

# پهنه‌بندی پتانسیل خوردگی شبکه توزیع آب اصفهان در تابستان و پاییز ۱۳۹۰ با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی

فاطمه ستایش<sup>۱</sup> اکرم مزروعی<sup>۱</sup> افشین ابراهیمی<sup>۲</sup> مرضیه وحید دستجردی<sup>۳</sup>

(دریافت ۹۱/۵/۱۸ پذیرش ۹۱/۱۱/۲۸)

## چکیده

این تحقیق توصیفی مقطعی با هدف تعیین پتانسیل خوردگی آب آشامیدنی شهر اصفهان در سال ۱۳۹۰ انجام گرفت. در این مطالعه در مجموع ۸۰ نمونه طی فصلهای تابستان و پاییز (در هر مرحله ۴۰ نمونه) از نقاط مختلف شهر اصفهان جمع‌آوری و پارامترهای دما، سختی کلسیم، قلیانیت، کل جامدات محلول و pH اندازه‌گیری شد. مقادیر اندیس‌های لانژلیه، رایزنر، خوردگی و پوکوریوس محاسبه شد. برای انجام پهنه‌بندی نتایج حاصل از سنجش خوردگی، از GIS استفاده شد. نتایج به‌دست آمده از محاسبات نشان داد که مقدار متوسط اندیس‌های لانژلیه، رایزنر، پوکوریوس و خوردگی به‌ترتیب در تابستان و پاییز برابر ۰/۵۲، ۸/۸۳، ۱۰/۳۷، ۱۰/۸۴ و ۰/۷۱، ۹/۲۷، ۱۰/۹۴، ۱۰/۸۸ است. نتایج به‌دست آمده مشخص نمود آب شهر اصفهان بر اساس اندیس‌های لانژلیه، رایزنر و پوکوریوس خورنده و طبق اندیس خوردگی، دارای تمایل متوسط به‌خوردگی است. خورنده بودن آب می‌تواند زمینه‌ای برای تخریب تدریجی خطوط انتقال و توزیع یا ورود بسیاری از آلاینده‌ها بوده و نهایتاً زمینه‌ای برای ایجاد عوارض بهداشتی فراهم سازد. بنابراین اندیشیدن تدابیری برای کنترل خوردگی آب آشامیدنی شهر اصفهان ضروری به‌نظر می‌رسد.

**واژه‌های کلیدی:** پتانسیل خوردگی، اندیس‌های خوردگی، آب شرب، سامانه اطلاعات جغرافیایی

## Zoning of Isfahan Drinking Water Distribution Network Corrosion Potential in Summer and Autumn of 2011 Using Geographic Information System (GIS)

F. Setayesh<sup>1</sup> A. Mazroui<sup>1</sup> A. Ebrahimi<sup>2</sup> M. Valhid Dastjerdi<sup>3</sup>

(Received Aug. 8, 2012 Accepted Feb. 16, 2013)

### Abstract

This cross-sectional study has been conducted to determine the corrosion potential of water in Isfahan drinking water distribution system in 2011. Eighty samples during summer and fall 2011 (40 samples for each season) were collected from different parts of the Isfahan drinking water distribution system. The temperature, calcium hardness, alkalinity, total dissolved solids, and pH were measured. Values of Langelier, Ryznar, Corrosiveness, and Puckorius indexes were calculated. Zoning maps were prepared using ArcGIS 9.3 software. The calculated mean values of Langelier, Ryznar, Corrosiveness, and Puckorius indexes in the summer and fall were (-0.52), 8.83, 10.37, 10.84 and (-0.71), 9.27, 10.94, 10.88, respectively. These results indicated that the Isfahan drinking water based on Langelier, Ryznar, and Puckorius indexes had a corrosive tendency and based on aggressiveness index had a moderate corrosivity potential. The corrosiveness of water may be as a basis for gradual deterioration of water distribution and transmission pipeline systems or as a route for contaminant entrance and finally can cause unhealthy impacts. Therefore, remedial measures are necessary to corrosion control of Isfahan drinking water

**Keywords:** Duck Weed, Elodea, Eutrophication, Effluent, Water Pollution.

1. B.S. Student of Environmental Health Eng., Faculty of Public Health, Isfahan University of Medical Sciences, Isfahan, Iran
2. Assist. Prof., Environment Research Center, Isfahan University of Medical Sciences, Isfahan, Iran (Corresponding Author) (+98 311) 7922692 a\_ebrahimi@hlth.mui.ac.ir
3. M.Sc., Water and Wastewater Lab., Faculty of Public Health, Environment Research Center, Isfahan University of Medical Sciences, Isfahan, Iran

- ۱- دانشجوی کارشناسی مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی اصفهان، ایران
- ۲- استادیار، مرکز تحقیقات محیط زیست، دانشگاه علوم پزشکی اصفهان، ایران (نویسنده مسئول) (+98 311) 7922692 a\_ebrahimi@hlth.mui.ac.ir
- ۳- کارشناس ارشد آزمایشگاه آب و فاضلاب، دانشکده بهداشت، مرکز تحقیقات محیط زیست، دانشگاه علوم پزشکی اصفهان، ایران

جنس لوله‌های مورد استفاده در برخی از سیستم‌های قدیمی انتقال و توزیع آب آشامیدنی عمدتاً از آهن و یا فولاد بوده که در معرض خوردگی هستند [۱]. خوردگی در اثر مجموعه‌ای از واکنش‌های فیزیکی و شیمیایی ناشی از تأثیر چندین عامل شیمیایی، الکتریکی، فیزیکی و بیولوژیکی ایجاد می‌گردد [۲]. این پدیده توسط بسیاری از عوامل فیزیکی (دما، سرعت جریان، فلزات غیر همجنس و مانند اینها)، عوامل شیمیایی (pH، قلیائیت، اکسیژن محلول، غلظت کل جامدات محلول و سختی کلسیم) و عوامل میکروبی (مانند باکتری‌های احیا کننده سولفات و باکتری‌های آهن) به وجود می‌آید و کنترل می‌شود [۳]. عوامل متغیر فراوانی از جمله ویژگی‌ها و نوع فلز به کار رفته در ساختار لوله، مقدار سطح در تماس با آب، اکسیژن، یون سولفات، افزایش دی اکسید کربن آزاد، وجود باقیمانده گندزداها، دما و وجود میکروارگانیسم‌ها، میزان گسترش خوردگی در یک سیستم تأمین آب را کنترل می‌کنند [۴ و ۵].

آبهای خورنده، مواد اولیه لوله‌ها، اتصالات و شیرآلات شبکه‌های توزیع شهری و خانگی را در خود حل می‌کند که نتیجه آن بروز مشکلات اقتصادی و زیباشناسی و بهداشتی است. از جمله مشکلات اقتصادی، کاهش طول عمر لوله‌ها و تخریب آنها، نیاز به جای‌گذاری مجدد لوله‌های خورده شده، افزایش هدر رفت آب، افزایش هزینه‌های پمپاژ و ورود آلاینده‌های ثانویه به داخل سیستم توزیع است. مهم‌ترین مشکلات بهداشتی آبهای خورنده، افزایش غلظت فلزات سمی خطرناکی چون سرب و کادمیم است که سلامتی شهروندان را شدیداً به مخاطره می‌اندازد. حل شدن فلزاتی از قبیل آهن، روی، مس و منگنز باعث مشکلات زیباشناسی می‌شود و پدید آورنده مسائلی چون بو، مزه، رنگ و ایجاد لکه بر روی سرویس‌های بهداشتی است [۶ و ۷]. مطالعات نشان می‌دهند که محصولات خوردگی ناشی از سطوح لوله می‌تواند در شبکه‌های توزیع تجمع یافته یا ته‌نشین شوند و میکروارگانیسم‌ها را از اثر گندزداها محافظت کنند [۸]. این میکروارگانیسم‌ها می‌توانند تکثیر یافته و مشکلاتی از قبیل طعم و بوی بد، توده‌های بیولوژیکی و در نتیجه افزایش خوردگی را تولید نمایند [۹].

در حال حاضر مسائل مربوط به خوردگی و رسوب گذاری، درصد قابل توجهی از درآمد سالانه کشورهای مختلف را به خود اختصاص می‌دهد [۱۰]. تاکنون تحقیقات متعددی در سرتاسر دنیا درباره تعیین وضعیت خوردگی آبهای مختلف به انجام رسیده است که از آن جمله می‌توان به تحقیق انجام شده بر روی منابع آب آشامیدنی دانشگاه بنین نیجریه اشاره کرد. بر اساس نتایج حاصل از تعیین سه اندیس لانژلیه، رایزنر و لارسون، آب این منابع تمایل به خوردگی داشته است [۱۱]. لیونتا و همکاران در سال ۲۰۰۴ در

کشور آفریقای جنوبی اعلام کردند که خوردگی و رسوب‌گذاری از مشکلات متداول در خطوط انتقال و توزیع آبهای زیرزمینی است و مکانیسم اثر و شدت آن به دو عامل کیفیت آب و جنس لوله بستگی دارد [۱۲]. مطالعه دیگری در کشور کانادا حضور لایه‌های خوردگی در سطح داخلی سیستم‌های توزیع آب آشامیدنی لوله‌های سربی را نشان داد [۱۳]. از جمله تحقیقات انجام گرفته در ایران نیز می‌توان به مطالعه شاه منصوری و همکاران در سال ۱۳۸۰ به منظور تعیین پتانسیل خوردگی آب آشامیدنی شبکه‌های توزیع زرین شهر و مبارکه استان اصفهان با استفاده از روش کاهش وزن (کوپن خوردگی) اشاره کرد که نشان داد آب این دو منطقه از نظر اندیس‌های لانژلیه، رایزنر، خوردگی و پوکوریوس تمایل به خوردگی دارد [۱۴]. همچنین در مطالعه‌ای که توسط مختاری و همکاران با استفاده از اندیس‌های خوردگی لانژلیه و رایزنر بر روی پتانسیل خوردگی آب شرب شهر اردبیل در پاییز ۱۳۸۸ انجام گرفت، نشان داد که پتانسیل این آب تا حدی تمایل به خوردگی دارد [۱۵].

از سایر مطالعات انجام شده در ایران می‌توان به مطالعه محوی و همکاران در شبکه آبرسانی شهر بندرعباس، مطالعه سواری و همکاران در طی سالهای ۱۳۸۳ تا ۱۳۸۵ روی منابع آب آشامیدنی شهر اهواز و مطالعه فاضل‌زاده بر روی بررسی پتانسیل خوردگی واحد تصفیه‌خانه آب آشامیدنی شهر ایلام اشاره کرد [۱۶، ۱۷ و ۱۸].

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 [۱۰]. نرم‌افزارهایی که تاکنون به منظور پهنه‌بندی کیفی منابع آب ارائه شده‌اند، دارای کارایی‌های متفاوتی بوده و به کاربر این امکان را می‌دهند که با ورود اطلاعات لازم، تحلیل مناسبی از وضعیت کیفیت آب در مناطق مختلف به دست آورد. توسعه سریع فناوری و استفاده گسترده از رایانه‌ها و نیاز به کاربرد متنوع اطلاعات زیست محیطی به منظور کارایی بیشتر و سود جستن از تکنولوژی رایج و از طرفی خواست محققان برای دستیابی آسان به این اطلاعات و انجام تجزیه و تحلیل بر روی آنها و همچنین به کارگیری سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی (GIS)، در جهان تحول شگرفی در کسب و بهره‌برداری از اطلاعات محیط اطرافمان ایجاد کرده است. داده‌های GIS در کنار سایر منابع اطلاعاتی می‌تواند به عنوان ابزاری مناسب در مطالعه و بررسی‌های منابع طبیعی و محیطی در دسترس پژوهشگران قرار گرفته و از

طرف دیگر به صورت تکنیکی قدرتمند، اطلاعات جامع و به هنگام را در اختیار مدیران و تصمیم‌گیران برای برنامه‌ریزی‌های کوتاه و درازمدت قرار دهد [۱۹ و ۲۰].

همانطوری که در بالا گفته شد و بر طبق معیارهای جهانی، برای شبکه‌های توزیعی که از منابع آبهای سطحی استفاده می‌کنند (مانند شبکه توزیع آب اصفهان)، اکثر اندیس‌های کنترل خوردگی و رسوب‌گذاری باید حداقل هر دو سال یکبار تعیین گردند. همچنین با توجه به اینکه انجام هرگونه عملیات مدیریتی و مهندسی به منظور حذف یا کاهش اثرات خوردگی به اطلاع داشتن از وضعیت آب از این نظر وابسته است، لذا در این تحقیق، مقادیر اندیس‌های خوردگی محاسبه شده شامل اندیس‌های لانژلیه، رایزنر، خوردگی و پوکوریوس در تابستان و پاییز ۱۳۹۰ در شبکه توزیع آب آشامیدنی شهر اصفهان توسط سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) پهنه‌بندی گردید که نسبت به مطالعات پیشین، کار جدیدی است. زیرا روند تغییرات شاخص‌های خوردگی در شبکه آب اصفهان و نقاط احتمالاً بحرانی در آن را نشان داده و امکان تصمیم‌گیری برای مدیران محلی را فراهم می‌نماید.

## ۲- مواد و روشها

### ۲-۱- نمونه‌برداری و انجام آزمایش‌ها

در این مطالعه مقادیر اندیس‌های لانژلیه، رایزنر، خوردگی و پوکوریوس با تعیین پارامترهای دما، سختی کلسیم، قلیائیت، کل جامدات محلول و pH در شبکه توزیع در دو مرحله و در فصلهای تابستان و پاییز محاسبه شد. تعداد نمونه مورد آنالیز در این مطالعه برای محاسبه اندیس‌های خوردگی بر اساس روابط آماری و نتایج برخی مطالعات انجام شده قبلی که انحراف معیار اندیس‌های خوردگی لانژلیه (۰/۰۹)، پوکوریوس (۰/۳۴)، رایزنر (۰/۲۲) و اندیس ته‌اجمی را (۰/۰۶) به‌دست آورده بودند، و با فرض بالاترین انحراف معیار (۰/۳۴)، حدود ۴۰ محل انتخاب گردید و با عنایت به انجام دو مرحله نمونه‌برداری و در نظر گرفتن ملاحظات اقتصادی طرح، وسعت طول لوله‌های مورد استفاده در شبکه توزیع و عدم امکان نمونه‌برداری از تمامی نقاط، و به‌منظور حصول نتایج مناسب به کمک پهنه‌بندی GIS، در مجموع تعداد ۸۰ نمونه در طی دو مرحله (در هر مرحله ۴۰ نمونه) از نقاط مختلف شهر اصفهان جمع‌آوری شد.

برای انجام عمل نمونه‌برداری از ظروف پلاستیکی یک لیتری استفاده شد. این ظروف ابتدا با دقت شسته و تمیز شده و بعد بر روی آنها برای یادداشت کردن کد محل مورد نظر برچسب زده شد. دما، pH و EC مستقیماً در محل نمونه‌برداری اندازه‌گیری شد. درجه حرارت و pH با استفاده از دستگاه pH متر قلمی پرتابل

مدل AZ8686 اندازه‌گیری شد. هدایت الکتریکی آب نیز با کمک یک دستگاه پرتابل قلمی مدل AZ8351 سنجش گردید. ولی اندازه‌گیری قلیائیت، سختی کلسیم، سختی کل و کل جامدات محلول مطابق با دستورالعمل ذکر شده در کتاب استاندارد متد در آزمایشگاه انجام گرفت [۲۱]. عمل نمونه‌برداری در هر نقطه یک بار در فصل تابستان و بار دیگر در فصل پاییز از همان نقطه انجام شد. تمامی مواد شیمیایی مورد استفاده در این تحقیق از شرکت مرک آلمان خریداری شده و دارای خلوص آزمایشگاهی بودند.

### ۲-۲- محاسبه اندیس‌های خوردگی

در این مطالعه برای محاسبه pHs و اندیس‌های خوردگی لانژلیه و رایزنر از نرم‌افزار آنالیز تعادل آب<sup>۱</sup> استفاده شد [۲۲]. اساس کار محاسبه اندیس‌های مذکور در آن بر پایه روابط ۱ تا ۶ بود:

$$pHs = [(9.3+A+B)-(C+D)] \quad (1)$$

که در این رابطه

A کل جامدات محلول در آب بر حسب میلی‌گرم در لیتر، B درجه حرارت آب بر حسب درجه سلسیوس، C سختی کلسیم (mg/l)  $(CaCO_3)$ ، و D قلیائیت (mg/l  $CaCO_3$ ) است [۲۳].

بعد از محاسبه pHs، مقادیر اندیس لانژلیه و رایزنر به ترتیب از روابط ۲ و ۳ به دست می‌آید:

$$LI = pH - pHs \quad (2)$$

$$RI = 2pHs - pH \quad (3)$$

که در این روابط

pH: واقعی آب، pHs: pH آب در حالت اشباع از کربنات کلسیم، LI شاخص لانژلیه و RI، شاخص رایزنر است [۲۳].

چنانچه مقدار LI به‌دست آمده مثبت باشد، بیانگر تمایل آب به رسوب‌گذاری است و اگر مقدار LI منفی باشد، آب خورنده است و مقدار صفر آن، نشانگر حالت تعادل آب است. در تفسیر اندیس رایزنر اگر مقدار اندیس ۶ و یا کمتر باشد آب رسوب‌گذار است. چنانچه ۶-۵/۶ باشد آب حالت پایدار دارد و مقدار ۵/۷-۸ خاصیت خوردگی را نشان می‌دهد [۳].

برای محاسبه شاخص خوردگی (ته‌اجمی) نیز از رابطه ۴ استفاده می‌شود:

$$AI = pH + \log[(A)(H)] \quad (4)$$

<sup>1</sup> Water Balance Analyzer

جدول ۱- مختصات نقاط نمونه برداری شبکه توزیع آب شهر اصفهان

UTM		ردیف	آدرس (خیابان)	UTM		ردیف	آدرس (خیابان)
X	Y			X	Y		
۵۶۳۸۱۱	۳۶۲۰۹۸۱	۲۱	بیمارستان غرضی	۵۶۲۴۵۷	۳۶۱۰۲۷۶	۱	چهارباغ بالا
۵۶۶۴۰۰	۳۶۲۲۸۴۳	۲۲	بزرگراه دولت آباد	۵۶۶۱۵۳	۳۶۱۰۱۴۴	۲	قائم مقام
۵۶۶۰۰۸	۳۶۲۰۶۳۲	۲۳	ج دولت آباد خ گلستان	۵۷۱۱۶۹	۳۶۰۸۷۴۷	۳	روستای فنارت
۵۶۷۹۱۹	۳۶۱۹۴۰۵	۲۴	شهرداری منطقه ۱۴	۵۷۳۰۹۸	۳۶۱۱۹۱۴	۴	دانشگاه آزاد خوراسگان
۵۶۸۵۴۴	۳۶۱۶۸۱۶	۲۵	خ هفتون	۵۶۶۳۲۶	۳۶۱۲۲۰۲	۵	خ ۲۲ بهمن
۵۶۴۶۷۴	۳۶۱۵۸۰۹	۲۶	خ قدس	۵۶۳۶۹۰	۳۶۱۱۹۸۳	۶	خ منوچهری
۵۶۵۹۳۶	۳۶۱۴۱۸۷	۲۷	خ جی	۵۶۱۳۱۵	۳۶۱۲۰۷۸	۷	پل فلزی
۵۶۸۱۱۳	۳۶۱۲۱۸۷	۲۸	خ نیرو (کلمان)	۵۵۴۸۲۴	۳۶۰۸۶۸۳	۸	محدوده نیروگاه
۵۷۰۶۰۲	۳۶۱۹۷۰۸	۲۹	اتوبان چمران	۵۵۳۵۹۰	۳۶۰۸۴۰۲	۹	اسلام آباد
۵۶۳۱۳۸	۳۶۱۷۵۵۰	۳۰	پل چمران	۵۵۸۸۵۲	۳۶۰۹۷۱۸	۱۰	سه راه سیمین
۵۵۹۷۵۶	۳۶۱۶۵۵۲	۳۱	خ امام خمینی خ ساحل	۵۶۳۰۰۰	۳۶۰۷۸۲۸	۱۱	خ کارگر
۵۵۷۲۸۳	۳۶۱۹۴۹۰	۳۲	شهرک قدس	۵۶۱۴۳۵	۳۶۱۴۷۱۳	۱۲	خ پنج رمضان
۵۶۰۲۶۳	۳۶۱۳۳۴۹	۳۳	سارمیه	۵۶۱۳۷۵	۳۶۱۶۵۸۷	۱۳	خ رباط اول
۵۶۳۳۲۷	۳۶۰۲۱۵۳	۳۴	سیپهان شهر	۵۶۱۸۳۸	۳۶۱۹۰۸۱	۱۴	چهارراه زمندگان
۵۶۲۶۴۸	۳۶۰۰۴۰۲	۳۵	سیپهان شهر	۵۶۳۲۳۳	۳۶۱۹۶۸۷	۱۵	بهارستان شرقی
۵۶۳۳۳۸	۳۶۰۱۰۳۶	۳۶	سیپهان شهر	۵۵۵۲۳۳	۳۶۲۲۱۵۹	۱۶	فلکه امیرکبیر
۵۷۰۵۳۸	۳۵۹۳۵۸۷	۳۷	بهارستان	۵۵۲۸۴۵	۳۶۲۳۷۰۹	۱۷	آسایشگاه سالمندان صادقیه
۵۷۲۸۷۱	۳۵۹۴۹۵۴	۳۸	بهارستان	۵۵۰۱۰۸	۳۶۱۹۰۸۹	۱۸	دانشگاه صنعتی
۵۵۵۵۹۶	۳۶۱۲۶۶۵	۳۹	خ آتشگاه	۵۶۱۰۵۰	۳۶۲۵۴۰۰	۱۹	آزادراه معلم
۵۶۶۸۵۹	۳۶۱۱۸۳۱	۴۰	خ الهیه خ برازنده	۵۶۲۰۵۲	۳۶۲۲۶۷۰	۲۰	شهرک ولی عصر

که در این رابطه

طول و عرض جغرافیایی نقاط در نرم افزار ArcGIS/ArcInfo نسخه ۹/۳ بارگذاری شد. در ادامه با استفاده از تحلیل گر فضایی<sup>۱</sup> و مدل درون یابی کریجینگ<sup>۲</sup>، لایه های اطلاعاتی<sup>۱</sup> برای هر یک از نوبت های مذکور ایجاد گردید.

### ۳- یافته ها

در جدول ۱ آدرس و طول و عرض جغرافیایی نقاط نمونه برداری ارائه شده است. همچنین شکل ۱ موقعیت جغرافیایی نقاط نمونه برداری شده در شهر اصفهان را نشان می دهد. در جدول ۲ حداقل، حداکثر، میانگین و انحراف معیار عوامل مؤثر در خوردگی در شبکه توزیع آب آشامیدنی شهر اصفهان نشان داده شده است. در جدول ۳ میانگین نتایج اندیس های خوردگی محاسبه شده و تفسیر هر یک در دو مرحله نمونه برداری از شبکه توزیع آب آشامیدنی شهر اصفهان ارائه شده است. شکل ۲ پهنه بندی شبکه توزیع آب آشامیدنی شهر اصفهان از نظر اندیس های خوردگی در فصل تابستان و همچنین شکل ۳ پهنه بندی شبکه توزیع آب آشامیدنی شهر اصفهان از نظر اندیس های خوردگی در فصل پاییز را نشان می دهد.

### ۴- نتایج و بحث

در جدول ۲ حداقل، حداکثر، میانگین و انحراف معیار عوامل مؤثر در خوردگی در شبکه توزیع آب آشامیدنی شهر اصفهان ارائه شده

AI شاخص خوردگی تهاجمی، A قلیائیت کل (mg/l CaCO<sub>3</sub>) و H سختی کلسیم (mg/l CaCO<sub>3</sub>) است [۲۳]. آب با AI کمتر از ۱۰ به شدت خورنده و بین ۱۰-۱۲ تقریباً خورنده و بزرگ تر از ۱۲ غیر خورنده و رسوب گذار است [۳].  
برای محاسبه اندیس پوکوریوس نیز از روابط ۵ و ۶ استفاده می شود [۲۳]:

$$PI=2pHs-pHeq \quad (5)$$

که در این رابطه

pHeq: pH آب در حالت تعادل، T.ALK قلیائیت کل (mg/l CaCO<sub>3</sub>) و PI اندیس پوکوریوس است.

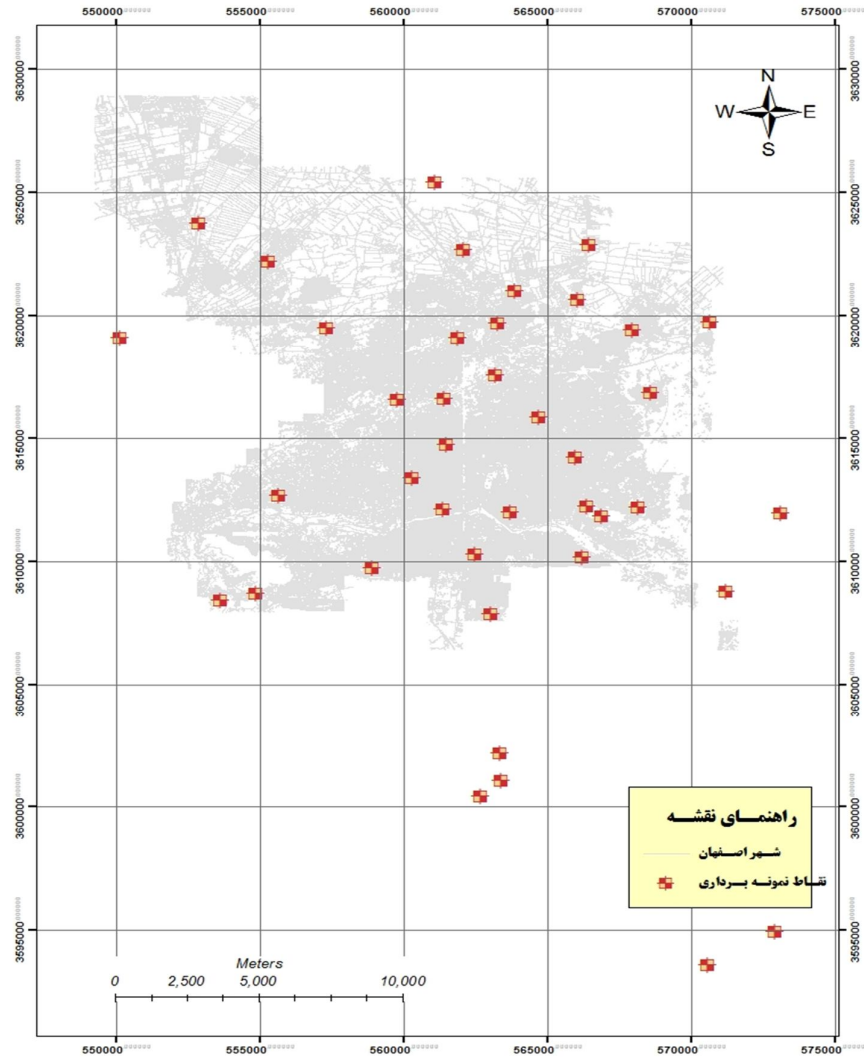
$$pHeq=1.465 \log(T.ALK)+4.54 \quad (6)$$

آب با PI بالاتر از ۶ دارای خاصیت خوردگی و برای مقادیر پایین تر از ۶ رسوب گذار است [۳]. همچنین پس از محاسبه اندیس های خوردگی، نتایج آنالیزهای کیفی به دست آمده با استانداردهای ملی آب کشور و استانداردهای بین المللی مقایسه شد.

### ۲-۳- تحلیل نتایج با استفاده از GIS

برای انجام عملیات پهنه بندی با کمک GIS، نتایج حاصله از محاسبه اندیس های خوردگی به تفکیک نوبت های نمونه برداری و بر اساس

<sup>1</sup> Spatial Analyst  
<sup>2</sup> Raster



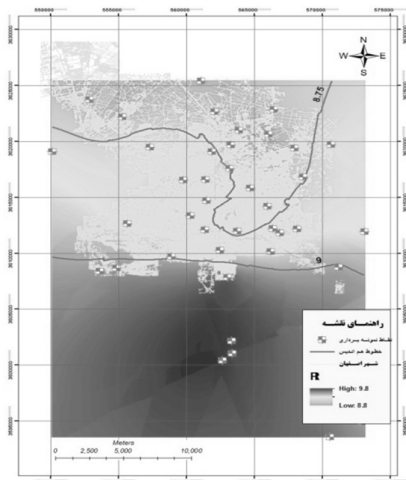
شکل ۱- موقعیت جغرافیایی نقاط نمونه برداری شده

جدول ۲- حداقل، حداکثر، میانگین و انحراف معیار عوامل مؤثر در خوردگی در شبکه توزیع آب آشامیدنی شهر اصفهان

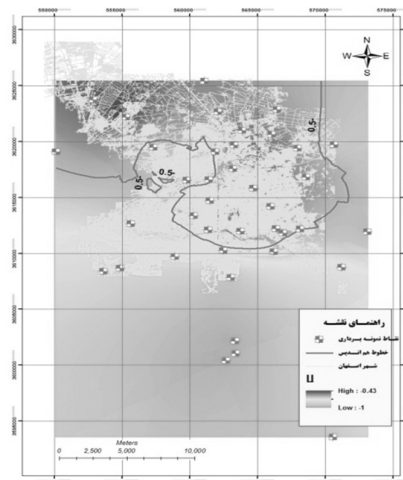
عوامل مؤثر در خوردگی	تابستان				پاییز			
	حداقل	حداکثر	میانگین	انحراف معیار	حداقل	حداکثر	میانگین	انحراف معیار
دما (°C)	۲۱	۳۰	۲۵/۵۴	۲/۳۳	۱۰/۴	۲۴	۱۶/۱۹	۲/۹۷
pH	۷/۱	۸/۴	۷/۷۸	۰/۲۶	۷/۵	۸/۷	۷/۸۹	۰/۲۸
هدایت الکتریکی (μS/cm)	۳۴۰	۶۶۴	۴۲۹/۶۲	۹۲/۸۳	۳۱۸	۱۰۷۵	۵۴۶/۴۸	۲۵۳/۴۵
سختی کلسیم (mg/L.CaCO <sub>3</sub> )	۶۰	۱۱۰	۸۱/۶۴	۱۱/۳۸	۴۶	۱۲۰	۷۴/۲۵	۲۲/۷۸
سختی کل (mg/l)	۵۴	۱۳۸	۷۳/۴	۱۸/۳۵	۴۶	۱۴۰	۸۱/۰۵	۳۱/۲۸
قلیائیت (mg/L.CaCO <sub>3</sub> )	۱۲/۸	۱۹/۴	۱۴/۶۴	۱/۲۱	۹/۶	۲۰/۸	۱۴/۴۸	۳/۹۸
کل جامدات محلول (mg/l)	۵۸	۳۸۴	۲۱۹/۳۵	۷۷/۳۰	۱۴۸	۶۳۰	۲۹۵/۰۵	۱۵۹/۷۳

جدول ۳- نتایج اندیس های خوردگی محاسبه شده و تفسیر هر یک در دو مرحله نمونه برداری از شبکه توزیع آب آشامیدنی شهر اصفهان

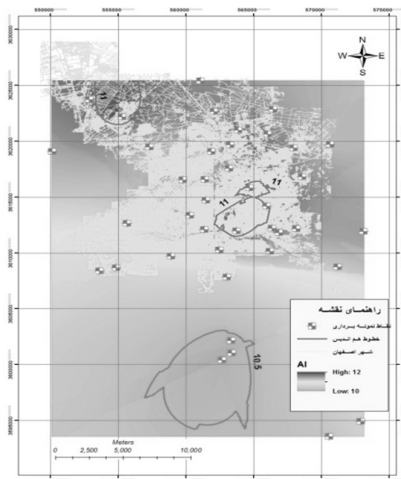
فصل سال	شرایط	اندیس لانه (LI)	اندیس رایزنر (RI)	اندیس خوردگی (AI)	اندیس پوکوریوس (PI)
تابستان	حداقل	-۱/۱۶	۸/۳۱	۱۰/۲۷	۹/۷۷
	حداکثر	۰/۰	۹/۴۲	۱۱/۳۹	۱۰/۷۲
	میانگین و انحراف معیار	(-۰/۵۲)±(۰/۲۴)	۸/۸۳±۰/۲۴	۱۰/۸۴±۰/۲۴	۱۰/۳۷±۰/۲
	تعادل	۰/۰	۶/۲	۱۲	۶
	تفسیر	خوردگی کم	خورنده	خوردگی متوسط	خورنده
	حداقل	-۱/۲۴	۷/۹۸	۱۰/۳۹	۹/۸۵
پاییز	حداکثر	۰/۳۶	۱۰/۱۸	۱۱/۸۷	۱۱/۸۶
	میانگین و انحراف معیار	(-۰/۶۹)±(۰/۳۱)	۹/۲۷±۰/۵۱	۱۰/۸۹±۰/۳	۱۰/۹۴±۰/۶۸
	تعادل	۰/۰	۶/۲	۱۲	۶
	تفسیر	خوردگی کم	خورنده	خوردگی متوسط	خورنده
	حداقل	-۱/۲۴	۷/۹۸	۱۰/۳۹	۹/۸۵
	حداکثر	۰/۳۶	۱۰/۱۸	۱۱/۸۷	۱۱/۸۶



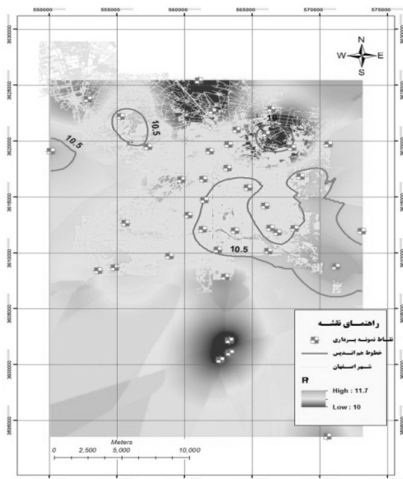
(ب)



(الف)

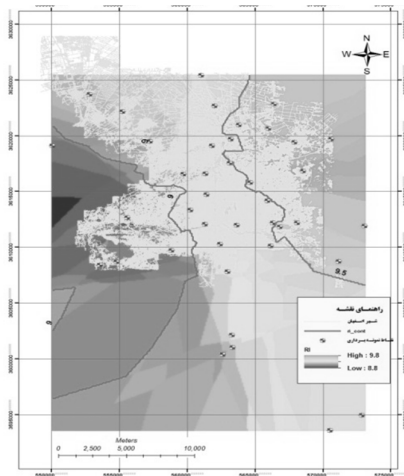


(د)

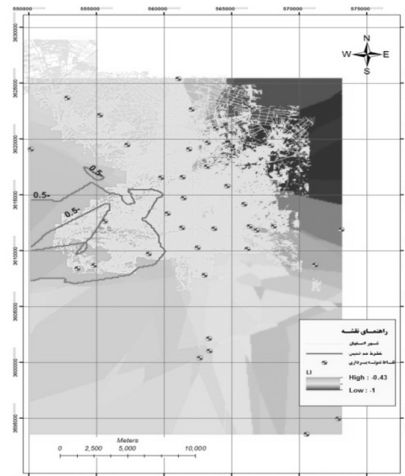


(ج)

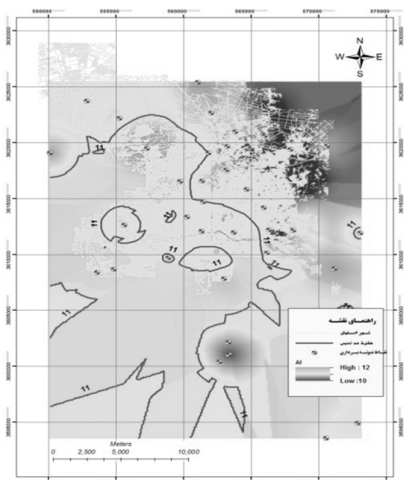
شکل ۲- پهنه بندی شبکه توزیع آب آشامیدنی شهر اصفهان از نظر اندیس های خوردگی در فصل تابستان



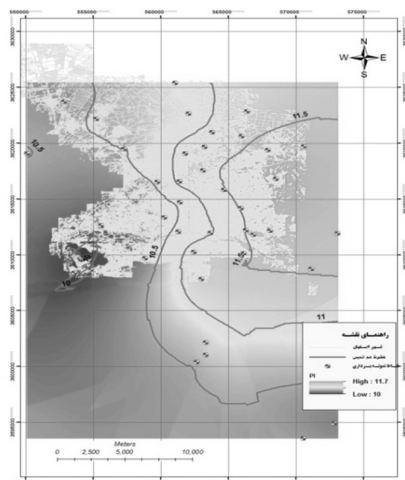
(ب)



(الف)



(د)



(ج)

شکل ۳- پهنه‌بندی شبکه توزیع آب آشامیدنی شهر اصفهان از نظر اندیس‌های خوردگی در فصل پاییز

دیگر بر اساس آزمون آماری Independent Samples Test مقادیر دما و کل جامدات محلول در دو فصل متفاوت بود ( $P_{value} < 0/05$ ). همچنین مقادیر pH، قلیائیت، سختی کل و سختی کلسیم در دو فصل دارای تفاوت معنی‌داری نبود ( $P_{value} < 0/05$ ). به عبارت دیگر نتایج آنالیز این پارامترها در فصلهای تابستان و پاییز تقریباً یکسان بود.

در جدول ۳ نتایج شاخص‌های خوردگی محاسبه شده و تفسیر هر یک در دو مرحله نمونه‌برداری از شبکه توزیع آب آشامیدنی شهر اصفهان نشان داده شده است. بر اساس داده‌های حاصل از این جدول، آب آشامیدنی شهر اصفهان از نظر اندیس‌های خوردگی لانتزله، رایزور، پوکوریوس و خوردگی، تمایل به خوردگی دارد.

است. مقایسه پارامترهای کیفی آب شرب شهر اصفهان با استانداردهای موجود نشان داد که میانگین pH آب شرب شهر اصفهان در مرحله اول و دوم به ترتیب برابر با ۷/۷۸ و ۷/۸۹ بوده که در رنج استاندارد WHO و EPA است [۲۴]. میانگین غلظت کل جامدات محلول نیز در مرحله اول و دوم به ترتیب برابر با ۲۹۵/۰۵ و ۲۱۹/۳۵ میلی‌گرم در لیتر بوده که کمتر از رنج استاندارد WHO و EPA به ترتیب ۱۲۰۰ و ۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر بوده است [۲۴]. آزمون آماری T-Test نیز کمتر بودن مقدار این شاخص از حدود استاندارد را نشان داد ( $P_{value} < 0/001$ ). همچنین آزمون آماری نشان داد که سختی کل، سختی کلسیم و قلیائیت نیز پایین‌تر از حدود رهنمود بوده است ( $P_{value} < 0/001$ ). از سوی

بر اساس آزمون آماری T-Test از بین اندیس‌های خوردگی لانتزیه، رایزنر، و پوکوریوس تنها اندیس خوردگی، در دو فصل تابستان و پاییز دارای تفاوت معنی‌داری نبوده است ( $P_{value} > 0/05$ ). به عبارت دیگر مقادیر این اندیس در دو فصل تابستان و پاییز تقریباً یکسان بوده است. همان‌گونه که پیشتر نیز گفته شد، در محاسبه pH اشیاع (pHs)، پارامترهای دما، کل جامدات محلول، سختی کلسیم و قلیائیت مورد نیاز است و بر اساس تحلیل‌های آماری انجام شده، مقادیر درجه حرارت و کل جامدات محلول در دو فصل متفاوت بوده‌اند. بنابراین از آنجایی که در محاسبه اندیس‌های لانتزیه، رایزنر و پوکوریوس، pH اشیاع یک عامل مؤثر است، در نتیجه مقادیر اندیس‌های ذکر شده در دو فصل متفاوت بوده است. چنانگ و همکاران در سال ۲۰۰۴ اعلام کردند، کاربرد اندیس‌های خوردگی برای سنجش و ارزیابی میزان خوردگی آنها نتایج متفاوتی را نشان می‌دهد. یک اندیس، آب را به‌عنوان آبی خورنده معرفی می‌کند و اندیس دیگر آب را غیر خورنده و متعادل نشان می‌دهد. در بعضی نمونه‌های در معرض خوردگی و فرسایش آنها که به‌وسیله اندیس‌ها اندازه‌گیری شده، ممکن است علت مغایرت نتایج، مطالعات پیچیده آزمایشگاهی و نتایج کنترل خوردگی در بررسی‌های زمینه‌ای باشد. با این وجود اندیس‌های خوردگی آب به‌عنوان شاخصی برای پیش‌بینی میزان رشد حفره و برآمدگی بر روی لوله آهنی و تخریب پوشش سیمانی به‌کار می‌روند [۲۵].

مطالعه‌ای توسط سواری و همکاران در طی سالهای ۱۳۸۳ تا ۱۳۸۵ روی منابع آب آشامیدنی شهر اهواز انجام شد که آب را از نظر اندیس‌های لانتزیه، رایزنر، پوکوریوس و خوردگی متمایل به خوردگی نشان داد و بین میزان نشت فلزات با اندیس‌های خوردگی ارتباط معنی‌داری مشاهده گردید [۱۷]. مطالعه انجام شده توسط فاضل زاده بر روی بررسی پتانسیل خوردگی واحد تصفیه‌خانه آب آشامیدنی شهر ایلام نشان داد که بر اساس اندیس لانتزیه، رایزنر، پوکوریوس و خوردگی، آب این تصفیه‌خانه متمایل به خوردگی داشته که با نتایج این تحقیق مطابقت دارد [۱۸]. مطالعه انجام شده توسط محوی و همکاران در شبکه آبرسانی شهر بندرعباس نیز نشان داد که بر اساس اندیس رایزنر در ۲۰ درصد موارد، آب متعادل و در ۸۰ درصد دیگر متمایل به خوردگی داشت. بر اساس اندیس لانتزیه نیز در ۶/۶ درصد موارد، آب متعادل و در ۹۳/۴ درصد دیگر متمایل به خوردگی داشت. نتایج به‌دست آمده از این مطالعه بر اساس دو اندیس رایزنر و لانتزیه با نتایج این تحقیق همخوانی دارد [۱۶]. در تحقیقی مشابه در سال ۲۰۰۶ که توسط الشماليه و همکاران با عنوان ارزیابی کیفیت آب شرب و پتانسیل آن در تشکیل رسوب و خوردگی با استفاده از دو اندیس لانتزیه و رایزنر

در استان تافیلدا در جنوب اردن انجام گرفت، مقادیر اندیس لانتزیه منفی و در محدوده ۰/۳۹- تا ۱/۵- بود در حالی که مقادیر اندیس رایزنر در حدود ۸/۷ تا ۹/۸ بود که نشان دهنده وضعیت خورنده بودن آب بود. در تشریح علل این شرایط، محققان مذکور گرمایش و تبخیر آب همراه با آزاد شدن  $CO_2$  را بیان نموده‌اند [۲۶].

شکل ۲ و ۳ به ترتیب پهنه‌بندی شبکه توزیع آب آشامیدنی شهر اصفهان از نظر اندیس‌های خوردگی در فصل‌های تابستان و پاییز را نشان می‌دهند. بررسی مقادیر اندیس‌های خوردگی در آب آشامیدنی شهر اصفهان با استفاده از نرم‌افزار GIS نشان می‌دهد که آب آشامیدنی از نظر کیفیت شیمیایی متعادل نیست و دارای تمایل به خوردگی است. میانگین اندیس لانتزیه (LI) در شبکه توزیع آب آشامیدنی شهر اصفهان در فصل تابستان ۰/۵۲- و در فصل پاییز ۰/۶۹- بود (جدول ۳). با مقایسه مقدار این اندیس با جدول ۳ مشخص گردید که آب آشامیدنی دارای شرایط تعادل نبوده و خورنده است. شکل‌های ۲-الف و ۳-الف، به ترتیب پهنه‌بندی شبکه توزیع از نظر میزان اندیس لانتزیه در فصل‌های تابستان و پاییز را نشان می‌دهد. با توجه به شکل، بیشترین میزان خوردگی در فصل تابستان در قسمت شمال غرب و در فصل پاییز در قسمت شمال شرق مشاهده شده است. میانگین اندیس رایزنر (RI) در شبکه توزیع آب آشامیدنی شهر اصفهان در فصل تابستان ۸/۸۳ و در فصل پاییز ۹/۲۷ است (جدول ۳). با مقایسه مقدار این اندیس با جدول ۳ مشخص گردید که آب آشامیدنی دارای شرایط تعادل نبوده و خاصیت خورندگی شدید دارد. شکل‌های ۲-ب و ۳-ب پهنه‌بندی شبکه توزیع آب را از نظر اندیس رایزنر در فصل تابستان و پاییز نشان می‌دهد. بر اساس شکل ۲-ب بیشترین میزان این اندیس در قسمت جنوب و کمترین آن در قسمت شمال مشاهده شده است. بر این اساس در ناحیه جنوب، خوردگی بسیار شدید است. در حالی که بر اساس شکل ۳-ب، بیشترین میزان متوسط این اندیس در قسمت شمال شرق بوده و این منطقه را خورنده‌تر نشان می‌دهد. میانگین اندیس پوکوریوس (PI) در شبکه توزیع آب آشامیدنی شهر اصفهان در فصل تابستان ۱۰/۳۷ و در فصل پاییز ۱۰/۹۴ بود (جدول ۳). مقایسه این اندیس با جدول ۳ نشان می‌دهد که آب دارای خاصیت خورندگی است. شکل‌های ۲-ج و ۳-ج به ترتیب پهنه‌بندی شبکه توزیع را از نظر میزان اندیس پوکوریوس در فصل تابستان و پاییز نشان می‌دهند.

بیشترین میزان این اندیس در سمت راست یعنی در ناحیه شرقی مشاهده شده است که میزان خوردگی در این ناحیه نسبت به بقیه نواحی بالاتر است. میانگین اندیس خوردگی (AI) در شبکه توزیع آب آشامیدنی شهر اصفهان در فصل تابستان ۱۰/۸۴ و در فصل پاییز ۱۰/۸۸ بود (جدول ۳). با مقایسه این اندیس با جدول



۳ نتیجه می‌شود که آب دارای خاصیت خوردگی متوسط است. با توجه به شکل‌های ۲-د و ۳-د که به ترتیب پهنه‌بندی شبکه توزیع را از نظر میزان اندیس خوردگی در فصل تابستان و پاییز نشان می‌دهند، بیشترین میزان متوسط این اندیس در فصل تابستان در سمت بالا یعنی در ناحیه شمالی شهر مشاهده شده و در این قسمت از منطقه تمایل آب به خوردگی زیادتر بوده است (شکل ۲-د). همچنین بیشترین میزان متوسط این اندیس در فصل پاییز در ناحیه غرب و مرکز مشاهده شده و در این قسمت از شبکه توزیع شهر، تمایل آب به خوردگی زیادتر بوده است (شکل ۳-د). لیکن بنا بر آنالیزهای آماری انجام شده بین نتایج این اندیس در دو فصل تفاوتی مشاهده نمی‌شود. به این معنی که در دو فصل مورد مطالعه، اندیس مذکور دارای نتایج یکسانی بوده است.

خوردگی و رسوب‌گذاری از مهم‌ترین مسائلی است که باید در پایش سیستم‌های توزیع آب با دقت بیشتری مورد توجه قرار گیرد، زیرا عدم توجه به کیفیت شیمیایی آب از نظر تعادل شیمیایی (خوردگی و رسوب‌گذاری) و پیدایش هر کدام از پدیده‌های بالا، باعث آسیب‌های بهداشتی و اقتصادی فراوانی خواهد شد. بررسی‌ها نشان می‌دهد که در کشور، مقادیر قابل توجهی از آب در اثر نشسته از شبکه‌های توزیع آب هدر می‌رود. میزان هدر رفت آب در برخی کشورها نظیر ایران بیش از ۲۰ درصد است [۱۵]. از آنجایی که یکی از عوامل مؤثر در هدر رفت آب، نشسته‌های ایجاد شده در اثر خوردگی سیستم‌های توزیع آب است، پایش کیفیت شیمیایی آب و کنترل تعادل آن می‌تواند منجر به افزایش عمر مفید تأسیسات آبرسانی شده و احتمال نشسته و هدر رفت آب را کاهش دهد. این الزامات در کشورهای 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 مصرف‌کنندگان باعث تحمیل هزینه‌های زیاد پمپاژ برای سیستم‌های توزیع خواهد شد. این شرایط همچنین باعث افت راندمان سیستم‌های گرمایشی و تامین‌کننده‌های آب گرم می‌شود [۱۰].

خوردگی شبکه‌های توزیع آب در اثر عوامل الکتروشیمیایی، فیزیکی، شیمیایی، بیولوژیکی و متالورژیکی صورت می‌گیرد و عواملی همچون قلیائیت، سختی، وجود گازهای محلول، دما و pH از عوامل عمده مؤثر در کنترل آن محسوب می‌شوند. عوامل متغیر فراوانی از جمله ویژگی‌ها و نوع فلز به‌کار رفته در ساختار لوله، مقدار سطح در تماس با آب، اکسیژن، یون سولفات، افزایش دی‌اکسید کربن آزاد، وجود باقیمانده گندزداها، دما و وجود میکروارگانیسم‌ها، میزان گسترش خوردگی در یک سیستم تأمین آب را کنترل می‌کنند [۱۶].

به عبارت دیگر، خوردگی آب پدیده‌ای است که در اثر تماس مواد با محیط اطراف به‌وجود 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 مؤثر 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 فرایند در مواد فلزی نظیر لوله‌های فولادی مورد استفاده در خطوط انتقال و توزیع آب رخ می‌دهد [۱۵].

خوردگی تحت تأثیر عواملی مثل pH، دی‌اکسیدکربن، سختی و قلیائیت، درجه حرارت، سرعت آب، جامدات محلول، اکسیژن محلول و کلر باقیمانده، خستگی، تنش و برخورد (کاویتاسیون، فرسایش و سایش به‌وسیله 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 کلرید منیزیم است. عدم کنترل رسوبات بالا، هزینه‌های زیادی را بر تأسیسات آبرسانی تحمیل می‌نماید [۸]. همان‌طور که گفته شد، pH بر روی خوردنده بودن آب مؤثر است و آب‌های دارای pH پایین، خاصیت خوردگی دارند [۱]. هر چند که عوامل فیزیکی و شیمیایی دیگری نیز بر میزان تمایل آب به خوردگی اثر دارند ولی در این مطالعه با استفاده از اندیس‌های خوردگی، بیشتر اثر تغییر دما به‌واسطه تغییر فصل بر روی خوردگی آب بررسی گردید. به علاوه در این مطالعه، وضعیت خوردگی در نقطه مصرف بررسی شد و منابع تأمین آب و مراحل تصفیه در این مطالعه بررسی نشد.

## ۵- نتیجه‌گیری

بر اساس یافته‌های این مطالعه و نتایج مربوط به اندیس‌های خوردگی لانه‌لیه، رایزنر، پوکوریوس و خوردگی و تحلیل توسط نرم افزار GIS، آب آشامیدنی شبکه توزیع شهر اصفهان در دو مرحله نمونه‌برداری تابستان و پاییز خوردنده بود، که این خوردگی می‌تواند زمینه‌ای برای تخریب تدریجی خطوط انتقال و توزیع یا وارد شدن بسیاری از آلودگی‌ها به درون آب باشد و به این ترتیب زمینه‌ای برای ایجاد عوارض بهداشتی فراهم سازد. بنابراین اندیشیدن تدابیری در زمینه کنترل خوردگی در آب آشامیدنی شهر اصفهان ضروری است.

1. Volk, C., Dundore, E., Schiermann, J., and LeChevallier, M. (2000). "Practical evaluation of iron corrosion control in a drinking water distribution system." *Water Research*, 34(6), 1967-1974.
2. Pourzamani, H. R., Ghazaie, M., and Samani, A. M. (2005). "Survey the quality of drinking water source in Isfahan Oshatorejan industrial park based on corrosion properties." *Proc., Environmental Health*, Tehran University of Medical Sciences, Tehran. (In Persian)
3. Pirialam, R., Shams Khoramabadi, G. H., Shahmansouri, M. R., and Farzadkia, M. (2008). "Determination of corrosion and sedimentation potential in drinking water distribution system of Khorramabad city by corrosion indices and weight loss method." *J. Yafte*, 10 (3), 79-86. (In Persian)
4. Hossainian, S., and Mirsadeghi, J. (1998). "Corrosion and its control in water pipes." *J. Water and Environment*, 28.
5. Puyate, Y., and Rim-Rukeh, A. (2008). "Comparative study of microbial and non-microbial corrosion of X60 steel exposed to produced water." *J. Applied Sciences Research*, 4(7), 833-838.
6. Shahmansouri, M.R., Pourmoghaddas, H., and Shams, G. (2003). "Leakage of trace metals by internal corrosion into drinking water distribution system." *Proc., Diffuse Pollution Conference: Water Resource Management*, Dublin.
7. Torkian, A. (Translator). (1993). *Environmental engineering*, Kankash Publisher, Isfahan. (In Persian)
8. Geldreich E. E., and LeChevallier, M. (1999). *Microbiological quality control in distribution systems*, McGraw-Hill, New York.
9. Schock, M. R. (1990). *Internal corrosion and deposition control*, McGraw-Hill, INC, USA.
10. Ghanizadeh, G. H., and Ghaneian, M. (2009). "Corrosion and precipitation potential of drinking-water distribution systems in military centers." *J. MilMed.*, 11(3), 155-160.
11. Agatemor, C., and Okolo, P. O. (2008). "Studies of corrosion tendency of drinking water in the distribution system at the University of Benin." *J. Environmentalist*, 28(4), 379-384.
12. Loewenthal, R., Morrison, I., and Wentzel, M. (2004). "Control of corrosion and aggression in drinking water systems." *J. the International Association on Water Pollution Research*, 49(2), 9.
13. Kim, E. J., and Herrera, J. E. (2010). "Characteristics of lead corrosion scales formed during drinking water distribution and their potential influence on the release of lead and other contaminants." *J. Environmental Science and Technology*, 44 (16), 6054-6061.
14. Shahmansouri, M. R., Pourmoghadas, H., and Shams, G. H. (2001). "Determining of corrosion potential in drinking water distribution networks of Isfahan's Mobarakeh and Zarrin Shahr." *Proc., 4<sup>th</sup> National Environmental Health*, Yazd University of Medical Sciences, Yazd. (In Persian)
15. Mokhtari, S.A., Aalighadri, M., Hazrati, S., Sadeghi, H., Gharari, N., and Ghorbani, L. (2010). "Evaluation of corrosion and precipitation potential in Ardebil drinking water distribution system by using langelier and Ryznar indexes." *J. Ardabil Health*, 1(1), 14-23.
16. Mahvi, A. H., Dindarlou, K., Jamali, H. A., and Alipour, V. (2011). "Corrosion and scaling in Bandar Abbas pipe water network." *J. Hormozgan University*, 14(4), 335-340. (In Persian)
17. Savari, J., Jafarzade, N., Hasani, A. H., and Shams Khoramabadi, G. H. (2008). "Comparison of corrosion indexes in ahvaz drinking water distribution network." *Proc., Second Congress Environmental Engineering*, Tehran University, Tehran. (In Persian)
18. Davil, M. F., Mahvi, A. H., Norouzi, M., Mazloomi, S., Amarluie, A., and Tardast, A. (2009). "Survey of corrosion and scaling potential produced water from Ilam water treatment plant." *J. World Applied Sciences*, 7(AM), 1-6.
19. Lasserre, F., Razack, M., and Banton, O. (1999). "A GIS-linked model for the assessment of nitrate contamination in groundwater." *J. Hydrology*, 224(3), 81-90.
20. Stellman, J. M., Stellman, S. D., Weber, T., Tomasallo, C., Stellman, A. B., and Christian, Jr. R. (2003). "A geographic information system for characterizing exposure to Agent Orange and other herbicides in Vietnam." *J. Environmental Health Perspectives*, 111(3), 321-328.
21. Eaton, A. D., and Franson, M. A. H. (2005). *Standard methods for the examination of water and wastewater*, Amer. Public Health Assn.
22. Nabizadeh, R. (2006). "Water balance analyzer." *J. Environmental Modelling and Amp, Software*, 21 (1), 127-128.
23. World Health Organization (WHO). *Desalination for safe water supply: Guidance for the health and environmental aspects applicable to desalination*. Public Health and the Environment, Geneva. WHO/SDE/WSH/07/0.
24. EPA. (2011). *Edition of the drinking water standards and health advisories*, EPA 820-R-11-002. Office of Water, Washington, DC.
25. Chung, W., Yu, M., and Lee, H. (2004). "Prediction of corrosion rates of water distribution pipelines according to aggressive corrosive water in Korea." *J. Water Science and Technology*, 49(2), 19.
26. Al-Rawajfeh, A. E., and Al-Shamaileh, E. M. (2007). "Assessment of tap water resources quality and its potential of scale formation and corrosivity in Tafila Province, South Jordan." *J. Desalination*, 206(1), 322-332.