

## بررسی احتمال خوردگی در شبکه توزیع آب آشامیدنی شهر اهواز با کاربرد قانون سرب و مس

نعمت اله جعفرزاده حقیقی فرد<sup>۱\*</sup>

Jaafarzadeh@yahoo. Com

جاسم سواری<sup>۲</sup>

امیر حسام حسنی<sup>۳</sup>

قدرت الله شمس خرم آبادی<sup>۴</sup>

تاریخ پذیرش: ۸۶/۳/۱۳

تاریخ دریافت: ۸۵/۱۱/۱

### چکیده

از روش های غیرمستقیم بررسی احتمال خوردگی در شبکه های توزیع آب آشامیدنی، قانون سرب و مس است. در این روش میزان خوردگی اجزای مختلف تشکیل دهنده سیستم های آب رسانی، با اندازه گیری غلظت فلزات از آن جمله سرب و مس در خروجی شیرهای آب مصرفی و مقایسه با استاندارد USEPA انجام می گیرد. با استفاده از این روش از ۷۶ نقطه شامل آب خام ورودی، آب خروجی تصفیه خانه ها و از شیرهای آب سرد آشپزخانه یا حمام ساختمان ها و طبقات همکف منازل مسکونی در سطح کل شبکه توزیع آب اهواز با زمان ماند حداقل ۶ ساعت به عنوان اولین برداشت نمونه برداری به عمل آمد. این کار در شش مرحله به فاصله هرماه یک بار و طبق روش های استاندارد صورت گرفت. سپس، غلظت فلزات سرب، روی و مس توسط دستگاه جذب اتمی محاسبه گردید. مقادیر به دست آمده با استاندارد USEPA مقایسه و با استفاده از نرم افزار SPSS نسخه ۱۱/۵ و آزمون های آماری مورد تحلیل قرار گرفت. نتایج میانگین شش مرحله، غلظت فلزات در مجموع نمونه های برداشتی نشان داد که ۱۶/۶۷٪ و ۲۷/۲۷٪ مجموع نمونه ها دارای غلظتی بیش از استاندارد، USEPA (به ترتیب ۱۵  $\mu\text{g/l}$  و ۵۰۰  $\mu\text{g/l}$ ) برای فلزات سرب و روی و کمتر از استاندارد مذکور (۱۳۰۰  $\mu\text{g/l}$ ) برای مس در آب مصرفی شهر اهواز مشاهده گردید. طبق قانون سرب و مس چون در بیش از ۱۰٪ نمونه ها غلظت فلزات سرب و روی از استاندارد بیشتر شده است، لذا آب شبکه توزیع شهر اهواز خورنده است و در نتیجه امکان نشت فلزات مذکور در آب مصرفی وجود دارد. بنابراین باید نسبت به کنترل خوردگی و اصلاح فرآیندهای مختلف تصفیه متداول اقدام لازم معمول گردد. همچنین به منظور پایش مستمر کیفیت

۱- دکترای مهندسی بهداشت محیط و دانشیار دانشگاه علوم پزشکی جندی شاپور اهواز\* (مسئول مکاتبات).

۲- کارشناس ارشد مهندسی محیط زیست دانشکده محیط زیست، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات تهران.

۳- دکترای مهندسی محیط زیست و استادیار دانشکده محیط زیست، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات تهران.

۴- دکترای مهندسی بهداشت محیط و استادیار دانشگاه علوم پزشکی لرستان

خوردگی آب و دستیابی به نتایج مطلوب می توان از قانون سرب و مس با اجرای برنامه زمانی مدون و با روشی نسبتاً ساده و تنها با اندازه گیری غلظت فلزات در خروجی تصفیه خانه های آب و آخرین نقاط برداشت آب از شبکه توزیع مورد نظر استفاده نمود.

**واژه های کلیدی:** قانون سرب و مس، اندازه گیری خوردگی، شبکه توزیع آب آشامیدنی، اهواز

## مقدمه

ارتباط آن با هدر رفتن منابع و حجم بالای آب شهری فراهم می گردد. از این رو انجام این مطالعه ضرورت دارد(۵). براساس نتایج تحقیقات گسترده سازمان محیط زیست آمریکا و انجمن کارهای آبی آمریکا<sup>۳</sup> در طی سال های گذشته بخش بزرگی از سرب و مس موجود در آب های آشامیدنی شهرها مربوط به موادی است که در لوله کشی منازل به کار می رود و همچنین موادی که به طور مستقیم توسط سیستم های آب رسانی عمومی قابل کنترل نیستند، مانند لوله های سربی، لحیم کاری سرب، قلع، اتصالات سربی، لوله های آهنی سربی، شیرهای برنجی، شیرفلکه های برنجی، لوله های مسی و ... لذا USEPA توصیه نموده است، غلظت بالای سرب ابتدا از منبع آب حذف شود و یا از طریق کنترل خوردگی سیستم های توزیع و به کارگیری فرآیندهای تصفیه به حداقل ممکن برسد، به طوری که در شیرهای برداشت خانگی غلظت کمتر از حد قابل قبول باشد (۵،۴،۳،۱). درخصوص اجرای قانون سرب و مس Richard Tally<sup>۴</sup> در سال ۲۰۰۴ گزارش داد، دپارتمان آب شهر فورت ورث<sup>۵</sup> (فیلادلفیا آمریکا) که جمعیتی بالغ بر ۵۸۹۸۵۰ نفر و ۲۶ مصرف کننده عمده و حدود ۳۵۰۰۰ خطوط لوله سرب در شهر را تحت پوشش دارد، برنامه جایگزینی خط لوله سربی<sup>۶</sup> (LHRP) شهر را به اجرا گذاشته و هر سال ۱۰٪ آن را تعویض می کند. گرچه مطابق مقررات لازم نیست که این چنین عمل کنند، اما دپارتمان همه چیز را عوض و با مصرف کنندگان همکاری می کند تا در نهایت مواجهه با سرب را حذف یا کاهش دهد. آخرین پایش در فورت ورث در سال ۲۰۰۲ صورت گرفت که غلظت سرب پایین تر از

از روش های غیرمستقیم بررسی احتمال خوردگی در شبکه های توزیع آب آشامیدنی شهری و خانگی، قانون سرب و مس<sup>۱</sup> است. در این روش میزان خوردگی اجزای مختلف تشکیل دهنده سیستم های آب رسانی، با اندازه گیری غلظت فلزات از آن جمله سرب و مس در آب مصرفی و سپس مقایسه مقادیر به دست آمده با استاندارد سازمان محیط زیست آمریکا<sup>۲</sup> (USEPA) انجام می گیرد. قانون سرب و مس تحت شماره ۲۶۴۶۰ - ۲۶۵۶۴، در ۷ ژوئن ۱۹۹۱ توسط USEPA به تصویب رسید. هدف از این قانون، حفاظت از کیفیت و بهبود فرآیندهای تولید و مصرف آب، کاهش هزینه ها و بالا بردن سطح بهداشت عمومی با به حداقل رساندن غلظت سرب و مس و کاهش خوردگی در آب آشامیدنی است. مس و سرب عمدتاً از طریق خوردگی و نشت از جدار داخلی لوله ها، اتصالات و شیرآلات حاوی این فلزات وارد آب آشامیدنی می شوند(۱ و ۲). قانون سرب و مس از سال ۱۹۹۲ در آمریکا و سپس در اروپا اجرا گردید و هم اکنون کلیه شهرهای آمریکا تحت پوشش این قانون هستند (۴-۱). بررسی های به عمل آمده نشان می دهد که علی رغم کاربرد وسیع این روش در سایر کشورها، خصوصاً در آمریکا و اروپا در کشور ما به جز یک یا دو مورد اجرا نگردیده و در نتیجه اطلاعات کمی در این زمینه برای بررسی توان خوردگی آب آشامیدنی شبکه های توزیع شهری ایران وجود دارد. نظر به این که در حال حاضر کاربرد شاخص های خوردگی از جمله اندیس های رایزنر و لانژلیه به دلیل حدود اطمینان پایین آن ها از کارایی زیاد برخوردار نمی باشد و با توجه به وجود شاخص قانون سرب و مس چنانچه بتوان از این روش استفاده نمود، به امکان تعیین درصد احتمال خوردگی و

3- American Water Work Association (AWWA)

4- Richard Tally

5- Fort Worth Department of

6- Philadelphia

7- Lead Hazard Reduction Program (LHRP)

1- Lead and copper rule

2- United States Environment Protection Agency (USEPA)

توزیع آب، تعداد کل نقاط نمونه برداری به ۷۶ نقطه و حجم کل نمونه ها در این تحقیق به ۴۵۶ نمونه افزایش پیدا کرده است. از این تعداد، ۵ نقطه در ورودی، ۵ نقطه در خروجی تصفیه خانه های آب قبل از مرحله گندزدایی و ۶۶ نقطه دیگر در سطح سه منطقه شبکه توزیع آب شهر اهواز انتخاب و تعیین شدند. دلیل انتخاب ۵ نقطه در ورودی و ۵ نقطه در خروجی وجود این تعداد تصفیه خانه و محل ورودی آب به شبکه در زمان انجام این تحقیق می باشد. از مجموع ۶۶ نقطه شبکه، ۲۵ نقطه (۳۷/۸۸٪) به منطقه یک، ۱۷ نقطه (۲۵/۷۶٪) به منطقه دو و ۲۴ نقطه (۳۶/۳۶٪) به منطقه سه اختصاص داده شد. بعد از مشخص شدن نقاط نمونه برداری، به تعداد نقاط نمونه برداری، ظروف نمونه برداری پلاستیکی به حجم (۲۵۰ میلی لیتر) تهیه و پس از شستشوی آن ها ابتدا با آب و مواد پاک کننده و بعد اسیدشویی و سپس با آب تمیز و سرانجام شستشو با آب مقطر بدون یون و خشک کردن، مقدار ۰/۵ میلی لیتر اسید نیتریک غلیظ محصول مرک آلمان با درجه خلوص ۶۵٪ جهت تنظیم pH نمونه ها در حد کمتر از ۲ به ظروف اضافه گردید (۸). در ظروف به منظور اجتناب از ریخته شدن اسید تا زمان نمونه برداری کاملاً محکم بسته شد. برچسب زدن برگه مخصوص مشخصات مورد نیاز نمونه برداری به ظروف انجام و در مرحله آخر ظروف نمونه برداری در کیسه پلاستیکی تمیز به همراه اطلاعیه دعوت به همکاری و فرم دستورالعمل آموزشی نحوه نمونه برداری مربوط گذاشته شده و همراه با ارایه آموزش های لازم و چهره به چهره در اختیار صاحبان منازل قرار داده شد. سپس کارنمونه برداری از ۷۶ نقطه مذکور در ۶ مرحله و به فاصله هر ماه یک بار، در منبع ورودی و خروجی آب تصفیه خانه ها و از شیرهای آب سرد آشپزخانه یا حمام ساختمان ها و طبقات همکف منازل مسکونی و با زمان ماند حداقل ۶ ساعت به صورت اولین برداشت انجام گردید. پس از جمع آوری از سطح شهر نمونه ها به آزمایشگاه تجزیه دستگاهی دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی اهواز منتقل و جهت آماده سازی و آنالیز در یخچال نگه داری شدند. در آزمایشگاه با استفاده از دستگاه

سطح استاندارد USEPA ( $15 \mu\text{g/l}$ )، برای فلز مذکور بود. پایش یک برنامه داوطلبانه است به این علت به شرکت کنندگان خدمات مجانی آزمایشی و هدایای تکمیلی داده می شود (۶). نتایج مطالعات دیگری در مورد با اجرای قانون سرب و مس و پایش خوردگی در دانشگاه داوینس<sup>۱</sup> در سپتامبر سال ۱۹۹۸ نشان داد که ۹۰٪ متوسط غلظت نمونه های سرب ( $5 \mu\text{g/l}$ ) و ۹۰٪ نمونه های مس ( $124/5 \mu\text{g/l}$ ) کمتر از سطح غلظت عملیاتی<sup>۲</sup> (AL) و استاندارد توصیه شده USEPA (به ترتیب  $15 \mu\text{g/l}$  و  $1300 \mu\text{g/l}$ ) برای هر کدام از فلزات مذکور بوده است (۷). با توجه به این که مطالعات جامع در مورد خوردگی آب آشامیدنی شبکه های توزیع شهری ایران و از آن جمله شهر اهواز به ویژه با روش قانون سرب و مس انجام نگرفته است، لذا نتایج حاصل از این تحقیق می تواند در معرفی یک روش مناسب برای شناخت و کنترل خوردگی بسیار مؤثر باشد. این تحقیق به منظور برآورد این نیاز تحقیقاتی صورت گرفته است.

### روش ها و مواد

این تحقیق، یک مطالعه موردی تحلیلی-مقطعی است. انجام تحقیق از طریق مشورت با افراد متخصص، مطالعات کتابخانه ای، بررسی مقالات، مجلات، کاوش های اینترنتی و مراجعه به شرکت ها و سازمان های ذیربط آغاز و سپس از طریق انجام کار عملی، مشاهدات میدانی، نمونه برداری و آنالیز آزمایش ها تکمیل گردید. نقاط و حجم نمونه برداری این تحقیق با در نظر گرفتن پارامترهایی همچون جمعیت تحت پوشش، نوع تراکم، تعداد مشترک، منطقه بندی و سیکل بندی انجام شده شرکت آب و فاضلاب، طوری تعیین گردیده که کل محدوده شبکه توزیع آب اهواز، تحت پوشش قرارداد شده است. جدول ۱ تعداد و معیارهای تعیین این نقاط را با توجه به موارد فوق نشان می دهد، ضمن این که تعداد نقاط با جداولی که براساس قانون سرب و مس ارایه شده است، نیز مطابقت می نماید. با احتساب منابع آب ورودی و خروجی به شبکه

1- University of Davis  
2- Action Level

سرب و مس چنانچه در ۹۰٪ مجموع نمونه های برداشته شده غلظت این فلزات به خصوص غلظت سرب کمتر از ۱۵ میکروگرم و غلظت مس کمتر از ۱۳۰۰ میکروگرم در لیتر باشد، نشان دهنده خورنده نبودن آب آشامیدنی شبکه توزیع مورد مطالعه است و عملیات کنترل خوردگی و تصفیه اضافی ضرورت ندارد. بر عکس چنانچه در ۱۰٪ نمونه ها غلظت این فلزات از مقادیر شاخص ذکر شده بیشتر باشد، آب خورنده بوده و باید بلافاصله نسبت به ایجاد فرآیندها، امکانات پیشرفته تر، عملیات تصفیه اضافی و اقدامات کنترلی مبادرت نمود (۹-۱۲).

جذب اتمی مدل Analytic jean AA6 various 6 ساخت کشور آلمان غلظت فلزات مس و روی، که در حد میلی گرم در لیتر است با استفاده از شعله و غلظت فلز سرب که در حد میکروگرم در لیتر است با استفاده از کوره گرافیتی اندازه گیری و ثبت گردید. نتایج به صورت جداول و نمودار درآمده و با استانداردهای USEPA در خصوص قانون سرب و مس و خوردگی مقایسه و با استفاده از نرم افزار SPSS ۱۱/۵ و آزمون های آماری آنالیز واریانس و t زوج پیروسون و اسپیرمن تحلیل صورت گرفته است. برای رسم نمودارها از نرم افزار Excel نسخه ۲۰۰۳ استفاده شده است. طبق شاخص قانون

جدول ۱- معیارهای مورد استفاده در تعیین تعداد نقاط نمونه برداری در شبکه توزیع آب آشامیدنی اهواز

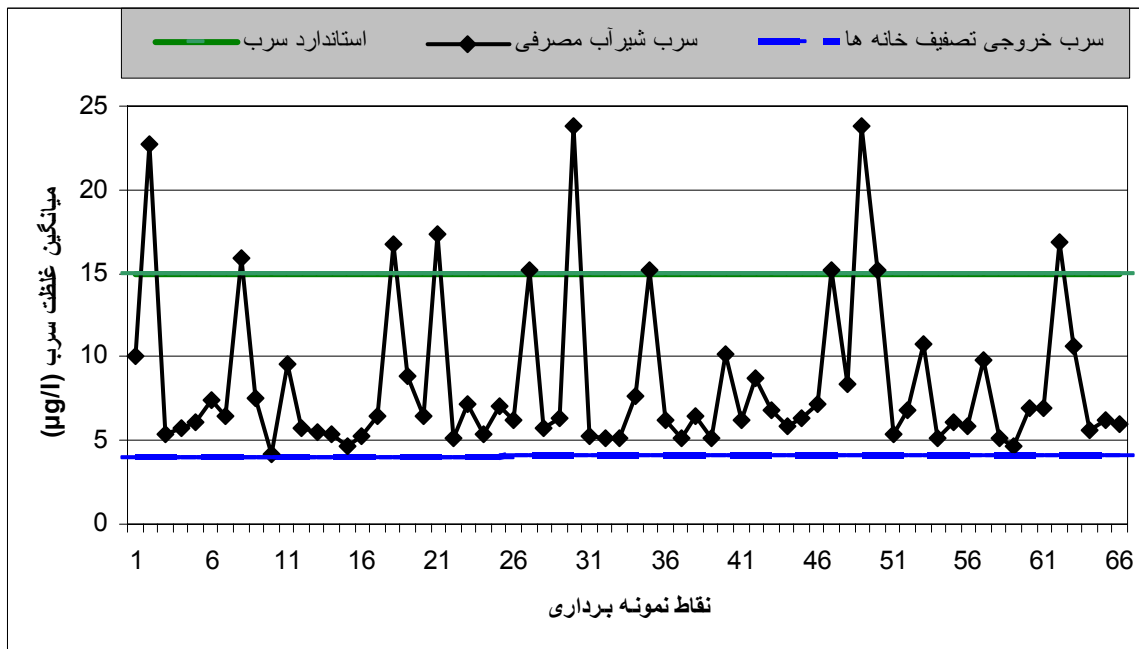
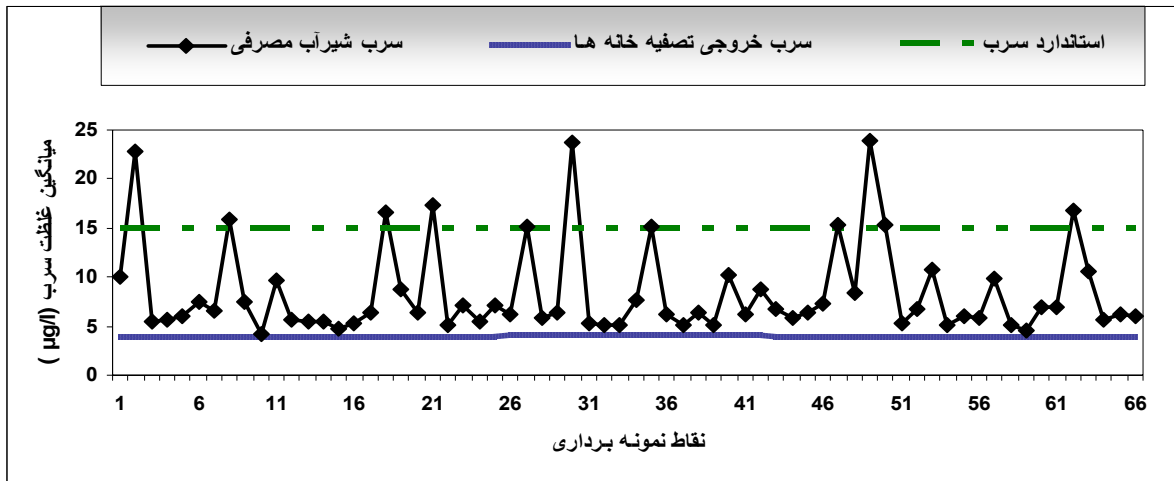
مجموع	فاقد تراکم (خارج از محدوده)	بسیار کم تراکم	کم تراکم	میان تراکم	پر تراکم	بسیار پر تراکم	نوع تراکم (تعداد مشترک)	محدود مطالعاتی
۶۹۱۴۶	۲۵۰۷	۸۰۲۸	-	۲۹۲۴۷	۱۴۶۴۷	۱۴۷۱۷	منطقه یک	۱۰ نمونه
۲۵ نمونه	۲ نمونه	۲ نمونه	-	۶ نمونه	۵ نمونه	۱۰ نمونه	منطقه دو	۳ نمونه
۵۲۹۰۹	۵۰۶۲	۱۳۴۴۱	۵۶۱۱	۲۰۸۵۷	۷۹۳۸	-	منطقه سه	۵ نمونه
۱۷ نمونه	۴ نمونه	۳ نمونه	۲ نمونه	۵ نمونه	۳ نمونه	-	کل شبکه توزیع	۱۵ نمونه
۵۹۶۳۲	۴۱۹۶	۲۰۲۱۴	۱۵۵۲۲	۱۷۹۴	۱۰۲۲۲	۷۶۸۴		
۲۴ نمونه	۴ نمونه	۴ نمونه	۶ نمونه	۱ نمونه	۴ نمونه	۵ نمونه		
۱۸۱۶۸۷	۱۱۷۶۵	۴۱۶۸۳	۲۱۱۳۳	۵۱۸۹۸	۳۲۸۰۷	۲۲۴۰۱		
۶۶ نمونه	۱۰ نمونه	۹ نمونه	۸ نمونه	۱۲ نمونه	۱۲ نمونه	۱۵ نمونه		

#### یافته ها

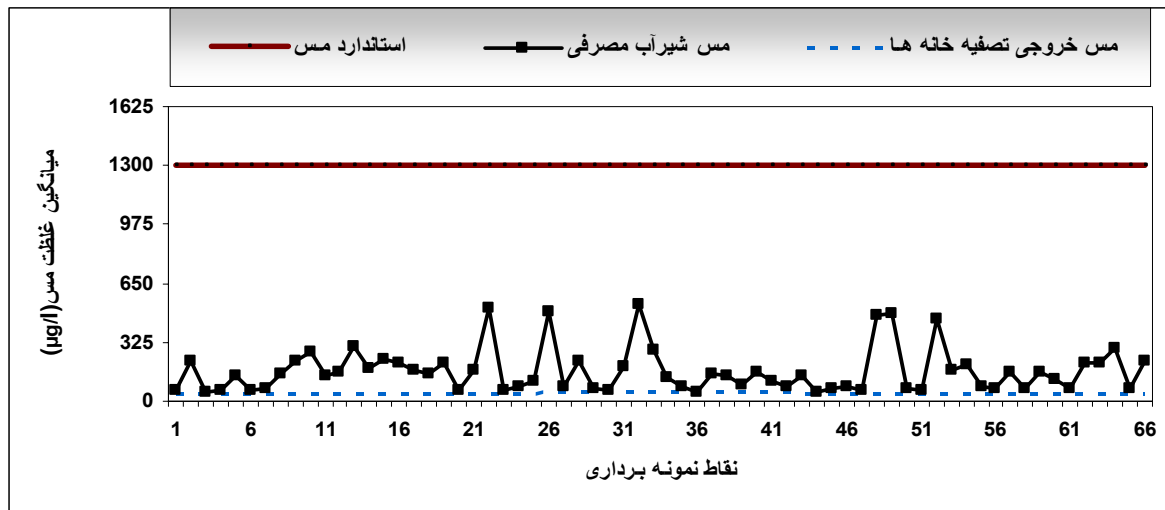
تصفیه خانه های آب و همچنین با استاندارد USEPA در کل شبکه توزیع شهر اهواز ارایه شده است. از این تعداد نمونه به ترتیب ۱۶/۶۷٪ و ۲۷/۲۷٪ دارای غلظتی بیش از غلظت توصیه شده USEPA (۱۵  $\mu\text{g/l}$  و ۵۰۰۰  $\mu\text{g/l}$ ) برای فلزات سرب، روی و برای فلز مس کمتر از استاندارد مذکور ( $\mu\text{g/l}$ ) (۱۳۰۰) مشاهده شده است (۹-۱۱).

نتایج میانگین شش مرحله، غلظت فلزات سرب، مس و روی در مجموع نمونه های برداشته شده از سطح شبکه توزیع به ترتیب ۸/۴۸، ۱۶۸ و ۳۱۸۰  $\mu\text{g/l}$ ، در آب آشامیدنی شهر و میانگین غلظت این فلزات در خروجی تصفیه خانه های آب این شبکه برای سرب، مس و روی ۴/۰۷، ۴۲/۳ و ۴۲۲  $\mu\text{g/l}$  می باشد.

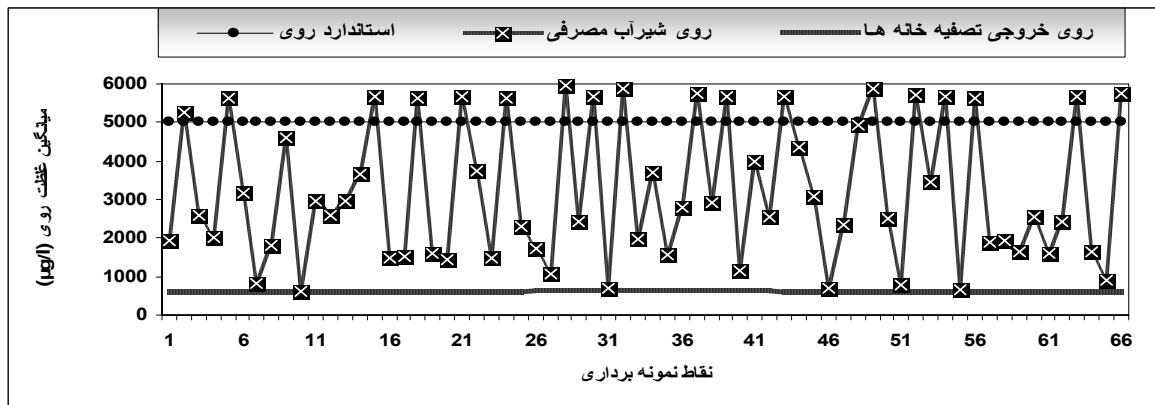
در نمودارهای ۱ تا ۳ وضعیت مقایسه نتایج غلظت این فلزات در شیرهای آب مصرفی با مقدار خروجی های



نمودار ۱ - مقایسه نتایج غلظت سرب در آب مصرفی با مقدار خروجی های تصفیه خانه های آب و استاندارد EPA در شبکه توزیع اهواز



نمودار ۲ - مقایسه نتایج غلظت مس در آب مصرفی با مقدار خروجی های تصفیه خانه های آب و استاندارد EPA در شبکه توزیع اهواز



نمودار ۳ - مقایسه نتایج غلظت روی در آب مصرفی با مقدار خروجی های تصفیه خانه های آب و استاندارد EPA در شبکه توزیع اهواز

### بحث و نتیجه گیری

سرب، مس و روی، تفاوت معنی داری وجود دارد و مقدار محاسبه شده برای سه فلز  $P_{ave}=0/00$  می باشد. همچنین نتایج مقایسه بین مقدار میانگین غلظت فلزات مذکور در خروجی شیرهای آب مصرفی سه منطقه با میانگین های خروجی تصفیه خانه ها در مجموع شبکه توزیع، آزمون آماری  $t$ -test در سطح اطمینان ۹۵٪ اختلاف معنی داری در همه موارد با  $P_{ave}=0/00$  نشان داد. اما در مورد فلزات سرب و مس در مقایسه با کشور آمریکا و کشورهای اروپایی به مراتب این منابع محدودتر است. زیرا در شبکه توزیع و لوله کشی منازل کشور آمریکا و بعضی از کشورهای اروپایی از لوله های سربی و مسی با لحیم کاری سربی استفاده می گردد. مطب دیگر این

نتایج حاصل از مقایسه میانگین های غلظت فلزات سرب، مس و روی در سه منطقه شبکه توزیع آب اهواز با استفاده از آزمون آنالیز واریانس یک طرفه (One Way ANOVA) در سطح اطمینان ۹۵٪ نشان داد که بین میانگین های غلظت فلزات یاد شده در سه منطقه تفاوت معنی داری وجود ندارد و مقدار  $P_{ave}$  محاسبه شده برای هر سه فلز سرب، مس و روی ۰/۹۷ می باشد. نتایج آزمون  $t$ -test در سطح اطمینان ۹۵٪ نشان داد که بین میانگین های غلظت های هر کدام از فلزات مذکور در هر کدام از مناطق و همچنین در مجموع در کل شبکه توزیع با استاندارد USEPA برای

که با توجه به عدم استفاده از لوله های سربی و مسی و با لحیم کاری سربی در مناطق سه گانه شهر اهواز، طبیعی است که درصد کمتری از نمونه های آب مصرفی حاوی سرب بیش از استاندارد USEPA باشد. ولی با توجه به محدود بودن منابع سرب در سه منطقه شبکه توزیع شهر اهواز در مقایسه با کشور آمریکا، غلظت سرب در مجموع نمونه گرفته شده از شیرهای آب مصرفی، (۰/۱۶/۶۷٪) دارای غلظتی بیش از استاندارد توصیه شده USEPA (۱۵  $\mu\text{g/l}$ ) است که بر طبق قانون سرب و مس، چون در بیش از ۱۰٪ نمونه های برداشت شده غلظت سرب از استاندارد بیشتر است، لذا آب خورنده تلقی شده و کنترل خوردگی ضرورت دارد (۲۰۱، ۹ و ۱۲). از لحاظ آزمون های آماری بین میانگین غلظت فلزات مذکور در سه منطقه اختلاف معنی داری مشاهده نشده است، که این موضوع بیانگر این مورد می تواند باشد که کیفیت و مشخصات آب خروجی از تصفیه خانه های آب و همچنین مشخصات خود شبکه و شرایط محیطی موجود در سه منطقه شبکه توزیع آب اهواز تا اندازه زیادی با هم مشابهت دارند. در خصوص مشاهده اختلاف معنی دار بین میانگین غلظت فلزات مذکور در شیرهای آب مصرفی سه منطقه شبکه توزیع با استاندارد USEPA به خصوص در مورد فلزات سرب و مس به نظر می رسد که با توجه به جنس لوله ها و اتصالات به کار رفته در شبکه توزیع آب اهواز و منابع محدود آن نسبت به شبکه های توزیع آب آمریکا که لوله های سربی و اتصالات برنجی و لحیم کاری سربی بیشتری مورد استفاده قرار می گیرند، این مقدار از استاندارد مذکور کمتر است. همچنین در خصوص وجود اختلاف معنی دار بین میانگین غلظت های فلزات مذکور در خروجی تصفیه خانه و شیرهای آب مصرفی مناطق سه گانه شبکه توزیع به نظرمی رسد که دلیل اصلی، خاصیت خورنده بودن آب و احتمال نشت از لوله های گالوانیزه و اتصالات برنجی و دیگر جنس لوله های به کار رفته در شبکه توزیع شهری و خانگی باشد که این مورد باعث افزایش میانگین غلظت فلزات مذکور در شیرهای آب مصرفی نسبت به خروجی تصفیه خانه ها شده است. نتایج به دست

آمده در مقایسه با کشور آمریکا که استفاده از لوله های مسی در آن کشور بسیار متداول است، نشان می دهد که غلظت مس در آب آشامیدنی شبکه توزیع شهر اهواز بسیار کمتر است (۱۵ و ۱۴). به همین دلیل با مقایسه صورت گرفته و براساس قانون سرب و مس کنترل خوردگی و اصلاح روش ها و تکمیل فرآیندهای تصفیه در مناطق سه گانه شبکه توزیع اهواز ضرورت پیدا نمی کند. ولی این مورد زمانی صادق است که به جای لوله های گالوانیزه و انواع دیگر لوله در شبکه توزیع شهر اهواز از لوله های مسی در لوله کشی منازل همانند کشور آمریکا استفاده گردد. در حالی که در شهر اهواز معمولاً لوله های مسی کاربردی ندارند. با این توضیح تنها منبع باقی مانده نشت مس به درون شیرهای آب مصرفی شیرآلات برنجی است. لذا در این جا برای واقعی کردن نتایج مطابق شرایط شهر اهواز و مانند فلز سرب باید مقدار اعلام شده توسط شاخص سرب و مس را کاهش داده و تعدیل مناسب آن انجام گیرد. با بررسی نتایج فلز روی، در هر سه منطقه و نمونه های برداشت شده از شیرهای آب مصرفی غلظت های بیش از حداکثر توصیه شده USEPA (۵۰۰۰  $\mu\text{g/l}$ ) برای فلز مذکور در شبکه توزیع شهر اهواز نیز مشاهده شده است (۱۰). حال چنان چه مشابه قانون سرب و مس، به جای مس که منبع اصلی آن، لوله های مسی است و در شبکه توزیع شهری و خانگی اهواز کاربرد ندارد، روی را که منبع اصلی آن لوله های گالوانیزه و شیرآلات برنجی است، جایگزین کنیم نتیجه می گیریم که اولاً آب آشامیدنی هر سه منطقه شبکه توزیع آب اهواز دارای خاصیت خورندگی است، ثانیاً آب کل شبکه اهواز با توجه به قانون مذکور نیازمند تصفیه و کنترل خوردگی نیز می باشد. زیرا غلظت روی در ۲۷/۲۷٪ مجموع نمونه های برداشتی از سه منطقه حاوی غلظت بیش از استاندارد USEPA است که از ۱۰٪ قانون سرب و مس بالاتر بوده و می تواند به عنوان یک معیار مؤید خورنده بودن آب هر سه منطقه شبکه توزیع آب شهر اهواز باشد. ثالثاً با توجه به موقعیت فلز روی در سری گالوانیک و توان بالاتر خوردگی آن نسبت به فلزات مس و سرب در مجاورت آب های خورنده به راحتی به درون آب

نشت می کند و می تواند شاخص مناسبی جهت بررسی خوردگی آب آشامیدنی شهراهواز و دیگر شهرهای مشابه در سطح کشور باشد (۱۵-۱۳). همچنین نتایج به دست آمده از آزمون های آماری در خصوص ارتباط هر کدام از فلزات مذکور با نشت فلزات و قانون سرب و مس نشان می دهد که  $P_{ave}$  به دست آمده، در همه موارد بزرگ تر از  $0.05$  بوده و اختلاف معنی دار وجود ندارد. آزمون های آماری ضریب همبستگی پیرسون و اسپیرمن نیز همبستگی ضعیفی بین میزان نشت این فلزات با اندیس های خوردگی نشان می دهد. با توجه به نتایج و مشخص شدن توانایی آب داخل شبکه در ایجاد خوردگی و امکان نشت فلزات از جدار داخلی لوله ها و شیرآلات و اتصالات در آب مصرفی، باید نسبت به کنترل خوردگی به صورت اصلاح در فرآیندهای مختلف تصفیه متداول و با تعدیل قلیائیت و  $pH$  و یا افزودن مواد شیمیایی از قبیل ارتوفسفات اقدام لازم معمول گردد. لذا در مجموع آب شبکه توزیع شهراهواز طبق قانون سرب و مس خورنده است و باید با به کارگیری روش های کامل تری در تصفیه خانه ها نسبت به کنترل خوردگی اقدام نمود.

### نتیجه گیری کلی و پیشنهادها

نتایج نشان می دهد می توان از روش قانون سرب و مس با دقت قابل قبول و به سادگی برای تعیین میزان خوردگی در شبکه های توزیع آب آشامیدنی استفاده نمود. کاربرد این روش نیازی به انجام محاسبات پیچیده و گاه غیر دقیق شیوه های متداول تعیین خوردگی ندارد. نتایج نیز مؤید این واقعیت است که به دلیل خوردگی که در لوله ها، شیرآلات و اتصالات اتفاق می افتد، احتمالاً نشت فلزات و به دنبال آن مشکلات خوردگی و از جمله مشکلات کیفی آب به وجود آید. به علت عدم استفاده از لوله های مسی در شبکه اصلی و خانگی، میزان مس در نمونه ها در مقایسه با سرب و روی کمتر بوده، بنابراین با جایگزین کردن روی به عنوان یکی از محصولات جانبی خوردگی که مشابه مس دارای مشکلات زیبایی شناختی و کیفی است و از طریق لوله های گالوانیزه به

درون آب نشت پیدا می کند، می توان از این قانون تحت عنوان "قانون سرب و روی" جهت پایش و بررسی خوردگی آب آشامیدنی شهراهواز و دیگر شهرهای مشابه بهره گرفت و در صورت ضرورت نسبت به تصفیه و کنترل خوردگی آب هایی که بیش از  $10\%$  نمونه ها میزان سرب بالاتر از حداکثر مجاز پیشنهادی ( $10 \mu g/l$ ) و روی بیش از  $5 \text{ mg/l}$  باشند، اقدام نمود. لذا پیشنهاد می شود به منظور حفظ و ارتقای سلامت و بهداشت شهروندان و بالابردن سطح کیفی و استاندارد های آب موضوع قانون سرب و روی جهت بررسی خوردگی آب آشامیدنی در شهرهای کشور نیز مانند کشورهای پیشرفته استاندارد و مصوب گردد و در صورت ضرورت در مورد آب های خورنده عملیات تصفیه و کنترل خوردگی اعمال شود. با توجه به منابع سرب و روی در لوله های شبکه داخلی منازل که عمدتاً شیرآلات برنجی و لوله های گالوانیزه است، مقدار پیشنهادی برای این فلزات که توسط سازمان حفاظت محیط زیست آمریکا توصیه گردیده برای ایران نیز به همین مقدار در نظر گرفته شود و به جای مس نیز در این قانون غلظت روی در نظر گرفته شود. به منظور کسب اطلاعات مورد نیاز شرکت های آب و فاضلاب و پیش بینی وسعت خوردگی شبکه های توزیع شهری از روش های قانون سرب و مس و کاهش وزن کوپن های خوردگی استفاده گردد. پایش مستمر و کاربرد ساده و ارزان قیمت، روش سرب و مس از طریق نمونه برداری از خروجی تصفیه خانه و آخرین نقطه شبکه توزیع امکان پذیر است. کارخانجات تولید لوله ها، اتصالات و شیرآلات به نصب برچسب سرب و دیگر فلزات موجود در محصولات عرضه شده، جهت اطلاع مصرف کنندگان و کاهش خطرات بالقوه نشت فلزات در آب آشامیدنی باید اقدام نمایند. در هنگام انتخاب منبع آب جهت شهرها و شهرک های تازه تأسیس و همچنین توسعه منابع آب در شهرهایی که با کمبود آب مواجه هستند، حتماً به موضوع خورنده نبودن آب توجه کافی مبذول گردد و در صورتی که جایگزین دیگری وجود نداشته باشد، قبل از ورود آب خورنده به شبکه توزیع، تصفیه مناسبی صورت گیرد. با توجه به خطرات ناشی از نشت فلزات از جمله سرب،



- Drinking Water Hotline, 800-426-4791.
- 6- Richard, Tally. (2004). Expert Panel Workshop Public Education under the Lead and Copper Rule and Drinking Water Risk Communication Summary., September 14,2004-September 15,2004 Hilton Philadelphia Airport Facilitated by Charles Wood, Guild Communications.
  - 7- Http: //www.dep.state.fl.us. lead in water.(1999).
  - 8- American Public Health association, American water works association & Water environment federation. (1998). Standard method for examination of water and wastewater, 20<sup>th</sup> Edition, New York.
  - 9- Magellan, CD. (2000). water treatment standard and methods water condition and purification.
  - 10- EPA. (2006). List of Contaminants & Their MCLS, EPA July 2002, 816-F-02-013. <http://www.epa.gov/safe water/Mcl.htm>.
  - 11- Current drinking water standard. (2002). [www.epa.org/wos.Html](http://www.epa.org/wos.Html).
  - 12- Marshall. (1998). Copper in drinking water: what the lead and copper Rule did we and what is Dose not tell us, USEPA, Retinols. Seattle, Washington.
  - 13- HDR Engineering Inc. (2001). Hand book of Public Water systems Second Edition,. By john Wily & sons. Copy right .
  - 14- Savari, J. (2006). Determination of Corrosion Potential In Distribution Drinking Water system of Ahvaz City by EPA Index (Lead and Copper Rule),Thesis of Environment Engineering, M.Sc, College Science

کادمیوم و روی در آب آشامیدنی از طرف متولیان امور آب و وزارت نیرو آموزش های لازم حاوی نکات ذیل تهیه و در اختیار عموم مردم قرار گیرد :

- ۱- بعد از برگشت از مسافرت سعی شود آب را کد درون لوله های شبکه داخلی منزل به طور کامل تخلیه گردد. ۲- برای مصارف آشامیدن فقط از شیر آب سردی که مدتی روان و جاری شده استفاده گردد. ۳- جهت پخت و پز و تهیه شیر و غذای کودک از شیر آبی که مدت زمان بیش از ۶ ساعت بسته بوده استفاده نشود ، مگر این که حداقل مدت ۳۰-۱۵ ثانیه باز گذاشته شود تا آب ساکن آن به طور کامل تخلیه گردد. زیرا مقدار سرب و کادمیوم در نمونه آب مربوط به اولین برداشت تقریباً ۲ برابر نمونه های اتفاقی در طول روز است. ۴- چنان چه جهت نوشیدن یا پخت و پز به آب گرم نیاز است، شیر آب سرد را جاری گذاشته سپس آن را گرم کنند. ۵- در هنگام خرید شیر آلات برنجی به برچسب درصد سرب آن توجه شود.

#### منابع

- 1- EPA. (2002). Lead and Copper Monitoring and Reporting Guidance for Public Water System, Office of Water (4606m), EPA – 816-R-20-009.[on line.2005/04/06].
- 2- EPA. (2004). Lead and Copper Rule: A Quick Reference Guide. Office of Water (4606), EPA 816-F-04-009., [www.epa.gov/safewater](http://www.epa.gov/safewater) .
- 3- EPA. (2004). Edition of the Drinking Water Standards and Health Advisories, EPA 822-R-04-005. Office of Water Protection Agency Washington, DC.
- 4- <http://www.dpwc.org/landcru.html>. water coission, lead and copper rule.september.15, 2000.
- 5- EPA. (2005). Water on TAP, What you need to know [www.epa.gov/safewater](http://www.epa.gov/safewater) , safe

proceeding book of 2end Iranian meeting of the research attainments belong to Environment Health Engineering the Departments, School of Health, Tehran University of Medical Sciences.

&Research Campus , Islamic Azad University, Tehran , Iran  
15- Shams Khoram Abadi, G, Shahmansouri, M.Poormoghadas, H. (2001). Study of metals leakage by pipes internal corrosion of the drinking water distribution networks,