طراحی سامانه تجزیه و تحلیل خطر و نقاط کنترل بحرانی در سیستم تأمین و توزیع آب آشامیدنی اصفهان از منبع تا نقطه مصرف

اصغر توسلی‌فر[۱]، بیژن بینا[۲]، محمدمهدی امین[۳]، افشین ابراهیمی[۴]، محمد جلالی[۵]

چکیده

مقدمه: تأمین آب سالم و بهداشتی از نیازهای اساسی افراد هر اجتماعی محسوب می‌گردد و تنها با مدیریت پیش‌گیرانه و جامع در برنامه ایمنی آب آشامیدنی مانند سیستم HACCP امکان‌پذیر خواهد بود. HACCP (Hazard Analysis Critical Control Point) یک سیستم کنترل فرایند پذیرفته شده بین‌المللی است که شامل تشخیص و تعیین خصوصیات عوامل خطرساز بر روی محصول مورد فرایند و پیش‌بینی و اجرای اقدامات کنترلی جهت نگهداری و حفظ کیفیت مطلوب محصول در طول فرایند تولید از منبع تا نقطه مصرف است. هدف از انجام این تحقیق، طراحی یک الگو و چارچوب جامع مدیریت خطر بر اساس روش HACCP، به عنوان روشی برای مدیریت کیفیت آب آشامیدنی شهر اصفهان می‌باشد.

روش‌ها: طی این طرح مهم‌ترین خطرات و رویدادهای خطرناک تأثیرگذار بر کیفیت آب در هر سه مقطع آب خام (رودخانه زاینده‌رود)، تصفیه‌خانه بابا شیخ‌علی و سیستم توزیع آب آشامیدنی شهر اصفهان مورد پیش‌بینی، شناسایی و تجزیه و تحلیل قرار گرفت و در قالب هفت اصل سامانه HACCP راهکارها و اقدامات عملی جهت پایش، کنترل و محدودسازی این خطرات در مراحل مختلف ارایه شده است. اطلاعات مورد نیاز از طریق بازدیدهای میدانی صورت گرفته در محدوده مورد مطالعه و نیز از طریق سازمان‌های مرتبط به دست آمد.

یافته‌ها: نتایج حاصل از این تحقیق، حاکی از پتانسیل ایجاد خطرات مختلف حاصل از تغییرات مقطعی کیفیت آب مورد تصفیه در اثر تغییرات فصلی، تخلیه آلاینده‌های مختلف به خصوص توسط جوامع روستایی و مراکز تفریحی حاشیه زاینده‌رود، حوادث طبیعی و غیر مترقبه، حوادث عمدی و خراب‌کارانه، عدم راهبری صحیح فرایندهای فعلی و نیز عدم متناسب‌سازی فرایندهای تصفیه، وسعت و قدمت بالای شبکه توزیع آب آشامیدنی اصفهان می‌باشد.

نتیجه‌گیری: از این رو جهت دستیابی به آب آشامیدنی مطلوب و با کیفیت بالا، لزوم کنترل تخلیه آلاینده‌ها در بالا دست آبگیر با توجه به روند رو به افزایش میزان آلودگی آب زاینده‌رود، متناسب‌سازی فرایندهای تصفیه موجود و حفظ کیفیت آب آشامیدنی در سیستم توزیع، ضروری می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: اصفهان، آب آشامیدنی، زاینده‌رود، HACCP.

نوع مقاله: *تحقیقی*

دریافت مقاله: ۹۰/۴/۲۰ *پذیرش مقاله: ۹۰/۷/۲۰*

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد، کمیته تحقیقات دانشجویی، گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی اصفهان، اصفهان، ایران.

۲. استاد، مرکز تحقیقات محیط زیست، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی اصفهان، اصفهان، ایران. (نویسنده مسؤول)

Email: bina@hlth.mui.ac.ir

۳. دانشیار، مرکز تحقیقات محیط زیست، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی اصفهان، اصفهان، ایران.

۴. استادیار، مرکز تحقیقات محیط زیست، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی اصفهان، اصفهان، ایران.

۵. دانشیار، گروه تغذیه، دانشکده تغذیه و علوم غذایی، دانشگاه علوم پزشکی اصفهان، اصفهان، ایران.

مقدمه

تأمین آب سالم و بهداشتی از نیازهای اساسی افراد هر اجتماعی محسوب می‌گردد و تنها با مدیریت پیش‌گیرانه و جامع در برنامه ایمنی آب آشامیدنی نظیر سامانه (HACCP یا Hazard Analysis and Critical Control Point) امکان‌پذیر خواهد بود. HACCP یک سیستم کنترل فرایند پذیرفته شده بین‌المللی است که شامل تشخیص و تعیین خصوصیات عوامل خطرساز بر روی محصول مورد فرایند و پیش‌بینی و اجرای اقدامات کنترلی جهت نگهداری و حفظ کیفیت مطلوب محصول در طول فرایند تولید از منبع تا نقطه مصرف است. در سال‌های اخیر ایمنی آب آشامیدنی بر اساس این سیستم، مورد توجه و استقبال بعضی از سازمان‌های تأمین کننده آب و یا ناظر بر تأمین آب در کشورهای مختلف قرار گرفته است (۱).

سیستم تأمین آب آشامیدنی شهر ملبورن استرالیا برنامه HACCP را در سال ۱۹۹۹ زمانی که این سیستم جهت کاربرد در سیستم‌های تأمین آب، هنوز در هیچ جای جهان شناخته و استفاده نشده بود، طراحی کرد و در ژوئن سال۲۰۰۰ میلادی پیاده‌سازی و اجرا نمود (۳، ۲).

این سامانه در سال ۱۹۹۹ برای بخشی از منبع آب شهر زوریخ طراحی و اجرا گردید (۴). از دیگر کشورهایی که این سیستم را جهت پیش‌گیری و کنترل آلاینده‌های مختلف تأثیرگذار بر کیفیت آب آشامیدنی، طراحی و پیاده‌سازی نموده‌اند، می‌توان به موارد زیر اشاره کرد: نیوزلند (Nadebaum و همکاران) (۵)، بلژیک (Dewettinck و همکاران) (۶)، فنلاند (Horman و همکاران) (۷)، آلمان (Kistemann و همکاران) (۸)، ایتالیا (Angelillo و همکاران) (۹)، آفریقای جنوبی (Jagals و Jagals) (۱۰)، سوئد (Westrell و همکاران) (۱۱) و انگلستان (Howard) (۱۲). در زمینه طراحی و اجرای سامانه HACCP برای سیستم‌های تأمین، تصفیه و توزیع آب آشامیدنی، تاکنون در ایران مطالعه‌ای انجام نشده است.

آیین کار استفاده از سیستم تجزیه و تحلیل خطر و نقاط کنترل بحرانی به وسیله کمیسیون فنی مربوطه تهیه و تدوین شد و در هشتمین کمیته ملی استاندارد میکروبیولوژی مورخ ۷۶/۱۲/۱۸ مورد تأیید قرار گرفت و به استناد بند ۱ماده ۳ قانون اصلاحی قوانین و مقررات مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران مصوب بهمن ماه ۱۳۷۱ به عنوان استاندارد رسمی ایران منتشر گردید (۱).

شهر اصفهان جزء شهرهای بزرگ ایران است که قسمت عمده آب آشامیدنی آن از طریق آب سطحی (رودخانه زاینده‌رود) تأمین می‌شود. هدف از انجام این طرح، طراحی برنامه ایمنی آب آشامیدنی شهر اصفهان در قالب سامانه HACCP و ارایه راهکارها و اقدامات عملی جهت پایش، کنترل و محدودسازی خطرات مرتبط با ایمنی آب در مراحل مختلف از منبع تا نقطه مصرف است.

روش‌ها

این مطالعه از نوع توصیفی- مقطعی می‌باشد. پس از انجام مراحل پنج‌گانه مقدماتی سیستم که شامل: تشکیل تیم HACCP، توصیف فراورده (آب)، تعیین موارد استفاده از آب، ترسیم نمودار جریان تولید آب آشامیدنی و در نهایت تأیید نمودار جریان از طریق بازدید و مشاهده مراحل فرایندها است، اصول هفت‌گانه سیستم HACCP به ترتیب زیر اجرا گردید:

اصل اول HACCP: شناسایی، پیش‌بینی و تجزیه و تحلیل خطرات (۱۴، ۱۳)؛ مهم‌ترین خطرات و رویدادهای خطرناک تأثیرگذار بر کیفیت آب در هر سه مقطع آب خام (رودخانه زاینده‌رود)، تصفیه‌خانه بابا شیخ‌علی و سیستم توزیع آب آشامیدنی شهر اصفهان مورد شناسایی، پیش‌بینی و تجزیه و تحلیل قرار گرفت. در این راستا عمده اطلاعات مورد نیاز از طرق زیر به دست آمد:

- بازدیدهای میدانی در حوضه آبریز زاینده‌رود، دریاچه سد زاینده‌رود، مسیر رودخانه از سد تا تصفیه‌خانه بابا شیخ‌علی، آبگیر و سایت تصفیه‌خانه با هدف مشاهده و به دست آوردن اطلاعات کلی در زمینه مهم‌ترین منابع آلاینده زاینده‌رود و بررسی فرایندها و واحدهای تصفیه‌ای فعلی تصفیه‌خانه آب از نظر تناسب و توان دستیابی به الزامات کیفی مورد نظر.
- بررسی و تجزیه و تحلیل شاخص کیفی آب (WQI یا Water Quality Index)، مربوط به ۶ سال اخیر (۱۳۸۹- ۱۳۸۴) که توسط سازمان حفاظت محیط زیست استان

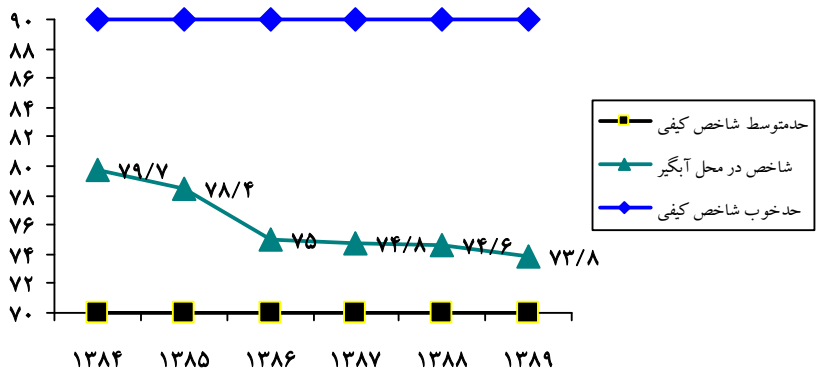
www.mui.ac.ir

اصفهان به صورت ماهیانه درایستگاه‌های چهارده‌گانه پایش کیفیت رودخانه زاینده‌رود (شکل ۱ و ۲) اندازه‌گیری شده بود (۱۵).

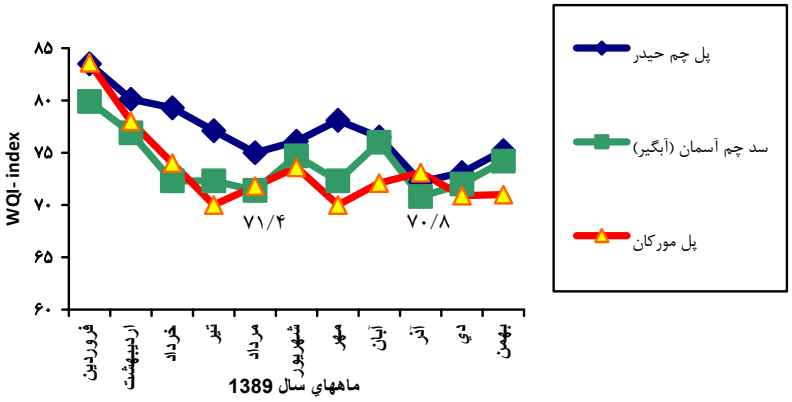
– بررسی و تجزیه و تحلیل اطلاعات پنج سال اخیر (۱۳۸۹– ۱۳۸۵)، مربوط به مهم‌ترین پارامترهای متداول کیفی آب آشامیدنی شهر اصفهان، که توسط مرکز بهداشت استان اصفهان به عنوان سازمان ناظر بر کیفیت آب آشامیدنی اندازه‌گیری شده است.

– بررسی و مطالعه طرح‌های اجرا شده مشابه در کشورهای پیشرو در برنامه ایمنی آب نظیر استرالیا، کانادا و آمریکا و سایر مطالعات انجام شده در زمینه طراحی و اجرای سامانه HACCP در جهان (۱۲–۲).

اصل دوم: تعیین نقاط کنترل بحرانی (Critical control points) (۱۴، ۱۳)؛ نقطه کنترل بحرانی، مرحله یا بخشی از فرایند است که باید در آن‌جا از بروز خطر تهدید کننده ایمنی آب جلوگیری نمود و یا این که تا سطح قابل قبول کاهش داد (۱). در این راستا و جهت تعیین نقاط کنترل بحرانی، خطرات مختلف شناسایی و پیش‌بینی شده در اصل اول سیستم HACCP، مورد بررسی و تجزیه و تحلیل مجدد قرار گرفت (جدول ۱).



شکل ۱: نمودار روند تغییر کیفیت آب رودخانه زاینده‌رود در محل برداشت آب تصفیه‌خانه بابا شیخ‌علی بر اساس میانگین سالیانه شاخص کیفی آب



شکل ۲: تغییرات کیفیت آب بر اساس شاخص کیفی ماهیانه در سه ایستگاه سنجش واقع در بالا دست نقطه آبگیری تصفیه‌خانه باباشیخ‌علی در سال ۱۳۸۹

www.mui.ac.ir

اصل سوم: تعیین حدود بحرانی (Critical limits) (۱۴، ۱۳)؛ حدود بحرانی همان معیارها و استانداردهایی هستند که اختلاف بین آب سالم و ناسالم را مشخص می‌سازند (۱). در این طرح، جهت استخراج و تعیین حدود بحرانی، سعی گردید از همه گزینه‌ها یعنی استانداردهای ملی و بین‌المللی مرتبط با خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی آب خام، مورد تصفیه و آب آشامیدنی نهایی و نیز اطلاعات موجود در مقالات و کتب مرتبط، سیستم‌های طراحی شده در سایر کشورها با در نظر گرفتن شرایط مشابه با طرح مذکور (۱۲-۲)، تجربیات کارکنان تصفیه‌خانه و ... استفاده گردد (جدول ۱).

اصل چهارم: تعیین روش‌های پایش (Monitoring methods) (۱۴، ۱۳)؛ کنترل حدود بحرانی در نقاط کنترل بحرانی مستلزم وجود یک سیستم پویا و مناسب جهت اندازه‌گیری پارامترهای کمی و کیفی خاص و ارایه آن‌ها در سریع‌ترین زمان ممکن جهت واکنش سریع و انجام اقدامات اصلاحی مورد نیاز برای برگشت به حالت طبیعی و مطلوب می‌باشد (۱). در تعیین روش‌های پایش این طرح، هر دو نوع سیستم پایش پیوسته و متناوب در نظر گرفته شده است (جدول ۱).

اصل پنجم: تعیین اقدامات اصلاحی (Corrective actions) (۱۴، ۱۳)؛ در این راستا اقداماتی که باید در زمان خروج از حدود بحرانی توسط اپراتورها و کارکنان بخش بهره‌برداری از سیستم تصفیه و توزیع آب انجام گیرد و نیز مجموعه اقداماتی که نیازمند فعالیت‌های گسترده‌تر و با حساسیت بیش‌تری است و ممکن است همه بخش‌های سیستم تأمین، تصفیه و توزیع آب آشامیدنی یا حتی سازمان‌های دیگر را نیز درگیر نماید، تعیین گردید (جدول ۱).

اصل ششم: برقراری روش‌های تأییدی و ممیزی (Auditing and verification) (۱۴، ۱۳)؛ این اصل در واقع شامل در نظر گرفتن اقدامات مورد نیاز نظارتی بر کارکرد سیستم از ابتدای زنجیره تولید تا دورترین نقطه از شبکه توزیع در قالب تست‌های تکمیلی و ممیزی داخلی (توسط تأمین کنندگان آب) و ممیزی بیرونی (توسط ناظرین بر کیفیت آب) می‌باشد (۱).

اصل هفتم: مستندسازی و ثبت گزارشات (Documentation) (۱۴، ۱۳)؛ نتایج پایش پارامترهای مورد نظر و کلیه اقدامات و فعالیت‌های انجام شده در نقاط کنترل بحرانی، باید به صورت دقیق و کامل ثبت و برای مدت مشخصی نگهداری گردد تا علاوه بر کمک به کنترل کیفی آب در هر نقطه و فرایند، جهت اعتبارسنجی (طبق اصل ششم) نیز مورد استفاده قرار گیرد (۱).

یافته‌ها

بر اساس بازدیدهای میدانی انجام شده در محدوده مکانی و زمانی مورد مطالعه و بررسی سایر مطالعات انجام شده در زمینه تعیین منابع عمده زاینده‌رود (۱۵)، از مهم‌ترین خطرات تهدید کننده کیفیت آب زاینده‌رود می‌توان به مواردی مانند؛ نوع کاربری زمین حوضه آبریز به خصوص حاشیه رودخانه (تخلیه آلاینده‌های مرتبط با فعالیت‌هایی نظیر کشاورزی و دامداری، باغداری، مزارع پرورش ماهی و ...)، تخلیه فاضلاب خانگی اغلب مناطق روستایی حاشیه رودخانه، برخی ازمراکز تفریحی و...، رواناب شهری و کشاورزی (طی فصول بارندگی، وقوع بارش‌های شدید و سیلاب)، کاهش حجمی آب رودخانه (ناشی از برداشت‌های غیر مجاز آب رودخانه به ویژه در بخش کشاورزی، خشکسالی‌های اخیر و ...)، عدم دفع بهداشتی زباله در بیش‌تر مناطق روستایی و مراکز تفریحی حاشیه رودخانه و همچنین امکان نشت شیرابه از محل‌های دفع زباله، وجود زیستگاه‌های طبیعی حیات وحش و پرندگان بومی و مهاجر در حوضه آبریز، خطر تخلیه مواد نفتی به رودخانه (عبور خط لوله انتقال نفت خام از حوضه آبریز و در بالا دست نقطه آبگیری، نشت مواد سوختی ناشی از کاربرد موتورهای دیزلی در برداشت آب کشاورزی، شستشوی اتومبیل‌ها در بستر رودخانه توسط گردشگران و ...)، اثرات آلودگی هوا بر کیفیت آب رودخانه (ناشی از مجاورت صنایع ذوب آهن با رودخانه و تصفیه‌خانه آب، ترسیب یا شستشوی گرد وغبارهای فصلی ناشی از شهرهای غربی و کشورهای مجاور)، وقوع پدیده

یوتریفیکاسیون (شکوفایی جلبکی، تجزیه گیاهی) در نقاط راکد رودخانه نظیر پشت سد تنظیمی، آتش‌سوزی اتفاقی یا عمدی مراتع و زمین‌های کشاورزی حوضه آبریز، معادن فعال یا متروکه در حوضه آبریز و تخلیه زهاب اسیدی به جریانات آبی، ورود مواد رادیواکتیو طبیعی و مصنوعی به جریانات آبی، تروریسم و اقدامات خراب‌کارانه (تخلیه سموم و مواد شیمیایی خطرناک در بالا دست آبگیری) اشاره کرد.

– بر اساس شکل ۱، متوسط سالیانه شاخص کیفی آب زاینده‌رود در محل آبگیری از ۷۹/۷ در سال ۱۳۸۴ به ۷۳/۸ در سال ۱۳۸۹رسیده است و به طور متوسط ۶ واحد افت کیفیت در طول شش سال مورد مطالعه داشته است که به آستانه شاخص کیفی متوسط (WQI = ۷۰) نزدیک می‌گردد (۱۵). این نتایج بیانگر افزایش تخلیه آلاینده‌ها با گذشت زمان و بدون توجه به ظرفیت خودپالایی و ترقیق آلاینده‌ها می‌باشد.

– بر اساس شکل ۲، با بررسی روند تغییرات شاخص کیفی آب زاینده‌رود در طول ماه‌های سال ۱۳۸۹ در سه ایستگاه سنجش واقع در بالا دست آبگیری و به خصوص ایستگاه سد چم آسمان (محل آبگیری) مشاهده می‌گردد، بهترین کیفیت آب مورد برداشت مربوط به ماه فروردین و بدترین آن مربوط به مرداد و آذر می‌باشد (۱۵).

بدون در نظر گرفتن حوادث خاص که منجر به تغییرات ناگهانی و شدید کیفی آب می‌گردد، در شرایط طبیعی شاید بتوان بحرانی‌ترین زمان برای دریافت آب خام از محل آبگیر را اواسط تابستان (کاهش حجم آبگذر) و اوایل زمستان (بارندگی و تأثیر رواناب‌های شهری و کشاورزی) قلمداد کرد که نیازمند توجه خاصی به عملکرد واحدهای تصفیه در برآوردن الزامات کیفی آب می‌باشد.

– با در نظر گرفتن نتایج حاصل از بازدیدهای میدانی انجام شده و شناسایی و پیش‌بینی مهم‌ترین خطرات مؤثر بر کیفیت آب خام، بررسی واحدها و فرایندهای فعلی تصفیه آب مستقر در تصفیه‌خانه باباشیخ‌علی از نظر نوع فرایند، مواد شیمیایی مورد استفاده در واحدهای مختلف و محل کاربرد آن‌ها، نوع سیستم پایش و اندازه‌گیری پارامترهای کمی و کیفی آب مورد تصفیه، وضعیت نگهداری و بهره‌برداری از وسایل، تجهیزات و واحدهای تصفیه‌ای، تعداد، تناسب و مهارت اپراتورها در بهره‌برداری از تصفیه‌خانه، استانداردها و الزامات کیفی مورد نظر آب خروجی از هر واحد و خروجی نهایی تصفیه‌خانه، وسعت و قدمت سیستم توزیع آب آشامیدنی و سایر شرایط موجود، اصول سامانه تجزیه و تحلیل خطر و نقاط کنترل بحرانی، طراحی گردید که خلاصه‌ای از برخی اصول آن در قالب جدول ۱، ارایه شده است.

بحث

ایران جزء کشورهای به نسبت موفق در زمینه تأمین آب آشامیدنی سالم می‌باشد، ولی با توجه به پیشرفت‌های سریعی که در بهینه‌سازی برنامه‌های ایمنی آب آشامیدنی در دنیا در حال انجام است و همچنین تجربیات کشورهای موفق در این زمینه، استفاده از رویکردهای چند مانعی (Multi barriers) و آنالیز خطر در سیستم‌های تأمین، تصفیه و توزیع آب آشامیدنی به خصوص در شهرهای بزرگ کشور –که عمده آب آشامیدنی جمعیت ساکن در آن‌ها از طریق آب‌های سطحی تأمین می‌گردد– ضروری به نظر می‌رسد. حفاظت از منبع، اولین و مهم‌ترین اقدام در جهت حفظ کیفیت آب آشامیدنی است.

مدیریت حوضه آبریز اغلب فراتر از مسؤولیت و قدرت سازمان‌های تأمین کننده آب آشامیدنی است. بنابراین برنامه‌ریزی و اجرای روش‌های کنترل، نیاز به جلب همکاری سایر ارگان‌ها شامل مقامات سیاست‌گذار، هیأت‌های ناظر بر حوضه آبریز، سازمان‌های کشاورزی، راه و جاده‌سازی، ستادهای حوادث غیر مترقبه، مؤسسات تجاری و صنعتی و سایر نهادهایی که فعالیت آن‌ها به نوعی باعث تغییر کیفیت آب پذیرنده می‌گردد، می‌باشد. در این خصوص ارگان‌ها و سازمان‌های ذی‌ربط و مسؤول حفاظت از کیفیت آب رودخانه، باید در جهت شناسایی کامل منابع آلاینده و کنترل تخلیه آن‌ها به جریانات آبی موجود در حوضه آبریز تلاش مضاعف داشته باشند (۱).

مقایسه نتایج این مطالعه با مطالعات انجام شده در سایر کشورها نظیر برنامه HACCP در شهر ملبورن استرالیا در سال ۱۹۹۹ (۳، ۲)، سیستم تأمین آب آشامیدنی شهر زوریخ در سال ۲۰۰۰ (۴)، سیستم تأمین آب شهر کیوتو و اوساکای ژاپن در سال ۲۰۰۳ (۱۶)، تصفیه‌خانه‌های آب در کشور فرانسه در سال

www.mui.ac.ir

جدول ۱: خلاصه‌ای از کاربرد اصول HACCP (اصول اول، دوم، سوم و پنجم) در برنامه ایمنی آب آشامیدنی اصفهان

مرحله/ فرایند/ شماره CCP	آنالیز خطر	روشهای کنترل	حدود بحرانی	اقدامات اصلاحی
نقطه آبگیری ۱CCP	افت شدید کیفیت آب ورودی به آبگیر، (اغلب ناشی از تغییرات ناگهانی و مقطعی کیفی آب رودخانه) (میکروبی، شیمیایی، فیزیکی)	PH TOC EC	۴/۵ –۱۱/۵ mg/l۱۰ µS/cm۳۰۰۰<	– کنترل آبگیر از نظر ورود افراد متفرقه و غیر مسؤول – کاهش جریان ورودی به تصفیه‌خانه – تغییر عمق آبگیری – متناسب‌سازی فرایندهای پایین دستی در حذف آلاینده‌ها با توجه به نوع و ماهیت آن‌ها
انعقاد و لخته‌سازی ۲CCP	عدم حذف آلاینده‌های آلی طی فرایند انعقاد (پیش‌سازهای THMs، جلبک‌ها، سموم و آفت‌کش‌ها) فلزات سنگین (میکروبی، شیمیایی)	خروجیTOC EC قلیاییت فلزات سنگین پلانکتون‌ها توده‌های جلبکی	mg/l۲ µs/cm۷۵۰–۲۰۰۰ درصد حذف TOC بر اساس قلیاییت نظتیم می‌گردد مطابق با استاندارد ملی cell/ml۲۰۰۰ عدم مشاهده در دیواره حوض‌ها و واحدهای بالا دستی تصفیه	– حذف TOC طی فرایند انعقاد پیشرفته (تنظیم PH در فرایند انعقاد در رنج ۶– ۵) – کاهش دوز گاز کلر تزریقی میانی (ورودی واحد ته‌نشینی) تا ۰/۵ میلی‌گرم در لیتر در جهت جلوگیری از تولید THMs – در نظر گرفتن فرایندهای مناسب در تصفیه‌خانه نظیر فرایندهای مبتنی بر جذب (PAC –GAC) به صورتSTAND BY جهت استفاده در مواقع نیاز – انجام فرایند بهینه انعقاد (۰ تا ۸۰ درصد قابلیت حذف جلبک‌ها) یا کاربرد شوک تصفیه (استفاده از دوز بالای کلر در شب به میزان ۳–۲ میلی‌گرم در لیتر به صورت متناوب) در مرحله گندزایی میانی در حذف توده‌های جلبکی
ته‌نشینی و گندزدایی میانی با کلر و ازن ۳CCP	خروجی حاوی TOC بالا (فیزیکی، شیمیایی)	کدورت TOC رنگ بو	NTU۳ mg/l۲ TCU۲۰ TON۵<	– افزایش دوز تزریقی ازن در ورودی و خروجی واحد ته‌نشینی جهت اکسیداسیون TOC باقی‌مانده – درصورت لزوم استفاده ازدوغاب کربن فعال در ورودی فیلتراسیون

ادامه جدول ۱: خلاصه‌ای از کاربرد اصول HACCP در برنامه ایمنی آب آشامیدنی اصفهان

مرحله/ فرایند/ شماره CCP	آنالیز خطر	روشهای کنترل	حدود بحرانی	اقدامات اصلاحی
صاف‌سازی ۴CCP	کدورت بالا به همراه یا بدون لخته‌های حاوی باقی‌مانده‌های فلزات سنگین و شمارش باکتریایی بالا در جریان آب خروجی از صافی (فیزیکی، میکروبی، شیمیایی)	کدورت ورودی کدورت (نقطه شکست هر صافی) کدورت مجموعه صافی‌ها سرعت جریان شستشو افت فشار هر صافی P/Aتست آلومینیوم آهن فلزات سنگین	NTU۱۵ NTU۰/۵ NTU۱ m/s۳ زیر حد تعیین شده برای شستشوی معکوس ml۱۰۰ /۱۰۰ mg/l۰/۲ mg/ l۰/۳ طبق استاندارد ملی	– تنظیم سیکل شستشوی معکوس (نرخ شستشو، طول مدت) – خارج کردن فیلتر از مدار و رفع مشکل احتمالی (حذف دستی گلوله‌های گلی) – جایگزینی مدیای از دست رفته– رفعAir binding– رفع انقباض مدیا) – کاهش نرخ فیلتراسیون از طریق کاهش جریان ورودی – کنترل افت فشار و نقطه شکست کدورت و انجام شستشوی معکوس در زمان لازم – از مدار خارج کردن صافی و انجام شستشوی سطحی و سپس به کارگیری مجدد (از باز کردن شیر Back wash در طول دوره کارکرد فیلتر جهت جدا کردن جامدات گیر افتاده در بستر باید اجتناب کرد) – افزایش دوز گندزدای نهایی (گاز کلر)
گندزدایی نهایی ۵CCP	عدم تنظیم کلر باقی‌مانده نهایی متناسب با تغییرات کیفی آب و محیط و آلودگی میکروبی جریان خروجی (میکروبی)	PH کدورت لحظه ای کلر آزاد باقیمانده C.T (کلر) P/Aتست تعداد ذرات	۷–۸/۵ NTU۱ ۱ –۲ mg/l 30-60mg.min/l صفر در ۱۰۰ml /ml۳۰	- در نظر گرفتن دستگاه‌های جایگزین تزریق کلر – افزایش دوز مصرفی (تنظیم C.T) تا رسیدن به باقی‌مانده مطلوب از طریق تشخیص نقطه شکست کلر – تنظیم PH بهینه آب ورودی به مرحله گندزدایی نهایی – کلرزنی مجدد خروجی مخازن ذخیره در تصفیه‌خانه در صورت لزوم – بستن شیرهای خروجی تصفیه‌خانه تا حصول اطمینان از کیفیت بیولوژیکی آب

ادامه جدول ۱: خلاصه‌ای از کاربرد اصول HACCP در برنامه ایمنی آب آشامیدنی اصفهان

مرحله/ فرایند/ شماره CCP	آنالیز خطر	روشهای کنترل	حدود بحرانی	اقدامات اصلاحی
سیستم توزیع (مخازن ذخیره و شبکه توزیع) ۶CCP	آلودگی مجدد میکروبی Recontamination رشد مجدد میکروبی (Re growth) خروجی مخازن یا نقاط مختلف شبکه توزیع (میکروبی)	PH کلرآزاد (مخازن) P/Aتست فشار آب شبکه کدورت لحظه ای کلرآزاد (شبکه) HPC شکایات مردمی	۸< PPM۰/۵-۰/۸ صفر در ۱۰۰ml psi۳۰-۱۰۰ NTU۵< PPM۰/۲-۰/۸ CFU/ml۵۰۰< عدم اعتراض از طعم، بو،رنگ و کدورت	– بررسی مخزن از نظر ورود آلاینده‌ها وشستشو (Flushing) – کلرزنی مجدد در خروجی مخزن و اطمینان از سلامت میکروبی آب با انجام آزمایشات متوالی تا رفع آلودگی – شناسایی و رفع سریع نقاط شکستگی لوله یا هر نوع نقص در سیستم توزیع آب – شستشوی (Flushing) خطوط شبکه توزیع در نقاط کور شبکه و با تعداد شکایات زیاد از کیفیت آب (طعم، بو، رنگ و کدورت) – Ring کردن نقطه کور شبکه – بررسی شکایات مصرف کنندگان از کیفیت آب نظیر طعم، بو، رنگ، کدورت و ... مراجعه و رفع مشکل
سیستم توزیع (مخازن ذخیره و شبکه توزیع) ۷CCP	افت میزان باقی‌مانده آزاد گندزدا در خروجی مخازن یا نقاط مختلف شبکه توزیع (میکروبی)	کدورت لحظه ای کلر آزاد شبکه PH کلر آزاد مخزن	NTU۵< PPM۰/۲> ۷-۸/۵ PPM۰/۵-۰/۸	– شناسایی و رفع سریع نقاط شکستگی لوله یا هر نوع نقص در سیستم – تعویض خط لوله مربوطه در صورت تشخیص قدمت بالا و فرسودگی با پتانسیل مصرف کلر بالا – Ring کردن نقطه کور شبکه – در صورت لزوم انجام گندزدایی مجدد در مخازن ذخیره، خطوط اصلی و نقاط کور شبکه
سیستم توزیع (مخازن ذخیره و شبکه توزیع) ۸CCP	تخلیه یک باره (Major Spill) سموم و سایر آلاینده‌های خطرناک در اثر اقدامات تروریستی (میکروبی، شیمیایی)	PH کدورت پیوسته TOC EC ورود و خروج افراد	۶/۵-۹ NTU۵< عدم خروج از حد نرمال µS/cm۲۰۰۰< عدم ورود افرادغیر مسؤول به محوطه مخازن	– امکان بسته شدن اتوماتیک خروجی مخازن در مواقع خروج پارامترهای شاخص از حد بحرانی نظیر TOC، PH، EC – بررسی فوری علت یا علل تغییرات کیفی آب و انجام سایر آنالیزهای کیفی تکمیلی تا رسیدن به نتایج مطلوب – تخلیه آب آلوده شده و جلوگیری از ورود به شبکه –اطلاع‌رسانی به مصرف کنندگان و ارایه توصیه‌ها

۲۰۰۳ (۱۷)، تصفیه‌خانه و شبکه توزیع Cape Town آفریقای جنوبی در سال ۲۰۰۴ (۱۰) و سایر مطالعات انجام شده، حاکی از تأکید کلیه مطالعات از جمله این تحقیق بر حفاظت از حوضه آبریز و کنترل تخلیه آلاینده‌ها جهت جلوگیری از کاهش کیفیت کلی آب مورد تصفیه می‌باشد.

با توجه به پتانسیل بالای آلودگی آب رودخانه زاینده‌رود به علت تخلیه آلاینده‌های مختلف به خصوص ناشی از فعالیت‌های خانگی و کشاورزی در حوضه آبریز و بالا دست نقطه آبگیری، تصفیه‌خانه آب اصفهان که تأمین کننده آب آشامیدنی بیش از ۴۰ شهر و ۴۰۰ روستا می‌باشد و عدم توجه به ظرفیت خودپالایی و سهم‌بندی بار آلاینده‌ها و نیزمهم‌تر از همه تغییر ماهیت آلاینده‌های معلق به محلول و معدنی به آلی، انتظار می‌رود در سال‌های آتی کیفیت آب مورد تصفیه هم چنان رو به تنزل نهد (۱۵).

تحت این شرایط، به طور قطع دستیابی به استانداردهای خروجی آب آشامیدنی، مستلزم استفاده از فرایندهای پیشرفته تصفیه و صرف هزینه‌های بالا خواهد بود. با عنایت به نتایج حاصل از این طرح و مطالعه توصیفی انجام شده در حوضه آبریز زاینده‌رود، اغلب منابع آلاینده بالا دست آبگیر تصفیه‌خانه باباشیخ‌علی، به نوعی وارد کننده بار میکروبی به جریان آب بوده که می‌تواند مهم‌ترین تهدید کیفیت آب مورد تصفیه باشد. بر این اساس بیش‌ترین نقاط کنترل بحرانی تعیین شده در این طرح به کنترل خطرات میکروبی اختصاص دارد و کنترل خطرات شیمیایی و فیزیکی در اولویت‌های بعدی قرار گرفته‌اند.

با فرض این که واحدهای تصفیه به خوبی کنترل و مورد بهره‌برداری قرار گیرند و خروجی تصفیه‌خانه به طور کامل با استانداردها و الزامات کیفی مورد نظر مطابقت داشته باشد، آبی که وارد سیستم توزیع می‌گردد با توجه به وسعت و قدمت شبکه توزیع آب اصفهان، از لحظه ورود تا زمانی که به دست مصرف کننده می‌رسد سیر تنزل کیفیت را طی خواهد کرد. بنابراین حفظ کیفیت آب از طریق پایش مستمر و کنترل پارامترهای مرتبط با کیفیت فیزیکی، شیمیایی و به خصوص میکروبی در کلیه نقاط سیستم توزیع و نه فقط خطوط اصلی ضروری است.

کنترل خطرات میکروبی در طول فرایندهای تصفیه و سیستم توزیع از طریق در نظر گرفتن نقاط کنترل بحرانی در واحدهایی نظیر انعقاد و لخته‌سازی ($CCP_۲$)، گندزدایی میانی ($CCP_۳$)، صاف‌سازی ($CCP_۴$)، گندزدایی نهایی ($CCP_۵$) و سیستم توزیع ($CCP_۶$ –$CCP_۸$) و اعمال کنترل بیش‌تر در این نقاط جهت حفظ ایمنی آب می‌تواند منجر به افزایش ضریب اطمینان به خصوص از لحاظ کیفیت میکروبی گردد. در برخی از طرح‌های کیفیت آب آشامیدنی، قبل و بعد از اجرای برنامه HACCP مورد ارزیابی و مقایسه قرار گرفت، نتایج نشان دهنده ارتقای کیفیت آب به ویژه ازجنبه میکروبی، پس از اجرای آن می‌باشد (۲۰–۱۸).

اصول و مراحل انجام کار در همه مطالعات مورد مقایسه با هم همخوانی داشته است، ولی به دلیل تفاوت در نوع و میزان منابع آلاینده منبع تأمین آب مورد تصفیه که اغلب رودخانه یا دریاچه می‌باشد، وجود یا فقدان حوضه‌های آبریز حفاظت شده، نوع فرایندهای تصفیه، دیاگرام فرایند جریان، نوع و محل کاربرد مواد شیمیایی در تصفیه آب، تجهیزات پایش و سنجش پارامترهای کیفی ورودی و خروجی واحدها، استانداردها و الزامات کیفی مورد نظر آب خام، آب مورد تصفیه و خروجی تصفیه‌خانه، خصوصیات سیستم توزیع آب و در نهایت دیدگاه و نظرات گروه طراح از نظر تشخیص و تعیین تعداد و محل نقاط کنترل بحرانی، تعیین حدود بحرانی، روش‌های پایش و اقدامات اصلاحی و غیره همخوانی کامل ندارد. این عدم همخوانی در همه طرح‌های مرتبط با برنامه ایمنی آب وجود داشته و به اصل و ماهیت مطالعات خللی وارد نمی‌نماید.

بدیهی است در صورت تغییر در شرایط فعلی سیستم تأمین، تصفیه و توزیع آب، مراحل باید دوباره مورد ارزیابی و اصلاح قرار گیرد. در شرایط طبیعی و صرف نظر از هر گونه حادثه‌ای که منجر به افت شدید کیفیت آب مورد تصفیه در سال‌های اخیرگردید و با توجه به بررسی مهم‌ترین پارامترهای اندازه‌گیری شده فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی آب خروجی تصفیه‌خانه و سیستم توزیع شهر اصفهان توسط ارگان‌ها و سازمان‌های تأمین کننده آب آشامیدنی و نیز سازمان‌های ناظر بر کیفیت آب آشامیدنی در چند سال اخیر، به نظر می‌رسد فرایندهای فعلی تصفیه‌خانه توانسته است الزامات کیفی آب آشامیدنی طبق استاندارد ایران را برآورده سازد.

www.mui.ac.ir

با این حال نتایج حاصل از این تحقیق و تحقیقات مشابه در زمینه تعیین منابع آلاینده زاینده‌رود (۱۵)، حاکی از پتانسیل ایجاد خطرات مختلف حاصل از تغییرات مقطعی کیفیت آب مورد تصفیه در اثر تغییرات فصلی، تخلیه آلاینده‌های مختلف به خصوص توسط جوامع روستایی و مراکز تفریحی حاشیه زاینده‌رود، حوادث طبیعی و غیر مترقبه، حوادث عمدی و خراب‌کارانه، عدم راهبری صحیح فرایندهای فعلی و نیز عدم متناسب‌سازی فرایندهای تصفیه، وسعت و قدمت بالای شبکه توزیع آب آشامیدنی اصفهان می‌باشد.

از این رو جهت دستیابی به آب آشامیدنی مطلوب و با کیفیت بالا، لزوم کنترل تخلیه آلاینده‌ها در بالا دست آبگیر، متناسب‌سازی فرایندهای تصفیه موجود و حفظ کیفیت آب آشامیدنی در سیستم توزیع، ضروری می‌باشد. با عنایت به روند رو به رشد آلودگی آب خام، بزرگی سیستم تأمین، تصفیه و توزیع آب آشامیدنی اصفهان و اهمیت بالای تأمین سلامت و ایمنی آب آشامیدنی جمعیت تحت پوشش آن، اجرای برنامه ایمنی آب آشامیدنی در قالب سیستمی نظیر HACCP، به عنوان سیستمی پویا و انعطاف‌پذیر از طریق اعمال کنترل بیش‌تر در نقاط و مراحل خاص فرایند، یعنی نقاط کنترل بحرانی می‌تواند با کنترل مهم‌ترین خطرات تأثیرگذار بر کیفیت آب مورد تصفیه و آب موجود در شبکه توزیع در حفظ یا ارتقای کیفیت آب آشامیدنی مؤثر باشد.

References

1. Yazdanbakhsh A, Manshuri M, Nabizadeh R, Jahed GH, Fallahzadeh R. Guidelines of water safety plan based on hazard analysis and critical control point system. 1st ed. Tehran: Avay e Ghalam Publication; 2008. [In Persian].
2. Sean W. Melbourne Water's Eastern Treatment Plant (ETP). Proceedings of the 68th Annual Water Industry Engineers and Operators Conference; 2005 Sep 7-8; Victoria, Australia; 2005.
3. Jayaratne A. Application of a risk management system to improve drinking water safety. J Water Health 2008; 6(4): 547-57.
4. Deere D. Water Safety Frameworks and Risk-Based Water Quality Management for Monsoonal Community and Urban Water Supplies. Government of Bangladesh Water and Sanitation Sector, Australian Study Tour Report [Online]. 2005; Available from: URL: www.iwaponline.com/jwh/
5. Nadebaum P, Chapman M, Ortisi S, Baker A. Application of quality management systems for drinking water quality. Water Supply 2003; 3(1-2): 359-64.
6. Dewettinck T, Van HE, Geenens D, Van HK, Verstraete W. HACCP (Hazard Analysis and Critical Control Points) to guarantee safe water reuse and drinking water production--a case study. Water Sci Technol 2001; 43(12): 31-8.
7. Horman A, Rimhanen-Finne R, Maunula L, Von Bonsdorff CH, Rapala J, Lahti K, et al. Evaluation of the purification capacity of nine portable, small-scale water purification devices. Water Sci Technol 2004; 50(1): 179-83.
8. Kistemann T, Dangendorf F, Exner M. A geographical information system (GIS) as a tool for microbial risk assessment in catchment areas of drinking water reservoirs. Int J Hyg Environ Health 2001; 203(3): 225-33.
9. Angelillo IF, Viggiani NM, Greco RM, Rito D. HACCP and food hygiene in hospitals: knowledge, attitudes, and practices of food-services staff in Calabria, Italy. Collaborative Group. Infect Control Hosp Epidemiol 2001; 22(6): 363-9.
10. Jagals C, Jagals P. Application of HACCP principles as a management tool for monitoring and controlling microbiological hazards in water treatment facilities. Water Sci Technol 2004; 50(1): 69-76.
11. Westrell T, Schonning C, Stenstrom TA, Ashbolt NJ. QMRA (quantitative microbial risk assessment) and HACCP (hazard analysis and critical control points) for management of pathogens in wastewater and sewage sludge treatment and reuse. Water Sci Technol 2004; 50(2): 23-30.
12. Howard G. Water safety plans for small systems: a model for applying HACCP concepts for cost-effective monitoring in developing countries. Water Sci Technol 2003; 47(3): 215-20.
13. FAO/ WHO Codex Alimentarius Commission, Hazard Analysis and Critical Control Point(HACCP) System and Guidelines for its Application, Annex to the Recommended International Code of Practice - General Principle of Food Hygiene, CAC/RCP 1-1969, Rev. 3 [Online]. 2003; Available from: URL: www.mhlw.go.jp/english/topics/importedfoods/guideline/dl/04.pdf/
14. Khanghahi H, Jalali M, Akbarian MR. Guidelines of application of hazard analysis and critical control point system in food industries. 1st ed. Isfahan: Publications Unit, Isfahan University Jihad; 2004. p. 110-33.
15. Lahijan Zadeh A, Safigholi H, Ghuzizadeh SH, Kabi H, Shiran S, Nejad Ahmadi SH. Survey of Zayandehroud quality In Isfahan provice [Online]. 2009; Available from: URL: www.isfahan-doe.ir/user/Index.js/

16. Masayuki M. Source Water Protection of Yodo River and Water Quality Management in Osaka Municipal WaterworksS.Water Examination Laboratory, Osaka Municipal Waterworks Bureau 1-3-14, Kunijima, Higashiyodogawa-ku, Osaka [Online]. 2011; Available from: URL:http://www.niph.go.jp/soshiki/suido/pdf/h21JPUS/abstract/r7-3.pdf/
17. McCoy WF. Using Hazard Analysis and Critical Control Point Water Management Plans to Prevent Legionellosis [Online]. 2008; Available from: URL: http://www.phigenics.com/news/?id=2d4a3611-ddb2-4971-99dc-4ea89aac7f7d/
18. City of Austin. Austin Water and Wastewater Utility Hazard Analysis Critical Control Point Plan. Denver, Colo: Awwa Research Foundation Internal Report [Online]. 2003; Available from|: URL: www.epa.gov/ogwdw/.../tcr/pdfs/issuepaper/
19. World Health Organization. Guidelines for Drinking-water Quality. 3rd ed. Geneva: World Health Organization; 2006.
20. World Health Organization. Guidelines for Drinking-water Quality: Recommendations. 3rd ed. Geneva: World Health Organization; 2004.

Designing Hazard Analysis and Critical Control Point System in Drinking Water Supply System of Isfahan, Iran from Resource to Endpoint

Asghar Tavasolifar[1], Bijan Bina[2], Mehdi Amin Mohammad[3], Afshin Ebrahimi[4], Mohammad Jalali[5]

Abstract

Background: Provision of safe drinking water is one of the basic needs of every society which will be possible only through preventive and comprehensive management of drinking water security programs such as Hazard Analysis Critical Control Point (HACCP). HACCP is an internationally accepted process control system which includes recognition and determination of the risk factors properties over the under-process product. It also includes prediction and implementation of control measures to preserve and keep the ideal quality of product during the production process from supply to consumption. This study aimed to design a comprehensive risk management framework according to HACCP system as a method to manage the quality of drinking water in Isfahan, Iran.

Methods: In this research, the most important risks and risky events affecting water quality in all of the three sections of raw water (Zayandehroud River), Baba Sheikh Ali water treatment plant, and Isfahan's drinking water distribution system were predicted, identified, and analyzed. Practical solutions and measures for the protection, control, and limitation of the risks in different phases from water supply to consumption point were presented in the form of seven principles of the HACCP system. Required information was obtained through field inspections in the study area and also through related organizations.

Findings: In this research, a potential of various hazards was found due to sectional changes in water quality during treatment process. Such changes might in turn be a result of seasonal changes, discharge of various pollutants, especially by rural communities and sport areas in banks of Zayandehroud River, natural and sudden accidents, subversive accidents, incomplete operation and inappropriate current treatment processes, and high area and age of Isfahan water distribution system.

Conclusion: In order to reach ideal and high-quality drinking water, it is necessary to control the discharge of pollutants into the upper hand water of the penstock. In addition, considering the increasing trend of Zayandehroud River pollution, proportionate treatment processes in the water treatment plant and preserving the quality of water through the whole distribution system of the city seem necessary.

Keywords: Isfahan, Drinking Water, Zayandehroud River, Hazard Analysis Critical Control Point

1- MSc Student, Student Reaserch Committee, Department of Environmental Health Engineering, School of Health, Isfahan University of Medical Sciences, Isfahan, Iran.
2- Professor, Environment Research Center, Isfahan University of Medical Sciences, Isfahan, Iran.
Email: bina @hlth.mui.ac.ir
3- Associate Professor, Environment Research Center, School of Health, Isfahan University of Medical Sciences, Isfahan, Iran.
4- Assistant Professor, Environment Research Center, School of Health, Isfahan University of Medical Sciences, Isfahan, Iran.
5- Associate Professor, Department of Nutrition, School of Nutrition and Food Sciences, Isfahan University of Medical Sciences, Isfahan, Iran.