

ارزیابی فنی، اقتصادی و بهداشتی کاربرد آب شیرین کن‌های خانگی (سیستم اسمز معکوس) در منازل شهر قم

محمد رضا جعفری پور^۱ محمد سلیمی امرود^۲ عباس ضیایی پور^۳ رضا داودی^۴

(دریافت ۸۸/۷/۱۱ پذیرش ۸۹/۳/۱۶)

چکیده

اسمز معکوس یکی از تکنیک‌های مؤثر در حذف مواد آلی و معدنی از آب چاهها و نیز آبهای سطحی است که تحت تصفیه متداول مانند انعقاد، ته‌نشینی و فیلتراسیون قرار گرفته‌اند. اگرچه این سیستم تصفیه تا اندازه‌ای خصوصیات کیفی آب آشامیدنی را تأمین می‌کند، اما از نظر مدیریت شهری، انتخاب سیستم تصفیه خانگی اسمز معکوس به صورت گسترده توسط بعضی از شهروندان برای تأمین نیاز آب آشامیدنی خود بدون در نظر گرفتن پیامدهای اقتصادی و بهداشتی می‌تواند هزینه‌هایی را بر داشته باشد. در این مطالعه که در سال ۱۳۸۸ صورت گرفت، با استفاده از روشهای آماری (نمونه‌گیری خوشه‌ای)، به جمع‌آوری اطلاعاتی در خصوص تعداد خانوارهای استفاده کننده از این دستگاهها و روش دفع پساب تولیدی مبادرت گردید. نتایج مطالعه نشان داد که در فشار کاری $10-6 \text{ Kg/cm}^2$ و میزان بازیافت بهینه ۳۰ درصد و جریان عبوری یک لیتر در دقیقه و دمای ۴ تا ۳۸ درجه سلسیوس، سالانه برای تصفیه و تولید 157680 مترمکعب آب آشامیدنی مورد نیاز 36000 خانوار، میزان 14191200 kwh انرژی برق مصرف شده و 367920 مترمکعب پساب ایجاد می‌گردد که بدون هیچگونه مدیریتی به هدر می‌رود. همچنین 198000 فیلتر تعویض شده به محیط دفع می‌شود. لازم به ذکر است که کمبود فلئور و سختی پایین آب تصفیه شده این گونه سیستم‌ها، از نظر بهداشتی حائز اهمیت است. افزایش تعداد ایستگاههای توزیع آب شیرین (آبسار) در کوتاه‌مدت و همچنین تسریع در تکمیل پروژه انتقال آب سرشاخه‌های رودخانه دز به شهر قم در درازمدت، می‌تواند در کاهش هزینه‌ها مؤثر باشد.

واژه‌های کلیدی: اسمز معکوس، ارزیابی اقتصادی، ارزیابی بهداشتی، ارزیابی فنی، تصفیه آب، قم

Health, Sanitary and Economic Evaluation of Home-like Systems of Water Treatment (Reverse Osmosis, RO) in Qom City

Mohammadreza Jafaripour¹

Mohammad Salimi Amrod²

Abbas ziaee Pour³

Reza Davoudi⁴

(Received Oct. 3, 2009 Accepted June. 6, 2010)

Abstract

Reverse Osmosis (RO) is one of the most useful techniques to improve the elimination of organic and mineral Substances from ground and surface water after primary purification processes such as coagulation, sedimentation and filtration. This System provides the required water quality characteristics to somehow. However, in selection RO systems civil management decision and general public opinion along with cost and health impact must be considered. This study was done in 2010. Statistical methods have used to gather data about of families who used RO In their private homes and mode of eliminate of the wastewater generated by this process. The results indicated that in the normal operational conditions such as pressure $6-10 \text{ kg/cm}^2$ the, optimum recovery % 30 and flow rate 1 lit/min , and water temperature $4-38^\circ\text{C}$, an Amount of 14191200 kwh of power energy have been consumed to produce 157680 m^3 / year treated water required for 36000 families. This has also generated 367920 m^3 / year of wastewater being disposed without any management and environmental considerations. Apart from that more than 198000 of filters have been ejected to the environment. Also regarding

1. M.Sc. of Environmental Health Eng., Faculty of Public Health, Qom University of Medical Sciences, Qom (Corresponding Author) (+98 251) 8905163 mohammadrezajafaripour@yahoo.com
2. M.Sc. of Health and Medical Services Management, Faculty of Public Health, Qom University of Medical Sciences, Qom
3. B.S. Student of Health Environmental, Faculty of Public Health, Qom University of Medical Sciences, Qom
4. M.Sc. Student of Environmental Health Eng., Faculty of public Health, Qom University of Medical Sciences, Qom

- ۱- کارشناس ارشد مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی قم، قم (نویسنده مسئول) ۸۹۰۵۱۶۳ (۰۲۵۱) mohammadrezajafaripour@yahoo.com
- ۲- کارشناس ارشد مدیریت خدمات بهداشتی درمانی، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی قم، قم
- ۳- دانشجوی کارشناسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی قم، قم
- ۴- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی قم، قم

health aspects, reducing the hardness and fluoride levels in treated water could be undesirable. It could be concluded that increasing the number of local water distribution points and speeding up the water supplying project from Dez river to Qom can decrease the investment on RO system.

Keywords: Reverse Osmosis, Economic Evaluation, Environmental Health Evaluation, Sanitary Evaluation, Water Treatment, Qom.

۱- مقدمه

در وسایل خانگی تصفیه آب به منظور حذف مزه، بو، کدورت و رنگ از تکنیک‌های جذب سطحی، صاف کردن، تبادل یون، اسمز معکوس، تقطیر و یا اشعه فرا بنفش استفاده می‌شود.

یکی از رایج‌ترین روشهای تصفیه آب به‌ویژه در مناطقی که دارای کیفیت نامطلوب آب (لب شور) هستند، استفاده از آب شیرین‌کن‌های خانگی با روش تصفیه اسمز معکوس^۱ است.

این دستگاهها را می‌توان به‌صورت دستگاههای درون خطی در زیر ظرفشویی آشپزخانه نصب کرد و یا در نقطه ورودی برای تصفیه کل آب خانه مورد استفاده قرار داد.

RO یک تکنولوژی مؤثر در بهبود حذف املاح از آبهای سطحی لخته^۲ شده است، اما تصمیم در انتخاب و به‌کارگیری این فرایند باید منوط به ارزیابی اقتصادی و بهداشتی گردد [۱].

به‌طور کلی در برآورد اقتصادی به‌کارگیری چنین سیستم‌هایی، هزینه‌های سرمایه‌گذاری و بهره‌برداری و نگهداری سیستم را به راحتی می‌توان محاسبه کرد. هزینه‌های سرمایه‌گذاری جزو هزینه‌های ثابت است در حالی که هزینه‌های بهره‌برداری و نگهداری این سیستم‌ها بر حسب حجم آب تولیدی، متغیر و شامل هزینه کاربرد مواد شیمیایی به‌منظور شستشو و تعویض فیلترها، هزینه مصرف انرژی و هزینه آزمایش‌ها به‌منظور کنترل سیستم است.

البته در بعضی مواقع هزینه‌های بهره‌برداری و نگهداری سیستم RO جزو هزینه‌های ثابت محسوب می‌شود. به‌عنوان مثال گاهی مواقع تعویض فیلترها و آزمایش‌ها با توجه به برنامه زمانی خاصی صورت می‌گیرد که در این‌گونه موارد این هزینه‌ها جزو هزینه‌های ثابت محسوب می‌گردند. اما بخشی از هزینه‌ها شامل هزینه‌های زیست محیطی و بهداشتی که در نتیجه کاربرد این سیستم‌ها به‌وجود می‌آیند، به‌دلیل غیر ملموس بودن به‌راحتی قابل اندازه‌گیری نیستند. به‌طور کلی راههای اصلی برای به حداقل رساندن هزینه این سیستم‌ها به‌باز یافت فرایند، مصرف انرژی، طول عمر غشا و شستشوی آن بستگی دارد [۱].

یکی از عوامل محدود کننده استفاده از سیستم‌های اسمز معکوس، مصرف بالای انرژی است. غشاهای اسمز معکوس با فشار تغذیه‌ای پایین با درجه بالای حذف نمک، گزینه‌ای کارآمد

برای تصفیه آب به‌شمار می‌روند زیرا این تکنولوژی می‌تواند همانند RO ضمن حذف املاح ویژه آب، فشار تغذیه‌ای کمتری را به‌کار گیرد [۲]. این موضوع در مورد آب شیرین‌کن‌های خانگی که در آنها از فرایند اسمز معکوس استفاده می‌شود، مصداق دارد.

تجربه نشان داده است که فشار اسمزی پایین‌تر آب تغذیه RO باعث می‌شود فشار کاری پمپ کم شود و در نتیجه هزینه‌های بهره‌برداری کاهش یابد [۳].

لازم به‌ذکر است که غشاهایی که در فشار تغذیه‌ای خیلی بالا بهره‌برداری می‌شوند، به‌دلیل اثرات پلاریزاسیون غلظتی، دچار گرفتگی^۳ می‌شوند و به‌دنبال آن، هزینه‌های نگهداری سیستم را افزایش می‌دهند [۲].

شستشوی این فیلترها نیازمند اطلاعات کافی از محلول‌های مناسب و نیز زمان و نحوه استفاده از محلول‌هاست ولی اکثریت افراد، فاقد تخصص لازم هستند.

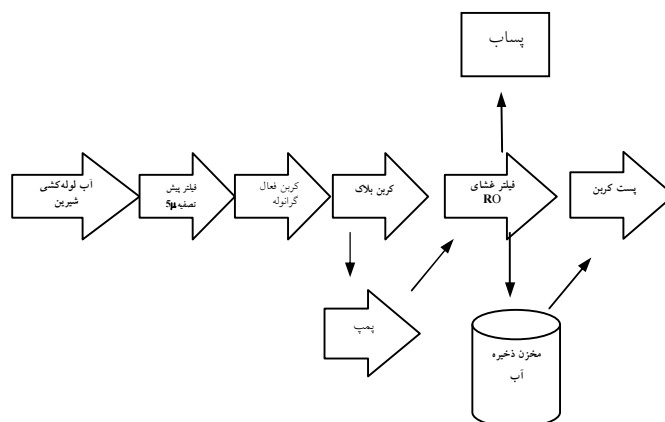
مقدار بازیافت سیستم‌های RO کوچک خانگی که در آشپزخانه منازل نصب می‌شود حدود ۳۰ درصد است. در این واحدهای کوچک، از دست دادن آب ارزان‌تر از اعمال روشهایی برای جلوگیری از تشکیل رسوب است لذا در نتیجه تصفیه آب، حجم بالایی از پساب تولید می‌گردد و این موضوع در یک شهر که شهروندان زیادی از این سیستم استفاده می‌کنند، می‌تواند حائز اهمیت باشد [۴].

نیاز روزانه آب شهری قم از دو طریق تأمین می‌گردد: در یک بخش، آب ذخیره شده در سد ۱۵ خرداد با روشهای انعقاد، ته‌نشینی و فیلتراسیون تصفیه می‌گردد و در مواقع افت دبی شبکه توزیع شهری، از ظرفیت ۴۲ حلقه چاه که در مسیر رودخانه قم قرار دارد استفاده می‌شود و آب از طریق سیستم توزیع آب شهری در اختیار مردم قرار می‌گیرد.

در بخش دیگر با استفاده از ظرفیت و امکانات بخش خصوصی و احداث ۴ دستگاه آب شیرین‌کن بزرگ (RO)، آب ۱۳ حلقه چاه در ۶۰ کیلومتری قم-ساوه (چاههای علی‌آباد)، به شهر قم منتقل و تصفیه می‌شود و از طریق ۲۶۰ ایستگاه آب شیرین (آب‌سار) در سطح شهر و ۵۰۰ انشعاب شامل ادارات و مراکز فرهنگی و آموزشی، نیاز آب آشامیدنی روزانه مردم تأمین می‌گردد.

³ Fouling

¹ Reverse Osmosis (RO)
² Coagulum



شکل ۱- مراحل فرایند تصفیه با سیستم خانگی RO

این سیستم‌های تصفیه از سه فیلتر PP، کربن فعال گرانولی^۱ و کربن سیاه^۲ که قبل از غشای RO قرار دارند، تشکیل شده‌اند. در مرحله بعد، پمپ دیافراگمی با میزان جریان عبوری یک لیتر در دقیقه و فشارکاری $10 \text{ Kg/cm}^2 - 6$ و سپس غشای RO از نوع پلی‌آمید ساخت شرکت فیلم تک^۳ مدل TW30-1812-50 و در نهایت فیلتر کربن پست^۴ مدل ROT/33 قرار دارند. شکل ۱ مراحل فرایند تصفیه با سیستم خانگی RO را نشان می‌دهد.

به‌منظور قرار گرفتن سیستم RO در شرایط بهینه، آزمایش‌ها بر روی سیستم ۴۸ ساعت بعد از نصب و راه‌اندازی آن صورت گرفت. نمونه‌برداری‌ها و آزمایش‌ها بر اساس کتاب استاندارد متد انجام شد [۶].

در پایان به‌منظور تحلیل داده‌ها از نرم افزار Excel استفاده شد.

۳- نتایج و بحث

مشخصات کمی و کیفی منابع آب قم به ترتیب در جدولهای ۱ و ۲ آمده است.

پارامترهای کیفی ذکر شده در جدول ۲ مربوط به دوره یکساله ۱۳۸۸ است. در نمونه برداری‌ها و آزمایش‌های انجام گرفته در این مطالعه، مقدار فلزات سنگین، ترکیبات BETX (بنزن، تولوئن، اتیل بنزن، زایلن P, O)، هیدروکربن‌ها، TOC و رادیونوکلیدها مشخص نشدند. همانطور که در جدول آمده است نتایج مطالعه نشان‌دهنده کیفیت نامطلوب آب لوله کشی شهر قم از نظر مزه و طعم است.

مقدار متوسط ترکیبات شیمیایی نظیر کلور، سولفات و کل جامدات محلول در شبکه شهری در طول سال، بیش از حد مجاز

1 Granular Activator Carbon (GAC)
2 Carbon Black
3 Film Tec
4 Post Carbon

اگرچه سهولت به‌کارگیری و نصب دستگاه RO در منازل برای دستیابی به کیفیت مطلوب آب و نیز سادگی و اتوماتیک بودن آن و اشغال فضای بسیار کم، مصرف کنندگان آب را به استفاده از این سیستم ترغیب می‌کند اما هنگامی که از منظر جامع‌تری به این مسئله نگریسته شود، این سؤال مطرح می‌شود که استفاده گسترده شهروندان از این سیستم برای تأمین آب آشامیدنی از نظر اقتصادی، بهداشتی و زیست محیطی دارای چه پیامدهای مثبت و منفی است. در این مطالعه به ارزیابی فنی و اقتصادی و بهداشتی کاربرد آب شیرین‌کن‌های خانگی در شهر قم پرداخته شد.

۲- روش

در این مطالعه که در سال ۱۳۸۸ صورت گرفت، با استفاده از روشهای آماری (نمونه‌گیری خوشه‌ای) به جمع‌آوری اطلاعاتی در خصوص تعداد خانوارهایی که برای تأمین نیاز آب آشامیدنی خود از سیستم تصفیه خانگی RO استفاده کرده‌اند و نیز نحوه دفع پساب این سیستم‌ها پرداخته شد. لازم به‌ذکر است که طبق آخرین سرشماری صورت گرفته در سال ۱۳۸۵، بعد هر خانوار شهری در قم ۴ نفر و تعداد خانوارهای شهر قم حدود ۲۴۲۰۰۰ اعلام گردیده است.

سرانه آب آشامیدنی بر اساس دستورالعمل سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی، ۳ تا ۵ لیتر به ازای هر نفر در شبانه روز اعلام شده است که در این مطالعه مقدار مورد نظر ۳ لیتر (مقدار حداقل) به ازای هر نفر در شبانه روز در نظر گرفته شد [۵].

همچنین برای برآورد مقدار انرژی مصرفی و میزان پساب تولیدی به ازای تولید ۱ مترمکعب آب آشامیدنی، از یک دستگاه RO که به‌طور معمول توسط شهروندان به‌منظور تصفیه آب شبکه شهری به‌کار می‌رفت، به‌صورت پایلوت استفاده گردید.

جدول ۱- مشخصات کمی منابع آب قم

عنوان	تعداد کل	دبی متوسط (لیتر بر ثانیه)	حداکثر ظرفیت تامین (لیتر بر ثانیه)	ظرفیت تامین کنونی (لیتر بر ثانیه)	متوسط EC (میکروموس بر سانتیمتر)	روش تصفیه
سد ۱۵ خرداد	۱	۱۸۵۰	۲۲۰۰	۲۱۰۰	۲۰۰۰	فیزیکی به روش انعقاد، ته‌نشینی
چاه‌های داخل شهر قم	۴۲	۴۱	۱۷۲۲	۱۴۳۵	۴۵۰۰	و فیلتراسیون
چاه‌های علی آباد	۱۳	۴۱	۵۳۳	۴۱۰	۲۵۰۰	اسمز معکوس

تصفیه، پمپاژ، کلرزنی و در نهایت توزیع آن در سطح شهر می‌شود و این در حالی است که به‌کارگیری سیستم RO خانگی با بازیافت ۳۰ درصد میزان پساب بسیار زیادی تولید می‌کند که در نهایت به دلیل عدم توسعه شبکه فاضلاب شهری و پایین بودن سطح آب‌های زیرزمینی به‌صورت دفع در چاه‌های جذبی به هدر می‌رود و هیچگونه اقدامی در مورد بازیافت و استفاده مجدد از این پساب صورت نمی‌گیرد.

۳-۱- ارزیابی بهداشتی و زیست محیطی

با توجه به مقرون به صرفه نبودن و نیز عدم سهولت دسترسی و فقدان آگاهی شهروندان در مورد استفاده از محلول‌های مناسب به‌منظور شستشوی فیلترهای RO، دفع این فیلترها به محیط ترجیح داده می‌شود.

همانطور که در جدول ۳ نشان داده شده است، سالانه ۹۸۰۰۰ فیلتر از کار افتاده بدون هیچگونه توجه خاصی به تبعات زیست محیطی آن همراه با زباله‌های شهری به محیط دفع می‌شود که حجم بالایی از محل‌لندفیل را اشغال می‌کند و هزینه‌های خاصی را در بر دارد. در ساختمان این فیلترها مواد مقاوم یا غیر قابل تجزیه زیستی وجود دارد. لازم به‌ذکر است که علاوه بر فیلترهای دفع شده، سایر متعلقات سیستم RO نیز در اثر خراب شدن و نقص فنی همراه زباله‌های شهری دفع می‌گردند و هیچگونه مدیریتی در مورد بازیافت، احیا و استفاده مجدد آنها صورت نمی‌گیرد.

تحقیقات نشان داده است که غلظت متوسط فلئورید در حد ۱ میلی‌گرم در لیتر می‌تواند در جلوگیری از پوسیدگی دندان مفید واقع گردد و در مقابل افزایش بیش از حد آن در آب باعث بیماری فلئوروزیس^۱ می‌شود [۷].

همانطور که در جدول ۲ نشان داده شد، غلظت فلئورید در آب لوله‌کشی شهری در حد استانداردهای آب آشامیدنی است اما مطالعه نشان داد که کاربرد سیستم تصفیه خانگی RO در شرایط ذکر شده، غلظت این عنصر را به حد صفر کاهش می‌دهد.

است و باعث ایجاد طعم و مزه نامطلوب آب می‌شود لذا شهروندان تمایلی به استفاده از آب شبکه توزیع ندارند و این در حالی است که مشخصات شیمیایی آب ایستگاه‌های توزیع آب شیرین (آب‌سار) در حد و اندازه مجاز است و شهروندان را به استفاده از این آب شرب متمایل می‌کند. اما نکته قابل ذکر در مورد استفاده از این ایستگاه‌ها، عدم دسترسی آسان است. لذا بخشی از شهروندان به ناچار مبادرت به کاربرد دستگاه‌های خانگی تصفیه آب نموده‌اند.

نتایج مطالعه نشان داد که ۳۶۰۰۰ خانوار قمی یعنی ۱۵ درصد جمعیت قم برای تأمین آب شرب مورد نیاز خود از سیستم تصفیه خانگی RO استفاده کرده‌اند. لازم به‌ذکر است که بسیاری از شهروندان در مصارف پخت و پز روزانه نیز از آب تولیدی سیستم RO استفاده می‌کنند و این در حالی است که مصرف سرانه پخت و پز بر اساس دستورالعمل سازمان مدیریت و برنامه ریزی ۵ تا ۱۰ لیتر به ازای هر نفر در شبانه روز اعلام شده است که در این مطالعه از آن به‌طور کامل چشم‌پوشی شد [۵].

همانطور که در جدول ۳ نشان داده شده است، هزینه مستقیم سالانه‌ای که بر ۳۶۰۰۰ خانوار معادل ۱۵ درصد جمعیت شهر قم وارد می‌شود، معادل قیمت تعویض ۱۹۸۰۰۰ عدد انواع فیلتر به‌علاوه انرژی برق مصرفی به‌منظور تصفیه است.

لازم به‌ذکر است که دوره زمانی تعویض فیلترها تحت شرایط دمایی ۴ تا ۳۸ درجه سلسیوس، pH ۳ تا ۱۱، TDS کمتر از ۱۰۰۰ ppm، سختی کمتر از ۸۰۰، فشار آب شهری معادل ۳۰ psi و کدورت ۱ NTU در نظر گرفته شده است و با توجه به اینکه متوسط غلظت TDS، سختی و کدورت شبکه شهری قم بسیار بالاتر از مقادیر ذکر شده است، لذا دوره زمانی تعویض فیلترها کوتاه‌تر از آن است که از آن چشم‌پوشی شود.

همچنین نتایج مطالعه نشان داد که سیستم اسمز معکوس خانگی با بازیافت ۳۰ درصد و فشار کاری ۱۰-۶ Kg/cm² برای تأمین نیاز سالانه آب آشامیدنی ۳۶۰۰۰ خانوار قمی که معادل ۱۵۷۶۷۴ مترمکعب است، ۱۴۱۹۱۲۰۰ کیلووات ساعت انرژی برق مصرف نموده و ۳۶۷۹۲۰ مترمکعب پساب تولید کرده است (جدول ۴). همانطور که بیان شد آب شبکه شهری از سد ۱۵ خرداد تأمین می‌شود که در ۶۵ کیلومتری شهر قم قرار دارد و هزینه زیادی صرف

¹ Fluorosis

جدول ۲- مشخصات کیفی منابع آب قم (شبکه شهری و ایستگاههای توزیع آب شیرین)

سولفات (mg/L)	کلسیم (mg/L)	فلوئور (mg/L)	منگنز (mg/L)	آهن (mg/L)	منیزیم (mg/L)	نیتريت (mg/L)	نترات (mg/L)	کلرور (mg/L)	سختی کل (mg/L)	pH	TDS (mg/L)	پارامترهای شیمیایی
۶۰۰	۲۵۰	۰/۶-۲/۶	۰/۵	۰/۳	۵۰	۳	۵۰	۶۰۰	۵۰۰	۶/۵-۹	۱۵۰۰	حداکثر مجاز استاندارد ۱۰۵۳ وزارت نیرو
۹۵۰±۲۰۰	۱۹۹/۵±۹۱/۵	۰/۹۲±۰/۲۲	۰/۹۲±۰/۲۲	۰/۱۶±۰/۰۴	۱۲۵±۳۰	۰/۰۰۷۵±۰/۰۰۰۵	۷/۳±۰/۲	۵۲۰±۱۴۲	۱۰۱۸±۳۱۰	۶/۷±۰/۵	۱۹۴۵±۱۵۰	شبکه شهری
۳۰±۶	۷±۲/۴۲	۰/۳۵±۰/۲	۰/۳۵±۰/۲	۰/۲۸±۰/۲	۵/۸۲±۰/۰۱	۰/۰۰۱۳±۰/۰۰۰۵	۳/۳۳±۰/۷۷	۱۱۵±۲۰	۴۰±۱۰	۷/۲±۰/۲	۲۳۵±۲۱	ایستگاه توزیع آب شیرین (آبشار)

مقدار مشخص شده شده

جدول ۳- مشخصات و دوره زمانی تعویض فیلترها

کل تعداد سالیانه تعویض فیلترها	طول عمر	عملکرد	نوع فیلتر
۷۲۰۰۰	۶ ماه	حذف املاح جامد (گل، خاک و...)	pp.5μ(pre- filter)
۳۶۰۰۰	۱ سال	حذف کلر، رنگ و بو	GAC
۳۶۰۰۰	۱ سال	حذف کلر، رنگ و بو	کربن سیاه
۱۸۰۰۰	۲ سال	جلوگیری و حذف املاح محلول	غشا RO
۳۶۰۰۰	۱ سال	جلوگیری و حذف رنگ و بو (احتمالی)	کربن پست
تعداد کل: ۱۹۸۰۰۰			

تصفیه خانگی RO، جا دارد این سوال مطرح گردد که اگر شهروندان قمی این امکان را پیدا کنند که به سهولت به ایستگاههای توزیع آب شیرین دسترسی پیدا کنند و برای تأمین آب آشامیدنی خود این ایستگاهها را برگزینند، قادر خواهند بود چه مقدار در هزینه‌های سالانه تأمین آب آشامیدنی خود صرفه جویی کنند و آن را در بخش دیگری (اجتماعی، فرهنگی، بهداشتی) که در نهایت نتیجه مناسب تری برای اجتماع و شهروندان به همراه داشته باشد، صرف نمایند.

این هزینه شامل مجموع بهای آب تصفیه شده و پساب تولیدی است که به صورت دفع در چاه جذبی هدر می‌رود. همچنین هزینه سالیانه مصرف انرژی برای تصفیه آب و تعویض فیلترها نیز در نظر گرفته شده است. بهای هر متر مکعب آب شبکه توزیع شهری ۶۰۲۰ ریال است. بهای هر متر مکعب آب ایستگاههای توزیع آب شیرین ۱۴۰۰۰ ریال است.

همانطور که در جدول ۵ آمده است، در صورتی که ۳۶۰۰۰ خانوار مورد مطالعه برای تأمین نیاز آب آشامیدنی خود از ایستگاههای آب شیرین به جای سیستم تصفیه خانگی RO استفاده کنند سالانه بیش از دو میلیارد ریال در هزینه صرفه جویی می‌شود.

جدول ۵- مقایسه هزینه‌های تأمین آب مورد نیاز آشامیدنی برای شهروندان

نیاز شرب سالانه (m ³)	هزینه تمام شده (شبكة شهری) (ریال)	هزینه تمام شده (ایستگاههای توزیع آب شیرین) (ریال)
۱۵۷۶۸۰	۹۴۹۲۳۳۶۰	۲۲۰۷۵۲۰۰۰۰

۴- نتیجه‌گیری

استفاده از سیستم‌های تصفیه خانگی RO، از جنبه‌های اقتصادی و بهداشتی و زیست محیطی هزینه‌هایی را بر اجتماع وارد می‌کند که از دید مدیران شهری و همچنین شهروندان پنهان است.

نتایج این مطالعه تنها در مورد ۱۵ درصد از خانوارهای شهر قم بود و این در حالی است که بخش عمده‌ای از ادارات و سازمان‌ها و مراکز تجاری شهر قم به استفاده از سیستم RO مبادرت نموده‌اند.

قابل ذکر است که با توجه به مناسب بودن کیفیت آب ایستگاههای علی‌آباد، برای حل کوتاه مدت مسئله باید در جهت توسعه شبکه و افزایش این ایستگاهها و امکان دسترسی آسان شهروندان به آن اقدام نمود و از طرف دیگر به آموزش مردم با هدف ارتقاء آگاهی آنان در زمینه استفاده از سیستم تصفیه خانگی RO و پیامدهای اقتصادی و زیست محیطی و بهداشتی آن مبادرت نمود.

البته باید در نظر گرفت که در مورد کم بودن میزان فلئوئورید

جدول ۴- میزان نیاز شرب سالانه آب و هزینه‌های مربوط به آن

میزان سالانه مصرف انرژی (Kwh)	میزان پساب تولیدی سالانه (m ³ /year)	نیاز شرب سالانه (m ³)
۱۴۱۹۱۲۰۰	۳۶۷۹۲۰	۱۵۷۶۷۵

از طرف دیگر وجود کلر باقیمانده در سیستم توزیع آب شهری می‌تواند ضمن کنترل رشد بیوفیلم و باکتری‌های پلانکتونیک، در جلوگیری از آلودگی‌های ثانویه نیز نقطه اطمینانی باشد. اما حذف کلر توسط سیستم اسمز معکوس می‌تواند به مرور زمان فرصت رشد بیوفیلم و به دنبال آن پاتوژن‌های فرصت طلب نظیر سودوموناس^۱ آئروموناس^۲ را فراهم کند [۸].

یک مطالعه اپیدمیولوژی نشان داد که بین شمارش باکتریایی آب آشامیدنی در ۳۵ درجه سلسیوس و بروز علائم بیماری گوارشی در ۶۰۰ خانوار مصرف کننده آب تصفیه شده با اسمز معکوس، ارتباط وجود دارد؛ میزان ناراحتی‌های گوارشی در گروه مصرف کننده آب شیر عادی، ۳۰ درصد بیش از گروهی بود که آب تصفیه شده با اسمز معکوس را مصرف می‌نمودند. در مطالعه‌ای دیگر معلوم شد که کودکان ۲ تا ۵ ساله، بیشترین جمعیتی بودند که گرفتار ناراحتی‌های گوارشی بودند. بنابراین هر چند به نظر می‌رسد که اسمز معکوس، بروز ناراحتی‌های گوارشی را کاهش می‌دهد اما تصفیه با وسایل خانگی ممکن است که تأثیری نامطلوب روی کیفیت میکروبیولوژی آب آشامیدنی داشته باشد [۹].

مطالعات نشان داده است که آبهای سخت در جلوگیری از بیماریهای قلبی-عروقی مفید هستند و این در حالی است که در روش اسمز معکوس، به دلیل دفع بالای یون‌های دو ظرفیتی نظیر کلسیم و منیزیم که عوامل اصلی تشکیل دهنده سختی آب هستند، آب تولیدی نهایی دارای سختی بسیار پایینی است. کلیه مسائل ذکر شده در ارتباط با ارزیابی‌های بهداشتی و زیست محیطی می‌تواند جزو هزینه‌های غیرمستقیم (پیامد اقتصادی منفی) استفاده از این سیستم‌ها باشد.

۳-۲- ارزیابی اقتصادی (هزینه فرصت)

هزینه فرصت، مقدار فایده یک کالای جایگزین است که در نتیجه استفاده کالای مورد نظر از دست رفته است؛ به عبارت دیگر آنچه که با یک تصمیم یا انتخاب از دست می‌رود، هزینه فرصت آن انتخاب و یا تصمیم خوانده می‌شود [۳].

صرف نظر از پیامدهای اقتصادی مثبت و منفی انتخاب سیستم

¹ Pseudomonas
² Aeromonas

موضوع با تحمیل کمترین هزینه‌ها اقدام نمود. البته تسریع در تکمیل پروژه انتقال و تصفیه آب سرشاخه‌های دز می‌تواند ضمن برآورده نمودن نیاز کیفی آب آشامیدنی، به رفع دغدغه‌های بهداشتی و هزینه‌های ناشی از کنترل و نظارت چندین منبع تأمین آب آشامیدنی شهروندان کمک زیادی نماید.

آب ایستگاههای علی‌آباد نیز باید با نصب سیستم فلوئورزنی در افزایش میزان آن تا حد استاندارد اقدام نمود. با توجه به موقعیت خاص شهر قم و وجود دو شبکه آبرسانی با ویژگی‌های خاص، می‌توان با در نظر گرفتن ارزیابی‌های اقتصادی و زیست محیطی و بهداشتی نسبت به مدیریت کارآمدتر این

۵- مراجع

- 1- Liikanen, R., Yli-Kuivila, J., Tenhunen, J., and Laukkanen, R. (2006). "Cost and environmental impact of nanofiltration in treating chemically pre-treated surface water." *Desalination*, 201, 58-70.
- 2- Pei Xu, J.E., and Drewes, D.H. (2008). "Beneficial use of co-produced water through membrane treatment: Technical-economic assessment." *Desalination*, 225 139-155.
- 3- Hernández, F., Urkiaga, A., De Las Fuentes, L., Bis, B., Chiru, E., Balazs, B., and Wintgens, T. (2006). "Feasibility studies for water reuse projects: An economical approach." *Desalination*, 187 253-261.
- 4- Kermani, M. (2003). *Advanced methods in water treatment industry*, Ghashe. Pub., Tehran. (In Persian)
- 5- Ministry of Energy. (1999). *The technical guidance in designing of sewerage*, Tehran. (In Persian)
- 6- Greenberg, A.E., Clesceril, S., and Eaton A.D. (1995). *Standard methods for the examination water and wastewater*, 19th Ed., AOHS, AWWA, WEF, US.
- 7- Rani, D.E., Alemayehu, V., and Singh, A.K. (2008). "Removal of fluoride, arsenic and coliform bacteria by modified homemade filter media from drinking water." *Bioresource Technology*, 99, 2269-2274.
- 8- Marie, E., Rosangela, G., and Marcio, G. (2007). "Comparison of the bacteriological quality of tap water and bottled mineral water." *Environmental Health*, 155, 238-248.
- 9- Mirhendi, H. (2005). *Wastewater microbiology*, Tehran University Pub., Tehran. (In Persian)