

بررسی پتانسیل نشت فلزات سنگین و خوردگی در

شبکه توزیع آب آشامیدنی شهر اهواز

قدرت‌ا... شمس خرم‌آبادی^۲

امیرحسام حسنی^۳

نعمت‌اله جعفرزاده حقیقی فرد^۴

جاسم سواری^۱

پذیرش ۸۶۷/۱۵

(دریافت ۸۵/۱۱/۱۱)

چکیده

این تحقیق با هدف بررسی پتانسیل خوردگی و نشت تعدادی از مهم‌ترین فلزات سنگین (سرب، کادمیم، مس، روی، آهن و منگنز) در شبکه توزیع آب شهر اهواز با استفاده از روش استاندارد USEPA انجام گرفت. بر اساس اهداف این تحقیق ۷۶ ایستگاه، شامل منبع آب خام ورودی و خروجی تصفیه‌خانه‌ها و شیرهای آب مصرفی در شبکه توزیع آب آشامیدنی اهواز به عنوان نقاط نمونه‌برداری انتخاب شدند. قبل از انجام اولین نمونه‌برداری، آب با زمان ماند حداقل ۶ ساعت در لوله‌ها نگه داشته شد. نمونه‌برداریها طی مدت شش ماه و طبق روشهای استاندارد صورت پذیرفت. غلظت فلزات مذکور با استفاده از تکنیک‌های اسپکترومتری دستگاه جذب اتمی، اندازه‌گیری گردید. نتایج به دست آمده با استاندارد USEPA مقایسه شده و از لحاظ پتانسیل خوردگی و میزان نشت فلزات با استفاده از نرم‌افزار SPSS نسخه ۱۱/۵ مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. نتایج میانگین شش مرحله، غلظت فلزات سرب، کادمیم، روی، مس، آهن و منگنز را به ترتیب ۸/۴۸، ۰/۹۷، ۳۱۸۰، ۱۶۸، ۲۵۷ و ۳۰/۶ میکروگرم بر لیتر در آب مصرفی نشان می‌دهد. بررسی بیشتر نتایج، مؤید این واقعیت است که شبکه‌های آب شهری اهواز، دارای پتانسیل خوردگی و نشت این فلزات به درون آب آشامیدنی هستند و روش استاندارد USEPA با دقتی قابل قبول و به سادگی برای تعیین خوردگی و میزان نشت فلزات در شبکه‌های توزیع آب آشامیدنی کاربرد دارد.

واژه‌های کلیدی: اهواز، استانداردهای خوردگی USEPA، شبکه توزیع آب آشامیدنی، فلزات سنگین.

Heavy Metals Leakage and Corrosion Potential in Ahvaz Drinking Water Distribution Network

Jasem Savari¹ Nematollah Jaafarzadeh² Amir Hesam Hassani³ Ghodrattollah Shams Khoramabadi⁴

(Received Jan. 31, 2007 Accepted Oct. 7, 2007)

Abstract

This study was performed to evaluate the corrosion and leakage potentials of some important heavy metals (Pb, Cd, Zn, Cu, Fe and Mn) using the USEPA standard procedure. For the purposes of this study, 76 sampling points were selected across the study area including raw water intakes, treatment effluents, and tap waters in Ahvaz distribution network. After a minimum retention period of 6 hours in the distribution network, the first samples were taken according to the standard method, repeating the sampling procedure on a monthly basis for six months. Sample preparation and digestion were accomplished using the spectrophotometric atomic absorption technique to determine the concentration levels of the above-mentioned heavy metals. The results obtained were compared with USEPA standard indices and the corrosion potential was evaluated on the basis of heavy metals

1. M.Sc. in Environmental Engineering, Science & Research Branch, Islamic Azad University, SavariJa2004@yahoo.com
2. Associate Professor of Environmental Health Engineering, School of Public Health, Ahvaz Jundishapoor University of Medical Sciences
3. Assistant Professor of Environmental Engineering, Science & Research Branch, Islamic Azad University
4. Assistant Professor of Environmental Health Engineering, School of Public Health, Loreastan University of Medical Sciences

- ۱- کارشناس ارشد مهندسی محیط زیست، دانشکده محیط زیست، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران، SavariJa2004@yahoo.com
- ۲- دانشیار دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی جندی شاپور اهواز
- ۳- استادیار دانشکده محیط زیست، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران
- ۴- استادیار دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی لرستان

leakage measurements using SPSS software version 11.5. The results from six rounds of tests indicated values of 8.48, 0.97, 3180, 168, 257 and 30.6 micrograms per liter as the mean heavy metal concentration levels for Pb, Cd, Zn, Cu, Fe, and Mn respectively. Furthermore, the data indicated the high corrosion potential in Ahvaz drinking water distribution network and the leakage of heavy metals into the network closely associated with the corrosion phenomenon. Based on our findings, the USEPA standard method for corrosion evaluation in drinking water distribution networks is simple, accurate, and reliable.

Keywords: Ahvaz, USEPA Corrosion Standards, Drinking Water Network, Heavy Metals.

۱- مقدمه

موادی است که در لوله‌کشی منازل به کار می‌رود و همچنین موادی که به طور مستقیم توسط سیستم‌های آبرسانی عمومی قابل کنترل نیستند، مانند لوله‌های سربی، لحیم کاری سرب، قلع، اتصالات سربی، لوله‌های آهنی، شیرهای برنجی، شیر فلکه‌های برنجی، لوله‌های مسی و... توصیه EPA در وهله اول، تلاش برای حذف غلظت فلزات مذکور از منبع آب و سپس اقدام به کنترل خوردگی سیستم‌های توزیع و به کارگیری فرآیندهای تصفیه است [۳۰، ۵]. کراون^۲ و کالدرون^۳ در سال ۲۰۰۱ اعلام کردند، نشت فلزات و از جمله سرب و مس به آب آشامیدنی، درصد مهمی از آلودگی آب آشامیدنی می‌باشد [۱۰]. نتایج مطالعات برند^۴ و تروبرس^۵ در سال ۱۹۹۹ نشان داد، آلومینیم از شاه لوله‌های سیمانی و کلرید وینیل و ترکیبات آلی از مواد و لوله‌های پلاستیکی نشت می‌یابند [۱۱]. ژانگ^۶ و همکاران در سال ۲۰۰۲ اعلام کردند، خوردگی و نشت مس باعث بسیاری از حوادث آلودگی آب آشامیدنی از قبیل بروز آب سبز - آبی است که سازمانهای حفاظت محیط زیست را در بسیاری از کشورها و ادار به انتشار قوانین شدیدی برای محدود کردن غلظتهای مس حل شده در آب آشامیدنی می‌کند [۱۲]. داویدسون^۷ و همکاران نیز در سال ۲۰۰۴ گزارش داده‌اند، سربی که وارد آب آشامیدنی می‌شود، عمدتاً به دلیل رسوب سربی ناشی از محصولات خوردگی موجود در لوله می‌باشد [۱۳].

اتحادیه کشورهای اروپایی^۸ در سال ۱۹۹۵ سیاست کاهش تدریجی در حداکثر غلظت قابل قبول سرب در آب اروپا را پیشنهاد کرد. به این ترتیب مقدار سرب از ۵۰ میکروگرم بر لیتر قبلی تا ۲۵ میکروگرم بر لیتر در آوریل ۲۰۰۳ کاهش یافت و مقرر است به ۱۰ میکروگرم بر لیتر در سال ۲۰۱۳ کاهش یابد [۱۳ و ۱۴]. انجمن امور آب آمریکا^۹ در سال ۲۰۰۳ گزارش داد که یکی از چهار دلیل

بر اساس استانداردهای معتبر جهانی و از جمله استانداردهای آژانس حفاظت محیط زیست (EPA^۱) آب آشامیدنی نباید خورنده باشد [۴-۱]. با توجه به اینکه هنوز مطالعات جامع در مورد خوردگی آب و نشت فلزات سنگین به درون شبکه‌های توزیع شهری ایران و از آن جمله شهر اهواز به ویژه با روش استاندارد EPA انجام نگرفته است، لذا نتایج حاصل از این تحقیق می‌تواند در معرفی یک روش مناسب برای شناخت و کنترل خوردگی آب و بررسی میزان نشت فلزات سنگین، مؤثر باشد.

بسیاری از مواد فلزی نظیر موادی که در احداث سیستم‌های تأمین آب استفاده می‌شوند، در حضور آب ناپایدار بوده و تمایل دارند که به شکل پایدارتر و اغلب محلول تبدیل یا تجزیه شوند و این فرآیند، خوردگی نامیده می‌شود. خوردگی داخل لوله با واکنش بین لوله و آبی که در آن جریان دارد، آغاز می‌گردد [۵ و ۶]. آبهای خورنده به علت مجاورت و تماس با لوله‌ها، اتصالات، شیرآلات شبکه توزیع شهری و لوله کشی خانگی، سبب انتقال و نشت محصولات جانبی خوردگی به آب آشامیدنی می‌شوند. طبق استاندارد اولیه، این محصولات شامل سرب و کادمیم است. سایر محصولات جانبی منطبق با استاندارد ثانویه، نظیر مس، روی، آهن و منگنز می‌باشند که وجود آنها موجب خطرات زیباشناسی است. افزایش غلظت و نشت این فلزات در آب آشامیدنی باعث بروز مشکلات فراوان بهداشتی، زیباشناختی و متعاقب آن مشکلات اقتصادی نظیر کاهش طول عمر لوله‌ها، پمپ‌ها و متعلقات آن و همچنین افزایش میزان آب از دست رفته و بروز آلودگیهای ثانویه در شبکه‌های توزیع می‌شود که سالانه مبالغ هنگفتی را به تأسیسات آب شهرها تحمیل می‌کند [۳، ۴، ۵ و ۷]. در جدولهای ۱ و ۲ استانداردهای اولیه و ثانویه آب آشامیدنی سازمان محیط زیست آمریکا شامل خطرات سلامتی، منشأ آلودگی و نشت فلزات در آب آشامیدنی، و روشهای تصفیه ارائه شده است [۱، ۳، ۴، ۸ و ۹]. براساس نتایج تحقیقات گسترده سازمان محیط‌زیست آمریکا و همچنین انجمن امور آب آمریکا در طی سالهای گذشته، بخش بزرگی از نشت فلزات موجود در آبهای آشامیدنی شهرها مربوط به

² Craun

³ Calderon

⁴ Berend

⁵ Trouwbors

⁶ Zhang

⁷ Davidson

⁸ Commission of the European Union

⁹ American Water Work Association

¹ Environment Protection Agency

جدول ۱- استانداردهای اولیه آب آشامیدنی سازمان محیط زیست آمریکا [۱-۵]

پارامتر	واحد	MCLG ^۱	MCL ^۲	خطرات ناشی از آب آشامیدنی	منشأ آلودگی در آب آشامیدنی	روشهای تصفیه
سرب	میکروگرم بر لیتر	صفر	۱۵	در نوزادان و بچه‌ها: به تأخیر افتادن رشد فیزیکی و ذهنی در بزرگسالان: بالا رفتن فشارخون و صدمه به کلیه	خوردگی لوله کشی خانگی، فرسایش منابع طبیعی	رزین تبادل کاتیونی (۲۰ تا ۹۰ درصد) انعقاد / فیلتراسیون کربن فعال، سختی‌گیری با آهک، اسمز معکوس، تقطیر، الکترو دیالیز
کادمیم	میکروگرم بر لیتر	۵	۵	آسیب به کلیه	خوردگی لوله‌های گالوانیزه، فرسایش منابع طبیعی، پساب ذوب فلزات	انعقاد / فیلتراسیون، کربن فعال، رزین، تبادل کاتیونی، اسمز معکوس، تقطیر، الکترو دیالیز
مس	میکروگرم بر لیتر	۱۳۰۰	۱۳۰۰	تماس کوتاه مدت: ناراحتی‌های دستگاه گوارش، تماس طولانی مدت: بیماری ویلسون ^۳	لوله کشی مسی، فرسایش منابع طبیعی	رزین تبادل کاتیونی (۲۰ تا ۷۹ درصد)، اسمز معکوس، تقطیر، الکترو دیالیز

^۱MCLG (Maximum Contaminant Level Goal) یا حداکثر مطلوب، عبارت است از حداکثر غلظتی از ماده که برای آب مصرفی مناسب تشخیص داده می‌شود. چنانچه آب حاوی موادی در غلظت بالاتر از حداکثر مطلوب باشد، از نظر کیفیت در حد پایین‌تری است اما هنوز قابل استفاده می‌باشد.

^۲MCL (Maximum Contaminant Level) یا حداکثر مجاز، حدی است که اگر غلظت مواد موجود در آب از آن تجاوز کند، آب مزبور برای استفاده مناسب نمی‌باشد و مصرف آن در درازمدت اثرات زیان بخشی بر سلامت مصرف کننده‌ها خواهد گذاشت [۱، ۴ و ۵].

^۳Wilson's Disease

جدول ۲- استانداردهای ثانویه برخی از پارامترهای فیزیکی، شیمیایی آب آشامیدنی سازمان محیط زیست آمریکا [۴، ۵، ۸ و ۹]

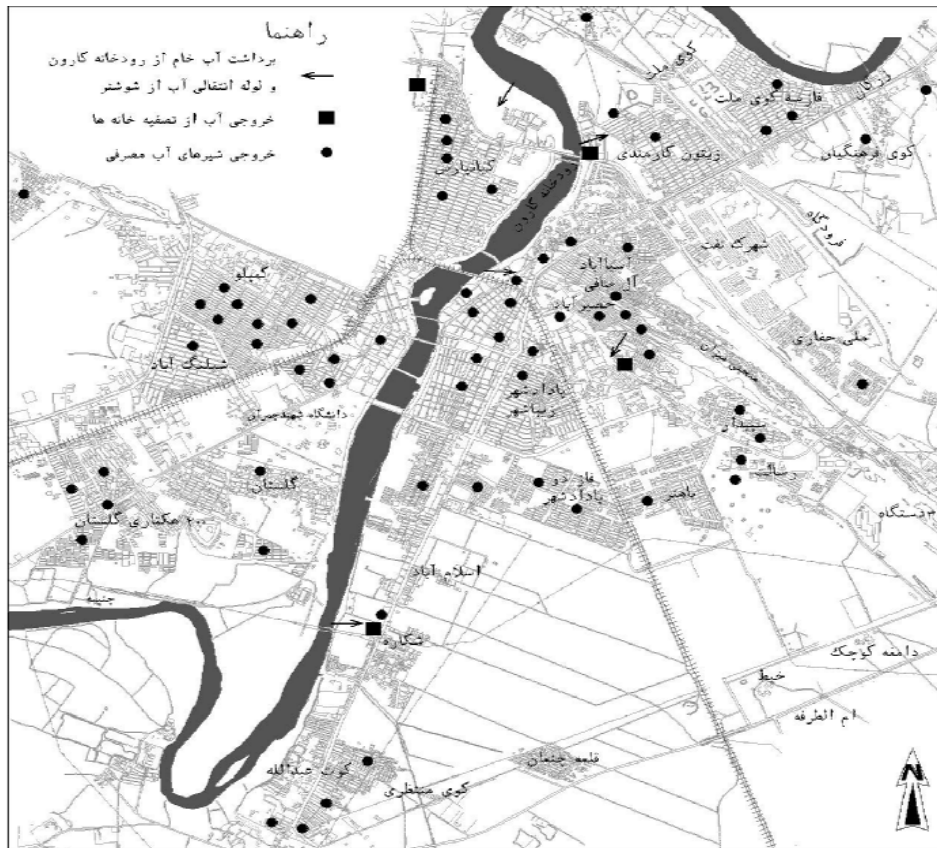
پارامتر	واحد	مقدار استاندارد ثانویه	روشهای تصفیه
خورندگی	-	غیرخورنده	فیلتر خنثی کننده، سودا، اش، پلی فسفات، سیلیکات سدیم، کاستن TDS از طریق اسمز معکوس، روکش دار کردن
مس	میکروگرم بر لیتر	۱۰۰۰	اسمز معکوس، تقطیر، الکترو دیالیز
روی	میکروگرم بر لیتر	۵۰۰۰	رزین تبادل کاتیونی، اسمز معکوس، تقطیر
آهن	میکروگرم بر لیتر	۳۰۰	Fe ²⁺ : فیلتر اکسید کننده، تبادل کاتیونی، اسمز معکوس، هوادهی تحت فشار / فیلتراسیون، کلریتاسیون / فیلتراسیون، تقطیر، الکترو دیالیز، Fe ³⁺ : فیلتراسیون
منگنز	میکروگرم بر لیتر	۵۰	Mn ²⁺ : فیلترهای اکسید کننده، رزین تبادل کاتیونی، اسمز معکوس، تقطیر، الکترو دیالیز، کلریتاسیون / فیلتراسیون، Mn ⁴⁺ : فیلتراسیون

اصلی بدمزگی آب، طعمهای فلزی ناشی از آزاد شدن یونهای مس و یا آهن در نتیجه خورده شدن لوله‌های مسی و آهنی است [۱۵].

۲- مواد و روشها

این تحقیق، یک مطالعه تحلیلی موردی در مقطع زمان با استفاده از روش علمی است. شیوه اجرای این تحقیق با توجه به جمعیت تحت پوشش هر شبکه متفاوت بود. بنابراین با توجه به اینکه هدف اصلی، تعیین خوردگی و میزان نشت بعضی از فلزات قابل حل و آلاینده همانند سرب، مس، کادمیم، روی، آهن و منگنز در شیرهای برداشت آب خانگی شبکه توزیع شهر اهواز بود، انجام مطالعات از طریق مشورت با افراد متخصص، مطالعات کتابخانه‌ای، بررسی مقالات، مجلات و پایان نامه‌های دانشجویی، کاوش در شبکه اطلاعات جهانی و مراجعه به شرکتها و سازمانهای ذی‌ربط آغاز و سپس از طریق انجام کار عملی، مشاهدات میدانی، نمونه‌برداری و انجام آزمایش‌ها تکمیل گردید. ابتدا تعداد نمونه متناسب با تعداد جمعیت مشترکان آب تحت پوشش و نحوه توزیع و پلان تراکمی جمعیت شهری انتخاب گردید. انتخاب ایستگاههای نمونه‌برداری، با توجه به موارد فوق و منطقه‌بندی انجام شده توسط شرکت آب و فاضلاب صورت گرفت [۵]. تعداد ایستگاهها نیز منطبق با جدول استاندارد

EPA که برای این منظور تهیه و تنظیم گردیده است، تعیین شد. در شهر مورد مطالعه (اهواز) مطابق این جدول باید ۱۰۰ ایستگاه در نظر گرفته می‌شد که با توجه به محدودیت مالی و هزینه زیاد اندازه‌گیری غلظت فلزات سنگین و پس از مشاوره آماری، تعداد ایستگاهها با اطمینان آماری بیشتر از ۹۰ درصد به ۷۶ عدد کاهش یافت [۱، ۵، ۱۶]. از این تعداد، پنج ایستگاه در ورودی آب خام و پنج ایستگاه در خروجی تصفیه‌خانه‌های آب قبل از مرحله گندزدایی و ۶۶ ایستگاه دیگر در سطح کل سه منطقه شبکه توزیع شهر اهواز انتخاب و تعیین شدند. دلیل انتخاب پنج ایستگاه در ورودی و پنج ایستگاه در خروجی تصفیه‌خانه‌ها، وجود چهار تصفیه‌خانه در نقاط مختلف شهر و برداشت از رودخانه کارون و یک منبع ورودی و خروجی از لوله انتقالی آب شوشتر در شهر اهواز در زمان انجام مطالعه بود. از مجموع ۶۶ ایستگاه، ۲۵ ایستگاه (۳۷/۹ درصد) به منطقه یک، ۱۷ ایستگاه (۲۵/۸ درصد) به منطقه دو و ۲۴ ایستگاه (۳۶/۴ درصد) به منطقه سه اختصاص داده شد. پراکندگی و محل نمونه‌گیری روی نقشه شهر و با توجه به تعداد مناطق تقسیم‌بندی شده شبکه توزیع به گونه‌ای انتخاب گردید، که بیانگر کل شبکه و جمعیت تحت پوشش باشد. شکل ۱ نشان دهنده محدوده طرح جامع مطالعه و نقاط نمونه‌برداری کل شبکه توزیع شهر اهواز



شکل ۱- محدوده طرح جامع مطالعه و نقاط نمونه برداری کل شبکه توزیع شهر اهواز

می‌باشد. نقاط برداشت آب خام روی نقشه با علامت پیکان، خروجی تصفیه‌خانه‌ها با علامت مربع و خروجی شیرهای آب مصرفی با علامت دایره روی نقشه نمایش داده شده است. بعد از مشخص شدن نقاط نمونه‌برداری، ظروف نمونه‌برداری پلاستیکی به حجم ۲۵۰ میلی‌لیتر تهیه و پس از شست‌وشو و تمیز کردن، به منظور تنظیم pH نمونه‌ها، مقدار ۰/۵ میلی‌لیتر اسید نیتریک غلیظ محصول مرک آلمان با درجه خلوص ۶۵ درصد و با pH کمتر از ۲، به ظروف اضافه گردید [۱۷]. درب ظروف به منظور اجتناب از ریخته شدن اسید تا زمان نمونه‌برداری کاملاً محکم بسته شد و سپس کار بر چسب زدن برگه مخصوص مشخصات مورد نیاز نمونه‌برداری به ظروف انجام شد. ظروف نمونه‌برداری در کیسه پلاستیکی تمیز به همراه برگه‌های اطلاعاتی و دستورالعمل آموزشی مربوطه در اختیار صاحبان منازل قرار داده شد [۵]. سپس نمونه‌برداری از ۱۷ ایستگاه مذکور در شش مرحله و به فاصله هر ماه یک بار، در منبع ورودی و خروجی آب تصفیه‌خانه‌ها و در شیرهای آب سرد آشپزخانه یا حمام با زمان ماند حداقل ۶ ساعت به صورت اولین برداشت انجام گردید. پس از جمع‌آوری، نمونه‌ها به آزمایشگاه تجزیه دستگاهی دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی اهواز منتقل و به منظور آماده‌سازی و آنالیز در یخچال نگهداری شدند. با استفاده از دستگاه جذب اتمی مدل Analytic Jena AA6 Vario 6 ساخت کشور آلمان، غلظت فلزات مس، روی، آهن و منگنز در حد میلی‌گرم در لیتر و با استفاده از شعله و غلظت فلزات سرب و کادمیم در حد میکروگرم در لیتر و با استفاده از کوره گرافیتی اندازه‌گیری و ثبت گردید. نتایج اندازه‌گیریها با شاخص سازمانهای جهانی و از آن جمله EPA سنجیده شد و از لحاظ توانایی ایجاد و میزان خوردگی مورد ارزیابی قرار گرفت. طبق استاندارد چنانچه در درصد نمونه‌ها، غلظت فلزات مذکور به ویژه سرب بیش از ۱۵ میکروگرم بر لیتر و مس بیشتر از ۱۳۰۰ میکروگرم بر لیتر باشد، آب خورنده محسوب می‌شود و باید بلافاصله نسبت به ایجاد فرآیندها و امکانات پیشرفته‌تر و عملیات تصفیه اضافی و اقدامات کنترلی مبادرت نمود [۱۸، ۱۶، ۱]. همچنین به منظور مقایسه و محاسبه اندیس‌های خوردگی لانه‌زایی، رایزنر، تهاجمی و پوکوریوس، پارامترهای کیفی از قبیل pH، سختی کلسیم، TDS، دما، قلیائیت، pH_s و... در ۷۶ نقطه مذکور در شش مرحله طبق روشهای استاندارد اندازه‌گیری شد. با استفاده از نرم افزار SPSS نسخه ۱۱/۵ و آزمونهای آماری آنالیز واریانس و t زوج پیرسون و اسپیرمن تحلیل اختلاف صورت گرفته و برای رسم نمودارها از نرم افزار اکسل^۱ نسخه ۲۰۰۳ استفاده شد.

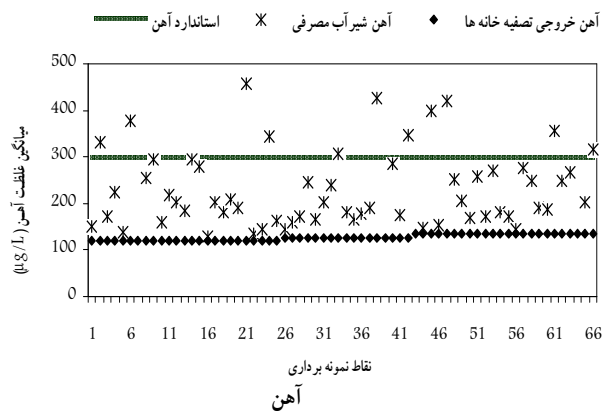
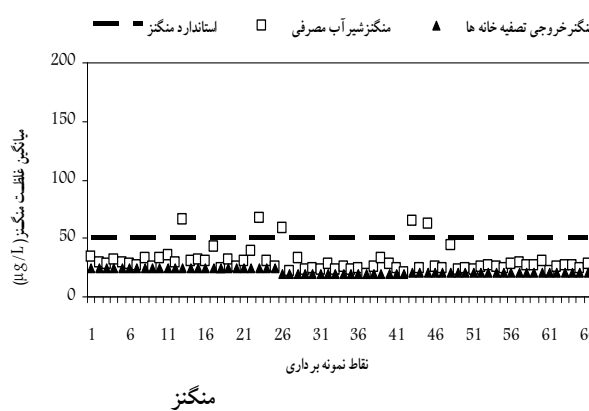
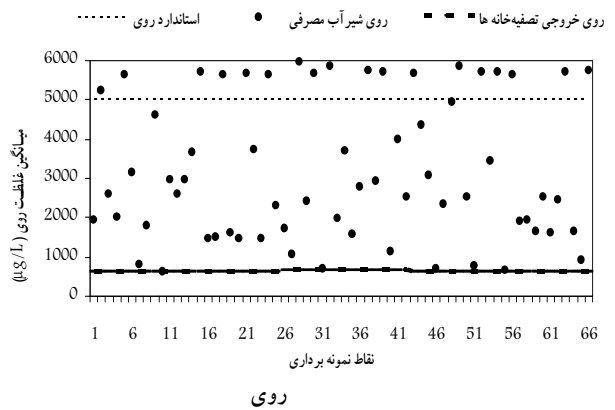
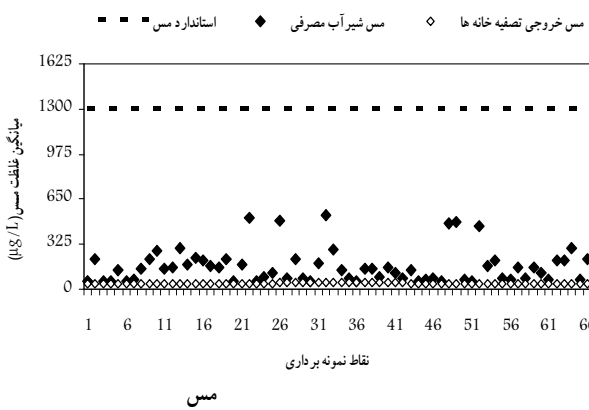
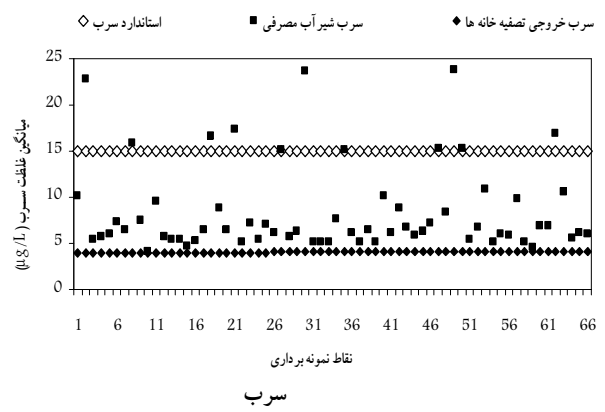
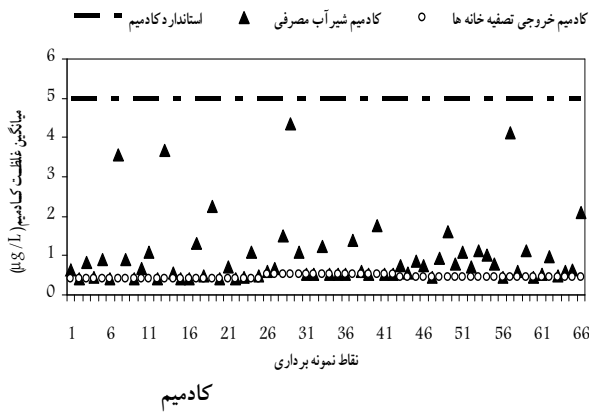
۳- نتایج و بحث

میانگین شش مرحله، غلظت اندازه‌گیری شده را برای فلز سرب ۸/۴۸ میکروگرم بر لیتر، کادمیم ۰/۹۷ میکروگرم بر لیتر، روی ۳۱۸۰ میکروگرم بر لیتر، مس ۱۶۸ میکروگرم بر لیتر، آهن ۲۵۷ میکروگرم بر لیتر و منگنز ۳۱/۶ میکروگرم بر لیتر نشان می‌دهد. همچنین میانگین غلظت اندازه‌گیری شده در خروجی تصفیه‌خانه‌های آب این شبکه به ترتیب برای فلز سرب ۴/۰۷ میکروگرم بر لیتر، کادمیم ۰/۴۵ میکروگرم بر لیتر، مس ۴۲/۳ میکروگرم بر لیتر، روی ۶۲۲ میکروگرم بر لیتر، آهن ۱۲۷ میکروگرم بر لیتر و منگنز ۲۲/۱ میکروگرم بر لیتر می‌باشد. شکل ۲ نتایج اندازه‌گیری میانگین غلظت فلزات سرب، کادمیم، مس، روی، آهن و منگنز را نشان داده است. از نمونه‌های برداشت شده در مجموع سه منطقه به ترتیب تعداد ۱۱ نمونه (۱۶/۷ درصد)، ۱۸ نمونه (۲۷/۳ درصد) و ۱۵ نمونه (۲۲/۷ درصد) دارای غلظتی بیش از غلظت توصیه شده EPA برای هر کدام از فلزات سرب، روی و آهن بودند که در شکل ۳ این وضعیت ارائه شده است. نتایج میانگین پارامترهای کیفی محاسبه شده از قبیل pH (۷/۳۱)، دما (۱۹/۱ درجه سانتی‌گراد)، TDS (۱۰۰۴۶۹۰ میکروگرم بر لیتر) قلیائیت (۱۲۹۳۱۰ میکروگرم بر لیتر)، سختی کلسیم (۱۰۹۳۸۰ میکروگرم بر لیتر)، pH_s (۷/۸۸) و اندیس‌های لانه‌زایی (۰/۵۶-)، رایزنر (۸/۴۳)، تهاجمی (۱۱/۴۴) و پوکوریوس (۷/۷۵)، آب آشامیدنی شهر را در شرایط متمایل به خوردگی نشان می‌دهد.

نتایج حاصل از مقایسه میانگین‌های غلظت فلزات سرب، مس و روی در سه منطقه شبکه توزیع آب اهواز با یکدیگر با استفاده از آزمون آنالیز واریانس یک‌طرفه^۲ در سطح اطمینان ۹۵ درصد نشان داد که بین میانگین‌های غلظت فلزات مذکور تفاوت معنی‌داری وجود ندارد و مقدار $P_v = ۰/۹۶$ محاسبه شده به ترتیب برای سرب $P_v = ۰/۹۷$ ، کادمیم $P_v = ۰/۹۶$ ، مس $P_v = ۰/۹۶$ ، روی $P_v = ۰/۹۳$ ، آهن $P_v = ۰/۷۲$ ، و منگنز $P_v = ۰/۱۵$ می‌باشد. نتایج آزمون در سطح اطمینان ۹۵ درصد نشان داد که بین میانگین‌های غلظت فلزات مذکور در هر کدام از مناطق و در کل شبکه توزیع با استاندارد EPA (برای سرب ۱۵ میکروگرم بر لیتر، کادمیم ۵ میکروگرم بر لیتر، مس ۱۳۰۰ میکروگرم بر لیتر، روی ۵۰۰۰ میکروگرم بر لیتر، آهن ۳۰۰ میکروگرم بر لیتر و منگنز ۵۰ میکروگرم بر لیتر) تفاوت معنی‌داری وجود دارد و مقدار P_v محاسبه شده برای هر کدام $P_v = ۰/۰۰$ می‌باشد. همچنین نتایج مقایسه بین مقدار میانگین غلظت فلزات مذکور در خروجی شیرهای آب مصرفی سه منطقه با میانگین‌های خروجی

² One-way ANOVA

¹ Excel



شکل ۲- مقایسه نتایج غلظت فلزات سرب، کادمیم، روی، مس، آهن و منگنز در آب مصرفی، خروجی تصفیه‌خانه‌ها و مقدار استاندارد EPA در شهر اهواز

[۵ و ۱۹]. مطالعات لتلی و شاک^۱ در سال ۱۹۹۷ در خصوص کیفیت آب شهر بوستون^۲ نشان داد که ۱۹ درصد نمونه‌های آبی که مدت زمانی در لوله توقف داشته‌اند حاوی مس با غلظت بیش از استاندارد سرویس بهداشت عمومی ایالات متحده^۳ بوده است. همچنین در ۹ درصد نمونه‌ها، مقدار آهن و در ۶۵ درصد آنها، مقدار

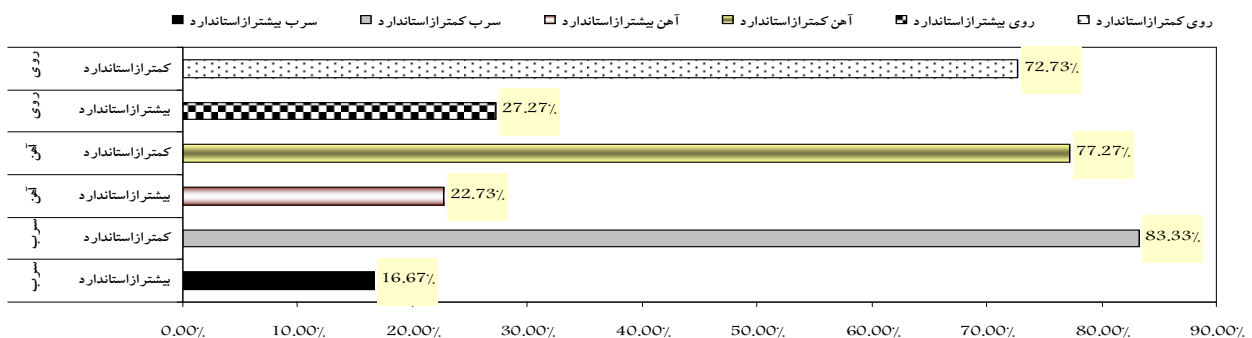
تصفیه‌خانه‌ها در مجموع شبکه توزیع، در سطح اطمینان ۹۵ درصد اختلاف معنی‌داری در همه موارد به مقدار $(P_v=0/00)$ نشان داد. نتایج به دست آمده از میانگین غلظت سرب شیرهای آب مصرفی در شهر اهواز (۸/۴۸ میکروگرم بر لیتر) با میانگین موجود در منازل دارای لوله‌کشی گالوانیزه در آمریکا (۶/۲ میکروگرم بر لیتر) و میانگین موجود در شهرهای زرین‌شهر (۵/۷۴ میکروگرم بر لیتر) و مبارکه (۷/۹ میکروگرم بر لیتر) تا اندازه زیادی مشابهت دارد

¹ Lytle and Schock
² Boston
³ United States Public Health Services. (USPHS)

سرب بیش از حداقل استاندارد بوده است. سرب، آهن و مس از محصولات جانبی خوردگی بوده و افزایش غلظت سرب در خون انسان تابع افزایش غلظت سرب در آب آشامیدنی است. از مهم‌ترین منابع سرب، مس و روی در آب آشامیدنی، آلیاژهای برنجی است که در ساخت شیرآلات و اتصالات برنجی به کار می‌رود. در ضمن مقدار نشت سرب، مس و روی از آلیاژ برنج در $pH=7$ بیشتر از $pH=8/5$ است [۲۰]. مرکل^۱ در سال ۲۰۰۴، با توجه به اعلام راهنمایی‌های جدید آب آشامیدنی اتحادیه اروپا و دستورالعمل‌های آب آشامیدنی در کشور آلمان، پارامترهای موجود در آب را به دو بخش طبقه‌بندی نمود که عبارت بودند از پارامترهایی که در حین توزیع آب تغییری نمی‌کرد و پارامترهایی که تغییر می‌کردند. مواد فلزی از قبیل مس، نیکل یا سرب که معمولاً در لوله‌کشی و تأسیسات خانگی به کار می‌روند از عوامل مؤثر در گروه دوم هستند. از همین رو، توجه مصرف‌کنندگان آب، مسئولان بهداشت و تولیدکنندگان آب به سوی مراحل از سیستم توزیع، معطوف شده است که با پارامترهای متغیر در حین توزیع مرتبط هستند. در آلمان، یک دستورالعمل جدید مصرف‌کننده در استاندارد ملی DIN50930-6 تعریف شد که محدودیت‌های قبلی دستورالعمل آب آشامیدنی را برای مس، برنز، آهن گالوانیزه و غیره تکمیل می‌کرد و بنابراین وضعیتی تازه در کاربرد مواد فلزی در تماس با آب آشامیدنی تعریف می‌کرد [۲۱]. نتایج مطالعه ماتيو مورلی^۲ و بروس دورک^۳ در سال ۲۰۰۳ نشان داد که در حدود ۵۸ اجتماع در نبراسکا^۴، غلظت مس بسیار بالاتر از سطح EPA (۱۳۰۰ میکروگرم بر لیتر) بود. به دلیل اینکه منبع اولیه مس در آب آشامیدنی، خوردگی مواد لوله‌کشی می‌باشد، EPA خواستار کنترل

خوردگی به عنوان روشی برای کاهش غلظت مس است [۲۲]. با توجه به محدود بودن استفاده از سرب و مس در سیستم شبکه توزیع شهر اهواز نسبت به کشور آمریکا، و اینکه در ۱۱ نمونه (۶۷/۱۶ درصد) غلظت سرب بیش از غلظت توصیه شده EPA (۱۵ میکروگرم بر لیتر) است (شکل ۳)، لذا آب خورنده تلقی شده و کنترل خوردگی ضرورت دارد [۱، ۵ و ۱۶]. از لحاظ آزمونه‌های آماری بین میانگین غلظت فلزات مذکور در سه منطقه اختلاف معنی‌داری مشاهده نشده است، که این موضوع بیانگر آن است که کیفیت و مشخصات آب خروجی از تصفیه‌خانه‌های آب و همچنین مشخصات خود شبکه و شرایط محیطی موجود در هر سه منطقه تا اندازه زیادی با هم مشابهت دارند. در خصوص مشاهده اختلاف معنی‌دار بین میانگین غلظت فلزات مذکور در شیرهای آب مصرفی سه منطقه شبکه توزیع نسبت به استاندارد EPA و با توجه به جنس لوله‌ها و اتصالات به کار رفته در شبکه توزیع آب اهواز و منابع محدود آن نسبت به شبکه‌های توزیع آب آمریکا که لوله‌های سربی و اتصالات برنجی و لحیم‌کاری سربی بیشتری مورد استفاده قرار می‌گیرند، این مقدار از استاندارد مذکور کمتر است. همچنین در خصوص وجود اختلاف معنی‌دار بین میانگین غلظت فلزات مذکور در خروجی تصفیه‌خانه و شیرهای آب مصرفی مناطق سه‌گانه شبکه توزیع به نظر می‌رسد که دلیل اصلی، خاصیت خورنده بودن آب و نشت از لوله‌های گالوانیزه و اتصالات برنجی و دیگر جنس‌های به کار رفته در لوله‌ها و شیرهای آب مصرفی است که این امر باعث افزایش میانگین غلظت فلزات مذکور در شیرهای آب مصرفی نسبت به خروجی تصفیه‌خانه‌هاست. بررسی نتایج، نشان می‌دهد که غلظت مس در آب آشامیدنی شیرهای برداشت خانگی شبکه توزیع شهر اهواز بسیار کمتر از استاندارد EPA است. به همین دلیل کنترل غلظت مس در شبکه توزیع اهواز ضرورت

1 Merkel
2 Mathew Morley
3 Bruce Dvorak
4 Nebraska



شکل ۳- درصد نمونه‌های دارای سرب، روی و آهن در شیرهای برداشت خانگی شبکه توزیع آب اهواز بر اساس استاندارد EPA

وضعیت آب شبکه توزیع از لحاظ خوردگی و نشت فلزات				نام روش
کل شبکه توزیع	منطقه سه	منطقه دو	منطقه یک	
خوردگی و نشت فلزات وجود دارد	خوردگی و نشت فلزات وجود دارد	خوردگی و نشت فلزات وجود دارد	خوردگی و نشت فلزات وجود دارد	استاندارد EPA: (متوسط شش مرحله)

نتیجه‌گیری کلی مربوط به این تحقیق در سه منطقه شبکه توزیع آب آشامیدنی شهر اهواز ارائه گردیده است. با توجه به نتایج به دست آمده، خورنده بودن آب شبکه مورد مطالعه و نشت فلزات طبق روش استاندارد EPA محرز است. نتایج مربوط به اندازه‌گیری میزان فلزات آب شهر اهواز نیز مؤید این واقعیت است که لوله‌ها و شیرآلات و اتصالات مورد استفاده در شبکه توزیع شهر اهواز دارای پتانسیل نشت این محصولات جانبی به درون آب آشامیدنی هستند.

۴- نتیجه‌گیری

با توجه به نتایج به دست آمده و در قالب یک نتیجه کلی موارد زیر قابل اشاره است. به منظور کسب اطلاعات مورد نیاز بهره‌برداران و پیش‌بینی وسعت خوردگی و نشت فلزات در شبکه‌های توزیع آب و امکان پایش مستمر آنها، می‌توان از روش به‌کار رفته در این تحقیق برای شهرهای مشابه اهواز نیز استفاده کرد. این روش علاوه بر سادگی محاسبات، شیوه اجرای نسبتاً آسان، هزینه نازل و محدودیت کمتر نسبت به سایر روشهای متداول در بررسی خوردگی، از حدود اطمینان و کارایی نسبتاً بالایی در اعلام نتایج برخوردار است. در این روش با نمونه‌برداری و اندازه‌گیری غلظت فلزات در خروجی تصفیه‌خانه‌ها و آخرین نقاط برداشت آب در شبکه توزیع و سپس مقایسه با استاندارد سازمان محیط زیست آمریکا (USEPA) و حتی با برداشت تعداد نمونه کمتر و به‌کارگیری برنامه زمانی پایش مدون، نسبت به پایش مستمر شبکه، نتایج مطلوب قابل دسترسی است. نتایج این تحقیق نشان داد که لوله‌ها و شیرآلات و اتصالات مورد استفاده در شبکه توزیع شهر اهواز و احتمالاً دیگر شبکه‌های توزیع شهرهای کشور دارای پتانسیل نشت فلزات به درون آب آشامیدنی هستند، که ضروری است تمهیدات بیشتری در این خصوص اندیشیده و اقدامات لازم انجام گردد.

پیدا نمی‌کند. البته این امر تا زمانی که استفاده از لوله‌های مسی در لوله‌کشی منازل رایج نشده، صادق است. بررسی نتایج دیگر فلزات، از جمله فلزات روی و آهن، در نمونه‌های برداشت شده از شیرهای آب مصرفی حاکی از وجود غلظتهای بیشتر از استاندارد توصیه شده EPA است (جدول ۲). حال چنانچه، به جای غلظت مس که منبع اصلی آن لوله‌های مسی است و در شبکه توزیع شهری و خانگی اهواز کاربرد ندارد، غلظت روی و یا آهن را که منبع اصلی آنها لوله‌های گالوانیزه و شیرآلات برنجی و مخازن و لوله‌های آهنی است در نظر بگیریم، می‌توان نتیجه گرفت که آب آشامیدنی هر سه منطقه شبکه توزیع آب اهواز دارای خاصیت خوردگی است، همچنین آب کل شبکه اهواز با توجه به استاندارد مذکور نیازمند تصفیه و کنترل خوردگی می‌باشد. باید توجه نمود که غلظت روی و آهن در مجموع سه منطقه به ترتیب معادل ۲۷/۲۷ درصد و ۲۲/۷۳ درصد بود. شکل ۳ درصد نمونه‌های حاوی غلظت بیش از ۵۰۰۰ میکروگرم بر لیتر و ۳۰۰ میکروگرم بر لیتر را نشان می‌دهد. با توجه به اینکه تعداد نمونه‌های مذکور بیش از ۱۰ درصد است و از استاندارد EPA بالاتر می‌باشد، این امر مؤید خورنده بودن آب هر سه منطقه شبکه توزیع می‌باشد [۱، ۵ و ۱۶]. همچنین با توجه به موقعیت فلز روی در سری گالوانیک و پتانسیل بالاتر خوردگی آن، نسبت به فلزات مس و سرب، این فلز در مجاورت آبهای خورنده به راحتی به درون آب نشت می‌کند و می‌تواند شاخص مناسبی جهت تعیین پتانسیل خوردگی آب آشامیدنی شهر اهواز باشد [۵ و ۲۳]. همچنین نتایج به دست آمده از آزمون ضریب همبستگی پیرسون و اسپیرمن در خصوص ارتباط هرکدام از فلزات مذکور با نشت فلزات دیگر و استاندارد EPA نشان می‌دهد، که p_v به دست آمده، در همه موارد، بزرگ‌تر از ۰/۰۵ بوده و اختلاف معنی‌داری وجود ندارد. آزمونهای آماری و ضریب همبستگی پیرسون و اسپیرمن نیز به جز در موارد محدود، همبستگی و ارتباط مستقیم اما ضعیفی را بین میزان نشت فلزات با اندیس‌های خوردگی را نشان می‌دهند. به عنوان مثال میزان عددی این همبستگی بین اندیس لائزلیه ۰/۵۶- به ترتیب با فلز سرب ۰/۱۰-، کادمیم ۰/۵۵-، مس ۰/۰۰+، روی ۰/۱۴-، آهن ۰/۰۳- و منگنز ۰/۰۶+ می‌باشد. در جدول ۳

۵- تشکر و قدردانی

اهواز، مسئولان و کلیه کارکنان محترم دانشگاه علوم پزشکی جندی شاپور اهواز، به خصوص از سرکار خانم مهندس اکبری، مسئول محترم آزمایشگاه تجزیه دستگاهی گروه بهداشت محیط دانشکده بهداشت اهواز و کلیه کسانی که به نحوی در انجام مطالعات، نمونه برداری و آزمایش‌های فلزات سنگین همکاری داشته‌اند و تقبل زحمت نموده‌اند، صمیمانه تشکر و قدردانی می‌گردد.

بدین وسیله از زحمات ریاست محترم سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور و مدیریت محترم شرکت آبفای اهواز و کلیه واحدهای تحت پوشش، به ویژه از جناب آقای مهندس محمدحسن ربیعی‌راد، مسئول محترم آزمایشگاه مرکزی آب اهواز و کلیه کارشناسان آزمایشگاه که هزینه‌های انجام این تحقیق و انجام برخی از آزمایش‌ها را تقبل کردند تشکر می‌گردد. از مردم خوب شهر

۶- مراجع

- 1- EPA. (2002). "Lead and copper monitoring and reporting guidance for public water system." *Office of Water*, <<http://www.epa.gov/safewater.on line>> (Dec. 4, 2005).
- 2- EPA. (2004). *Edition of the drinking water standards and health advisories*, Office of Water Protection Agency, Washington, D.C.
- 3- EPA. (2005) "Water on tap , what you need to know." *Safe Drinking Water Hotline*, <<http://www.epa.gov/safewater>> (Dec. 4, 2005).
- 4- EPA. (2006). "List of contaminats & their MCLS." *EPA*, <<http://www.epa.gov/safe water/ Mcl.htm .on line>> (March 2006).
- ۵- سواری، ج. (۱۳۸۵). "تعیین پتانسیل خوردگی در شبکه توزیع آب آشامیدنی شهر اهواز با کاربرد شاخص (EPA) قانون سرب و مس." پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده محیط زیست، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران.
- 6- Wilkes University Center for Environmental Quality Geo Environmental Sciences and Engineering Department Corrosive Waters. (1999). "Corrosion, saturation index, balanced water in drinking water systems." <<http://www .wilkes. edu/eqc/corrosion.htm. online>> (Feb. 6, 2005).
- 7- Lytle, D. A., Schock, M. R., Clement, J. A., and Spencer, C. M. (1998). "Using aeration for corrosion control." *Journal AWWA*, 90 (3), 74-88.
- 8- EPA . (2002). "Current drinking water standard." <<http://www.epa. org /wos.html>> (Jan. 5, 2006).
- 9- Mogollan , C. D. (2000). "Water treatment standard and methods, water condition and purification." <<http://www.epa.gov/safewater>> (Feb. 10, 2005).
- 10- Craun , G. F., and Calderon, R. L. (2001). "Waterborne disease outbreaks caused by distribution system deficiencies." *Journal AWWA*, 93(9), 64-74.
- 11- Berend, K., and Trouwborst, T. (1999). "Cement marter pipes as a source of aluminum." *Journal AWWA*, 91 (7), 91-100.
- 12- Zhang, X., Pehkonen, S. O., Kocherginsky, N., and Ellis, G. A. (2002). "Copper corrosion in mildly alkaline water with the disinfectant monochloramine." *Journal Corrosion Sci.*, 44 (11), 2507-2528.
- 13- Davidson, C. M., Peters, N. J., Britton, A., Brady, L., Gardiner, P. H. E., and Lewis, B. D. (2004). "Surface analysis and depth profiling of corrosion products formed in lead pipes used to supply low alkalinity drinking." *Journal Water Science and Technology*, 49 (2), 49-54.
- 14- Commission of the European Union. (1995). *Proposal for the amendment of the drinking water directive*, EU Report, 80/77 EEC. EU. Brussel.
- 15- AWWA. (2003). "About drinking water." <<http://www.awwa.org/advocacy/learn/info/LFAQ.CFM, assessed>> (Feb. 10, 2003).
- 16- EPA . (2004). "Lead and copper rule: A quick reference guide." *Office of Water* <<http:// www.epa.gov/safewater. on line>> (Dec. 6, 2005).
- 17- Clesceria, L. S., Greenberg, A. E., and Eaton, A. D., eds. (1998). "Standard method for examination of water and wastewater." APHA, AWWA and WEF, 20th Ed., Washington, D.C.
- 18- Marshall, W. (1998). *Copper in drinking water: what the lead and copper rule tell us and what is dose not tell us*, USEPA, Reginlo, Seattle, Washington.
- ۱۹- شمس خرم آبادی، ق. ا.، شاهمنصوری، م. ر.، و پورمقدس، ح. (۱۳۸۱). "بررسی میزان نشت ریزآلاینده‌ها ناشی از خوردگی داخلی لوله‌ها در شبکه توزیع آب شهری." مجموعه مقالات دومین همایش دستاوردهای پژوهشی گروه‌های مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه تهران.
- 20- Lytle, D. A., and Schock, M. R. (1997). "An investigation of the impact of alloy composition and pH on corrosion of brass in drinking water." <<http://www.epa.gov/safewater.on line>> (March. 17, 2005).
- 21- Merkel, T. H. (2004). "Copper corrosion: Understanding and modelling general corrosion . " *Journal Water Science & Technology*, 49 (2), 63-71.
- 22- Morley, M. C., and Dvorak, B. L. (2003). "Assessment of source of variation in copper concentrations in Nebraska drinking water systems." <<http://www. state water resources research institute program.htm.on line>> (March, 15, 2005).
- 23- HDR Engineering Inc. (2001). *Handbook of public water systems*, 2nd Ed., John Wiley & Sons, New York.