

## ارزیابی وضعیت خوردگی و رسوب گذاری شبکه توزیع آب آشامیدنی شهر

### اردبیل با استفاده از شاخصهای Ryznar و Langelier

سید احمد مختاری<sup>۱</sup>، مرتضی عالیقدری<sup>۲</sup>، صادق حضرتی<sup>۲</sup>، هادی صادقی<sup>۲</sup>، نورالدین قراری<sup>۲</sup>، لقمان قربانی<sup>۳</sup>

۱- نویسنده مسئول: عضو هیأت علمی گروه بهداشت محیط دانشگاه علوم پزشکی اردبیل، E-mail: a.mokhtari@arums.ac.ir

۲- اعضای هیئت علمی گروه بهداشت محیط دانشگاه علوم پزشکی اردبیل

۳- کارشناس بهداشت محیط

#### چکیده

**زمینه و هدف:** یکی از فاکتورهای مهم در بحث کنترل کیفیت آب پتانسیل خوردگی و رسوبگذاری آن می باشد، چرا که میزان این فاکتورها نقش بسیار موثری در سیستم انتقال و توزیع آب آشامیدنی، از نظر جنبه های اقتصادی و بهداشتی می تواند ایفا نماید. هدف از انجام این تحقیق ارزیابی کیفیت شیمیایی، میزان خوردگی و رسوبگذاری آب شرب شبکه آبرسانی شهر اردبیل و ارائه راهکارهای لازم جهت حل مشکلات احتمالی بوده است.

**روش کار:** در این مطالعه که به صورت توصیفی - مقطعی و در فصل پاییز ۱۳۸۸ انجام گرفت با تقسیم بندی شهر به ۱۲ بلوک در دو مقطع زمانی، نیمه اول مهرماه و نیمه دوم آذر ماه نمونه برداری صورت گرفت. پارامترهای کلیاتیت، سختی کلسیم، هدایت الکتریکی، دما و pH مورد آنالیز واقع شدند. مراحل نگهداری، انتقال و آزمایش نمونه ها مطابق روشهای استاندارد انجام و با استفاده از دو شاخص لانژلیه (LSI) و رایزنر (RSI) پتانسیل خوردگی و رسوب گذاری محاسبه و برآورد گردید.

**یافته ها:** نتایج حاصل از آزمایشات و محاسبات نشان داد میانگین اندیس LSI در مراحل اول و دوم به ترتیب ۰/۲۳- و ۰/۴۶- و میانگین شاخص رایزنر در مرحله اول و دوم به ترتیب ۷/۹۸ و ۸/۳۷ بود. براساس اندیس LSI آب مشروب موجود در شبکه آب شرب در مرحله اول در ۹ مورد و در مرحله دوم همه ایستگاهها تمایل به خوردگی وجود داشته است؛ و براساس اندیس RSI در مرحله اول ۶ مورد تمایل به خوردگی و بقیه متعادل و در مرحله دوم ۱۰ مورد از ایستگاهها تمایل به خوردگی داشته و بقیه وضعیت تعادلی نسبی داشته اند.

**نتیجه گیری:** با توجه به نتایج و یافته های به دست آمده آب شرب موجود در شبکه آبرسانی شهر اردبیل تا حدی تمایل به خوردگی داشته و بایستی کنترل کیفیت آب براساس پارامترهای مورد استفاده از جمله تنظیم pH، کلیاتیت، سختی و... همراه با استفاده از مصالح و لوله های مقاوم در برابر خوردگی در شبکه آب مشروب مورد توجه ویژه قرار گیرد.

**واژه های کلیدی:** خوردگی، رسوب گذاری، شاخص لانژلیه و رایزنر، شبکه توزیع، آب آشامیدنی، اردبیل

## مقدمه

آب می‌تواند باعث خوردگی خطوط انتقال و توزیع و نیز ایجاد لایه‌های ضخیم رسوبی بر روی سطوح و دیواره‌های تاسیسات تبادل حرارتی گردد. خوردگی بر اساس یک واکنش فیزیکی شیمیایی بین یک ماده و محیط اطراف آن انجام می‌گیرد و به تغییر خواص آن ماده منجر می‌گردد. در این فرآیند چندین فاکتور شیمیایی، الکتریکی، فیزیکی و بیولوژیکی تأثیر دارند. این فرآیند به طور کلی فرایند زیان‌آوری است که اثرات سوء زیادی بر بهداشت و سلامت شهروندان و مسائل اقتصادی، اجتماعی، فنی و مهندسی و زیباشناختی دارد [۱]. خوردگی آب پدیده‌ای است که در اثر تماس مواد با محیط اطراف به وجود می‌آید. در مبحث مهندسی مواد با توجه به ماهیت فرایند خوردگی، این پدیده در دو شاخه مهم بررسی می‌شود که شامل خوردگی حاصل از فرسایش و خوردگی الکتروشیمیایی است. نوع اول شامل تخریب مواد توسط عوامل فیزیکی مثل برخورد مواد جامد معلق موجود در لوله‌های انتقال آب یا فاضلاب است که وقوع آن با توجه به ماهیت عوامل موثر در آن در لوله‌های فلزی و غیر بتونی نظیر بتون مسلح محتمل می‌باشد. لیکن نوع دوم شامل ایجاد پیل الکتریکی و انجام واکنشهای الکتروشیمیایی بین محیط اطراف و ماده موجود در آن است که با توجه به ماهیت فرآیند در مواد فلزی نظیر لوله‌های فولادی مورد استفاده در خطوط انتقال و توزیع آب رخ می‌دهد [۲].

مشخص شده که خوردگی سازه‌های فلزی تأثیر قابل ملاحظه‌ای در اقتصاد ایالات متحده از جمله در بخشهای زیرساختها، حمل و نقل، خدمات شهری، ساخت و تولید، و سایر امورات از جمله تاسیسات آبرسانی شهری دارد. در مطالعه‌ای (Bench scale) در سال ۱۹۷۵ که توسط Battelle-NBS انجام گرفت، هزینه‌های خوردگی در حدود ۷۰ میلیارد دلار در سال برآورد گردید، که معادل ۴/۲ درصد تولید ناخالص ملی (GNP) آمریکا

بوده است؛ که از این میزان کل هزینه سالانه مستقیم برای سیستم‌های آب شرب و فاضلاب‌های آمریکا در حدود ۳۶ میلیارد دلار تخمین زده شده است، که این میزان هزینه صرف تعویض تاسیسات فرسوده، هزینه آب به حساب نیامده از طریق نشت، هزینه‌های مهار خوردگی، پوشش‌گذاری و حفاظت کاتدی لوله‌ها و تاسیسات بوده است. مطالعات دیگر نیز در ایالات متحده و نیز در سایر کشورها مؤید همین مطلب بوده است. طبق تحقیقات انجام‌یافته در دنیا، خوردگی شیمیایی مسئول بیش از ۶۰ درصد خوردگی در لوله‌ها و تاسیسات آبرسانی می‌باشد و بقیه عمدتاً ناشی از عوامل بیولوژیک می‌باشند [۳].

طبق استاندارد ISO 8044 خوردگی بر هم‌کنش فیزیکوشیمیایی بین فلز و محیط اطراف آن است که نتیجه آن تغییر خواص فلز بوده و سبب صدماتی به فلز، محیط پیرامون و یا سیستم‌های فنی که در آن شرکت دارند می‌گردد [۴].

خوردگی تحت تأثیر عواملی مثل pH، دی‌اکسید کربن، سختی و قلیائیت، درجه حرارت، سرعت آب، جامدات محلول، اکسیژن محلول و کلر باقیمانده، خستگی، تنش و برخورد (کاویتاسیون، فرسایش و سایش بوسیله ماسه‌ها) ایجاد می‌شود. رسوبگذاری نیز شامل ترکیب یون‌های فلزی دو ظرفیتی موجود در آب با عوامل سختی است. عمده‌ترین رسوبات شامل کربنات کلسیم، کربنات منیزیم، سولفات کلسیم و کلراید منیزیم می‌باشد. عدم کنترل رسوبات فوق هزینه‌های زیادی را بر تاسیسات آبرسانی تحمیل می‌نماید [۵].

خوردگی و رسوبگذاری می‌تواند سبب مسدود شدن لوله‌ها، کاهش دبی عبوری و عیوب غیر منتظره در لوله‌ها گردد و همچنین می‌تواند باعث سوراخ شدن لوله‌ها شود که در این حالت آب زیادی از لوله‌ها نشت کرده و میزان آب از دست رفته بسیار قابل توجه خواهد بود [۶].

شاخص پایداری Ryznar (RSI) ارتباط بین یک سری داده‌های تجربی با ضخامت پوسته مشاهده‌شده در سیستم‌های آب شهری را با شیمی آب تبیین می‌نماید. نظیر LSI، RSI نیز بر مبنای مفهوم سطح اشباعیت می‌باشد. RSI ارتباط بین حالت اشباع کربنات کلسیم و تشکیل پوسته را بصورت کمی نشان می‌دهد.

برای محاسبه LSI و RSI آنالیز پارامترهای قلیائیت ( $\text{mg/l. CaCO}_3$ )، سختی کلسیمی ( $\text{mg/l. CaCO}_3$ )، کل مواد جامد محلول ( $\text{mg/l}$ )، pH واقعی آب و درجه حرارت آب ( $^{\circ}\text{C}$ ) ضروری می‌باشد. کیفیت آب، تغییر درجه حرارت و یا تبخیر می‌تواند شاخص را تحت تاثیر قرار دهد [۱۱].

شاخصهای لانزلیه و رایزنر در واقع تفاوت بین pH واقعی آب و pH اشباع‌شده توسط کربنات کلسیم ( $\text{CaCO}_3$ ) می‌باشد و به عنوان شاخصی برای بیان خوردگی و رسوبگذاری آب به کار می‌روند [۱۲].

بر اساس استانداردهای معتبر جهانی آب آشامیدنی و از جمله EPA آبهای مصرفی نباید خورنده باشند [۹]. مطابق معیارهای جهانی اکثر اندیس‌های کنترل خوردگی و رسوبگذاری باید حداقل هر دو سال یکبار برای شبکه‌های توزیعی که از منابع آبهای سطحی استفاده می‌کنند و سالی یکبار برای شبکه‌های توزیعی که از منابع آبهای زیرزمینی استفاده می‌کنند تعیین گردند [۱۳].

با عنایت به عدم وجود سابقه قبلی انجام چنین تحقیقی در شهر اردبیل و نبود الزامات قانونی و استاندارد کیفیت آب برای ارزیابی وضعیت خوردگی و رسوبگذاری آب مشروب شبکه توزیع در کشور، انجام مطالعه با توصیفی از وضعیت کیفیت آب شرب شهر اردبیل لازم می‌باشد. این تحقیق با هدف شناخت وضعیت کیفی آب شبکه توزیع (پارامترهای شیمیایی مرتبط)، تعیین وضعیت احتمالی خوردگی و یا رسوبگذاری آب شرب موجود در شبکه آبرسانی شهر

با توجه به تنوع منابع تامین آب، طبیعی است که این آبها دارای کیفیت متفاوتی بویژه از لحاظ نمک‌های محلول در آن باشند. عموماً آبها دارای کاتیون‌های فلزات قلیایی خاکی دو ظرفیتی کلسیم و آنیون‌های گوناگون از جمله بیکربنات، کربنات، کلرید و سولفات هستند [۷]. آب‌های خورنده موجب پدید آمدن آلاینده‌های ثانویه مانند آهن، روی، مس و منگنز در غلظت‌های بالاتر از حد استاندارد در آب آشامیدنی می‌شوند، که مشکلاتی نظیر مزه، بو، رنگ و لکه روی سرویسهای بهداشتی را بوجود می‌آورند [۸].

علاوه بر این مشکلات خوردگی باعث رشد باکتری‌ها در آب و بالا رفتن کدورت آب شده و کیفیت آب را از نظر زیبا شناختی کاهش می‌دهند [۹].

پایداری آب باعث عدم خوردگی و رسوب گذاری آن می‌شود، بنابراین تمایل آب به خوردگی و رسوب گذاری با پایداری آب مشخص می‌شود. آب پایدار تمایل به خوردگی و رسوب گذاری کمی دارد و مقادیر آنها برای نوع استفاده متفاوت است [۱۰].

راهکارهای زیادی توسط دانشمندان و محققین به منظور جلوگیری از پدیده‌های خوردگی و رسوبگذاری در تاسیسات ارائه شده است. با این وجود بهره‌گیری از روشهای پیش‌بینی‌کننده، توأم با استفاده از هر روش کنترل، می‌تواند به نحو مطلوبتری اثرات و خسارات ناشی از این پدیده‌ها را در صنعت تصفیه آب کاهش دهد. با این دیدگاه توجه به کیفیت آب تحویلی به مصرف‌کننده از اهمیت ویژه‌ای برخوردار خواهد شد [۱].

شاخص اشباع لانزلیه (LSI) مدلی است مشتق‌شده از مفهوم تئوریک اشباع و شاخصی از درجه اشباع آب با کربنات کلسیم ارائه می‌نماید. میزان LSI، مفهوم اشباع را با استفاده از pH به عنوان یک متغیر اصلی بیان می‌نماید. LSI می‌تواند به عنوان تغییر مورد نیاز pH جهت رسیدن آب به تعادل تعبیر گردد [۱۱].

$LSI < 0$ : پتانسیل تشکیل پوسته وجود ندارد و آب  $CaCO_3$  را حل خواهد کرد (خورنده)  
 $LSI = 0$ : حالت تعادل (عدم تمایل به رسوب گذاری و خوردگی)  
 $LSI > 0$ : تمایل به تشکیل پوسته (رسوب  $CaCO_3$ ).

شاخص RSI:

$$RSI = 2(pH_s) - pH$$

تفسیر RSI:

$RSI \ll 6$ : تمایل به رسوبگذاری افزایش و تشکیل فیلم  
 $RSI \gg 7$ : تشکیل رسوب کربنات کلسیم احتمالاً منجر به ایجاد فیلم محافظ نمی‌شود.  
 $RSI \gg 8$ : افزایش مشکل خوردگی ملایم در لوله‌های فولادی

#### یافته‌ها

پارامترهای مورد آزمایش جهت محاسبه شاخصها در جداول شماره ۱ و ۲ ارائه شده‌اند. براساس این جداول میزان اکثر پارامترهای مورد آزمایش در مقایسه با استانداردهای ملی و WHO در محدوده استاندارد و برخی از این پارامترها در برخی ایستگاهها خارج از محدوده استاندارد می‌باشند. با وجود این به علت عدم تعادل در کیفیت شیمیایی کل آب، کیفیت آب شرب در برخی از ایستگاهها دارای خاصیت خوردگی و یا رسوبگذاری می‌باشد.

محاسبات و نتایج شاخصهای LSI و RSI در سه ستون آخر جداول فوق ارائه شده‌اند. باستناد این جداول براساس شاخص LSI در مرحله اول ۹ ایستگاه دارای پتانسیل خوردگی می‌باشند و در مرحله دوم همه ایستگاهها دارای تمایل نسبی به خوردگی می‌باشند. متوسط اندیس فوق در مرحله اول ۰/۲۳- و در مرحله دوم نمونه‌برداری ۰/۴۶- بوده است.

اردبیل و ارائه راهکارهای اصلاحی لازم جهت حل مشکلات احتمالی انجام پذیرفت.

#### روش کار

نوع مطالعه بکار رفته در این تحقیق، توصیفی-مقطعی بوده و شبکه توزیع آب شهر اردبیل به دوازده بلوک تقسیم و در دو مرحله (اوایل پاییز و اواخر آذرماه؛ جهت بررسی تاثیر احتمالی دمای محیط بر وضعیت خوردگی یا رسوبگذاری آب) نمونه‌برداری و آنالیز نمونه‌ها انجام گرفت. تعداد نمونه‌ها در هر مرحله ۱۲ عدد و مجموعاً ۲۴ نمونه مورد آزمایش قرار گرفتند. نمونه‌ها در ظروف ۰/۵ لیتری پلاستیکی مخصوص نمونه‌برداری شیمیایی آب در یک روز کاری برداشت و به آزمایشگاه شیمی آب و فاضلاب دانشکده بهداشت اردبیل منتقل گردیدند. پارامترهای دما و pH در محل نمونه‌برداری و پارامترهای قلیائیت، سختی کلسیمی و TDS در آزمایشگاه با رجوع به روشهای استانداردمتد مورد سنجش و اندازه‌گیری واقع شدند.

پس از آنالیز نمونه‌ها و به دست آمدن مقادیر کمی پارامترها، با استفاده از نرم افزار Water Stability Analyzer، شاخصهای LSI و RSI محاسبه گردیدند. مبنای محاسبه شاخصها بر روابط زیر استوار می‌باشد [۱۱]:

شاخص LSI:

$$LSI = pH - pH_s$$

که  $pH_s$  در واقع pH اشباع آب از کلسیت یا کربنات کلسیم می‌باشد و از رابطه زیر محاسبه می‌گردد:

$$pH_s = (9.3 + A + B) - (C + D)$$

$$A = (\text{Log}_{10} [\text{TDS}] - 1) / 10$$

$$B = -13.12 \times \text{Log}_{10} (^\circ\text{C} + 273) + 34.55$$

$$C = \text{Log}_{10} [\text{Ca}^{2+} \text{ as } \text{CaCO}_3] - 0.4$$

$$D = \text{Log}_{10} [\text{alkalinity as } \text{CaCO}_3]$$

تفسیر LSI به صورت زیر می‌باشد:

ایستگاهها میزان شاخص بالاتر از ۸ بوده که نشان دهنده مرحله دوم نمونه برداری ۸/۳۷ می باشد. در شکل های ۱ و ۲ اندیس های لانژیله و رایزنر در دو مرحله نمونه برداری و در ایستگاه های دوازده گانه، با هم مورد مقایسه قرار گرفته اند.

براساس شاخص RSI، در هر دو مرحله در اکثر تمایل به خوردگی براساس این شاخص بوده و فقط در ۶ ایستگاه در مرحله اول و ۲ ایستگاه در مرحله دوم رسوب کربنات کلسیم منجر به تشکیل رسوب نمی گردد؛ متوسط اندیس در مرحله اول ۷/۹۸ و در

جدول ۱. نتایج آنالیز شیمیایی آب شبکه توزیع آب آشامیدنی شهر اردبیل (مرحله ۱ نمونه برداری)

ایستگاه	پارامتر	سختی کلسیم (mg/L.CaCO <sub>3</sub> )	قلیائیت کل (mg/L.CaCO <sub>3</sub> )	pH	درجه حرارت (°C)	EC (μS/cm)	pH <sub>s</sub>	LSI	RSI
S <sub>1</sub>		۱۰۰/۸	۲۳۶	۷/۶۴	۱۸/۵	۹۸۰	۷/۸۳	-۰/۱۹	۸/۰۲
S <sub>2</sub>		۹۰	۲۱۲	۷/۶۷	۱۸	۱۰۱۵	۷/۹۲	-۰/۲۵	۸/۱۷
S <sub>3</sub>		۱۲۹/۶	۲۱۶	۷/۷	۱۷/۲	۷۶۵	۷/۷۷	-۰/۰۷	۷/۸۴
S <sub>4</sub>		۱۲۶	۲۴۰	۷/۲۵	۱۷/۵	۱۴۳۵	۷/۷۶	-۰/۵۱	۸/۲۷
S <sub>5</sub>		۱۳۳/۲	۲۶۰	/۱۵	۱۷/۵	۱۳۴۰	۷/۷۴	-۰/۵۹	۸/۳۳
S <sub>6</sub>		۱۵۴/۸	۲۱۸	۷/۷۱	۱۵	۸۹۳	۷/۷۱	۰/۰۰	۷/۷۱
S <sub>7</sub>		۱۵۲/۱	۲۲۰	۷/۷	۱۶/۳	۷۶۰	۷/۶۹	۰/۰۱	۷/۶۸
S <sub>8</sub>		۱۴۵/۸	۲۲۲	۷/۸۵	۱۷	۸۲۰	۷/۶۸	۰/۱۷	۷/۵۱
S <sub>9</sub>		۱۳۵	۲۴۴	۷/۲۵	۱۸/۵	۱۳۶۰	۷/۷۳	-۰/۴۸	۸/۲۱
S <sub>10</sub>		۱۴۴	۲۰۶	۷/۶	۱۷	۱۰۱۵	۷/۷۲	-۰/۱۲	۷/۸۴
S <sub>11</sub>		۱۳۱/۴	۲۰۴	۷/۶۶	۱۹	۷۱۲	۷/۸۰	-۰/۱۴	۷/۹۴
S <sub>12</sub>		۱۳۸/۶	۲۲۸	۷/۱۷	۱۶/۵	۱۰۲۵	۷/۷۴	-۰/۵۷	۸/۳۱
میانگین		۱۳۱/۷۷۵	۲۲۵/۵	۷/۵۳	۱۷/۲۵	۱۰۱۰	۷/۷۵	-۰/۲۳	۷/۹۸

جدول ۲. نتایج آنالیز شیمیایی آب شبکه توزیع آب آشامیدنی شهر اردبیل (مرحله ۲ نمونه برداری)

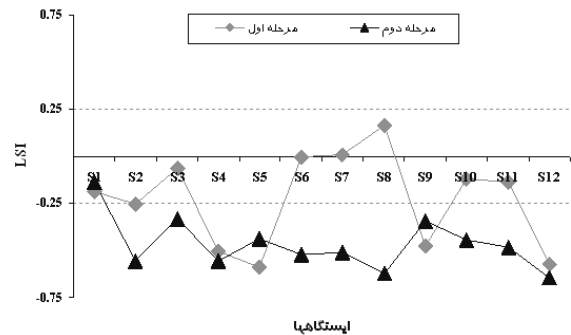
ایستگاه	پارامتر	سختی کلسیم (mg/L.CaCO <sub>3</sub> )	قلیائیت کل (mg/L.CaCO <sub>3</sub> )	pH	درجه حرارت (°C)	EC (μS/cm)	pH <sub>s</sub>	LSI	RSI
S <sub>1</sub>		۱۴۴	۱۸۲	۷/۶۷	۱۶	۵۶۰	۷/۸۱	-۰/۱۴	۷/۹۵
S <sub>2</sub>		۱۴۰/۴	۱۹۰	۷/۳۷	۱۰/۸	۹۵۵	۷/۹۳	-۰/۵۶	۸/۴۹
S <sub>3</sub>		۱۳۳/۲	۱۶۲	۷/۶۷	۱۱/۴	۸۹۸	۸/۰۰	-۰/۳۳	۸/۳۳
S <sub>4</sub>		۱۳۸/۶	۱۵۰	۷/۴۹	۱۰/۱	۸۴۵	۸/۰۴	-۰/۵۵	۸/۵۹
S <sub>5</sub>		۲۲۵	۱۸۰	۷/۳۱	۱۱/۴	۱۲۹۰	۷/۷۵	-۰/۴۴	۸/۱۹
S <sub>6</sub>		۱۵۴/۸	۱۴۴	۷/۵۲	۸/۸	۹۳۰	۸/۰۴	-۰/۵۲	۸/۵۶
S <sub>7</sub>		۱۴۴	۱۴۶	۷/۵۸	۷/۸	۹۹۸	۸/۰۹	-۰/۵۱	۸/۶۰
S <sub>8</sub>		۱۲۰/۶	۱۳۶	۷/۳۹	۱۵/۸	۵۶۳	۸/۰۱	-۰/۶۲	۸/۶۳
S <sub>9</sub>		۳۰۲/۴	۲۱۰	۷/۱۷	۱۳/۲	۱۲۵۵	۷/۵۱	-۰/۳۴	۷/۸۵
S <sub>10</sub>		۲۲۳/۲	۱۶۶	۷/۳	۱۳/۲	۱۱۹۰	۷/۷۴	-۰/۴۴	۸/۱۸
S <sub>11</sub>		۱۲۹/۶	۱۴۲	۷/۵۹	۱۱/۱	۷۶۰	۸/۰۷	-۰/۴۸	۸/۵۵
S <sub>12</sub>		۲۰۳/۴	۱۶۴	۷/۲۵	۸/۲	۱۲۰۶	۷/۸۹	-۰/۶۴	۸/۵۳
میانگین		۱۷۱/۶	۱۶۴/۳۳	۷/۴۴	۱۱/۴۸	۹۵۴/۲	۷/۹	-۰/۴۶	۸/۳۷

در مرحله دوم نمونه برداری خورنده می باشد، که این خوردگی می تواند زمینه ای برای از بین بردن خطوط انتقال و توزیع یا وارد شدن بسیاری از آلودگی ها به درون آب باشد و بدین ترتیب زمینه ای برای ایجاد عوارض بهداشتی فراهم سازد، لذا با توجه به یافته ها، اندیشیدن تدابیری در زمینه کنترل خوردگی در آب آشامیدنی شهر اردبیل ضروری به نظر می رسد.

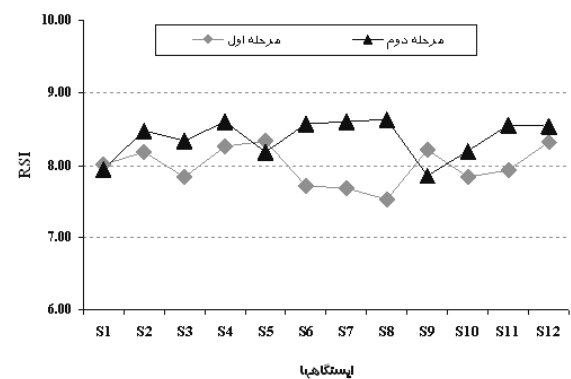
پارامتر pH در هر دو مرحله نمونه برداری در همه ایستگاه های دوازده گانه در محدوده مطلوب می باشد. سختی کلسیم در اکثر ایستگاهها در محدوده مجاز می باشد و فقط در یک ایستگاه (S9) در مرحله دوم نمونه برداری بالاتر از حداکثر مجاز می باشد. پارامتر کلیاتیت نیز در هر دو مرحله بالاتر از حد استاندارد ایران بوده است. برای پارامتر مواد جامد محلول که از ضرب پارامتر EC در ضریب ۰/۵۵ بدست می آید، تقریباً اکثر نمونه ها در محدوده حداکثر مطلوب و برخی از نمونه ها در محدوده حداکثر مجاز بوده اند. در نهایت پارامتر دمای آب نیز در هر دو محدوده مناسب بوده است.

بطور کلی باستناد جداول و نمودارهای ارائه شده در مرحله اول ۷۵٪ نمونه ها براساس اندیس LSI خورنده بوده و ۱۷٪ دارای تمایل به رسوبگذاری و ۸٪ متعادل بوده اند؛ و در مرحله دوم ۱۰۰٪ نمونه ها تمایل به خوردگی داشته اند. و براساس اندیس RSI در مرحله اول، ۵۰٪ نمونه ها بالاتر از ۸ یعنی تمایل به خوردگی، و مابقی مقادیری بین ۸-۷ یعنی رسوب کربنات کلسیم منجر به ایجاد فیلم محافظ نمی شود؛ و در مرحله دوم ۸۳،۳٪ تمایل به خوردگی داشته و ۱۶،۷٪ مقادیری بین ۸-۷ داشته یعنی رسوب کربنات کلسیم منجر به ایجاد فیلم محافظ نمی شود.

در ضمن لازم به ذکر است جهت انجام این تحقیق محدودیتهایی نیز وجود داشته که می توان عدم حمایت مالی و نیز محدودیت زمانی (عدم امکان برداشت همزمان همه نمونه ها) را ذکر کرد.



شکل ۱. مقایسه مقادیر شاخص اشباع لانزلیه (LSI) در شبکه آب مشروب شهر اردبیل



شکل ۲. مقایسه مقادیر شاخص پایداری رایزنر (RSI) در شبکه آب مشروب شهر اردبیل

## بحث

خوردگی و رسوب گذاری آب از اهم مسائلی است که در پایش سیستم های توزیع آب باید با دقت بیشتری مورد توجه قرار گیرد، زیرا عدم توجه به کیفیت شیمیایی آب از نظر تعادل شیمیایی و پیدایش هر کدام از پدیده های فوق می تواند باعث آسیب های بهداشتی و اقتصادی فراوانی گردد. بررسی ها نشان داده که در کشور مقادیر قابل توجهی از آب در اثر نشست از شبکه های توزیع آب هدر می رود. میزان اتلاف آب در اکثر کشورها از جمله ایران بیش از ۲۰٪ می باشد [۱۳]. بر اساس یافته های این مطالعه و نتایج مربوط به اندیس های خوردگی و رسوبگذاری رایزنر و لانزلیه که نسبت به بقیه اندیس ها کاربرد بیشتری دارند، آب آشامیدنی موجود در شبکه توزیع شهر اردبیل بویژه

سطح کشور با به‌کارگیری سه نوع اندیس LSI، AI و RSI انجام دادند، که طبق یافته‌های مطالعه فوق، براساس هر سه نوع اندیس، آب آشامیدنی مورد استفاده در ۳ مرکز دارای پتانسیل خوردگی بوده و در بقیه مراکز تمایل به رسوب‌گذاری وجود داشته است [۱۵].

در تحقیقی مشابه در سال ۲۰۰۶، که توسط Ehab M. Al-Shamaileh و Aiman E. Al-Rawajfaha با عنوان ارزیابی کیفیت آب شرب و پتانسیل آن در تشکیل رسوب و خوردگی در استان Tafila در جنوب اردن انجام گرفت، که با استفاده از دو شاخص LSI و RSI نتایج مورد بررسی و آنالیز قرار گرفت. مقادیر LSI منفی و در محدوده  $-0.39$  تا  $-1/5$  بوده در حالی که مقادیر RSI در حدود  $8/7$  تا  $9/8$  و  $CCPP^1$  نیز منفی و در حد  $-77/1$  تا  $-16/76$  بوده است. نتایج نشان‌دهنده وضعیت خورنده‌بودن آب می‌باشد، که علت آن به گرمایش و تبخیر آب همراه با آزاد شدن  $CO_2$  نسبت داده شده است [۱۶].

در تحقیق دیگری نیز که در سال ۱۹۹۸ توسط G. Pátzaya و همکاران در بوداپست مجارستان با عنوان مدل‌سازی تشکیل رسوب و خوردگی ناشی از آبهای ژئوترمال انجام گرفت، نتایج حاصله از آنالیز آنیونها و کاتیونهای مختلف با استفاده از یک برنامه کامپیوتری مورد تحلیل قرار گرفتند و مشخص گردید نمونه‌ها دارای وضعیت رسوب‌گذار بوده و الگوریتم مربوطه برای مدل‌سازی وضعیت کیفی آب مفید می‌باشد [۱۷].

### نتیجه‌گیری

با توجه به یافته‌های این مطالعه و نیز سایر مطالعات صورت‌گرفته، تکیه صرف بر نتایج آنالیز کیفیت شیمیایی آب و مطابقت ظاهری برخی و یا عمده

مطالعه‌ای که توسط دهقانی و همکاران در سال ۱۳۸۶ در استان فارس انجام گرفت، نشان داد شاخص‌های LSI و RSI در آب آشامیدنی شهر شیراز به ترتیب در حدود  $0.42$  و  $6/7$  می‌باشد. محققین گزارش نموده‌اند ۹۵٪ نمونه‌های مورد آزمایش در زمان مطالعه براساس اندیس LSI دارای پتانسیل رسوب‌گذاری بوده‌اند. و براساس اندیس RSI ۸۲٪ نمونه‌ها وضعیت متعادل و ۱۲٪ پتانسیل خوردگی داشته‌اند. با بررسی ارتباط بین جنس لایه‌های زمین و کیفیت شیمیایی آب نشان داده شد لایه‌های آهکی زمین‌های اطراف منابع آب، سبب افزایش سختی و رسوب‌گذاری آن شده است. این شرایط در برخی از نقاط کشور قابل پیش‌بینی بوده و سبب تفاوت نسبی نتایج با تحقیق حاضر گردیده است [۱۳].

در مطالعه‌ای که توسط عوض پور و همکاران در شهر ایلام بر روی منابع آب در سال ۱۳۸۷ انجام گرفت، نشان داده شد شاخص LSI زیر صفر و دارای مقادیر منفی می‌باشد. نتایج این تحقیق نشان‌دهنده این است که آب شرب شهر ایلام نسبت به کربنات کلسیم غیراشباع بوده و تمایل به خوردگی در جدار لوله‌ها وجود دارد. ارزیابی با شاخص RSI نیز نتایج مشابهی را به دنبال داشته است. لذا با مقایسه نتایج این تحقیق با تحقیق حاضر می‌توان نتیجه گرفت نتایج حاصله با همدیگر مطابقت دارند [۱۰].

در مطالعه دیگری که توسط رعیتی در شهر شاهرود در سال ۱۳۷۸ انجام گرفت، نشان داده شد براساس شاخص LSI، ۵۷٪ نمونه‌های آب این شهرستان خورنده و بقیه بسیار خورنده می‌باشند. براساس ارزیابی با شاخص RSI نیز آب این شهر در ردیف آبهای خورنده طبقه‌بندی می‌گردد. نتایج این تحقیق تا حدودی با نتایج مطالعه حاضر منطبق می‌باشد [۱۴].

مطالعه دیگری نیز غنی زاده و همکاران در سال ۸۸ با عنوان «پتانسیل خوردگی و رسوب‌گذاری آب آشامیدنی در سیستم‌های آبرسانی مراکز نظامی» در

1. Calcium Carbonate Precipitation Potential

مورد آزمایش و به لحاظ ارزیابی وضعیت خوردگی و رسوبگذاری مورد بررسی قرار گرفته و در صورت لزوم اقدامات کنترلی لازم هم در تصفیه‌خانه و هم در شبکه توزیع به عمل آید.

### تشکر و قدردانی

این تحقیق با مساعدت و همکاری کارشناسان آزمایشگاه آب و فاضلاب دانشکده بهداشت دانشگاه علوم پزشکی اردبیل بویژه خانم مهندس طیبه صادقی و خانم مهندس پری باقری انجام گردید. نویسندگان مقاله بدین‌وسیله مراتب تقدیر و سپاسگزاری خود را اعلام می‌نمایند.

پارامترها با استانداردهای ملی یا بین‌المللی گویای واقعی وضعیت تعادل کیفی آب نخواهد بود؛ چنانچه در این تحقیق نیز نتایج مؤید این واقعیت بود که پارامترها به تنهایی مشکل چندان نداشته‌اند ولی در مجموع با توجه به شاخصهای بکار رفته و نتایج حاصله و مقایسه دو مرحله، احتمال بروز مشکل در شبکه بالاخص در فصول سرد سال زیاد می‌باشد. این امر یعنی پتانسیل خوردگی ضمن به همراه داشتن معضلات و پیامدهای بهداشتی، خسارات اقتصادی و... ناراضی‌تی مصرف‌کنندگان را به دلیل کیفیت و کمیت آب بدنبال خواهد داشت. لذا کنترل بیشتر و دقیق‌تر پارامترهای کیفی موثر در خوردگی ضروری بوده و پیشنهاد می‌گردد حداقل به صورت دوره‌ای (یک ساله)، شبکه و منابع آب شرب

### منابع

۱. هادی مهدی، "تهیه نرم افزار محاسبه کننده هشت ایندکس مهم خوردگی آب"، دوازدهمین همایش ملی بهداشت محیط، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی، آبان ماه ۱۳۸۸
2. Crittenden JC, Trussell RR, Hand DW, Howe KJ, Tchobanoglous G, "Water treatment principals and design", New York: Jon Wiley and Sons, 2005
3. Pierre R. Roberge, "Corrosion Basics: An Introduction", 2<sup>nd</sup> Edition, NACE Press book, 2006
۴. محوی امیرحسین، اسلامی اکبر، "بررسی وضعیت کیفی منابع تامین شبکه توزیع شهر زنجان از نظر خوردگی و تشکیل رسوب"، مجله فصلنامه علوم و تکنولوژی محیط زیست، ۱۳۸۵، شماره ۲۸، ص ۹۵-۹۰.
5. Geldriech E., "Microbial quality of water supply in distribution systems", Florida: CRC Press, 1996.
۶. هیبیتی بهزاد، مظلومی سجاد، فضل زاده دوپل مهدی، درخشان شروین، نوروزی مهدی، "بررسی پتانسیل خوردگی و رسوب گذاری آب شهر میانه در سال ۱۳۸۷"، دوازدهمین همایش ملی بهداشت محیط، دانشگاه شهید بهشتی، آبان ماه ۱۳۸۸
۷. پاکشیر محمود و همکاران، "محدودیت های شاخص های میزان خوردگی و رسوب گذاری آب در سیستم های صنعتی"، مجله آب و فاضلاب، شماره ۵۱، ۱۳۸۱، صفحه ۶۵-۶۰.
8. ASTM, "Standard test methods for corrosivity of water in the Absence of heat transfer", designation :D2688-92, 1994
9. Kerri k, "water treatment plant operation", third edition, vol.1, office of drinking water, 1992.
۱۰. عوض پور مؤید، غلامی میترا، عالی رحیم، "بررسی پتانسیل خوردگی و رسوبگذاری منابع آب شرب شهر ایلان"، یازدهمین همایش ملی بهداشت محیط، زاهدان، آبان ماه ۱۳۸۷.
11. Standard method for the examination of water & wastewater, Edition 2005
۱۲. چالکش امیری محمد، "اصول تصفیه آب"، انتشارات ارکان، چاپ ۱۳۸۵.



۱۳. دهقانی منصوره، تکس فیاض، طباطبایی حمیدرضا، "بررسی وضعیت رسوبگذاری و خوردگی آب آشامیدنی در منابع تامین و شبکه توزیع شهر شیراز". یازدهمین همایش ملی بهداشت محیط - زاهدان، آبان ماه ۱۳۸۷.
۱۴. رعیتی زهره، "بررسی میزان خوردگی و پایش کیفی منابع آب شهرستان شاهرود با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی GIS"، یازدهمین همایش ملی بهداشت محیط - زاهدان، آبان ماه ۱۳۸۷.
۱۵. غنی زاده قادر، قانعیان محمد تقی، "پتانسیل خوردگی و رسوبگذاری آب آشامیدنی در سیستمهای آبرسانی مراکز نظامی"، مجله طب نظامی، شماره ۳، پاییز ۱۳۸۸، ص ۱۶۰ - ۱۵۵
16. Aiman E. Al-Rawajfeha, Ehab M. Al-Shamaileh, "Assessment of tap water resources quality and its potential of scale formation and corrosivity in Tafila Province, South Jordan", Desalination Volume 206, Issues 1-3, 5 February 2007, Pages 322-332
17. G. Pátzaya, G. Stáhlb, F. H. Kármánb and E. Kálmánb, "Modeling of scale formation and corrosion from geothermal water", Electrochimica Acta, Volume 43, Issues 1-2, 1998, Pages 137-147

## Evaluation of Corrosion and Precipitation Potential in Ardebil Drinking Water Distribution System by Using Langelier & Ryznar Indexes

Mokhtari S.A.<sup>1</sup>, Aalighadri M.<sup>2</sup>, Hazrati S.<sup>2</sup>, Sadeghi H.<sup>2</sup>, Gharari N.<sup>2</sup>, Ghorbani L.<sup>3</sup>

1. Instructor of Environmental Health, Ardabil University of Medical Sciences,

E-mail: a.mokhtari@arums.ac.ir

2. Environmental Health Department, School of Health, Ardabil University of Medical Sciences, Ardabil, Iran

3. BSc in Environmental Health, Ardabil University of Medical Sciences

### ABSTRACT

**Background and Objectives:** Corrosion and sedimentation potential is one of the main factors in water quality control issues. Water tendency towards each of them, can be play very effective role in the transmission and distribution of drinking water in terms of economic and health aspects. The purpose of this study was evaluation of chemical quality, corrosive and sedimentation rate of drinking water in Ardabil water supply network and providing relevant solutions for probable problems.

**Methods:** In a cross-sectional research conducted in autumn 2009, the city was divided into 12 blocks and water samples were taken in two instances (in the first half of October and the second half of December). Parameters of alkali, calcium hardness, electrical conductivity, temperature and pH were determined. Water samples were handled according to standard procedures, and corrosion and sedimentation potential were estimated using indicators Lanzhlyh (LSI) and Rayznr (RSI).

**Results:** The results of tests and calculations showed that the respective value for average of LSI index in the first and 2nd stage of water sampling was -0.23 and -0.46, and the average for RSI index in the first and 2nd stage of sampling was 7.98 and 8.24, respectively. Based on LSI index, drinking water in the water supply system has a tendency to corrosion in 9 and 12 stations in the first and second sampling campaigns, respectively; with the other stations tending to have sedimentation. However, according to RSI index six stations had tendency to corrosion and others was balanced in the first samples. For the second samples, ten stations tend to have corrosive property and the others had conditions of relative equilibrium.

**Conclusion:** Based on the results obtained, water in Ardabil drinking water supply have slight tendency to corrosion and water quality must be controlled for the relevant parameters e.g. pH, alkali, and hardness. Application of corrosion-resistant pipes and materials should be considered in drinking water networks.

**Key words:** Corrosion, precipitation, Langelier & Ryznar Index, distribution system, Drinking Water, Ardabil