیژن، دی‌اکسید کربن، سولفید هیدروژن)، کلر باقی‌مانده، کلراید و سولفات روی در خوردگی مؤثر هستند [۱۰-۱۳]. در pH های اسیدی، آب دارای خاصیت خوردگی است و در pH های بیش‌تر از ۷ با افزایش غلظت کربنات کلسیم در آب، آب خاصیت رسوب‌گذاری داشته و شرایط برای حفاظت لوله‌ها فراهم می‌گردد. به‌طور کلی هر چه مقدار جامدات محلول آب بیش‌تر باشد پتانسیل خوردگی آب افزایش می‌یابد [۱۳-۱۴]. تأثیر نمک‌های محلول در خاصیت خوردگی آب به نوع و غلظت آن‌ها بستگی دارد، حضور یون‌های کلرور و سولفات سبب تشدید خوردگی و یون‌هایی نظیر کربنات، بی‌کربنات و کلسیم سبب کاهش خوردگی می‌شوند [۱۰، ۱۵-۱۸]. اکسیژن اغلب به عنوان خورنده‌ترین ترکیب در شیمی آب مطرح است. دی‌اکسید کربن به دلیل ایجاد اسید کربنیک و در نتیجه کاهش pH، سبب تشدید خوردگی می‌شود. کلر به عنوان یک ماده گندزدایی متداول جهت کنترل رشد میکروارگانیسم‌ها، باعث افزایش خوردگی می‌شود [۱۴، ۱۱، ۱۹-۲۰]. افزایش درجه حرارت آب نیز می‌تواند سبب تشدید خوردگی شود [۲۱].

یکی از روش‌های غیرمستقیم اندازه‌گیری و تشخیص ساده خوردگی و بررسی تمایل آب به رسوب‌گذاری، کاربرد اندیس‌های خوردگی می‌باشد. ارزیابی دقت اندیس‌ها بر اساس توانایی آن‌ها در مشخص کردن شرایط زیر اشباع،

کیفیت فیزیکی-شیمیایی، میکروبی، نوع و درجه رسوب‌گذاری ترکیبات آب و خوردگی منابع آب زیرزمینی دارای اهمیت ویژه‌ای در تعیین مناسب بودن آن جهت مصارف عمومی و صنعتی می‌باشد [۱-۲]. آب‌های خورنده علاوه بر ایجاد خوردگی در لوله‌ها و ضررهای اقتصادی باعث تغییر کیفیت آب و آلودگی ثانویه در شبکه‌های توزیع می‌شود که این امر علاوه بر آلودگی میکروبی و افزایش غلظت فلزاتی چون آهن، روی، مس، منگنز، سرب، سلنیوم و آرسنیک در آب و به خطر انداختن سلامتی مردم، با تغییر بو و مزه و رنگ آب باعث اعتراض و شکایات مصرف‌کنندگان می‌شود [۳-۶]. شهر خوی در موقعیت جغرافیایی ۴۴ درجه و ۲۸ دقیقه طول جغرافیایی و ۳۸ درجه و ۵۶ دقیقه عرض جغرافیایی و در رقوم ارتفاعی حدود ۱۱۳۰ تا ۱۱۸۰ متری از سطح دریا و در شمال دریاچه ارومیه واقع شده است (شکل ۱). منبع تامین آب شرب این شهر از آب زیرزمینی و از طریق ۱۸ حلقه چاه و بدون اصلاح خصوصیات شیمیایی آب و تنها از طریق گندزدایی وارد شبکه توزیع می‌گردد که این موضوع می‌تواند مشکلات مربوط به خوردگی و رسوب‌گذاری را در لوله‌های آب در پی داشته باشد. لوله‌های مورد استفاده در شبکه توزیع این شهر از نوع آرزبست سیمان و پلی‌اتیلنی می‌باشد. خوردگی در لوله‌های آرزبست سیمان به‌ویژه توسط ترکیباتی هم‌چون سولفات و کلراید با متلاشی کردن سیمان می‌تواند ورود فیبرهای آرزبست به آب را تشدید نماید. شواهد محکمی از خطرات بهداشتی ناشی از بلع فیبرهای آرزبست در دست نیست. با این حال در استاندارد ملی ایران، ۷ میلیون فیبر در لیتر به‌عنوان حداکثر مجاز توصیه شده است [۷]. در مطالعه‌ای در کانادا تعداد فیبر آرزبست در نمونه‌های آب در یک شبکه دارای لوله‌های آرزبست سیمان تا ۲۰۰۰ میلیون فیبر در لیتر گزارش شده است [۸]. این فیبرها می‌توانند از طریق دوش آب و سیستم تهویه مطبوع به هوا منتشر شود. آرزبست یکی از ترکیبات شناخته شده سرطان‌زای انسانی از طریق استنشاق است [۹].

۲- مواد و روش‌ها

تعداد و محل‌های نمونه‌برداری در شبکه توزیع بر اساس تراکم جمعیت تحت پوشش، نوع لوله‌ها و با استفاده از نقشه آبرسانی شهر و همچنین پس از انجام مشاوره علمی و آماری انتخاب گردید. در شکل (۲) نقاط نمونه‌برداری آورده شده است. جهت محاسبه اندیس‌های خوردگی براساس فرمول آماری $N = \frac{Z^2 S^2}{d^2}$ و با لحاظ نمودن تکرار نمونه‌برداری از هر مکان در دو فصل مختلف سرد و گرم سال (زمستان و تابستان)، تعداد نهایی نمونه‌ها به ۷۵ نمونه رسید. نمونه‌ها از شبکه توزیع مطابق دستورالعمل‌های مذکور در کتاب مرجع روش‌های استاندارد آزمایش آب و فاضلاب به حجم ۳-۲ لیتر برداشت و مورد آنالیز قرار گرفت.



شکل ۲: نقاط نمونه‌برداری از شبکه توزیع آب شرب

جهت محاسبه اندیس‌های خوردگی، پارامترهای کیفی آب از قبیل درجه حرارت، هدایت الکتریکی، کل جامدات محلول، pH، اکسیژن محلول، سختی کلسیم، قلیائیت، کلرور و سولفات در نمونه‌های آب مورد سنجش قرار گرفت. برای اندازه‌گیری جامدات محلول از روش وزن‌سنجی و برای تعیین سختی، قلیائیت و کلراید از روش تیتراسیون استفاده شد. اندازه‌گیری غلظت یون سولفات با روش کدورت سنجی در طول‌موج ۴۲۰ نانومتر و با کمک دستگاه اسپکتروفتومتر DR2200 انجام گرفت. اندازه‌گیری کلر باقی مانده و pH با بهره‌گیری از کیت آزمایشگاهی و نیز درجه حرارت آب در محل نمونه‌برداری انجام شد.

اشباع یا فوق‌اشباع آب بر حسب کربنات کلسیم است [۱۶]. مطالعات مختلف نشان داده که در راستای تصمیم‌گیری جامع و دقیق‌تر، بهتر است شاخص‌های خوردگی به‌صورت هم‌زمان مورد ارزیابی قرار گیرد. به‌عنوان مثال، مطالعه انجام گرفته توسط تیموری و همکاران (۱۳۹۱) نشان می‌دهد که استفاده از دو شاخص خوردگی لانژلیه و رایزنر به‌طور هم‌زمان در ارزیابی پتانسیل خوردگی و رسوب‌گذاری در مخزن ذخیره و شبکه توزیع آب نتایج قابل‌دقیق‌تری ارائه می‌دهد [۲۲]. عوض‌پور و همکاران (۱۳۸۷) نشان دادند که در منابع آب شهرستان ایلام شاخص اشباع لانژلیه دارای مقادیر منفی و کم‌تر از صفر و آب نسبت به کربنات کلسیم در شرایط غیر اشباع بوده و تمایل به خوردگی در جدار لوله‌ها را دارد که با استفاده از شاخص رایزنر و اندیس خوردگی، خورنده بودن آب تایید شد [۲۳]. از آنجایی که شاخص اشباع لانژلیه فقط برای کنترل رسوب کلسیم در سیستم‌های با کل جامدات محلول کم و در دماهای نه‌چندان بالا صادق هست، بنابراین این شاخص به‌تنهایی برای تعیین پتانسیل خوردگی آب قابل‌اعتماد نخواهد بود [۱۰]. همچنین از آنجایی که اندیس پوکوریوس تنها برای آب‌های دارای pH بزرگ‌تر از ۸ دارای دقت کافی می‌باشد و تنها در این حالت از اندیس رایزنر و لانژلیه دقیق‌تر است، بنابراین محاسبه اندیس پوکوریوس به‌تنهایی برای نتیجه‌گیری در مورد خوردگی نمونه‌ها از دقت کافی برخوردار نبوده و رضایت بخش نمی‌باشد [۲۴]. بنابراین هدف اصلی این مطالعه تعیین شرایط آب از نظر تمایل به خوردگی یا رسوب‌گذاری در شبکه توزیع آب و بررسی اثر درجه حرارت آب در دو فصل سرد و گرم بر روی این پدیده‌های شیمیایی بود. همچنین نتایج حاصل از شاخص‌های مختلف خوردگی با هم‌دیگر مقایسه شد و اثر خصوصیات مختلف فیزیکی، شیمیایی و میکروبی آب بر روی این شاخص‌ها مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت.

جدول ۱- تفسیر اندیس‌های لانژیه، تهاجمی، لارسون و پوکوریوس

اندیس پوکوریوس		اندیس لارسون		اندیس تهاجمی		اندیس لانژیه	
مقدار اندیس	تفسیر اندیس	مقدار اندیس	تفسیر اندیس	مقدار اندیس	تفسیر اندیس	مقدار اندیس	تفسیر اندیس
$PI < 6$	رسوب‌گذار	$LaI < 0.5$	خورندگی کم	$AI > 12$	خورندگی کم	$LI > 0$	رسوب‌گذار
$PI > 6$	خورنده	$LaI = 0.5-1$	خورندگی متوسط	$AI = 10-12$	خورندگی متوسط	$LI = 0$	متعادل
$PI = 6$	متعادل	$LaI > 1$	خورندگی زیاد	$AI < 10$	خورندگی زیاد	$LI < 0$	خورنده

جدول ۲- تفسیر اندیس رایزنر

مقدار اندیس	تفسیر اندیس
< 4	آب رسوب‌دهی زیادی دارد
$5-6$	آب نسبتاً رسوب‌ده می‌باشد و کمی خورنده است
$6-6.5$	آب نه خاصیت خورندگی دارد و نه رسوب‌دهی (مشکل وجود ندارد)
$6.5-7$	آب خاصیت خورندگی دارد و رسوب‌دهی کم می‌باشد
> 8	آب خاصیت خورندگی داشته و رسوب‌دهی کم است (آب خورنده است)

است. با توجه به اینکه اندیس RI کاربرد بیشتری در محاسبات و بررسی پدیده خوردگی و رسوب‌گذاری آب دارد تفسیر این اندیس با جزئیات بیشتری در جدول (۲) آورده شده است. در این مطالعه نمونه‌ها از نظر آلودگی میکروبی به وسیله شاخص‌های میکروبی کلیفرم کل و گرم‌پای و همچنین شمارش بشقابی باکتری‌های هتروتروفیک (HPC) با روش استاندارد بررسی شدند. جهت تعیین HPC نمونه‌ها، آب مورد نظر ابتدا تا رقت ۰/۰۰۱ رقیق سازی شد. برای کشت نمونه‌ها از محیط کشت R₂Agar استفاده شده و برای کشت نمونه‌ها مقدار ۰/۲ سی‌سی از نمونه‌های رقیق شده روی محیط کشت و در کنار شعله کشت داده شده و در دمای ۳۵ درجه سانتی‌گراد به مدت سه روز انکوبه و شمارش شدند و (MPN (Most Probable Number با بهره‌گیری از کشت میکروبی توأم با مراحل احتمالی و تأییدی و تکمیلی مورد سنجش قرار گرفت. تعیین کلیفرم با توجه به نوع آب‌های مورد بررسی که آب‌های شرب

روابط مورد استفاده برای محاسبه اندیس‌های خوردگی لانژیه^۱ (LI)، رایزنر^۲ (RI)، تهاجمی^۳ (AI)، پوکوریوس^۴ (PI) و لارسون^۵ (La) [۲۵] به ترتیب $LI = pH - pHS$ ، $RI = 2(pHS - pH)$ ، $AI = pH + \log[(A)(H)]$ ، $LaI = 2[SO_4^{2-}] + [Cl^-]/[HCO_3^-]$ (pH آب در حالت اشباع از کربنات کلسیم) به صورت $pHS = (9.3 + A + B) - (C - D)$ محاسبه می‌شود که در این فرمول، A: جامدات محلول آب، B: درجه حرارت آب، C: سختی کلسیم و D: قلیائیت می‌باشد. در فرمول اندیس خوردگی AI منظور از A، قلیائیت کل و در فرمول PI، pHeq آب در حالت تعادل بوده و از رابطه $pHeq = 1.465 \log(T - Alk) + 4.54$ محاسبه می‌شود [۱۱]، [۱۲] در جدول (۱) تفسیر اندیس‌های محاسبه شده آورده شده

- 1- Langelier Index
- 2- Ryzener Index
- 3- Aggressiveness Index
- 4- Puckorius Index
- 5- Larson Index

خوردگی کاهش می‌یابد [۹]. قلیائیت اثر معکوس بر روی میزان خوردگی دارد و در قلیائیت‌های بیش از ۶۰ میلی‌گرم در لیتر سرعت خوردگی کاهش می‌یابد [۲۸]. نتایج نشان می‌دهد که قلیائیت در آب شبکه مورد مطالعه نسبتاً بالاست که می‌تواند نقش مفیدی در جلوگیری از خوردگی لوله‌ها داشته باشد. میانگین کلر باقی‌مانده در شبکه آب شرب شهرستان خوی در فصل سرد و گرم سال به ترتیب $0/22 \pm$ و $0/42 \pm$ میلی‌گرم در لیتر می‌باشد. میانگین کلیفرم کل ۶۶ درصد نمونه‌ها در فصل سرد و میانگین کلیفرم کل ۶۰ درصد نمونه‌ها در فصل گرم سال کم‌تر از ۱/۱ بود و هم‌چنین میزان کلیفرم گرماپای نمونه‌های مورد بررسی در هر دو فصل ۰ در ۱۰۰ میلی‌لیتر نمونه گزارش شد. میانگین HPC نمونه‌های آب بررسی شده شهر خوی در دو فصل سرد و گرم سال به ترتیب 14 ± 16 و 41 ± 26 (cfu/ml) بود. نتایج حاصل از محاسبات انجام شده برای شاخص‌های لائزلیه، رایزنر، پوکوریوس، ته‌اجمی و لارسون در جدول (۴) ارائه شده است. تمامی شاخص‌ها به‌غیر از شاخص AI نشان می‌دهد که آب خورنده است. در فصل سرد تمامی ۷۰ نمونه (۱۰۰ درصد) و در فصل گرم ۴۴ نمونه (۶۳ درصد) آنالیز شده شهر خوی، مقدار اندیس لائزلیه کم‌تر از صفر بود. بر اساس میانگین نتایج این اندیس، آب شرب شهرستان خوی زیر اشباع بوده و تجزیه CaCO_3 به کاتیون و آنیون مربوطه انتظار می‌رود. بنابراین بر اساس این اندیس آب دارای خاصیت خوردگی می‌باشد. هم‌چنین در همه نمونه‌های آنالیز شده مقدار اندیس رایزنر بیش‌تر از ۷ می‌باشد، بنابراین می‌توان نتیجه‌گیری کرد که آب این نمونه‌ها دارای پتانسیل خوردگی می‌باشد که این خود دلیلی بر خورنده بودن آب شرب شهرستان خوی می‌تواند باشد.

می‌باشد با استفاده از روش ۱۰ لوله ای انجام گرفت. تمام مواد شیمیایی مورد استفاده در آزمایش‌های شیمیایی و میکروبی ساخت شرکت Merc آلمان بود. در نهایت داده‌های جمع آوری شده از طریق نرم‌افزارهای Microsoft Office Excell و SPSS مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت.

۳- یافته‌ها و بحث

در جدول (۳) خلاصه نتایج آماری مقادیر پارامترهای اندازه‌گیری شده در نمونه‌های برداشت شده از شبکه توزیع آب شرب در دو فصل گرم و سرد سال ارائه شده است. پارامترهای انتخاب شده بر اساس معیارهای لازم در محاسبه شاخص‌های خوردگی و رسوب‌گذاری بوده است. نتایج نشان می‌دهد که اکثر پارامترها در محدوده مقادیر مطلوب بر اساس استاندارد ملی قرار دارند. اما میانگین دمای آب در فصل گرم سال حدود ۲ برابر فصل سرد می‌باشد که این موضوع می‌تواند بر میزان انحلال و رسوب‌گذاری ترکیبات تأثیر قابل توجهی داشته باشد. مطالعات نشان می‌دهد که در فصول سرد مصرف کنندگان شکایت کم‌تری به طعم و مزه و رنگ آب دارند که نشان دهنده پایین بودن فعل و انفعالات شیمیایی در آب سرد می‌باشد. پنج فاکتور کلیدی که بر روی میزان خوردگی تأثیر دارند می‌توانند با درجه حرارت تغییر یابند که شامل فعالیت‌های بیولوژیکی، حلالیت اکسیژن محلول، خصوصیات فیزیکی آب مانند ویسکوزیته، سرعت اکسیداسیون ترکیبات لوله و خصوصیات ترمودینامیکی رسوبات ناشی از خوردگی می‌باشند. اکسیژن محلول نیز بر روی سرعت اکسیداسیون و در نتیجه سرعت خوردگی، غلظت و خصوصیات رسوبات تأثیر دارد. هرچه غلظت اکسیژن محلول بیش‌تر باشد، سرعت خوردگی بیش‌تر خواهد بود [۲۷]. متوسط pH آب در نمونه‌های به‌دست آمده از شبکه بالاتر از ۷/۵ می‌باشد و افزایش pH آب از ۷ تا ۹ می‌تواند سرعت خوردگی را در لوله‌های آهنی افزایش دهد. اما برعکس در لوله‌های سیمانی در بالاتر از ۸/۵ سرعت

جدول ۳- آنالیز آماری پارامترهای اندازه‌گیری شده در نمونه‌های مورد بررسی در دو فصل گرم و سرد سال

پارامترها	فصل سرد سال			فصل گرم سال			انحراف معیار
	حداکثر	حداقل	میانگین	انحراف معیار	حداکثر	حداقل	
دما	۱۳	۴/۷	۱۰/۹	۱/۷	۲۸	۱۶	۲۱/۸
pH	۷/۷	۷/۳	۷/۵	۰/۱	۷/۸	۷/۲	۷/۵
اکسیژن محلول	۵/۴	۳/۷	۴/۱	۰/۳	۴/۶	۲/۲	۳/۹
هدایت الکتریکی	۶۵۳	۵۹۵	۶۲۰	۱۵/۶	۶۷۴	۵۶۳	۵۹۹/۷
کل جامدات محلول	۴۵۷/۱	۴۱۶/۵	۴۳۴/۱	۱۰/۹	۴۷۱/۸	۳۹۴/۱	۴۱۹/۸
سختی کل	۳۳۲	۲۳۲	۲۸۸/۶	۲۶/۱	۳۵۲	۲۸۰	۳۱۹/۵
سختی کلسیم	۲۲۰	۱۲۰	۱۶۷/۸	۲۷/۵	۱۸۰	۱۱۶	۱۴۱/۶
قلیائیت فنل فتالین	صفر	صفر	صفر	صفر	صفر	صفر	صفر
قلیائیت متیل اورانژ	۳۴۰	۲۲۲	۲۷۰/۷	۲۳/۵	۳۲۰	۲۴۶	۲۷۷/۲
سولفات	۶۱/۳	۱۰/۶	۳۱	۱۳/۸	۶۳/۶	۱۴/۸	۳۵/۱
کلرور	۵۳/۵	۳	۱۵/۶	۸/۸	۱۷/۹	۵/۴	۱۲/۲
کلر باقیمانده	۰/۷	۰	۰/۴۲	۰/۲۲	۰/۸	۰	۰/۵
(HPC) cfu/ml	۶۰	۰	۱۵/۵	۱۴/۵	۶۰	۰	۲۵/۶
MPN/100ml	۱/۱	<۱/۱	-	-	۱/۱	<۱/۱	-

جدول ۴- حداکثر، حداقل، میانگین و انحراف معیار شاخص‌های محاسبه شده

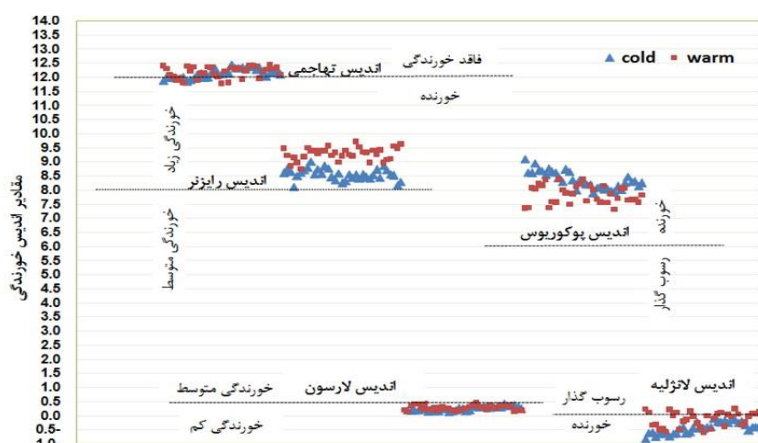
پارامترها	فصل سرد			فصل گرم			انحراف معیار
	حداکثر	حداقل	میانگین	انحراف معیار	حداکثر	حداقل	
شاخص لائزلیه	-۰/۱	-۰/۸	-۰/۴	۰/۲	۰/۲۴	-۰/۵	-۰/۱۲
شاخص رایزبر	۹	۷/۸	۸	۰/۳	۸/۴	۷/۳	۷/۸
شاخص پوکوریوس	۹	۸	۸/۵	۰/۲	۹/۷	۸/۷	۹/۲
شاخص ته‌اجمی	۱۲/۴۴	۱۱/۸۵	۱۲	۰/۱۶	۱۲/۴	۱۱/۷	۱۲/۱
شاخص لارسون	۰/۷۴	۰/۱۴	۰/۳	۰/۱	۰/۴۶	۰/۱۳	۰/۲۷

(۳) نیز وضعیت اندیس‌های محاسبه شده در نمونه‌های مورد بررسی نسبت به خط تعادل برای نمونه‌های آب شرب را نشان می‌دهد.

نتایج آزمون paired samples test بین نمونه‌های فصل سرد و گرم در مورد اندیس‌های خوردگی در جدول (۵) آورده شده است. نتایج نشان دهنده معنی‌دار نبودن تفاوت در مقادیر اندیس‌های AI و LaI در فصول سرد و گرم می‌باشد. شکل

جدول ۵- نتایج آزمون paired samples test بر روی نمونه‌های فصول سرد و گرم آب شبکه

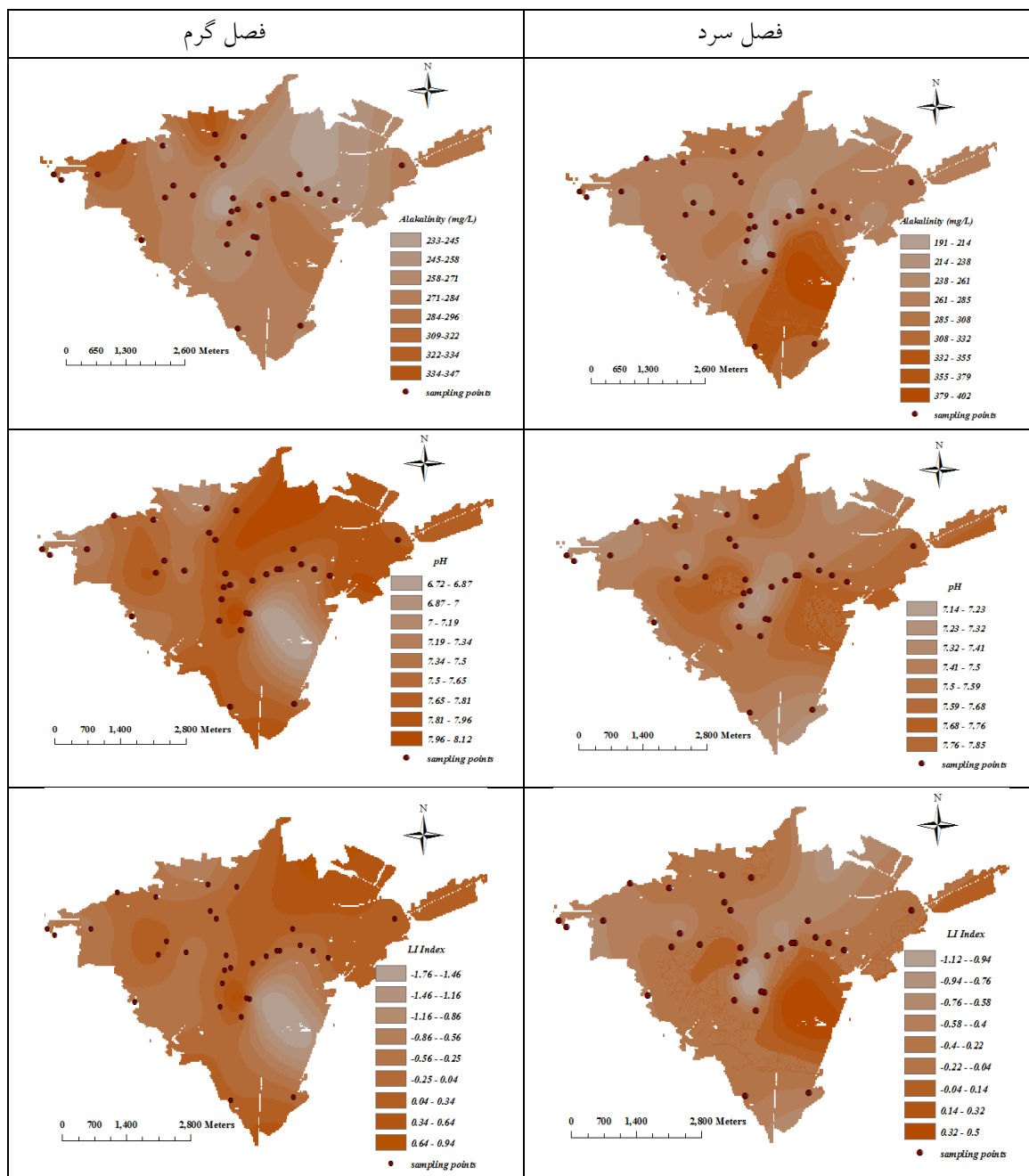
P.value<۰/۰۰۱	اندیس لائزلیه
P.value<۰/۰۰۱	اندیس رایزنر
P.value =۰/۳۸	اندیس تهاجمی (خوردگی)
P.value <۰/۰۰۱	اندیس پوکوریوس
P.value = ۰/۷۹۷	اندیس لارسون



شکل ۳. وضعیت اندیس‌های محاسبه شده در نمونه‌های مورد بررسی نسبت به خطوط تعادل

محقق گزارش کرده است که بر اساس شاخص رایزنر نیز آب این شهر در ردیف آب‌های خورنده قرار می‌گیرد [۲۹]. که با نتایج گزارش شده مطالعه حاضر نیز مطابقت دارد.

با استفاده از ArcGIS نحوه پراکنش شاخص خوردگی لائزلیه و ارتباط آن با میزان قلیائیت و pH آب مورد مطالعه قرار گرفته که نتایج آن در شکل (۴) بر روی نمونه‌های بررسی شده در فصول گرم و سرد نشان داده شده است. در شکل‌های مربوط به شاخص خوردگی نقاط کم‌رنگ‌تر (مقادیر منفی) آب دارای خاصیت خوردگی بالا و در نقاط پررنگ‌تر (مقادیر بالای صفر) آب دارای خاصیت رسوب‌گذاری است. نتایج نشان می‌دهد که توزیع مکانی میزان شاخص خوردگی LI در دو فصل سرد و گرم کاملاً متفاوت است که در فصل سرد هم‌پوشانی خوبی با مقادیر pH بالا و قلیائیت بالا دارد. اما در فصل گرم در مناطقی که خوردگی زیاد است مقادیر pH نیز پایین‌تر است. مطالعه انجام شده توسط رعیتی در سال ۱۳۸۷ در شاهرود نشان می‌دهد که بر اساس شاخص اشباع لائزلیه ۵۷ درصد آب این شهرستان کمی خورنده و بقیه آن بسیار خورنده است. این



شکل ۴: پهنه‌بندی میزان اندیس لائزلیه (LI) و مقدار قلیائیت (Alkalinity) و pH آب در نمونه‌های بررسی شده در فصل سرد و گرم سال

آن قسمت‌هایی از شبکه که از لوله‌های گالوانیزه استفاده می‌شود، اندیس مناسبی نیست [۲۴]. در این شرایط اگر مقدار اندیس خوردگی بزرگ‌تر از ۱۲ باشد، ممکن است فقط لوله‌های آزیست سیمانی شبکه‌های توزیع اصلی دچار خوردگی نشوند در صورتی که شرایط پارامترهای کیفی آب ممکن است به گونه‌ای باشد که در خوردگی داخلی لوله‌های گالوانیزه مؤثر باشد.

با توجه به میانگین اندیس خوردگی تهاجمی به‌دست آمده از آنالیز نمونه‌های مورد بررسی و با توجه به این که ۷۰ درصد نمونه‌های آب شرب شهرستان خوی در فصل سرد و ۸۰ درصد نمونه‌ها در فصل گرم دارای خاصیت خوردگی کم بوده می‌توان نتیجه گرفت که آب شرب شهرستان خوی بر اساس این اندیس دارای خاصیت خوردگی کم می‌باشد. لازم به توضیح است که این اندیس فقط مخصوص لوله‌های آزیست سیمانی در شبکه توزیع اصلی می‌باشد بنابراین برای

ای که در سال ۱۳۸۹ توسط جعفری و همکارانش در خصوص بررسی سلامت آب شرب شهر انزلی از نظر پتانسیل خوردگی و رسوب‌گذاری با استفاده از اندیس‌های خوردگی انجام گرفت، شاخص‌های لانژیه، رایزنر و پوکوریوس بیان‌گر خوردگی زیاد آب بوده در حالی که شاخص تهاجمی نشان‌دهنده خوردگی کم در شبکه بود [۳۰]. نتایج این مطالعه با مطالعه موجود از این نظر که نتایج اندیس تهاجمی کمی متفاوت با دیگر اندیس‌ها می‌باشد، هم‌خوانی دارد. در مطالعه‌ای دیگر که در سال ۱۳۸۹ توسط مختاری و همکارانش در خصوص ارزیابی وضعیت خوردگی و رسوب‌گذاری شبکه توزیع آب آشامیدنی شهر اردبیل با استفاده از شاخص‌های لانژیه و رایزنر انجام گرفت، مشخص گردید نتایج این دو اندیس تا حدود زیادی (نه به‌طور صد در صد) با هم یکسان می‌باشد [۳۱] که در مطالعه موجود نیز به این صورت می‌باشد. جدول (۶) نیز نشان می‌دهد که فقط ارتباط بین شاخص‌های رایزنر در فصول گرم سال با میزان باکتری‌های هتروتروف معنی دار است، اما رابطه خطی بین این شاخص و میزان HPC بسیار ضعیف است.

با توجه به میانگین اندیس پوکوریوس به‌دست آمده از آنالیز نمونه‌های مورد بررسی و با مقایسه مقدار این اندیس با مقدار تعادلی آن، می‌توان نتیجه گرفت که آب شرب شهرستان خوی دارای خاصیت خوردگی می‌باشد. با توجه به میانگین اندیس لارسون به‌دست آمده از آنالیز نمونه‌های مورد بررسی و با مقایسه مقدار این اندیس با مقدار تعادلی آن، می‌توان نتیجه گرفت که آب شرب شهرستان خوی در دو فصل گرم و سرد دارای خاصیت خوردگی کم می‌باشد.

بررسی انجام گرفته توسط غنی‌زاده و همکارانش در مورد شاخص‌های خوردگی و رسوب‌گذاری در شبکه آب شرب ۹ مرکز نظامی که همه از نوع منابع آب زیرزمینی بودند، نشان می‌دهد که آب آشامیدنی مورد استفاده در این مراکز از نظر کیفیت شیمیایی متعادل نبوده و دارای خوردگی و رسوب‌گذاری می‌باشد به‌طوری‌که از میان مراکز مورد مطالعه، ۳ مرکز دارای آب خوردنده و ۶ مرکز دارای آب با خاصیت رسوب‌گذاری بودند. متعادل نبودن کیفیت شیمیایی آب در مطالعه حاضر نیز که منبع آب شرب، آب زیرزمینی است مطابقت دارد. هم‌چنین در مطالعه

جدول ۶- نتایج آنالیز هم‌بستگی پیرسون شاخص‌های خوردگی با میزان باکتری‌های هتروتروف

	آنالیز اماری	فصل	اندیس لانژیه	اندیس رایزنر	اندیس لارسون	اندیس پوکوریوس	اندیس تهاجمی
HPC	Pearson Correlation	فصل سرد	۰/۱۵۷	-۰/۱۸۵	-۰/۰۲۶	-۰/۲۹۵	۰/۱۸
	Sig. (2-tailed)		۰/۳۶۸	۰/۲۸۸	۰/۸۸۱	۰/۰۸۵	۰/۳۰۲
	Pearson Correlation	فصل گرم	۰/۳۱۸	-۰/۳۳۴	۰/۰۴۴	-۰/۰۰۹	۰/۳۲۳
	Sig. (2-tailed)		۰/۰۶۳	۰/۰۵۰	۰/۸۰۱	۰/۹۵۸	۰/۰۵۸

۴- نتیجه‌گیری

مناسبی جهت متعادل‌سازی کیفیت آب در این منطقه انجام گیرد تا از آسیب‌های اقتصادی آن جلوگیری گردد. پایش کیفیت شیمیایی آب و کنترل تعادل آن می‌تواند منجر به افزایش عمر مفید تأسیسات آبرسانی شده و احتمال نشت و هدر رفت آب را کاهش دهد. این الزامات در کشورهای

محاسبه شاخص‌های خوردگی در شبکه آب شرب این شهر نشان می‌دهد که کیفیت شیمیایی آب غیرمتعادل بوده که باعث خوردگی در سیستم‌های آبرسانی و سایر تأسیسات خواهد شد. به همین منظور لازم است برنامه ریزی

منابع

- [1] Yazdani V, Banezhad H, Mirzaee M. Evaluation of corrosion and fouling in Hamadan spring plain groundwater. *J water engineering*, 2009; 4(2):57-68. (In Persian).
- [2] Alam IA, Sadiq M. Metal contamination of drinking water from corrosion of distribution pipes. *Environmental Pollution*. 1989; 57(2):167-178.
- [3] Singley JE, Lee T. Determining Internal Corrosion Potential in water Supply System. Committee Report AWWA; 1994.
- [4] Kirmerer G, Logsdon G. Principles of Internal Corrosion Monitoring. AWWA; 1983.
- [5] Boulay N, Edwards M. Role of temperature, chlorine and organic matter in copper corrosion by-product release in soft water. *J Water Research*. 2001;35(3): 683-690.
- [6] Nawrocki J, Raczyc-Stanislawiak U, wietlik JS, Olejnik A, Sroka MaJ. Corrosion in a distribution system: Steady water and its composition. *J Water Research*. 2010; 44(6):1863-1872.
- [7] Institute of Standards and Industrial Research of Iran (ISIRI). Drinking water - Physical and chemical specifications. 5 ed. Tehran, Iran; 2009.
- [8] WHO. Asbestos in drinking-water. Background document for preparation of WHO Guidelines for drinking-water quality. Geneva, World Health Organization; 2003.
- [9] World Health Organization (WHO). Guidelines for Drinking-Water Quality World Health Organization. 3 ed. Geneva, Switzerland: WHO press; 2008.
- [10] SayedRazi S. The industries` corrosion management. second ed: iran`s corrosion Association; 1997. (In Persian)
- [11] Ishii SKL, Boyer TH. Evaluating the secondary effects of magnetic ion exchange: Focus on corrosion potential in the distribution system. *J Desalination*. 2011;274 (1-3):31-38.
- [12] Peng C-Y, F J, y F, Korshin GV. Effects of chloride, sulfate and natural organic matter (NOM) on the accumulation and release of trace-level inorganic contaminants from corroding iron. *J water research*. 2013; 47(14): 5257-5269.
- [13] Peng CY, Korshin GV, Valentine RL, Hill AS, Friedman MJ, Reiber SH. Characterization of elemental and structural composition of corrosion scales and deposits formed in drinking water distribution systems. *J Water Research*. 2010; 44 (15):4570-4580.
- [14] Smethurst G, Telford T. Basic Water Treatment for Application World Wide. Second ed; 1992.
- [15] Kerri K. Water treatment Plant Operation; 1992.
- [16] Agatemor C, Okolo PO. Studies of corrosion tendency of drinking water in the distribution system at the University of Benin, . *Environmentalist* 2008;4(28):379-384.
- [17] Yang F, Shi B, Gu J, Wanga D, Yang M. Morphological and physicochemical characteristics of iron corrosion scales formed under different water source histories in a drinking water distribution system. *J Water Research*. 2012; 46 (16):5423-5433.
- [18] Willison H, Boyer TH. Secondary effects of anion exchange on chloride, sulfate, and lead release: Systems approach to corrosion control. *J Water Research*. 2012; 46 (7):2385-2394.
- [19] Dezuane JPE. Hand Book of Drinking Water Quality. Second ed; 1997.
- [20] Zhan W, Sathasivan A, Joll C, Wai G, Heitz A, Kristiana I. Impact of NOM character on copper adsorption by trace ferric hydroxide from iron corrosion in water supply system. *Chemical Engineering Journal*. 2012; (200-202):122-132.
- [21] Delaunois F, Tosar F, Vitry V. Corrosion behaviour and biocorrosion of galvanized steel water distribution systems. *Bioelectrochemistry*. 2014; 97(9):109-110.
- [22] Teimouri F, Sadeghi M, Dris F, Hashemi H, Shakeri K, Rezayi S, Survey of Corrosion or Scaling Potential of Resources, Storage and Distribution of Water Supply System in Kian by using Langlier and Rizne Indexes . *J Health System Research*, 2012;8(1):78-84 (In Persian)
- [23] Evazpoor M, Gholami M, Aali R. Corrosion and precipitation potential of drinking water distribution systems in

کم آب نظیر ایران از اهمیت بسیار بالایی برخوردار است. از طرفی ایجاد رسوب در جدار داخلی لوله‌ها نیز از مسائل مهمی است که سبب ایجاد افت فشار در سیستم‌های توزیع شده و علاوه بر نارضایتی مصرف کنندگان باعث تحمیل هزینه‌های زیاد پمپاژ برای سیستم‌های توزیع خواهد شد. نتایج این مطالعه و مطالعات مشابه نشان می‌دهد که بررسی کیفیت آب و تعیین پتانسیل خوردندگی آن در هر شبکه توزیع برای جلوگیری از صدمات اقتصادی و بهداشتی یک امر ضروری می‌باشد [۳۲]. اصلاح pH آب یکی از روش‌های بسیار مناسب برای کنترل خوردگی و رسوب‌گذاری در شبکه توزیع می‌باشد. مطالعات نشان می‌دهد که افزودن حدود ۰/۳ میلی گرم در لیتر ارتوفسفات روی به آب باعث ایجاد پوشش در لوله‌های آزیست سیمان شده و از ورود فیبرهای آزیست به داخل آب جلوگیری می‌کند [۳۳].

تشکر و قدردانی

مقاله حاضر نتایج حاصل از طرح تحقیقاتی مصوب معاونت پژوهشی دانشگاه علوم پزشکی ارومیه (به شماره ۱۱۱۰) می‌باشد. نویسندگان مقاله از معاونت محترم پژوهشی دانشگاه علوم پزشکی ارومیه به دلیل فراهم نمودن بودجه این طرح کمال تشکر را دارند.

- Ilam city. 11th National Environmental Health Conference, Zahedan; 2008. (In Persian)
- [24] Rossum JR, Merrill DT. An Evaluation of The Calcium Carbonat Saturation Index. AWWA; 1983.
- [25] Courmet A, Bergé M, Roques C, Bergel A, Délia M-L. Electrochemical reduction of oxygen catalyzed by *Pseudomonas aeruginosa*. *Electrochimica Acta*. 2010; 55(17):4902-4908.
- [26] Shams M, Mohamadi A, Sajadi SA. Evaluation of Corrosion and Scaling Potential of Water in Rural Water Supply Distribution Networks of Tabas, Iran. *J World Applied Sciences* .2012;17 (11):1484-1489. (In Persian)
- [27] McNeill LS, Edwards M. The importance of temperature in assessing iron pipe corrosion in water distribution systems. *Environmental Monitoring and Assessment*. 2002; 77(3):229-242.
- [28] McNeill LS, Edwards M. Review of iron pipe corrosion in drinking water distribution systems. *J AWWA*. 2001; 93(7):88-100.
- [29] Raeiati Z. Evaluation of corrosion and water quality monitoring using GIS in Shahrood city.
- 11 National Conference on Environmental Health; 2008. (In Persian)
- [30] Jafari M, Fallah F, Hassani. investigating the Hygiene of Anzali Drinking Water Resources for Corrosion and Precipitation Potentials Using Corrosion Indexes. *J Guilan University of Medical Sciences*, 2010; 20(79):90-96 (In Persian)
- [31] Mokhtari A, Aalighadri M, Hazrati S, Sadeghi H, Gharari N, Ghorbani L, Evaluation of Corrosion and Precipitation Potential in Ardebil Drinking Water Distribution System by Using Langelier & Ryznar Indexes, *J Ardabil Health*, 2010;1(1):14-23. (In Persian)
- [32] Ebrahimi A, Kamarehie B, Asgari G, Mohammadi AS, Roshanaei G. Drinking Water Corrosivity and Sediment in the Distribution Network of Kuhdasht, Iran. *J Health System Research*. 2012; 8(3):480-486. (In Persian)
- [33] Logsdon GS. Field Test of Corrosion Control to Protect Asbestos-Cement Pipe. In: Laboratory MEr, editor. Cincinnati, OH: EPA; 1981.