

ارزیابی کیفیت آب تولیدشده توسط سیستم‌های تصفیه آب خانگی مبتنی بر اسمز معکوس با استفاده از سیستم HACCP

سلیمه رضائی نیا^۱، سیمین ناصری^۲، مهدی فرزادکیا^۳، علی اسرافیلی^۳، میترا غلامی^۳ و^۵

^۱ دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی ایران، تهران، ایران

^۲ مرکز تحقیقات کیفیت آب، پژوهشکده محیط زیست، دانشگاه علوم پزشکی تهران، تهران، ایران

^۳ استاد گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی ایران، تهران، ایران

^۴ دانشیار گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی ایران، تهران، ایران

^۵ استاد گروه مهندسی بهداشت محیط، مرکز تحقیقات تکنولوژی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت محیط، دانشگاه علوم پزشکی ایران، تهران، ایران

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۶/۲/۴؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۵/۲۰

چکیده

زمینه و هدف: مزیت انتخاب سیستم‌های تصفیه آب خانگی نسبت به آب‌لوله‌کشی بر اساس تضمین‌کننده سلامت انسان از خطرات بهداشتی توسط این سیستم‌ها صورت می‌گیرد. تجزیه و تحلیل خطر و نقاط کنترل بحرانی (HACCP) یک چهارچوب جهت شناسایی و مدیریت خطرات قابل توجه از منبع تا نقطه مصرف در فرایند تولید آب آشامیدنی است. لذا این پژوهش باهدف معرفی سیستم HACCP جهت شناسایی و محدودسازی مهم‌ترین خطرات ایجادشده در فرایند تولید آب آشامیدنی توسط سیستم‌های تصفیه خانگی مبتنی بر اسمز معکوس در شهر تهران انجام شده است. **مواد و روش‌ها:** خطراتی که ممکن است در هر مرحله از تولید آب آشامیدنی توسط سیستم‌های تصفیه آب خانگی به وجود آید، شناسایی شد. بر اساس اصول هفت‌گانه HACCP، نقاط کنترل بحرانی (CCP) انتخاب شد و حدود بحرانی، نظارت، اقدامات کنترلی و اصلاحات تعیین شد. برداشت نمونه آب از هر یک از نقاط کنترل بحرانی انجام شد. پارامترهای فیزیکوشیمیایی و میکروبی با روش‌های استاندارد موردسنجش قرار گرفتند. **یافته‌ها:** نتایج مربوط به سنجش خطرات در CCP نشان می‌دهد که پارامترهای pH، نیترات، کربن آلی کل و شاخص‌های میکروبی کلی فرم کل و کلی فرم مدفوعی در همه CCP های تعیین شده در محدوده بحرانی بودند. درحالی‌که پارامترهای سختی کل، فلوراید و شاخص میکروبی HPC صرفاً در CCP1 در محدوده بحرانی قرار داشتند. **نتیجه‌گیری:** نتایج نشان داد که سیستم HACCP را می‌توان جهت کاهش خطرات و افزایش ایمنی کیفیت آب خروجی سیستم‌های تصفیه آب خانگی به کاربرد. در همین راستا بایستی پایش منظم در دوره تناوب مشخص توسط اپراتور مناسب صورت گیرد.

کلمات کلیدی: سیستم‌های تصفیه آب خانگی، سیستم HACCP، آب آشامیدنی، شهر تهران

مقدمه

دسترسی به آب آشامیدنی سالم از ابعاد فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیک از نیازهای اساسی و اولیه انسان‌ها می‌باشد.^۱ کیفیت شیمیایی آب آشامیدنی تأثیر بسزایی در سلامت مردم دارد چراکه آب آشامیدنی علاوه بر تأمین آب موردنیاز بدن دربرگیرنده املاح و عناصر معدنی و ضروری برای بدن است. در صورتی که غلظت بعضی از املاح در آن کم یا زیاد باشد، در این صورت می‌تواند بر روی بهداشت و سلامت انسان تأثیر بگذارد.^۲ طبق برآورد یونیسف و سازمان جهانی بهداشت بیش از ۷۸۰ میلیون نفر از مردم جهان بخصوص جوامع در حال پیشرفت از دسترسی به آب آشامیدنی سالم محروم‌اند.^۳ در همین راستا هرساله علت تعدادی از بیماری‌ها و مرگ‌های سالیانه را به آب آلوده نسبت می‌دهند.^۴ با افزایش نگرانی‌ها و آگاهی‌های اساسی بین استفاده‌کنندگان در خصوص سالم نبودن آب مصرفی و پیامدهای بهداشتی کیفیت آب آشامیدنی و تقاضای مداوم برای آب باکیفیت بالا و همچنین تبلیغات رسانه‌ای مبنی بر آلودگی‌های مختلف آب شهری، مردم به سمت استفاده از سیستم‌های تصفیه آب خانگی در نقطه مصرف به‌ویژه با روش اسمز معکوس تشویق شده‌اند.^۵

سیستم‌های تصفیه آب خانگی در سال‌های اخیر جزء وسایل معمولی و روزمره خانواده‌ها قرار گرفته است. این سیستم‌های تصفیه آب دارای قابلیت و کارایی متفاوت هستند. به‌طوری که می‌تواند به‌عنوان تضمین‌کننده سلامت و بهداشت انسان از مخاطرات جدی مطرح باشند و یا اینکه فقط به‌عنوان یک وسیله روتین آشپزخانه صرفاً برای بهبود وضع ظاهر و طعم و بوی آب مورد استفاده قرار گیرند، از طرفی در برخی مواقع خود سبب آلودگی آب آشامیدنی می‌شوند.^۶ اکثر سیستم‌های تصفیه خانگی که به‌صورت تجاری در دسترس‌اند از غشاهای اسمز معکوس به‌عنوان یک روش کلیدی و مؤثر در تصفیه آب بهره می‌برند.^۷ به‌صورت کلی، مراحل فرایندی

سیستم‌های تصفیه آب خانگی مبتنی بر اسمز معکوس شامل آب ورودی، مراحل پیش‌تصفیه و تصفیه نهایی است که به یک غشاء اسمز معکوس اضافه شده‌اند همچنین آب تصفیه شده از مرحله تصفیه نهایی علاوه بر آب خروجی در یک مخزن ذخیره فرستاده می‌شود.^۸ این مراحل در شکل ۱ نشان داده شده است. مطالعات انجام‌شده روی کارایی سیستم‌های تصفیه آب خانگی در نقطه مصرف در حذف آلاینده‌ها در مقیاس آزمایشگاهی، نشان داده است که میزان حذف آلاینده‌ها توسط این سیستم‌ها، در حد مطلوب می‌باشد.^۹

سیستم آنالیز خطر و نقطه کنترل بحرانی (HACCP) یک رویکرد پیشگیرانه برای ایمنی مواد غذایی و آب آشامیدنی می‌باشد که شناسایی و پایش خطرات بیولوژیکی، شیمیایی و فیزیکی در نقاط بحرانی در فرایند تولید محصول را ارتقا می‌دهد.^{۱۰} سیستم HACCP تنها منحصر به فرایندهای ویژه تولید مواد غذایی نمی‌باشد. این سیستم امروزه می‌تواند در رابطه با تأمین آب سالم و بهداشتی مورد استفاده قرار گیرد.^{۱۱} تأمین آب آشامیدنی سالم و بهداشتی از نیازهای اساسی افراد هر جامعه محسوب می‌شود و دستیابی به این هدف صرفاً با مدیریت پیشگیرانه و جامع در برنامه ایمنی آب آشامیدنی مانند سیستم HACCP امکان‌پذیر خواهد بود.^{۱۲} HACCP یک سیستم کنترل فرایند پذیرفته شده بین‌المللی است که شامل تشخیص و تعیین خصوصیات عوامل خطر ساز 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.^{۱۳} همچنین این سیستم به‌عنوان برنامه ایمنی آب (WSP) توسط سازمان جهانی بهداشت معرفی شده است. بنابراین این ابزار می‌تواند به‌طور مؤثری خطرات مرتبط در مراحل مختلف تصفیه آب آشامیدنی را کاهش دهد.^{۱۴} لذا این پژوهش باهدف بررسی یک روش عملی برای معرفی سیستم HACCP به‌عنوان یک مدل جهت محدودسازی خطرات مرتبط با مراحل تولید آب

بدین منظور تیم HACCP محدوده‌های استفاده آب خروجی از سیستم‌های تصفیه آب خانگی را به‌عنوان آب آشامیدنی و بهداشتی برای مصرف انسان در نظر گرفتند.

- مرحله چهارم: تهیه نمودار جریان فرآیند

در این مرحله تیم HACCP نمودار جریان فرآیند را که در شکل ۱ نشان داده شده است، ترسیم نمودند. این نمودار توصیف ساده و روشنی از چگونگی تولید آب توسط سیستم‌های تصفیه آب خانگی را ارائه می‌کند.

- مرحله پنجم: تأیید نمودار جریان فرآیند در عمل

پس از تکمیل نمودار جریان فرآیند، پژوهشگران برای مشاهده فرآیند تولید آب آشامیدنی توسط سیستم‌های تصفیه آب خانگی، به‌صورت دقیق از سیستم‌های تصفیه آب خانگی بازدید کردند و فلودیاگرام رسم شده مورد تأیید قرار گرفت^{۱۵}. پس از انجام مراحل اولیه، مرحله بعدی پیاده‌سازی اصول HACCP می‌باشد.

اجرای اصول HACCP

اصل اول- شناسایی خطرات و تجزیه و تحلیل

شناسایی خطرات شامل تعیین پتانسیل بیولوژیکی، شیمیایی و یا آلاینده‌های فیزیکی است که می‌تواند از طریق وارد شدن به آب آشامیدنی سبب به خطر افتادن سلامت استفاده‌کنندگان شود. جهت به دست آوردن داده‌ها و اطلاعات آزمایشگاهی موردنیاز در این مرحله از پژوهش، هر هفته و به‌صورت تصادفی طی مدت زمان شش ماه از سیستم‌های تصفیه آب خانگی در هر مرحله از جریان فرآیند، برداشت شد. تیم HACCP با استفاده از فلودیاگرام فرآیند و سنجش نمونه‌های آب برداشت‌شده، اقدام به شناسایی مهم‌ترین خطرات احتمالی کرد. در همین راستا سنجش نمونه‌های آب برداشت‌شده به طریق زیر انجام شد:

آشامیدنی توسط سیستم‌های تصفیه آب خانگی در شهر تهران انجام شده است.

روش بررسی

در این مطالعه، سیستم HACCP به‌عنوان یک مدل بر روی سه عدد سیستم تصفیه آب خانگی که به‌صورت پایلوت در دانشگاه علوم پزشکی ایران در شهر تهران نصب شده بود، به‌کاربرده شد. هر سه سیستم تصفیه آب خانگی در این مطالعه از نوع شش مرحله‌ای با روش اسمز معکوس بود. برداشت نمونه از این سیستم‌ها جهت آنالیز پارامترهای فیزیکوشیمیایی و میکروبی به صورت هفتگی و با دو بار تکرار در مدت زمان شش ماه صورت گرفت. سیستم‌های تصفیه آب خانگی مبتنی بر اسمز معکوس پرمصرف‌ترین مدل مورداستفاده در شهر تهران محسوب می‌شوند.

روش اجرای سیستم HACCP در این مطالعه به شرح زیر

می‌باشد:

اجرای مراحل اولیه HACCP

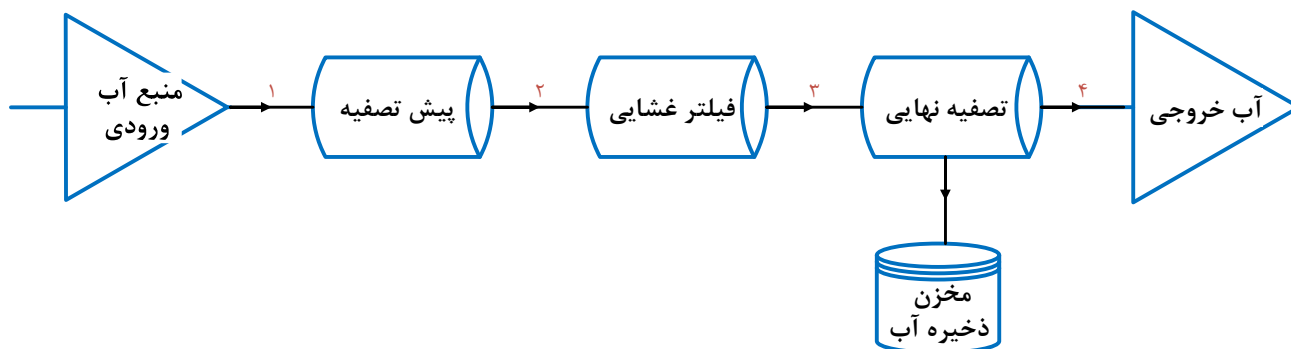
- مرحله اول: تشکیل تیم HACCP

در مرحله اول به‌منظور استقرار سیستم HACCP تیمی متشکل از فروشندگان سیستم‌های تصفیه آب خانگی، شیمیدان و میکروبیولوژیست و متخصصین بهداشت محیط تشکیل شد. تیم مذکور با کل فرآیند تولید آب آشامیدنی در سیستم‌های تصفیه آب خانگی آشنا شدند و همچنین آموزش‌های لازم در این خصوص را دریافت کردند.

- مرحله دوم: توصیف فرآورده

در این مرحله ویژگی و مشخصات فرآورده تعیین شد که این فرآورده آب آشامیدنی بود.

- مرحله سوم: تشریح موارد استفاده آب



شکل ۱: نمودار جریان فرایند در سیستم‌های تصفیه آب خانگی مبتنی بر اسمز معکوس

تعیین اینکه آیا این نقاط تعیین شده، نقطه بحرانی می‌باشد، در این مطالعه از درخت تصمیم‌گیری انجمن غذا و دارو آمریکا که در شکل ۲ نشان داده شده است، استفاده شد. درخت تصمیم‌گیری شامل چهار سؤال می‌باشد که به منظور تعیین CCP بودن هر مرحله به کار گرفته می‌شود.

اصل سوم- تعیین حدود بحرانی برای هر CCP

تیم HACCP معیارهای کیفی برای آب آشامیدنی را بر اساس استانداردهای ملی و بین‌المللی برقرار کرد. این معیارها اختلاف بین آب سالم و ناسالم را مشخص می‌کند. حدود بحرانی شیمیایی و میکروبی برای هر CCP در این مطالعه در جدول ۲ نشان داده شده است.

اصل چهارم- شناسایی روش پایش

توسعه یک چهارچوب نظارتی، تولید آب سالم را تضمین می‌کند. در همین راستا با استفاده از اطلاعات جمع‌آوری شده از مراحل قبلی، یک چهارچوب نظارتی کارآمد جهت پایش اعمال شد. هدف از این چهارچوب اطمینان بخشیدن به پایبندی فرایند تولید در محدوده بحرانی برای هر CCP از طریق پایش مداوم می‌باشد.

پارامترهای فیزیکوشیمیایی: پارامترهای pH، هدایت الکتریکی (EC)، سختی کل، نیترات، فلوراید و کربن آلی کل (TOC) بر اساس دستورالعمل‌های کتاب استاندارد متد انجام گرفت. pH و EC با دستگاه pH متر مدل HQ40D سنجش شدند. به منظور اندازه‌گیری سختی کل از روش تیتراسیون با معرف‌های مرتبط استفاده شد. نیترات و فلوراید با استفاده از DR6000 تعیین مقدار شد. TOC با استفاده از آنالایزر مدل VCSH- Shimadzu اندازه‌گیری شد.

پارامترهای میکروبی: پارامترهای میکروبی شمارش بشقابی هتروتروفیک (HPC)، کلی فرم کل و کلی فرم مدفوعی طبق روش استاندارد متد سنجش شدند. جهت آزمایش HPC از محیط کشت R2A آگار در دمای ۳۵ درجه سلسیوس به مدت ۴۸ ساعت انجام شد. سنجش باکتری‌های کلی فرم کل و کلی فرم مدفوعی نیز طبق روش تخمیر چند لوله‌ای انجام شد^{۱۶}.

اصل دوم- تعیین نقاط کنترل بحرانی (CCP_s)

بر اساس اصل اول، پژوهشگران و تیم HACCP نقاط CCP را تعیین نمودند. هر مرحله از نمودار جریان فرایند به عنوان یک CCP در تولید آب آشامیدنی برای اقدامات کنترلی مناسب، جهت کاهش خطرات در نظر گرفته شد. برای

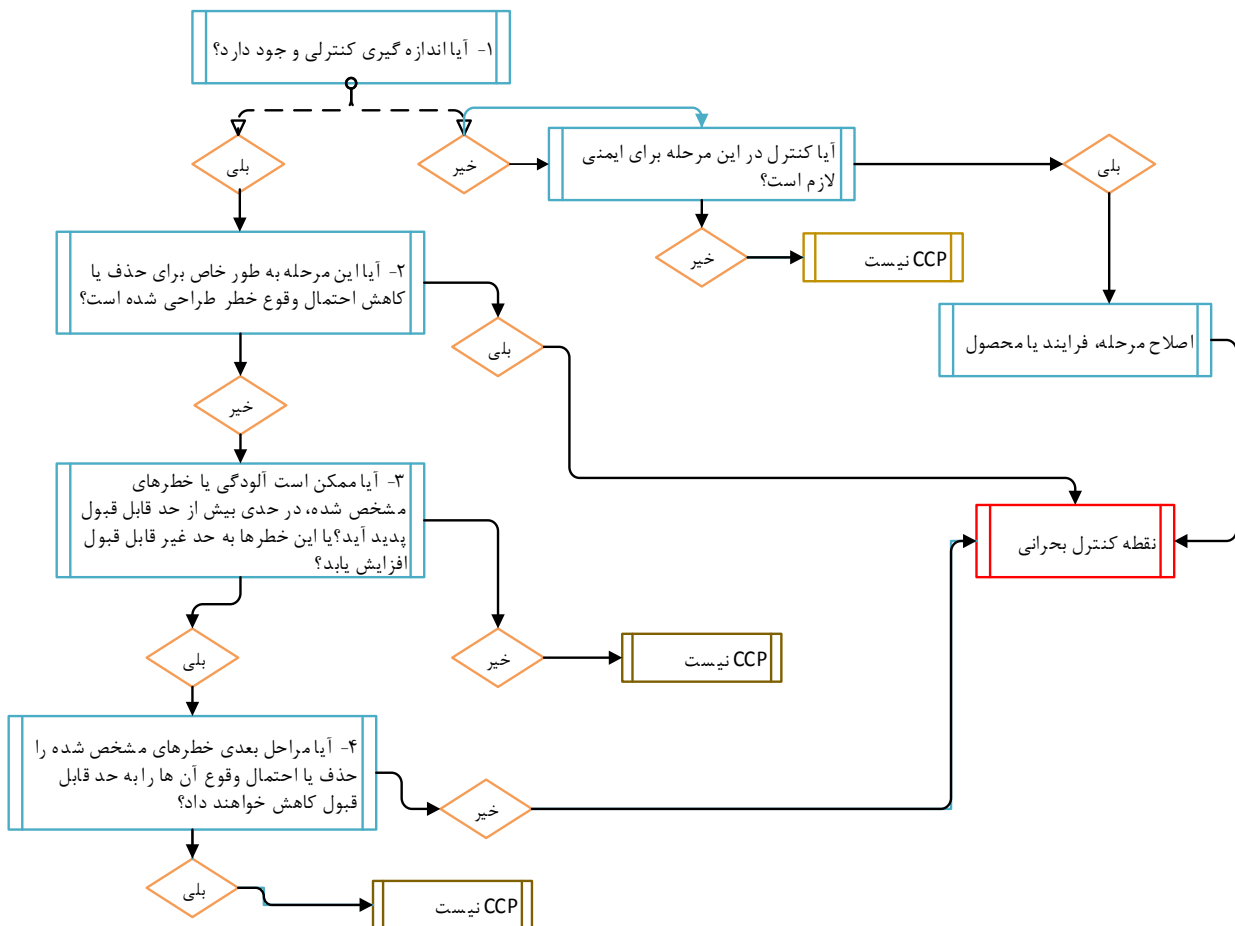
اصل پنجم- ایجاد اقدامات اصلاحی

اگر فرایند تولید نتواند به محدوده بحرانی تعیین شده در هر CCP دست یابد عملیات به سرعت نیازمند اقدامات اصلاحی می‌باشد. در این رابطه، تیم HACCP یک برنامه از اقدامات اصلاحی برای هر نقطه بحرانی تنظیم کرد.

اصل ششم و هفتم- تأیید و مستندسازی طرح

این دو اصل که شامل تأیید و نگهداری سوابق می‌باشد به‌عنوان یکی از مهم‌ترین مراحل سیستم HACCP محسوب می‌شود، تیم HACCP باید تمامی خطراتی که احتمال بروز

آنها در هر مرحله از عملیات می‌رود را فهرست کند. گروه HACCP سپس باید خطرات را تجزیه و تحلیل کند تا بتواند مشخص نماید کدام خطرات از نوعی هستند که از بین بردن و یا کاهش آنها به حدی قابل قبول، برای تهیه آب آشامیدنی سالم ضروری است. از طریق سوابق ثبت شده می‌توان از این‌که یک فرایند به حد بحرانی می‌رسد یا خیر، آگاهی یافت.^{۱۵} در این مطالعه این دو اصل به صورت کاربردی اجرا نشد.



شکل ۲: درخت تصمیم‌گیری جهت تعیین CCP

یافته‌ها

نتایج مربوط به برنامه HACCP پیاده شده بر روی سیستم‌های تصفیه خانگی به شرح زیر می‌باشد:

کلیه مراحل که ممکن است سبب بروز خطرات بالقوه برای استفاده‌کننده‌های سیستم‌های تصفیه آب خانگی شود از نقطه ورودی سیستم تا نقطه مصرف از نظر پارامترهای میکروبی و فیزیوشیمیایی مورد ارزیابی قرار گرفت. این مراحل که بر اساس درخت تصمیم‌گیری در جدول ۱ نشان داده شده است، شامل آب ورودی به سیستم، مراحل پیش تصفیه، غشای اسمز

معکوس، تصفیه نهایی و همچنین مخزن ذخیره و آب خروجی سیستم‌ها بود. در نهایت پژوهشگران و تیم HACCP شش مرحله اصلی را به‌عنوان نقاط کنترل بحرانی (CCP) تعیین کردند. برای تعیین خطرات در هر مرحله پارامترهای فیزیوشیمیایی و میکروبی موردسنجش قرار گرفت. در مطالعه حاضر منبع آب ورودی به سیستم تصفیه آب خانگی، آب لوله‌کشی غرب تهران بود. کیفیت آب ورودی به سیستم‌های تصفیه آب خانگی و سایر نقاط CCP مربوط به این سیستم‌ها در جدول ۳ نشان داده شده است.

جدول ۱: نقاط بحرانی تعیین شده در سیستم‌های تصفیه آب خانگی با استفاده از روش درخت تصمیم‌گیری

CCP	سؤالات درخت تصمیم‌گیری				خطرات	مرحله و فرایند
	سؤال ۴	سؤال ۳	سؤال ۲	سؤال ۱		
	خیر	بلی	خیر	بلی	خطرات میکروبی و فیزیوشیمیایی	آب ورودی به سیستم
	-	-	بلی	خیر	خطرات میکروبی و فیزیوشیمیایی	پیش تصفیه
	-	-	بلی	خیر	خطرات میکروبی و فیزیوشیمیایی	فیلتر غشایی
	-	-	بلی	خیر	خطرات میکروبی و فیزیوشیمیایی	تصفیه نهایی
	-	-	بلی	خیر	خطرات میکروبی	مخزن ذخیره
	خیر	بلی	خیر	بلی	خطرات میکروبی و فیزیوشیمیایی	آب خروجی از سیستم

جدول ۲: حد بحرانی تعیین شده برای خطرات فیزیوشیمیایی و میکروبی

پارامتر	واحد اندازه‌گیری	سازمان جهانی بهداشت	استاندارد ملی ایران
pH	-	مقدار مجاز ۶,۵ - ۸,۵	حداکثر مجاز ۶,۵ - ۹
EC	μS/cm	۱۰۰۰	-
سختی کل	mg/L as CaCO ₃	۵۰۰	۵۰۰
نترات	mg/L-NO ₃	۵۰	۵۰
فلوراید	mg/L	۱,۵	۱,۵ - ۰,۵
TOC	mg/L	-	۲
HPC	CFU/mL	-	۱۰۰
کلی فرم کل	MPN/100mL	۰	۰
کلی فرم مدفوعی	MPN/100mL	۰	۰

نتایج نشان می‌دهد از بین پارامترهای اندازه‌گیری شده شاخص HPC در نقطه CCP₁ (منبع آب ورودی) و CCP₆ به ترتیب با متوسط ۳ و ۱۰ CFU/mL کمترین و بیشترین مقدار بود. همچنین این شاخص در نقطه CCP₃ نیز با میزان ۲۲ CFU/mL کاهش یافت. شاخص‌های میکروبی کلی فرم کل و کلی فرم مدفوعی در همه CCP های تعیین شده صفر گزارش شد.

همان‌طور که از جدول ۳ مشاهده می‌شود تغییرات پارامترهایی نظیر نیترات، فلوراید، سختی کل، هدایت الکتریکی و کربن آلی کل در نقاط CCP₁ و CCP₂ یکسان می‌باشد این در حالی است که مقادیر پارامترهای ذکر شده در نقطه CCP₃ که مربوط به نمونه‌های سنجش شده در خروجی فیلتر غشایی می‌باشد، کاهش چشمگیری داشته است. به طوری که سختی کل از ۱۶۵ به ۲۷ mg/L as CaCO₃ و هدایت الکتریکی از ۵۰۴ به ۳۲ μS/cm کاهش یافته است.

جدول ۳: آنالیز آماری پارامترهای سنجش شده از سیستم‌های تصفیه آب خانگی جهت شناسایی خطرات

پارامترها	CCP ₁		CCP ₂		CCP ₃		CCP ₄		CCP ₅		CCP ₆		P value
	Mean ^۲	SD ^۳	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	
pH	۷/۶	۰/۰۸۳	۷/۶	۰/۰۸۳	۷/۲	۰/۰۷	۷/۱	۰/۰۷	۶/۸	۰/۲	۶/۷	۰/۲۱	<۰/۰۰۱
EC	۵۰۴	۲۸/۸	۵۰۴	۲۸/۸	۳۲	۱۳/۶	۳۲	۱۳/۶	۳۲	۱۳/۶	۳۲	۱۳/۶	<۰/۰۰۱
سختی کل	۱۶۵	۸/۶	۱۶۵	۸/۶	۲۷	۱۲/۵	۲۷	۱۲/۵	۲۷	۱۲/۵	۲۷	۱۲/۵	<۰/۰۰۱
نیترات	۷/۵	۰/۵۴	۷/۵	۰/۵۴	۱/۶	۰/۷۴	۱/۶	۰/۷۴	۱/۶	۰/۷۴	۱/۶	۰/۷۴	<۰/۰۰۱
فلوراید	۰/۳	۰/۰۵	۰/۳	۰/۰۵	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	<۰/۰۰۱
TOC	۰/۲۲	۰/۴	۰/۲۸	۰/۴	۰/۱	۰/۰۲	۰/۱	۰/۰۱	۰/۱	۰/۰۱	۰/۱	۰/۰۱	<۰/۰۰۱
HPC	۳	۲/۶	۶۸	۲۱/۳	۲۲	۱۱/۵	۲۲۰	۲۴/۶	۴۸۰	۲۹/۷	۵۱۰	۲۸	<۰/۰۰۱
کلیفرم کل	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	-
کلیفرم مدفوعی	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	-

۴: مقایسه CCP_۶ و استاندارد ملی آب آشامیدنی

۳: انحراف معیار

۲: میانگین

۱: Critical Control Point

جدول ۴: خلاصه‌ای از کاربرد اصول HACCP در آب تولید شده توسط سیستم‌های تصفیه آب خانگی

مرحله و فرایند	CCP	روش‌های کنترل	پایش	اقدام اصلاحی	تأیید	سوابق
آب ورودی به سیستم	CCP ₁	سنجش کیفی پارامترهای میکروبی و فیزیکی شیمیایی	بازرسی بهداشتی روزانه	محافظت از منابع آب یا جایگزینی آن	شرکت نصب کننده	در شرکت نصب کننده
پیش تصفیه	CCP ₂	بررسی تغییر رنگ و تعویض فیلتر	بازرسی بهداشتی چشمی سه ماهه	تعویض فیلتر	شرکت نصب کننده	در شرکت نصب کننده
فیلتر غشایی	CCP ₃	بررسی تغییر رنگ و تعویض فیلتر	بازرسی بهداشتی چشمی شش ماهه تا یک ساله	تعویض فیلتر	شرکت نصب کننده	در شرکت نصب کننده
مخزن ذخیره	CCP ₄	بررسی وضعیت مخزن ذخیره آب	بازرسی بهداشتی چشمی ماهیانه	تمیز کردن، کلرزنی و شستشو	شرکت نصب کننده	در شرکت نصب کننده
تصفیه نهایی	CCP ₅	بررسی تغییر رنگ و تعویض فیلتر	بازرسی بهداشتی چشمی سه ماهه	تعویض فیلتر	شرکت نصب کننده	در شرکت نصب کننده
آب خروجی	CCP ₆	سنجش کیفی پارامترهای میکروبی و فیزیکی شیمیایی	بازرسی بهداشتی روزانه	-	شرکت نصب کننده	در شرکت نصب کننده

بحث

روش‌های مختلفی برای تصفیه آب آشامیدنی وجود دارد به طوری که استفاده‌کنندگان می‌توانند از آب سالم و بهداشتی بهره‌مند شوند. در همه مراحل تولید و توزیع آب آشامیدنی جهت کنترل خطرات و نقض ایمنی آب تولیدشده از سیستم‌های تصفیه آب خانگی، بررسی این سیستم‌ها ضروری می‌باشد.^{۱۷} بررسی‌های انجام‌شده نشان داد که پیاده‌سازی برنامه HACCP در مراحل تولید آب آشامیدنی دارای کاربرد می‌باشد. به‌عنوان مثال جاهدخانیک و همکاران طی پژوهشی به اثربخشی سیستم یادشده در ارتقاء کیفیت تصفیه‌خانه گرمی شهر اردبیل پرداختند.^{۱۸} Kokkanis و همکاران افزایش کیفیت میکروبیولوژیکی آب‌های بطری شده را موردبررسی قرار دادند.^{۱۱} در این پژوهش خطرات فیزیکوشیمیایی و میکربی موجود در مراحل اصلی به‌ویژه آب خروجی از سیستم‌های تصفیه آب خانگی به‌صورت کامل موردبررسی و شناسایی قرار گرفت که از نظر الزامات HACCP پوشش کامل را ایجاد می‌نماید. جهت شناسایی این خطرات کیفیت آب تولیدشده در کلیه مراحل سیستم‌های تصفیه آب خانگی موردبررسی قرار گرفت و در نهایت اهمیت برنامه آنالیز خطر و نقاط کنترل بحرانی جهت مدیریت کیفیت آب تولیدشده توسط این سیستم‌ها موردبحث و بررسی قرار گرفته است. در پژوهش حاضر شش نقطه کنترل بحرانی (CCP) تعیین شد که شامل منبع آب ورودی به سیستم، مراحل پیش‌تصفیه، فیلتر غشایی، تصفیه نهایی، مخزن ذخیره و آب خروجی از سیستم بود. نقص عملکردی در هر یک از این نقاط تعیین‌شده سبب بروز خطرات میکربی و شیمیایی در آب خروجی سیستم‌های تصفیه آب خانگی می‌شود.^{۱۹} آب آشامیدنی مناسب از نظر اسیدیته در شرایط خنثی بوده و دارای pH حدود ۷ است.^{۲۰} محدوده بحرانی تعیین‌شده برای pH با توجه به استانداردهای آب آشامیدنی بین ۶٫۵-۸٫۵ تعیین شد.^{۲۱} میزان pH آب

ورودی به سیستم‌های تصفیه آب خانگی ۷٫۶ بود که مطابق با محدوده بحرانی تعیین‌شده می‌باشد. درحالی‌که در خروجی سیستم‌های انتخابی، میزان pH نسبت به آب ورودی کاهش پیدا کرد و در چند نمونه از محدوده بحرانی پایین‌تر بود اما میانگین به‌دست‌آمده در محدوده بحرانی بود و ارتباط معناداری بین نتایج pH نمونه‌های آب خروجی و استانداردهای ملی مشاهده گردید (جدول ۳). میزان هدایت الکتریکی که نشان‌دهنده میزان الکترولیت‌ها و یون‌های موجود در آب است از میانگین $504 \mu\text{S}/\text{cm}$ در آب ورودی به حدود $32 \mu\text{S}/\text{cm}$ در آب خروجی رسید که این موضوع نشان‌دهنده از دست رفتن یون‌ها و مواد معدنی موجود در آب و جذب توسط فیلتر غشایی سیستم تصفیه آب خانگی می‌باشد.

میزان سختی کل در آب ورودی به سیستم‌های تصفیه آب خانگی با میانگین $165 \text{ mg/L as CaCO}_3$ گزارش شد. در نقطه CCP_3 میزان سختی به $27 \text{ mg/L as CaCO}_3$ کاهش یافت. محدوده بحرانی تعیین‌شده برای پارامتر سختی کل ۲۵۰ تا ۵۰۰ میلی‌گرم بر لیتر در نظر گرفته شد (جدول ۲). نتایج حاکی از آن است که میزان این پارامتر در آب خروجی CCP_3 تا CCP_6 های تعیین‌شده به‌صورت قابل توجهی از محدوده بحرانی (استاندارد) کمتر می‌باشد. ارتباط بین نمونه‌ها خروجی و استاندارد ذکر شده بصورت معنادار مشاهده گردید. این موضوع در تحقیقی که توسط محمد فهیمی نیا و همکاران در شهر قم و نیز انوشیروان صدیق و همکاران در شهر اردبیل انجام‌شده است، همخوانی دارد.^{۲۲} سبکی آب و نداشتن یون‌های سدیم، کلسیم، منیزیم و پتاسیم که در ارتباط با الکترولیت‌های بدن می‌باشند، می‌تواند در ایجاد عارضه سکتة قلبی و نارسایی عروق قلبی نقش اساسی داشته باشد.^{۲۳} در همین رابطه سازمان جهانی بهداشت توصیه می‌کند که استفاده‌کنندگان سیستم‌های تصفیه با روش اسمز معکوس به علت ایجاد عوارض احتمالی سلامتی از مصرف این آب‌ها،

باید اطلاع کاملی از تغییرات ترکیبات معدنی آب خروجی از این نوع سیستم‌ها داشته باشند^{۲۴}.

محدوده بحرانی تعیین شده فلوراید ۰,۷-۱,۵ در نظر گرفته شد که این میزان بر اساس رهنمود سازمان جهانی بهداشت بود^{۲۱}. بر اساس یافته‌ها، غلظت فلوراید در نقطه CCP₁ یعنی آب ورودی به سیستم ۰,۳mg/l گزارش شد که در حد مطلوب برای کیفیت آب آشامیدنی است، با این وجود در نقطه CCP₃ غلظت فلوراید به شدت کاهش یافته و به حد صفر میلی گرم بر لیتر رسیده است که ارتباط آن با مقدار استاندارد ذکر شده در جدول ۲ معنی دار دیده شد. که این میزان تا آخرین نقطه کنترل بحرانی در طول جریان فرایند، ثابت بود. لذا یکی از معایب برجسته سیستم‌های تصفیه آب خانگی مبتنی بر اسمز معکوس، کاهش غلظت فلوراید به پایین تر از حد مطلوب است که با نتایج محمدصادق رجایی و همکاران مشابهت دارد^{۲۵}. وجود غلظت مناسب فلوراید در آب آشامیدنی در رشد و استحکام دندان‌ها و استخوان‌ها به خصوص در کودکان در حال رشد به اثبات رسیده است^{۲۶}. شایان ذکر است که یکی از راه‌های تأمین فلوراید بدن از طریق مصرف آب آشامیدنی حاوی فلوراید است. بنابراین با توجه به نکات ذکر شده، در صورت استفاده از این نوع سیستم‌های تصفیه آب خانگی، تأمین فلوراید از منبع جایگزین ضروری می‌باشد. حد بحرانی تعیین شده نیترا با توجه به رهنمود سازمان جهانی بهداشت و استاندارد ملی ۵۰ mg/L برحسب نیترا در نظر گرفته شد^{۲۱ و ۲۷}. میانگین غلظت نیترا در آب ورودی به سیستم‌های تصفیه خانگی (CCP₁) ۷,۵ mg/L برحسب نیترا بود، که کمتر از محدوده بحرانی می‌باشد. این مقدار در بررسی به عمل آمده در خروجی سیستم‌های تصفیه آب خانگی به حدود ۱,۵ mg/L میلی گرم در لیتر کاهش یافته است. ارتباط معناداری بین استاندارد ذکر شده و مقدار بدست آمده از نیترا در CCP₆ مشاهده شد. کارایی مناسب حذف نیترا در سیستم‌های تصفیه خانگی مبتنی بر

اسمز معکوس از نکات قابل توجه جهت استفاده این سیستم‌ها، در منابع آب دارای غلظت بالای نیترا می‌باشد. حذف کربن آلی کل در آب آشامیدنی به عنوان منبع اصلی ترکیبات جانبی گندزدایی (DPBs) برای استفاده کنندگان بسیار حائز اهمیت می‌باشد^{۲۸}. میانگین TOC در CCP₁ ۰,۲۲ mg/L بود. حد بحرانی تعیین شده برای TOC در این پژوهش، کمتر از ۲mg/L در نظر گرفته شد. با توجه به جدول ۲، میزان TOC در همه نقاط کنترل بحرانی کمتر از حد بحرانی بود. در CCP₃ میزان این پارامتر به ۰,۰۱ mg/L کاهش پیدا کرد.

شاخص‌های میکروبی سنجش شده در این پژوهش، کلی فرم کل و کلی فرم مدفوعی و شمارش بشقابی هتروتروفیک (HPC) بودند. این گروه از ارگانیسم‌ها به عنوان شاخص بهداشتی آب به ویژه آب تصفیه شده به کار می‌روند^{۲۹}. محدوده بحرانی تعیین شده در رابطه با کلی فرم مدفوعی و کلی فرم، عدم وجود آن‌ها در کلیه نقاط بحرانی تعیین شده در سیستم‌های تصفیه آب خانگی می‌باشد که نتایج به دست آمده مطابق با محدوده بحرانی تعیین شده بود، و ارتباط معناداری با میزان استانداردهای ملی و بین المللی ارائه شده در جدول ۲ مشاهده نگردید. بر طبق استاندارد ملی حداکثر تعداد باکتری‌های هتروتروفیک در خروجی سیستم‌های تصفیه آب خانگی ۱۰۰cfu/mL است^{۲۵}. حدود بحرانی تعیین شده در رابطه با این پارامتر نیز بر اساس مقدار استاندارد ذکر شده تعیین شد. با توجه به نتایج جدول ۳، مقدار HPC در آب ورودی از میانگین ۳ cfu/ml به ۵۱۰cfu/ml در آب خروجی افزایش یافت. نتایج آماری نشان می‌دهد که ارتباط بین HPC آب خروجی و استاندارد ملی ایران معنادار بود. بنابراین شاخص HPC در آب خروجی از حد بحرانی تجاوز کرده است. مشاهدات CHaidez و همکاران در رابطه با مقایسه میکروبی کیفیت سیستم‌های تصفیه آب خانگی در نقطه مصرف مشابه پژوهش حاضر می‌باشد^{۳۰}. در واقع غلظت‌های بالای باکتری‌ها در بستر کربنی منجر به تجمع مواد سمی مضر

فلوراید، منیزیم و کلسیم توسط فیلتر غشایی بود. در صورت نصب سیستم‌های تصفیه آب خانگی، مطابق با نتایج پژوهش حاضر و مراحل اجرای سیستم HACCP می‌توان از طریق اعمال کنترل بیشتر در نقاط کنترل بحرانی مشخص شده و رعایت حدود بحرانی قابل اجرا توسط استفاده‌کنندگان نظیر بررسی وضعیت تأمین آب، مخزن ذخیره، مراحل پیش‌تصفیه و تصفیه نهایی و همچنین پایش به‌موقع در دوره تناوب مشخص توسط اپراتور مناسب، مهم‌ترین خطرات تأثیرگذار بر کیفیت آب خروجی سیستم‌های تصفیه آب خانگی را کاهش داد. علاوه بر این انجام اقدامات اصلاحی جهت رفع نواقص و مستندات ایجادشده توسط تیم HACCP می‌تواند به راحتی در ردیابی خطرات ایجادشده کمک کند. در حال حاضر اجرای سیستم HACCP در سیستم‌های تصفیه آب خانگی با مشکلاتی نظیر پایین بودن دانش فنی و بهداشتی فروشندگان و استفاده‌کنندگان روبرو است؛ بنابراین به دلیل استفاده روزافزون از سیستم‌های تصفیه آب خانگی، جهت کاربرد وسیع برنامه HACCP، حمایت و نظارت سیستم‌های دولتی و آموزش به استفاده‌کنندگان امری حیاتی می‌باشد.

تشکر و قدردانی

این مقاله حاصل بخشی از طرح تحقیقاتی شماره ۲۹۲۳۰ با عنوان بررسی کیفی، اقتصادی و ملاحظات بهداشتی دستگاه‌های تصفیه آب خانگی بر اساس سیستم ارزیابی HACCP در مقطع کارشناسی ارشد بوده که در شهر تهران و با حمایت پژوهشکده محیط‌زیست دانشگاه علوم پزشکی تهران اجرا شده است.

References

1. Taheri E, Vahid Dastjerdi M, Hatamzadeh M, et al. Evaluation of the influence of conventional water coolers on drinking water quality. Iran J Health Environ 2010; 2(4):268-75 (In Persian).
2. Villanueva CM, Kogevinas M, Cordier S, et al. Assessing exposure and health consequences of chemicals in drinking water: current state of knowledge and research needs. Environ Health Perspect 2014;122(3):213.

می‌شود و به این خاطر توصیه می‌کنند فیلترهای کربنی حداقل هر شش ماه یکبار تعویض شوند. با این حال گزارش شده است که افزایش میزان HPC نگرانی بهداشتی در سیستم‌های تصفیه خانگی نیست³¹.

نتایج مربوط به اصل ۴ و ۵ که به ترتیب مربوط به نظارت و اقدامات اصلاحی می‌باشد در جدول ۴ نشان داده شده است. در واقع جدول ۴ یک برنامه HACCP برای سیستم‌های تصفیه آب خانگی می‌باشد. این برنامه را می‌توان جهت شناسایی جریان فرایند در طول مراحل سیستم‌های تصفیه آب خانگی، نقاط کنترل خطر و شناسایی خطرات بالقوه به کاربرد. همچنین این برنامه اقدامات پیشگیرانه برای هر خطر و همچنین ایجاد محدوده بحرانی برای هر CCP را توصیه می‌کند. یک سازمان نظارتی جهت اطمینان بخشیدن از عملکرد سیستم‌های تصفیه آب خانگی در محدوده بحرانی تعیین شده در جدول ۴ توصیه شده است. از نکات حائز اهمیت این برنامه، نظارت مداوم جهت جلوگیری از نقض محدوده‌های تعیین شده می‌باشد. در نهایت این برنامه به منظور کاهش خطرات مربوط به نقض محدوده بحرانی CCP، اقدامات اصلاحی را توصیه می‌کند.

نتیجه گیری

مهم‌ترین خطراتی که گروه HACCP در این پژوهش، در مراحل تولید آب آشامیدنی توسط سیستم‌های تصفیه آب خانگی در نظر گرفت، عمدتاً مربوط به رشد مجدد باکتری‌های هتروتروفیک در فیلترهای کربنی پیش‌تصفیه و تصفیه نهایی و همچنین حذف بی‌اندازه یون‌های مفید نظیر

3. Roig B, Baures E, Thomas O. Perspectives on drinking water monitoring for small scale water systems. *Water Sci Technol* 2014;14(1):1-12.
4. Bond P. Water, health, and the commodification debate. *Rev Radic Polit Econ* 2010;42(4):445-64.
5. Dindarloo K, Ghaffari HR, Kheradpisheh Z, et al. Drinking water quality: comparative study of tap water, drinking bottled water and point of use (PoU) treated water in Bandar-e-Abbas, Iran. *Desalination Water Treat* 2016;57(10):4487-93.
6. Kajitvichyanukul P, Hung Y-T, Wang LK. Membrane Technologies for Point-of-Use and Point-of-Entry Applications. *Desalination* 2011; 51(11): 603-38.
7. Verma K, Kushwaha A. Demineralization of drinking water: Is it prudent? *Med J Armed Forces India* 2014;70(4):377-9.
8. Peter-Varbanets M, Zurbrügg C, Swartz C, et al. Decentralized systems for potable water and the potential of membrane technology. *Water Res* 2009;43(2):245-65.
9. Sobsey MD, Stauber CE, Casanova LM, et al. Point of use household drinking water filtration: a practical, effective solution for providing sustained access to safe drinking water in the developing world. *Environ Sci Technol* 2008;42(12):4261-7.
10. Damikouka I, Katsiri A, Tzia C. Application of HACCP principles in drinking water treatment. *Desalination* 2007;210(1-3):138-45.
11. Kokkinakis EN, Fragkiadakis GA, Kokkinaki AN. Monitoring microbiological quality of bottled water as suggested by HACCP methodology. *Food Control* 2008;19(10):957-61.
12. Tavasolifar A, Bina B, Amin MM, et al. Implementation of hazard analysis and critical control points in the drinking water supply system. *Int J Environ Health Eng* 2012;1(1):32.
13. Havelaar A. Application of HACCP to drinking water supply. *Food Control* 1994;5(3):145-52.
14. Gunnarsdóttir MJ, Gissurason LR. HACCP and water safety plans in Icelandic water supply: preliminary evaluation of experience. *J Water Health* 2008;6(3):377-82.
15. Martel K, Kirmeyer G, Hanson A, et al. Application of HACCP for distribution system protection: *J Am Water Works Assoc* 2006;14(2):282-71.
16. Kim Y, Chekli L, Shim WG, et al. Selection of suitable fertilizer draw solute for a novel fertilizer-drawn forward osmosis-anaerobic membrane bioreactor hybrid system. *Bioresour Technol* 2016; 30 (210):26-34.
17. Khodadadi M, Mahvi A, Ghaneian M, et al. The role of desalination in removal of the chemical, physical and biological parameters of drinking water (a case study of Birjand City, Iran). *Desalination Water Treat* 2016;57(53):25331-6.
18. Khaniki GRJ, Mahdavi M, Mohebbi MR. HACCP application for treatment of drinking water for Germi in Iran. *J Sci Food Agric* 2009;7(2):709-12.
19. Opatunji O, Odhiambo F. Improving sachet water quality—does Hazard Analysis and Critical Control Points apply? *Water Environ J* 2014;28(1):23-30.
20. Khan S, Shahnaz M, Jehan N, et al. Drinking water quality and human health risk in Charsadda district, Pakistan. *J Clean Prod* 2013;60:93-101.
21. Kumar S, Tripathi VR, Garg SK. Physicochemical and microbiological assessment of recreational and drinking waters. *Environ Monit Assess* 2012 1; 184(5):2691-8.
22. Fahiminia M, Mosaferi M, Taadi RA, et al. Evaluation of point-of-use drinking water treatment systems' performance and problems. *Desalination Water Treat* 2014;52(10-12):1855-64.
23. Akpoborie IA, Ehwarimo A. Quality of packaged drinking water produced in Warri Metropolis and potential implications for public health. *J Environ Chem Ecotoxicol* 2012 30; 4(11):195-202.
24. Birnhack L, Voutchkov N, Lahav O. Fundamental chemistry and engineering aspects of post-treatment processes for desalinated water—a review. *Desalination* 2011 1;273(1):6-22.
25. Rajae M, Salemi Z, Karimi B, et al. Investigating the Effects of Household Water Purification Machines on Physical and Chemical Quality of Water in 2011. *Arak Med J* 2013;16(3):2(In Persian).
26. Somasundaram S, Ravi K, Rajapandian K, Gurunathan D. Fluoride Content of Bottled Drinking Water in Chennai, Tamilnadu. *J Clin Diagn Res* 2015;9(10): 32.
27. Afsharnia M. Are Household Water Purification Devices Useful to Improve the Physical Chemical and Microbial Quality of the feed Water? Case Study: Bandar Abbas South of Iran. *J Glob Pharm Technol* 2017;9(2): 5.
28. Liang L, Singer PC. Factors influencing the formation and relative distribution of haloacetic acids and trihalomethanes in drinking water. *Environ Sci Technol* 2003;37(13):2920-8.
29. Edberg S, Rice E, Karlin R, et al. Escherichia coli: the best biological drinking water indicator for public health protection. *J Appl Microbiol* 2000;88(1):7-18.
30. Chaidez C, Gerba CP. Comparison of the microbiologic quality of point-of-use (POU)-treated water and tap water. *Int J Environ Health Res* 2004;14(4):253-60.
31. Ebrahimi SM, Shiri Z, Mosavi SM, et al. Bacteriological Quality of Water Produced by Household Water Treatment Devices. *J Mazandaran U Med Sci* 2015;25(130):8-18 (In Persian).

Quality Assessment of Water Produced by RO-based Household Water Treatment using the HACCP system

Salimeh Rezaeinia¹, Simin Nasser², Mahdi Farzadkia³, Ali Esrafil⁴, Mitra Gholami^{3,5*}

¹ MSc Student in Environmental Health Engineering, School of Health, Iran University of Medical Sciences, Tehran, Iran

² Center for Water Quality Research (CWQR), Institute for Environmental Research (IER), Tehran University of Medical Sciences, Tehran, Iran

³ Professor, Department of Environmental Health Engineering, School of Health, Iran University of Medical Sciences, Tehran, Iran

⁴ Associate Professor, Department of Environmental Health Engineering, School of Health, Iran University of Medical Sciences, Tehran, Iran

⁵ Professor, Center for Environmental Health Technology, Department of Environmental Health Engineering, School of Public Health, Iran University of Medical Sciences, Tehran, Iran

*E-mail: gholamim@iums.ac.ir

Received: 24 Apr 2017 ; Accepted: 3 Aug. 2017

ABSTRACT

Background & Objective: the advantage of choosing Household water treatment over tap water for drinking is based on the human health assurance of health risks with these devices. The Hazard Analysis Critical Control Points system (HACCP) is a framework that identifies and manages significant hazards at the source to point of use in the process of producing drinking water. This study can be aimed at introducing of HACCP systems as a model to identify the most important potential hazards and control these risks in the flow diagram of RO-based Household Water Treatment in Tehran.

Methods: The possible hazards identified at each step of water production by household water treatment. According to the principle of Seven HACCP, Critical Control Point (CCP) is selected and determined critical limits, monitoring, and corrective action. Sampling water is taken from each critical control point. Physicochemical and microbiological parameters were measured by standard methods.

Results: Results of CCP Risk assessment have confirmed that the parameters of pH, nitrate, total organic carbon, and total coliform and fecal coliform were in the critical limits for defined CCPs. While, the total hardness, fluoride, and HPC were in the critical limit only at the CCP1.

Conclusion: The results showed that the HACCP system can be used to reduce the risks, increase the safety of the output water of the household water treatment. To this end, regular monitoring must be carried out in the specified period by the appropriate operator.

Keywords: Household Water Treatment, HACCP system, drinking water, Tehran