



# بررسی پتانسیل خوردگی و رسوب‌گذاری در شبکه توزیع آب آشامیدنی شهر اهر

علی انوری

گروه مهندسی شیمی، دانشکده فنی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهر، اهر، ایران

بهرام لطافت \*

گروه شیمی کاربردی، دانشکده علوم، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران مرکزی، تهران، ایران

(دریافت مقاله خرداد ۱۳۹۴ و تایید تیر ۱۳۹۴)

## چکیده

در طی این مطالعه ۲۰ نمونه از قسمت‌های مختلف شبکه آب شرب اهر برداشت شد و تحت آنالیز پارامترهای  $TDS^1$ ، سختی کلسیم، قلیائیت، درجه حرارت و pH قرار گرفت. با استفاده از پارامترهای مذکور اندیس‌های لانتزلیه، رایزنر، پوکوریوس و تهاجمی محاسبه شدند و داده‌های به دست آمده مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند. نتایج حاصله از این مطالعه نشان می‌دهد که میانگین عددی و انحراف معیار اندیس‌های لانتزلیه، رایزنر، پوکوریوس و تهاجمی در ۲۰ نمونه مورد بررسی در فصل تابستان به ترتیب  $0/303$  - و  $0/109$ ،  $8/197$  و  $0/180$ ،  $7/928$  و  $0/197$ ،  $11/870$  و  $0/066$  می‌باشد. با توجه به مقدار عددی اندیس لانتزلیه و محدوده مجاز آن ( $\pm 0/5$ ) می‌توان نتیجه گرفت که آب تمایل به خوردگی دارد. در مورد اندیس رایزنر اگر مقدار آن بیش از ۷ باشد آب تمایل به خوردگی دارد. در این مطالعه مقدار آن  $8/197$  می‌باشد. همچنین در صورتی که مقدار عددی اندیس پوکوریوس بیش از ۶ باشد آب تمایل به خوردگی است که در این مطالعه مقدار آن برابر  $7/928$  می‌باشد. در نهایت اندیس تهاجمی که اگر مقدار آن مابین ۱۰ و ۱۲ باشد نشان دهنده خوردگی بوده آب می‌باشد که در این مطالعه مقدار متوسط آن برابر  $11/769$  می‌باشد.

**کلید واژه:** اندیس لانتزلیه، اندیس‌های خوردگی، پتانسیل رسوب‌گذاری، خوردگی

<sup>1</sup>Total Dissolved Solids

\*Email: Bahram\_letafat2000@yahoo.com

## مقدمه

اصلی‌ترین آلاینده‌هایی که می‌توانند از مواد به کار رفته در سیستم توزیع وارد آب شوند عبارتند از آلومینیوم، آنتیموان، آرسنیک، بیسموت، کادمیوم، مس، آهن، سرب، نیکل، ترکیبات آلی سرب، ترکیبات آلی قلع، سلنیوم، قلع، وینیل کلراید و روی. ارزیابی این آلاینده‌ها برای پی بردن به اینکه غلظت آن‌ها از میزان حد مجاز برای انسان تجاوز نکند ضروری است [۱]، [۲].

در مطالعه‌ی حاضر به منظور محاسبه دقیق اندیس‌های لائزلیه، رایزنر، پوکوریوس و تهاجمی داده‌ها و اطلاعات مربوطه به صورت مستقیم و با نمونه‌برداری از کل شبکه به دست آمد [۳]، [۴]، [۵]. به منظور تعیین پتانسیل رسوب-گذاری و خوردگی در ابتدا لازم است که  $pH_s$  را محاسبه کنیم که به صورت زیر می‌باشد [۵].

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

A = مربوط به کل جامدات محلول در آب (mg/l)

B = مربوط به درجه حرارت آب ( $^{\circ}C$ )

C = مربوط به سختی کلسیم (mg/l  $CaCO_3$ )

D = مربوط به قلیائیت (mg/l  $CaCO_3$ )

براساس هدف کلی فوق اهداف زیر از انجام این تحقیق مورد انتظار است:

- ۱- اندازه‌گیری پارامترهایی نظیر pH، دما، TDS، سختی کلسیم و قلیائیت در آب لوله کشی.
- ۲- محاسبه‌ی  $pH_s$  از روی نتایج به دست آمده در مرحله قبل.
- ۳- محاسبه‌ی اندیس‌های لائزلیه، رایزنر، پوکوریوس و تهاجمی از روی pH واقعی و  $pH_s$ .
- ۴- تهیه نقشه‌های مربوط به شاخص‌های لائزلیه، رایزنر، پوکوریوس و تهاجمی و بررسی وضعیت در بخش‌های مختلف شبکه آب شرب شهرستان اهر در محیط GIS<sup>۲</sup>.

## اهداف کاربردی طرح

تهیه‌ی داده‌ها و اطلاعات دقیق در خصوص احتمال رسوب-گذار یا خوردنده بودن آب، و ارائه به مسئولان شرکت آب و فاضلاب استان آذربایجان شرقی و اتخاذ تصمیم مبتنی بر استنادات علمی در این خصوص.

## فرضیات طرح

- کیفیت آب در برخی نقاط شبکه آب‌رسانی شهر اهر پتانسیل ایجاد خوردگی در لوله‌ها را دارد.
- کیفیت آب در برخی نقاط شبکه آب‌رسانی شهر اهر پتانسیل ایجاد رسوب‌گذاری در لوله‌ها را دارد.
- pH آب در پتانسیل رسوب‌گذاری و خوردگی آب تاثیر دارد.
- TDS آب در پتانسیل رسوب‌گذاری و خوردگی آب تاثیر دارد.
- دما در پتانسیل رسوب‌گذاری و خوردگی تاثیر دارد.

## مواد و روش‌ها

این تحقیق از نوع توصیفی مقطعی بود که با هدف تعیین پتانسیل خوردگی و رسوب‌گذاری آب آشامیدنی شبکه توزیع شهر اهر در تابستان سال ۱۳۹۴ با استفاده از اندیس‌های لائزلیه، رایزنر، پوکوریوس و تهاجمی<sup>۳</sup> استفاده شد. نحوه نمونه‌گیری به شکلی بود که نمونه‌های برداشته شده پراکنش کافی و مناسبی در کل شهر داشته باشند. این مطالعه در یک مرحله انجام شد که طی آن ۲۰ نمونه از نقاط مختلف شهر اهر برداشته شد. بعد از نمونه‌برداری سریعاً نمونه‌ها به آزمایشگاه منتقل شده و مورد آنالیز قرار گرفتند.

<sup>۱</sup> حالت شیمیایی با pH رسوب‌گذاری

<sup>۲</sup> GIS = شاخص نرم افزار

<sup>۳</sup> Invasive (aggressiveness)

<sup>۴</sup> حالت شیمیایی با pH تعادلی

اندازه گیری گردیدند. جدول ۱ نشان دهنده نتایج آنالیزها می باشد. طول و عرض جغرافیایی نقاط نمونه برداری نیز در همین جدول ارائه گردیده است.

مقدار عددی  $pH_s$  و  $pH_{eq}$  مربوط به هر نمونه محاسبه شدند و با استفاده از اندیس های خوردگی و  $pH$  واقعی آب کیفیت آن نمونه از لحاظ خوردگی و رسوب گذاری مشخص شد و در نهایت میانگین و انحراف معیار همگی نمونه ها محاسبه گردید [۶]، [۷].

در فرآیند نمونه برداری با استفاده از دستگاه GPS موقعیت محل های نمونه برداری ثبت گردید که در بخش نتایج، پراکنندگی محل های نمونه برداری نشان داده شده است. دمای نمونه ها بعد از برداشتن در محل، اندازه گیری و سریعاً به آزمایشگاه منتقل و  $pH$  و هدایت الکتریکی نمونه ها در آزمایشگاه اندازه گیری شد. سایر متغیرها هم طبق دستورالعمل استاندارد متد (۲) در آزمایشگاه اندازه گیری و از روی داده های به دست آمده در این آزمایشات مقدار عددی اندیس های خوردگی محاسبه شده و در نهایت میانگین و انحراف معیار این اندیس ها دست آمد. با توجه به این که یکی از اهداف مطالعه حاضر بررسی روند تغییرات مکانی خوردگی در بخش های مختلف شبکه آب شرب اهر می باشد، با استفاده نرم افزار Arc GIS نسخه ۱۰، و با استفاده از روش IDW، توزیع مکانی هر چهار شاخص محاسبه شده و به صورت شماتیک به نمایش گذاشته شد.

در این مطالعه همان طور که گفته شد در یک فصل از ۲۰ نقطه از شهر نمونه برداری صورت گرفت. تعداد این ۲۰ نمونه براساس استاندارد آزمایشگاه مرجع کنترل کیفیت آزمایش گردید. توزیع مکانی نمونه ها به گونه ای بود که کل شهر اهر را پوشش می داد. بعد از به دست آوردن اطلاعات لازم در خصوص متغیرها مقادیر اندیس های لائزلیه، رایزنر، پوکوریوس و تهاجمی برای هر یک از ۲۰ نمونه ی برداشت شده محاسبه شدند و سپس نتیجه ی نهایی براساس محاسبه میانگین و انحراف معیار این اندیس ها به دست آمد.

### یافته ها

همان طور که اشاره گردید دمای نمونه ها بلافاصله بعد از نمونه برداری در محل اندازه گیری گردید و سایر پارامترهای مورد نظر نیز بعد از انتقال نمونه ها به آزمایشگاه بلافاصله

جدول ۱: پارامترهای اندازه گیری شده آب آشامیدنی شهر اهر در تابستان ۹۴

نمونه	آدرس	طول و عرض جغرافیایی	دما	pH	EC ( $\mu\text{s}/\text{cm}$ )	TDS (mg/l)	سختی کلسیم (mg/l) as CaCO <sub>3</sub>	قلیائیت (mg/l) as CaCO <sub>3</sub>
۱	معماران	۳۸/۴۶۶۵N ۴۷/۰۵۹۱ E	۹	۷/۷	۶۸۰	۴۲۱/۶	۹۶	۱۶۲
۲	ولیعصر	۳۸/۴۷۹۵ N ۴۷/۰۵۰۳ E	۱۳	۷/۶۴	۷/۷	۴۴۴/۵	۱۰۲	۱۸۸
۳	عارف-ایثار	۳۸/۴۷۳۸ N ۴۷/۰۵۴۲ E	۱۰	۷/۵۶	۷۴۳	۴۶۰/۶	۹۹	۱۹۰
۴	شهریار	۳۸/۴۸۲۶ N ۴۷/۰۵۵۷ E	۱۶	۷/۶۴	۷۲۲	۴۴۷/۶	۱۰۰	۱۸۰
۵	صفا - رضوان	۳۸/۴۹۳۸ N ۴۷/۰۵۶۸ E	۱۴	۷/۴۸	۶۵۰	۴۰۳	۹۶	۱۸۸
۶	خیابان شمس تبریزی	۳۸/۴۸۲۵ N ۴۷/۰۸۵۳E	۱۵	۷/۵۸	۶۷۴	۴۱۷/۸	۱۰۷	۲۰۴
۷	جاده اهر کلیبر جنب مسجد آل عبا	۳۸/۴۹۰۳ N ۴۷/۰۸۳۳ E	۱۴	۷/۵۱	۶۵۹	۴۰۸/۵	۱۱۲	۲۱۱
۸	انصار	۳۸/۴۸۷۲ N ۴۷/۰۷۴۱ E	۹	۷/۶۸	۷۳۵	۴۵۵/۷	۸۸	۱۹۸
۹	رسالت پشت دادگستری	۳۸/۴۶۶۸ N ۴۷/۰۸۱۹ E	۱۲	۷/۶۳	۶۹۵	۴۳۰/۹	۱۱۴	۱۹۶
۱۰	شیخ شهاب جنب پارک	۳۸/۴۸۱۱N ۴۷/۰۶۵۹ E	۱۳	۷/۷۸	۶۷۴	۴۱۷/۸	۹۲	۱۶۰
۱۱	فاز دوم شهرک شیخ شهاب	۳۸/۴۹۸۶ N ۴۷/۰۶۸۳ E	۹	۷/۵۸	۶۶۷	۴۱۳/۵	۹۷	۱۹۱
۱۲	صفا - صفا ۳	۳۸/۴۸۵۶ N ۴۷/۰۵۹۹ E	۹	۷/۶	۶۵۰	۴۰۳	۹۹	۱۸۳
۱۳	رسالت کوچه عزتی ۱۴	۳۸/۴۶۶۹ N ۴۷/۰۷۵۸ E	۱۱	۷/۴۲	۶۷۲	۴۱۶/۶	۲۰۳	۱۹۶
۱۴	خیابان صاحب الزمان	۳۸/۴۷۷۷ N ۴۷/۰۶۰۸E	۹	۷/۶	۶۵۲	۴۰۴/۲	۱۰۰	۲۰۱
۱۵	خیابان ایمان - لاله ۷	۳۸/۴۷۷۷ N ۴۷/۰۷۸۴E	۱۰	۷/۷۲	۶۵۲	۴۰۴/۲	۸۴	۱۹۶
۱۶	بعد از میدان دادگستری خ گلستان	۳۸/۴۷۷۱N ۳۸/۰۷۸۴ E	۱۲	۷/۶	۷۰۶	۴۳۷/۹	۹۶	۱۹۶

محاسبه شاخص های خوردگی: جدول ۲ نشان دهنده ی مقادیر عددی شاخص های خوردگی محاسبه شده و وضعیت آب از نظر خوردگی می باشد.

جدول ۲: ماکزیمم، مینیمم، میانگین و انحراف معیار پارامترهای اندازه گیری شده

پارامتر	ماکزیمم	مینیمم	متوسط	انحراف معیار
pH	۷/۷۸	۷/۴۲	۷/۶۰	۰/۰۸۸
دما	۱۶	۹	۱۱/۶	۲/۳۹
سختی کلسیم	۲۰۳	۸۴	۱۰۴/۳۵	۲۴/۴۵
قلیائیت	۲۱۱	۱۶۰	۱۸۹/۶	۱۲/۵۱

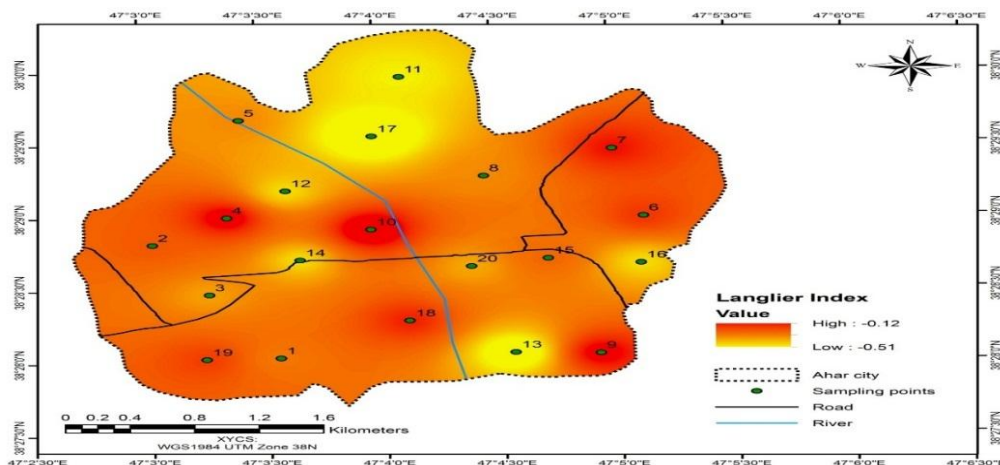
آنالیزهای آماری: جداول ۳ نشان دهنده ی مقادیر حداقل، حداکثر، میانگین و انحراف معیار شاخص های خوردگی محاسبه شده در شهر اهر می باشد.

جدول ۳: نتایج نهایی به دست آمده از معیارها

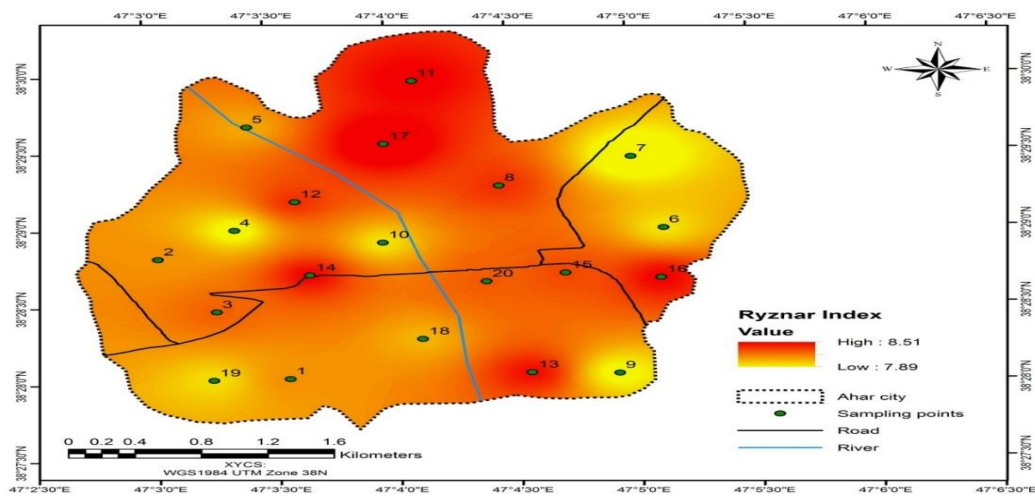
بهار و تابستان	LI	وضعیت	RI	وضعیت	PI	وضعیت	AI	وضعیت
میانگین	۰/۳۰۳ -	خورنده	۸/۱۹۷	خورنده	۷/۹۲۸	خورنده	۰/۸۷۰ ۱۱	خورنده
انحراف معیار	۰/۱۰۹	-	۰/۱۸۰	-	۰/۱۹۷	-	۰/۰۶۶۸ ۰	-

در ادامه نقشه های مربوط به توزیع مکانی شاخص های خوردگی ارائه شده است که وضعیت موجود در شبکه را به شکل گویا نمایش می دهد.

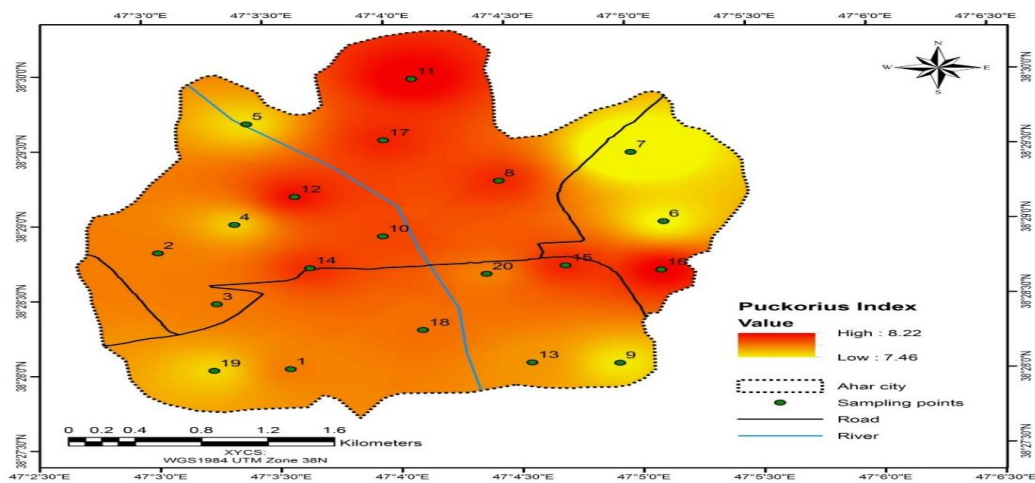
پراکندگی های جغرافیایی: پراکندگی های جغرافیایی شاخص های لائزلیه، ریزنز، پوکوریوس و تهاجمی در سطح شهر اهر به ترتیب در نقشه ها نشان داده شده است.



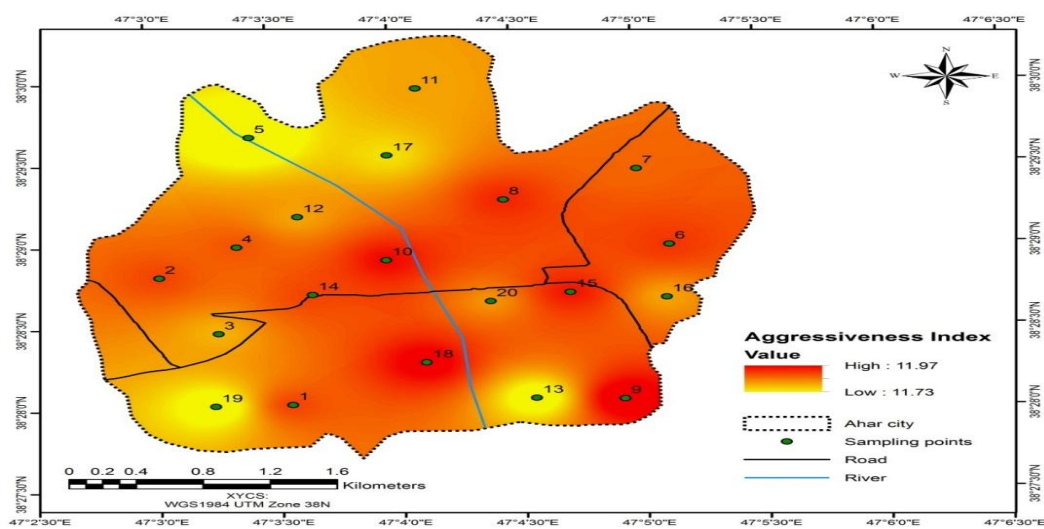
نقشه ۱: پراکندگی جغرافیایی شاخص لائزلیه در شهر اهر



نقشه ۲: پراکنندگی جغرافیایی شاخص رایزنر در شهر اهر



نقشه ۳: پراکنندگی جغرافیایی شاخص پوکوریوس در شهر اهر



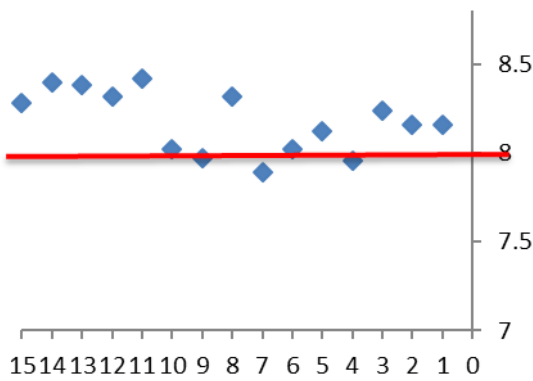
نقشه ۴: پراکنندگی جغرافیایی شاخص تهاجمی در شهر اهر

## بحث و نتیجه گیری

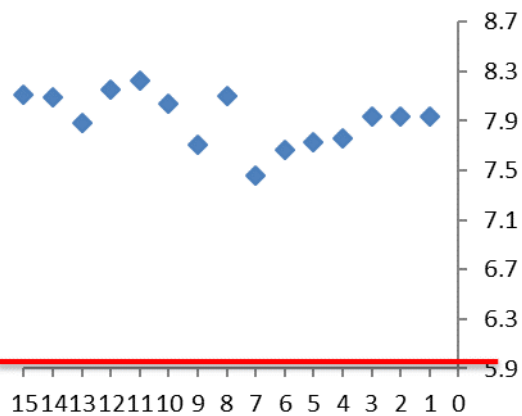
در این مطالعه با توجه به نتایج به دست آمده که در فصل تابستان به طور کامل ارایه شد، آب شرب شهر اهر متمایل به خوردگی است. نتایج حاصله از این مطالعه نشان می دهد که میانگین عددی و انحراف معیار اندیس های لانژلیه، رایزنر، پوکوریوس و تهاجمی در ۲۰ نمونه مورد بررسی در فصل تابستان به ترتیب عبارت است از: ۰/۳۰۳- و ۰/۱۰۹، ۸/۱۹۷ و ۰/۱۸۰، ۷/۹۲۸ و ۰/۱۹۷، ۱۱/۸۷۰ و ۰/۰۶۶ که همه ی این مقادیر عددی حاکی از این است که آب خوردنه است. با توجه به توزیع جغرافیایی مقادیر شاخص خوردگی لانژلیه (نقشه ۱) میزان خوردگی در شمال شهر نسبت به سایر نقاط بیش تر است. با توجه به توزیع جغرافیایی مقادیر شاخص خوردگی رایزنر (نقشه ۲) میزان خوردگی در شمال شهر نسبت به سایر نقاط بیش تر بوده و شمال غربی شهر از سایر نقاط کم تر می باشد.

با توجه به توزیع جغرافیایی مقادیر شاخص خوردگی پوکوریوس (نقشه ۳) میزان خوردگی در شمال شهر نسبت به سایر نقاط بیش تر است. با توجه به توزیع جغرافیایی مقادیر شاخص خوردگی تهاجمی (نقشه ۴) میزان خوردگی در شمال شهر نسبت به سایر نقاط بیش تر است.

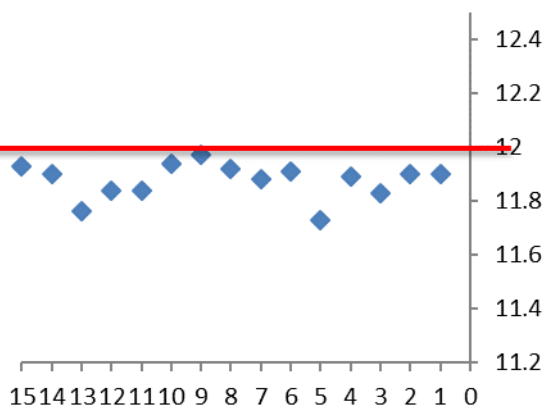
نمودارهای ۱ تا ۴ نشان دهنده ی مقادیر عددی شاخص های محاسباتی و میزان اختلاف آنها از حالت تعادلی آب می باشد که کلیه نتایج حاصل به صورت گویا در آن ارائه شده است.



نمودار ۲- نمایش مقادیر عددی شاخص رایزنر در شهر اهر

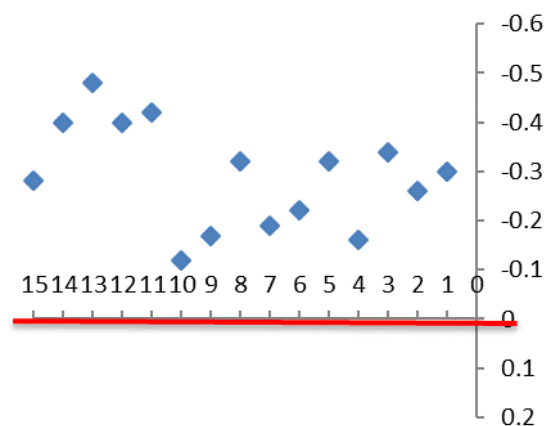


نمودار ۳- نمایش مقادیر عددی شاخص پوکوریوس در شهر اهر



نمودار ۴- نمایش مقادیر عددی شاخص تهاجمی در شهر اهر

همچنان نمودارهای فوق نشان می دهند وضعیت آب شرب شهر اهر در حالت خوردگی قرار دارد که برای حل این مشکل در ادامه راه حل هایی ارائه شده است. همچنان



نمودار ۱- نمایش مقادیر عددی شاخص لانژلیه در شهر اهر

[4] Brian Oram, P.G., Drinking Water Issues, Corrosive Water (Lead, Copper, Aluminum, Zinc and More).

[5] Alipour, V., Dindarloo, K., Mahvi, A.H., Rezaei, L., 2014, Evaluation of corrosion and scaling tendency indices in a drinking water distribution system: a case study of Bandar Abbas city., Iran. Journal of Water and Health, In press..

[6] Davil, M.F., Mahvi, A.H., Norouzi, M., Mazloomi, S., Amarluie A., Tardast A. et al, 2009, Survey of corrosion and scaling potential produced water from Ilam water treatment plant., World Applied Sciences Journal, 7, (Special Issue of Applied Math.), 1-6.

[7] Taghipour, H., Shakerkhatibi, M., Pourakbar, M., Belvasi, M., 2012, Corrosion and scaling potential in drinking water distribution system of Tabriz, Northwestern Iran., Health Promotion Perspectives, 2(1):103-11.

که همه‌ی اندیس‌های خوردگی نشان می‌دهند آب شرب شهر اهر خوردنده می‌باشد.

با عنایت به خوردنده بودن احتمال حضور عناصری چون سرب، مس و آهن در آب وجود دارد.

### منابع

[1] Guidance on Controlling Corrosion in Drinking Water Distribution System, Published by authority of the ministry of health, Canada, 2004.

[2] APHA-AWWA-WPCF., 1998, Standard Methods for Examination of Water and Wastewater, 21 ed.

[3] Ealrawajfeh., A., 2007, Assessment of tap water resources quality and its potential of scale formation and corrosivity in Tafila province, south Jordan., 206(322-332).