

Research Article



DOI: 10.22034/ijche.2021.269633.1091



DOR: 20.1001.1.17355400.1400.20.119.1.2



This journal is an open access journal licensed under an Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International license (CC BY-NC-ND 4.0).

## Investigation of Techno-Economical Replacement of Solar Distillation Systems with Household Water Purifiers

A. Ahmadi<sup>1</sup>, M. H. Sarrafzadeh<sup>2\*</sup>, S. M. Razavi<sup>3</sup>, M. Abbasjoobi<sup>4</sup>

1- M.Sc. in UNESCO Chair on Water Reuse (UCWR), University of Tehran

2- Professor of UNESCO Chair on Water Reuse (UCWR), University of Tehran

3- M.Sc. Student of School of Chemical Engineering, University of Tehran

4- M.Sc. Student of UNESCO Chair on Water Reuse (UCWR), University of Tehran

Email: sarrafzdh@ut.ac.ir

### Abstract

*Drinking water supply in the household consumption sector has always been emphasized due to its direct impact on human health. One of the common methods to reduce soluble solid pollutants that is used in many parts of the country, is the use of household water purifiers. Despite the usefulness of filters in these devices which need to be replaced at regular intervals, they waste 70-80% of piped water by transferring it to sewage due to their mechanism of action based on reverse osmosis. In contrast, there are solar distillation systems that produce distilled water using solar energy. The use of solar distillation systems has a high potential to provide quality drinking water for sparsely populated areas and hot weather due to its prevention of water loss, easy use and long life. The purpose of this research was to Techno-economic study the use of household water purifiers and solar distillation system to achieve quality and potable water in homes, as well as to analyze the sensitivity of water cost, operating cost and increase the initial fixed cost. The results show that despite the higher initial cost of the solar distillation system, the cost of using these systems in the long run is more economical, and the water loss for these systems can be ignored.*

Received: 21 January 2021

Accepted: 20 July 2021

Page Number: 7-21

### Keywords:

Solar Distillation,  
Household Water Purifiers,  
Drinking Water,  
Total Dissolved Solids

### Please Cite this Article Using:

Ahmadi, A. Sarrafzadeh, M. H., Razavi, S. M., Abbasjoobi, M., "Investigation of Techno-Economical Replacement of Solar Distillation Systems with Household Water Purifiers", Iranian Chemical Engineering Journal, Vol. 20, No. 119, pp. 7-21, In Persian, (2022).



## بررسی فنی و اقتصادی استفاده از سامانه‌های تقطیر خورشیدی با قابلیت کاربرد به‌عنوان دستگاه تصفیه آب خانگی

عباس احمدی<sup>۱</sup>، محمدحسین صرافزاده<sup>۲\*</sup>، سیدمحمد رضوی<sup>۳</sup>، مهران عباسجویی<sup>۴</sup>

۱- کارشناس ارشد، کرسی یونسکو در بازیافت آب، دانشگاه تهران

۲- استاد، کرسی یونسکو در بازیافت آب، دانشگاه تهران

۳- دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی شیمی، دانشگاه تهران

۴- دانشجوی کارشناسی ارشد، کرسی یونسکو در بازیافت آب، دانشگاه تهران

پیام نگار: sarrafzdh@ut.ac.ir

### چکیده

تأمین آب آشامیدنی در بخش مصرف خانگی به دلیل اثربخشی مستقیم بر سلامت انسان همواره مورد تأکید بوده است. یکی از روش‌های رایج برای کاهش آلاینده‌های جامد محلول که در بسیاری از مناطق کشور به کار می‌رود، استفاده از دستگاه‌های تصفیه‌کننده آب خانگی است. با وجود مصرفی بودن پالایه‌های این دستگاه‌ها کهدر بازه‌های زمانی مشخصی تعویض می‌شود، با توجه به سازوکار عمل‌کردشان که مبتنی بر اسمز معکوس است، ۷۰-۸۰٪ از آب لوله‌کشی را با انتقال به پساب هدر می‌دهند. در مقابل، سامانه‌های تقطیر خورشیدی وجود دارد که با استفاده از انرژی خورشیدی، آب مقطر تولید می‌کنند. سامانه‌های تقطیر خورشیدی به دلیل جلوگیری از هدررفت آب، استفاده آسان و طول عمر زیاد، توان بالایی برای تأمین آب آشامیدنی با کیفیت برای نواحی با جمعیت اندک و آب و هوای گرم دارند. بررسی فنی و اقتصادی استفاده از دستگاه‌های تصفیه آب خانگی و سامانه تقطیر خورشیدی برای دستیابی به آبی با کیفیت و قابل آشامیدن در منازل و همچنین بررسی تجزیه حساسیت هزینه آب، هزینه عملیاتی و افزایش هزینه ثابت اولیه، هدف این پژوهش است. نتایج نشان می‌دهد که با وجود هزینه اولیه بالاتر سامانه تقطیر خورشیدی، هزینه استفاده از این سامانه در درازمدت از نظر اقتصادی به صرفه‌تر است، ضمن آن‌که کاستی هدررفت آب نیز در این سامانه‌ها وجود ندارد.

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱۱/۰۲

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۴/۲۹

شماره صفحات: ۷ تا ۲۱

### کلیدواژه‌ها:

تقطیر خورشیدی،

تصفیه آب خانگی،

آب آشامیدنی،

کل جامدات محلول

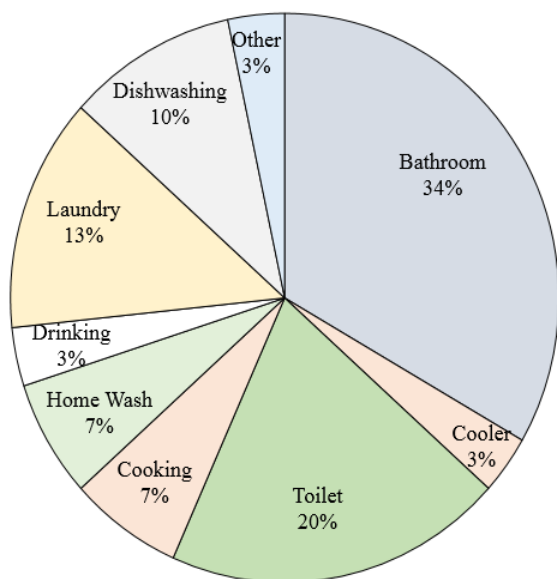
\* تهران، دانشگاه تهران، پردیس دانشکده‌های فنی، دانشکده مهندسی شیمی، کرسی یونسکو در بازیافت آب

### استناد به مقاله:

احمدی، ع.، صرافزاده، م. ح.، رضوی، س. م.، عباسجویی، م.، "بررسی فنی و اقتصادی استفاده از سامانه‌های تقطیر خورشیدی با قابلیت کاربرد به‌عنوان دستگاه تصفیه آب خانگی"، نشریه مهندسی شیمی ایران، سال بیستم، شماره ۱۱۹، صص. ۷-۲۱، (۱۴۰۰).

## ۱. مقدمه

مناسبی برای آشامیدن و پخت و پز ندارد و اغلب این افراد به‌ناچار باید اقدام به خرید آب آشامیدنی از شهر و انتقال آن به محل زندگی خود کنند. همچنین مواد جامد معلق<sup>۵</sup> نیز به‌دلیل مؤلفه‌های بسیاری هم‌چون پمپاژ و توزیع در خط لوله با قدمت زیاد و دارای فرسودگی و خوردگی باعث تأثیرگذاری بر کیفیت آب آشامیدنی می‌شوند.



شکل ۱. درصد توزیع روزانه سرانه مصرف آب در بخش خانگی [۴].

Figure 1. Percentage of the daily distribution per water consumption in the household sector.

خرید آب آشامیدنی با کیفیت از راه‌های گوناگونی هم‌چون بطری آب معدنی، خرید از تانکرهای آب‌رسان یا کارگاه‌های تصفیه آب در برخی مناطق کشور رایج است. صرف نظر از کیفیت آن‌ها، استفاده مداوم از آن‌ها به‌دلیل هزینه و حمل و نقل، برای خانوارها مشکلاتی را در پی داشته است. از سویی تأمین آب آشامیدنی با کیفیت از راه شبکه انتقال آب‌رسانی شهری به‌دلیل حجم بالا و نیاز روزانه آن فرایندی پرهزینه است و در برخی شهرها که میزان شوری و مواد محلول در آب زیاد است، اجرای این فرایند را بسیار مشکل کرده است. یکی از روش‌های تصفیه در محل که راهکار مطلوب مردم در اقصی نقاط کشور است، استفاده از دستگاه‌های آب‌شیرین‌کن خانگی برای شیرین‌سازی و کاهش مواد جامد محلول در آب است. در پژوهشی که در شهر ساری در زمینه میزان رضایت مردم از کیفیت

بحران آب، به یکی از موضوعات چالش برانگیز جهانی تبدیل شده است؛ طبق گزارش مؤسسه جهانی منابع<sup>۱</sup> در سال ۲۰۱۹، ۲۵٪ از جمعیت جهان در معرض بحران آب قرار گرفته‌اند، در بین آن‌ها ۱۷ کشور در منطقه خاورمیانه و شمال آفریقا<sup>۲</sup> بالاترین سطح بحران آب را دارند که ایران در این بین رتبه چهارم را دارد. برخی دیدگاه‌ها ایجاد وضع موجود را ناشی از تغییر اقلیم، خشک‌سالی و وجود تحریم‌ها می‌داند؛ در صورتی که به‌نظر می‌رسد دید غیریک‌پارچه به مدیریت منابع آب، یکی از عوامل وجود این مشکلات است [۱]. به‌عنوان مثال از مهم‌ترین ویژگی‌هایی که برای بازیافت پساب برشمرده می‌شود، سهم انکار ناشدنی آن برای افزایش پایداری مدیریت منابع آب، در طی سال‌های آینده است [۲]. طبق تعریف سازمان ملل متحد در سال ۱۹۸۵، "سامانه منابع آب" (عرضه) و "گروه‌های مصرف‌کننده" (تقاضا) رکن اصلی مدیریت منابع آب به‌شمار می‌رود [۳]. میزان مصرف سرانه آب در هر روز در بخش خانگی ۱۵۰ لیتر تخمین زده می‌شود، در شکل (۱) درصد مصرف روزانه بخش‌های مختلف نشان داده شده است. بر اساس شکل (۱) نیاز روزانه آشامیدن و پخت و پز برای هر فرد به‌ترتیب ۵ و ۱۰ لیتر تخمین زده می‌شود [۴]. این بخش‌ها جزء اصلی‌ترین بخش‌های مصرف خانگی است که به بالاترین کیفیت آب آشامیدنی نیازمند است.

از مهم‌ترین آلاینده‌هایی که در بخش آشامیدنی و پخت و پز مصرف خانگی مؤثر است کل جامدات محلول است که معمولاً شامل کاتیون‌های کلسیم، منیزیم، پتاسیم، سدیم و آنیون‌های کربنات، هیدروژن کربنات، کلراید، سولفات و نیترات است [۵] سازمان بهداشت جهانی<sup>۳</sup> استاندارد قابل پذیرش برای کل جامدات محلول<sup>۴</sup> را ۱۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر اعلام کرده است؛ اگرچه در این گزارش اعلام شده که این مقدار اعلامی قابل پذیرش، بر اساس شرایطی می‌تواند متفاوت باشد. در گزارش WHO آمده که آب آشامیدنی دارای گوارایی در حد عالی، آب دارای TDS زیر ۳۰۰ میلی‌گرم بر لیتر است [۶]. در برخی مناطق کشور هم‌چون مناطق مرکزی و جنوبی، آب شهری ورودی به خانه‌های مردم به‌دلیل شوری کیفیت

1. World Resources Institute (WRI)  
2. Middle East and North Africa (MENA)  
3. World Health Organization (WHO)  
4. Total Dissolved Solid (TDS)

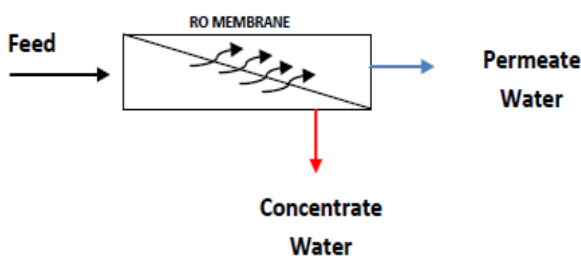
5. Total Suspended Solid (TSS)

۴- مرحله چهارم: پالایه ممبران یا اسمز معکوس است؛ قطر حفره‌های این پالایه بسیار ریز است، به گونه‌ای که در این پالایه تقریباً تمامی ناخالصی‌های آب و حتی سختی‌هایی که در آب وجود دارد و منجر به رسوب‌گذاری در کتری و چای‌ساز می‌شود نیز از آب جدا می‌شود. عمر این پالایه یک یا دو سال تخمین زده می‌شود.

۵- مرحله پنجم: پالایه پست کربن است. این پالایه مانند پالایه مرحله دوم از جنس کربن است و وظیفه آن حذف بو و طعمی است که در اثر ماندگی در مخزن ایجاد شده است. طول عمر مفید این پالایه نیز یک سال برآورد می‌شود.

۶- مرحله ششم: این مرحله مرحله معدنی‌ساز<sup>۱</sup> است؛ به دلیل این که غالب مواد معدنی از آب جدا شده است برای جبران آن یک مرحله دیگر در بعضی از دستگاه‌ها قرار داده شده که در آن کلسیم و منیزیم به آب اضافه می‌کند و به نوعی کمبود املاح آب را جبران می‌کند.

مرحله چهارم یا استفاده از پالایه ممبران، قلب دستگاه‌های تصفیه آب خانگی است. سازوکار به کاررفته در غشای اسمز معکوس در شکل (۲) نشان داده شده است. در این مرحله به دلیل نحوه حرکت مماسی آب از روی غشا، جریان ورودی<sup>۲</sup> به دو جریان تقسیم می‌شود؛ یکی جریان تراوش یافته از غشا<sup>۳</sup> و دیگری که بخش عظیمی از جریان ورودی را شامل می‌شود، جریان تغلیظ شده<sup>۴</sup> است و بدون نفوذ از روی غشا عبور می‌کند [۱۰].



شکل ۲. جریان‌های ورودی و خروجی غشای اسمز معکوس.

Figure 2. Inlet and outlet streams in RO membrane.

1. Mineralize
2. Feed
3. Permeate
4. Concentrate

آب آشامیدنی انجام گرفت، مشخص شد که ۱۱ درصد از افراد مورد مصاحبه از آب دستگاه‌های تصفیه آب خانگی استفاده می‌کنند [۷]. استفاده از دستگاه‌های تصفیه آب خانگی بیشتر به دلیل هدررفت و نیاز به تعویض پالایه‌ها- با توجه به ماهیت مصرفی آن‌ها- در بخش خانگی توصیه نشده و روش‌های متفاوتی برای جایگزینی آن‌ها پیشنهاد شده است. یکی از راهکارهایی که در حدود سال‌های ۱۹۹۷، غالب فرایندهای نمک‌زدایی با آن انجام می‌گرفت، استفاده از فرایندهای تقطیر بوده است [۸]. در واقع مشکل عمده فرایند تقطیر، تأمین انرژی بالای آن است که چنانچه بتوان با استفاده از انرژی خورشیدی بر این مشکل غلبه کرد، می‌تواند به دلیل ماهیت تجدیدپذیری و دوستداری محیط زیست در بخش مصارف خانگی به کار رود [۹].

هدف از این پژوهش بررسی جایگزینی استفاده از سامانه تقطیر خورشیدی به جای دستگاه‌های تصفیه آب خانگی در تأمین آب آشامیدنی خانگی است که در ادامه به بررسی ویژگی‌های هریک پرداخته و تجزیه و تحلیل شده است.

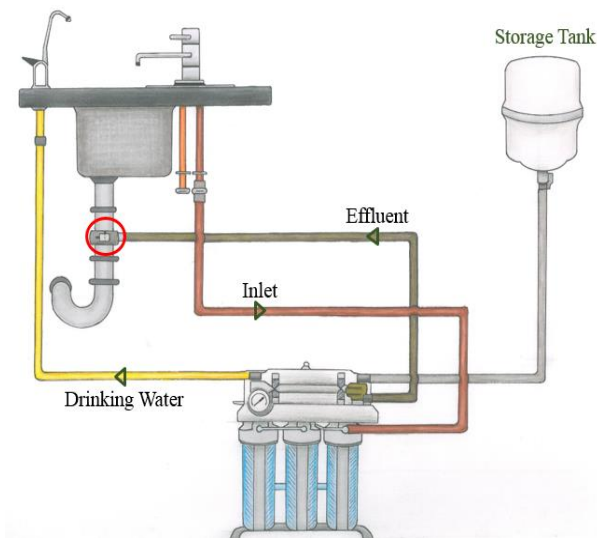
## ۲. دستگاه تصفیه آب خانگی

استفاده از دستگاه‌های تصفیه آب خانگی، برای تأمین آب آشامیدنی سالم بین مردم شهرهای مختلف ایران رایج شده است؛ اصول این دستگاه‌ها بر مبنای پالایش سامانه‌های غشایی استوار است. تعداد مراحل این دستگاه‌ها، بر حسب تعداد پالایه‌هایی که در محل عبور جریان قرار دارد، متفاوت است. برخی از این دستگاه‌ها ۵ مرحله‌ای و برخی نیز با اضافه شدن مرحله معدنی‌ساز، ۶ مرحله‌ای هستند.

۱- مرحله اول: این پالایه بیشتر از جنس پروپیلن است و وظیفه آشغال‌گیری را بر عهده دارد. طول عمر مفید این پالایه‌ها شش الی هفت ماه تقریب زده می‌شود.

۲- مرحله دوم: پالایه کربن فعال است، که وظیفه حذف آلاینده‌های شیمیایی و سمی را بر عهده دارد. همانند مرحله اول، در مرحله دوم نیز طول عمر مفید شش الی هفت ماه برآورد می‌شود، سپس نیازمند تعویض است.

۳- مرحله سوم: پالایه کربن بلاک همراه با توری دور آن است. این مرحله دارای منافذی با قطر ۱ میکرون است، منافذ آن ریزتر است و مواد ریزتری را می‌تواند از آب حذف کند و زمان تعویض آن نیز شش ماه است.



شکل ۴. طرحواره دستگاه تصفیه آب خانگی.

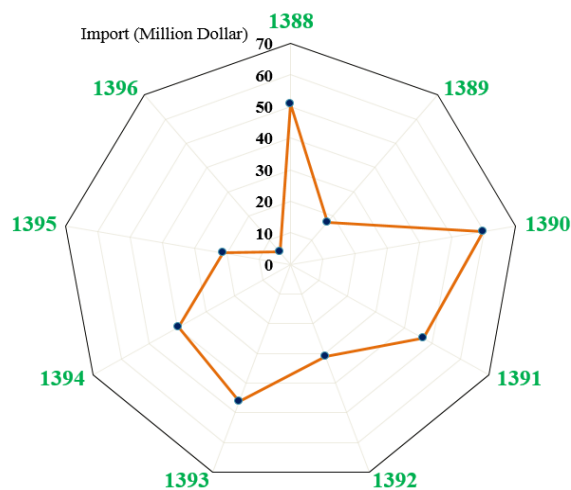
Figure 4. Schematic of a Household Water Purifier.

ریزاندام‌ها، خود می‌توانند محیط مناسبی برای رشد میکروب‌ها و تشکیل بیوفیلم باشند؛ به دلیل تنوع بالای میکروب‌ها و مقاومت برخی از آن‌ها در مقابل آنتی‌بیوتیک‌ها، احتمال انتقال ژن‌های مقاوم به باکتری‌های دیگر و یا از راه آب آشامیدنی به بدن وجود دارد. به‌عنوان مثال در مطالعه آب شهر اهواز وجود باکتری سودوموناس آیزوژینوزا، با بیشترین مقاومت آنتی‌بیوتیکی، شناسایی شد [۱۲]. در مطالعه‌ای دیگر مشخص شد که حذف کلر آزاد باقی‌مانده در آب به تدریج موجب تشکیل بیوفیلم در سطح و روی پالایه‌ها شده، با نفوذ این باکتری‌ها به آب، موجب آلودگی میکروبی آن می‌شود [۱۳].

### ۳. دستگاه تقطیر خورشیدی

قرارگرفتن ایران در کمربند خورشیدی دریافت سالانه ۲۸۰۰ ساعت انرژی خورشیدی با متوسط تابش  $2000 \text{ kWh/m}^2$  را ممکن کرده است [۱۴-۱۵]. مدیریت این انرژی در جنبه‌های مختلف مصرف مفید است و چنان‌چه بتواند در سامانه تقطیر خورشیدی استفاده شود امکان تأمین آب آشامیدنی و پخت و پز خانوارها را ممکن می‌سازد. در واقع یک سامانه تقطیر خورشیدی از اصول پایه تبخیر و میعان استفاده می‌کند، آب ناخالص و شور وارد سامانه تقطیر خورشیدی می‌شود و به‌دنبال اثر گلخانه‌ای که

دستگاه تصفیه آب در گمرکات کشور دارای شماره تعرفه ۸۴۲۱۲۱۰۰ است. آمار رسمی واردات منتشرشده این کد کالا مستخرج اتاق بازرگانی، صنایع، معادن و کشاورزی تهران در شکل (۳) نمایان است، در بازه زمانی بین سال‌های ۱۳۸۸ تا ۱۳۹۶ واردات دستگاه تصفیه آب به‌طور میانگین ارزشی معادل با ۳۵ میلیون دلار داشته است.



شکل ۳. آمار رسمی واردات دستگاه تصفیه آب

در طی سال‌های ۱۳۸۸-۱۳۹۶.

Figure 3. Official statistics of water purifier imports during the years between 2009-2017.

### ۲-۱ کاستی‌های استفاده از دستگاه‌های تصفیه آب خانگی

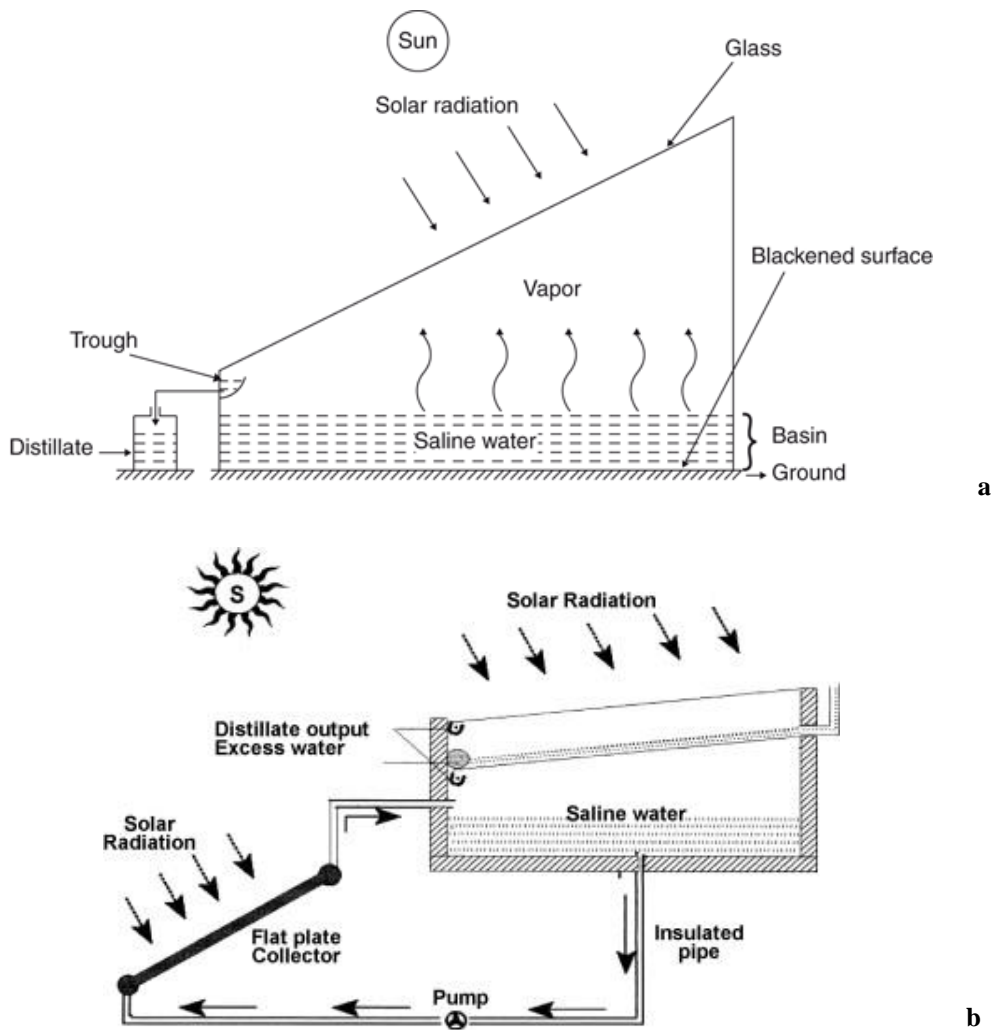
در سامانه‌های تصفیه آب خانگی مشکل اصلی میزان هدررفت پنهان آب است؛ برآورد شده که اغلب سامانه‌های تصفیه آب خانگی مبتنی بر اسمز معکوس بر مبنای ۲۰ تا ۳۰ درصد نرخ بازیابی آب ورودی طراحی شده‌اند [۱۱]. اگر فرض کنیم که میزان بازیابی ۲۰٪ باشد، ۸۰٪ هدررفت وجود خواهد داشت. یعنی در واقع از هر ۱۰ لیوان آبی که به دستگاه تصفیه آب خانگی وارد می‌شود ۸ لیوان به پساب تخلیه می‌شود و تنها ۲ لیوان به‌عنوان آب تصفیه‌شده به دست می‌آید؛ زیرا مطابق طرحواره دستگاه تصفیه آب خانگی نشان داده شده در شکل (۴)، جریان تغلیظ‌شده خروجی بدون هیچ‌گونه استفاده مفیدی به داخل پساب تخلیه می‌شود.

باوجود میزان هدررفت بالای دستگاه‌های آب خانگی، برخی از مطالعات نشان داده است که این پالایه‌ها به‌دلیل به دام‌انداختن

در نتیجه جذب پرتوهای خورشیدی به سطح شیشه به وجود می‌آید، تبخیر می‌شوند. این بخار آب پس از برخورد با سطح شیشه‌ای، مایع شده، از روی آن سطح به مخزن تعبیه‌شده جمع‌آوری آب مقطر، جاری می‌شود و در آنجا تجمع می‌یابد. به‌منظور جلوگیری از تجمع نمک، هرچند وقت یک‌بار نیاز به شستشو با آب ورودی دارد تا نمک زیادی در انتهای آن ته‌نشین نشود. این سامانه چنانچه به شکل کارآمد به کار رود، معمولاً به‌ازای هر متر مربع سطح، ۲ تا ۳ لیتر آب مقطر در روز تولید می‌کند، هم‌چنین طول عمر این دستگاه‌ها نیز در صورت استفاده صحیح زیاد است و ممکن است تا ۲۵ سال نیز برسد [۱۶].

### ۳-۱ انواع دستگاه تقطیر خورشیدی

دستگاه‌های تقطیر خورشیدی به دو دسته کلی دستگاه‌های فعال و غیرفعال تقسیم‌بندی می‌شوند. همان‌گونه که در شکل (۵-ا) نشان داده شده است، دستگاه‌هایی که در آن انرژی خورشیدی به‌طور مستقیم به حوضچه تقطیر خورشیدی می‌تابد از نوع دستگاه غیرفعال است و دستگاه‌هایی که در آن انرژی ثانویه‌ای برای افزایش نرخ تبخیر به حوضچه دستگاه‌های غیرفعال وارد می‌شود، از نوع دستگاه‌های فعال (شکل (۵-ب) است. این منابع خارجی انواع متفاوتی دارند و می‌توانند متمرکزکننده‌های خورشیدی و انرژی‌های حرارتی اتلافی و غیره باشند [۱۷].



شکل ۵. دستگاه تقطیر خورشیدی (a) غیرفعال (b) فعال.

Figure 5. Solar Distillation Systems (a) Passive (b)Active.



### ۲-۳ آب مقطر تولید شده در تقطیر خورشیدی

خلوص آب مقطر تولیدشده بسیار بالاست و همانند آب مقطرهای تجاری بی‌مزه نیست؛ زیرا این آب مقطرها جوشانده نمی‌شوند [۱۸]، این سامانه‌های خورشیدی نیز مانند طبیعت از سازوکار بخارشدن و مایع شدن طبیعی استفاده می‌کنند؛ همانند آنچه در طبیعت وجود دارد، تغییری در خواص آب تولیدی هم‌چون pH رخ نمی‌دهد؛ در صورتی که استفاده از سازوکار جوشاندن برای تأمین آب مقطر pH را کاهش می‌دهد [۱۶]. سامانه‌های تقطیر خورشیدی قادرند که تمامی نمک‌ها و آلاینده‌های زیستی و باکتری‌هایی هم‌چون کریپتوسپورییدیوم<sup>۱</sup>، ای کلای<sup>۲</sup> و غیره را حذف کنند. اثبات شده است که برخی از سامانه‌های تقطیر خورشیدی از منبع آبی بدون کیفیت می‌توانند آب آشامیدنی به دست آورند و چنان‌چه از تماس منبع آبی آلوده با آب مقطر به‌طور کامل جلوگیری شود، می‌توانند ۹۹/۹ درصد باکتری‌های موجود در آب را از بین ببرند [۱۶].

عموم مردم چنین می‌پندارند که از آب مقطر به‌عنوان آب آشامیدنی نباید استفاده کرد. سازمان انرژی خورشیدی ال پسو<sup>۳</sup> با افرادی در مکزیک ملاقات داشته که بسیار به سلامت خود اهمیت می‌دادند و به‌جای مصرف آب‌های غیربهداشتی منطقه‌ای، رو به مصرف آب مقطر گذاشتند و از نظر سلامتی در وضعیت بهتری قرار گرفتند [۱۹]. هم‌چنین دکتر اندروویل<sup>۴</sup> از دانشگاه آریزونا در مورد استفاده از آب مقطر چنین بیان می‌کند که: «من با مردمی دیدار کردم که آب مقطر و تصفیه‌شده را مصرف نمی‌کردند؛ زیرا اعتقاد داشتند که املاح معدنی از آن گرفته شده است. در صورتی که ما به‌طور طبیعی مقدار اندکی مواد معدنی را از مواد غذایی هم‌چون گیاهان و سبزیجات دریافت می‌کنیم. فوائد استفاده از آب آشامیدنی تصفیه‌شده بی‌اندازه است. این آب بهترین راه حفاظت بدن ما در برابر ورود سم‌ها و آلاینده‌هایی هست که خطر بزرگی برای سلامت انسان به حساب می‌آیند.» [۱۶]. در واقع دیدگاه‌های متفاوتی برای استفاده از آب مقطر گزارش شده است؛ برخی معتقدند که همان‌گونه که برای آزمایش‌های حساس از آب مقطر استفاده می‌شود، برای سلامتی خود نیز باید چنین کرد و از آب لوله‌کشی

استفاده نشود [۲۰]، در مقابل نیز برخی به لزوم حداقلی مواد معدنی در آب آشامیدنی اشاره دارند و معدنی‌سازی مجدد آب‌های مقطر تولیدی را برای دستیابی به حد اقل مقدار کلسیم، کربنات، منیزیم و غیره لازم می‌دانند [۲۱].

### ۴. بررسی اقتصادی

جنبه دیگری از بررسی دستگاه آب‌شیرین‌کن خانگی و سامانه تقطیر خورشیدی توجه به ارزش اقتصادی استفاده از هر یک است. با در نظرگیری مصرف روزانه ۵ الی ۱۰ لیتر آب برای هر فرد و هم‌چنین مصرف آب برای یک خانواده ۴ یا ۵ نفره، می‌توان فرض کرد یک خانواده به‌طور میانگین روزانه ۳۰ لیتر آب مصرف می‌کند؛ لذا مبنای محاسبات اقتصادی بر پایه تصفیه روزانه ۳۰ لیتر آب در محاسبات انجام می‌پذیرد. در این بخش به محاسبات اقتصادی دو روش مورد بررسی یعنی اول دستگاه تصفیه آب خانگی و دوم سامانه تقطیر خورشیدی پرداخته می‌شود و هزینه‌ها و شاخص‌های اقتصادی دو روش با هم مقایسه می‌شود.

به‌منظور بررسی دو طرح ابتدا هزینه ثابت اولیه<sup>۵</sup> و هزینه عملیاتی<sup>۶</sup> (هزینه ثابت و متغیر) دستگاه تصفیه آب خانگی در جدول (۱) و سامانه تقطیر خورشیدی در جدول (۲) به‌صورت موردی شرح داده می‌شود. از آنجایی که خرید سامانه تقطیر خورشیدی مرسوم نیست؛ لذا قیمتی برای آن در فروشگاه‌ها وجود ندارد؛ ولی از آنجایی که در مؤلفه طراحی آن برای تولید روزانه ۳۰ لیتر آب به‌میزان ۱۲ متر مربع مساحت مورد نیاز خواهد بود، بهای اجناسی مانند شیشه و ورق آلومینیوم لحاظ شده است، هم‌چنین قیمت پمپ هم بر اساس توان و هد مورد نیاز اعمال شده و در آخر برای تهیه دستگاه تصفیه خورشیدی هزینه‌ای برای طراحی و ساخت و اجرا در نظر گرفته شده است. هزینه خرید آب بر اساس مصوب مصرف آب و پساب شهری ۴/۶۰۰ ریال برای هر متر مکعب در نظر گرفته شده است، هم‌چنین با در نظر گرفتن ۸۰ درصد هدررفت آب ورودی در دستگاه تصفیه آب خانگی برای هر ۳۰ لیتر آب تصفیه‌شده، مقدار ۱۵۰ لیتر آب مورد نیاز است که در جدول (۱) به آن اشاره شده است.

سپس با توجه به استعلام هزینه‌های ثابت اولیه و عملیاتی هر دو واحد که در دو جدول قبل نمایش داده شده، می‌توان شاخص‌های

1. Cryptosporidium
2. Escherichia Coli
3. El Paso Solar Energy Association (EPSEA)
4. Dr. Andrew Weil

5. Fixed Capital Investment (FCI)
6. Operating Cost

نتایج خروجی این نرم‌افزار نیز در پایان این بخش آورده شده است. هم‌چنین در نرم‌افزار کامفار بر این فرض شده است که دورهٔ تهیه و نصب دستگاه‌ها ۶ ماه باشد و آغاز استفاده از نیمهٔ دوم سال ۲۰۲۱ میلادی باشد. اکنون به تعریف مفاهیم و مؤلفه‌های مورد استفاده پرداخته می‌شود:

اقتصادی را محاسبه کرد؛ برای این کار، در این مقاله از دو روش استفاده شده است؛ ابتدا با استفاده از نرم‌افزار Excel روابط ریاضی شاخص‌های اقتصادی (که در ادامه توضیح داده می‌شوند) محاسبات انجام شده است؛ در روش دوم به کمک نرم‌افزار کامفار (ورژن ۳) این کار از نو انجام شده است که نتایج کاملاً با هم مطابقت دارد و

جدول ۱. هزینهٔ سرمایه‌گذاری برای دستگاه‌های تصفیهٔ آب خانگی.

Table 1. Total capital investment for household water purifiers.

Item	Price	Unit
<b>Fixed Capital Investment (FCI)</b>		
Equipment	42,500,000	Rials
Sum	42,500,000	Rials
<b>Operating Cost</b>		
Filter 1	1,200,000	Rials/year
Filter 2	1,200,000	Rials/year
Filter 3	1,200,000	Rials/year
Filter 4	1,250,000	Rials/year
Filter 5	450,000	Rials/year
Filter 6	500,000	Rials/year
Filter 7	1,200,000	Rials/year
Electricity	200,000	Rials/year
Water (150 L/day)	251,850	Rials/year
Sum	7,451,850	Rials/year

جدول ۲. هزینهٔ سرمایه‌گذاری برای سامانهٔ تقطیر خورشیدی.

Table 2. Total capital investment for solar distillation systems.

Item	Price	Unit
<b>Fixed Capital Investment (FCI)</b>		
Glass	4,200,000	Rials
Aluminum	25,200,000	Rials
Pump	16,500,000	Rials
Storage tank (200 L)	5,140,000	Rials
Construction & Installation (20 % sum above)	10,208,000	Rials
Sum	61,248,000	Rials
<b>Operating Cost</b>		
Electricity	200,000	Rials/year
Water (150 L/day)	50,370	Rials/year
Sum	250,370	Rials/year



$$CP = \frac{OC}{Capacity} \quad (4)$$

ارزش آب تصفیه‌شده معادل با ارزش قیمتی آب معدنی - در ارزان‌ترین حالت و به صورت فروش عمده و گالونی برای محاسبات قیمت ۱/۶۰۰ ریال برای هر لیتر - در نظر گرفته می‌شود؛ با این کار می‌توان شاخص‌های اقتصادی را به دست آورد و دو روش را با هم مقایسه کرد. مطابق جدول (۳) در هر دو روش ارزش آب تصفیه‌شده معادل است. زیرا ظرفیت تولید و قیمت برابر است. با محاسبات انجام‌شده قیمت تمام‌شده هر لیتر آب گزارش شده است؛ هر چه مقدار این عدد بیشتر باشد نمایانگر هزینه‌های بیشتر در تولید است که مطابق این قاعده اتفاق افتاده است و هزینه هر لیتر آب تصفیه‌شده در روش دستگاه تصفیه خانگی بیشتر از سامانه تقطیر خورشیدی است؛ اما هر دو عدد از مقدار ۱/۶۰۰ ریال که ارزش آب تصفیه‌شده است کمتر هستند و این امر به وضوح نشانگر به صرفه بودن داشتن دستگاه تصفیه آب (به هر دو روش) به جای خرید آب معدنی از فروشگاه است. شاخص بعدی حساب‌شده، نرخ بازگشت سرمایه<sup>۵</sup> است؛ این شاخص در مباحث اقتصادی در مقایسه با سود تضمینی سپرده‌گذاری است و هر چه بالاتر باشد مناسب‌تر است، که برای دستگاه تصفیه آب خورشیدی با وجود بالاتر بودن هزینه ثابت اولیه مقدار بیشتری دارد؛ زیرا هزینه‌های عملیاتی این روش به مراتب کمتر است. سال‌های بازگشت سرمایه<sup>۶</sup> با نرخ بازگشت سرمایه نسبت عکس دارد و به عبارتی می‌توان گفت که بر اساس خالص تولید ارزش و هزینه سالیانه، چه مدت طول می‌کشد تا هزینه ثابت اولیه جبران شود؛ مطابق محاسبات در روش تقطیر خورشیدی زمان زودتری این اتفاق می‌افتد. در آخر شاخصی با نام ارزش خالص فعلی<sup>۷</sup> برای طرح‌های اقتصادی در انتهای دوره بیان می‌شود؛ اگرچه عمر هر دو دستگاه را تا ۲۵ سال نیز می‌توان متصور بود ولی برای محاسبه این شاخص برای هر دو دستگاه طول عمر ۱۰ سال در نظر گرفته شده و همچنین از ارزش اسقاطی دستگاه‌ها در اواخر عمر صرف نظر شده است. با این فرضیات میزان این شاخص مهم که به منزله درآمد نهایی تلقی می‌شود، برای سامانه تقطیر خورشیدی بیشتر است. هم‌چنین برای محاسبه این شاخص نیاز به

ارزش خالص فعلی<sup>۱</sup> عبارت است از مقدار خالص سود و یا ضرر یک طرح که در پایان دوره آن به دست می‌آید و با واحد پولی بیان می‌شود و از رابطه (۱) حساب می‌شود:

$$NPV = \sum_{n=0}^N \frac{CF_n}{(1+r)^n} \quad (1)$$

در رابطه فوق  $n$  سال و دوره است و  $N$  تعداد کل سال‌های مورد نظر از ابتدا تا انتهای استفاده از طرح است. مقدار  $r$  نرخ تنزیل است و  $CF$  برای سال صفر همان هزینه ثابت اولیه است و برای بقیه سال‌ها مقدار جریان مالی آن سال است.

نرخ بازگشت سرمایه<sup>۲</sup> معادل درصد سود سالانه‌ای است که سرمایه‌گذار می‌تواند در پایان یک سرمایه‌گذاری به دست آورد و به کمک رابطه (۲) تعیین می‌شود:

$$0 = \sum_{n=0}^N \frac{CF_n}{(1+IRR)^n} \quad (2)$$

چنانچه در رابطه  $NPV$  هدف یافتن  $r$  باشد که به ازای آن مقدار  $NPV$  صفر شود، آنگاه به آن  $r$  نرخ بازگشت سرمایه ( $IRR$ ) گفته می‌شود.

دوره بازگشت سرمایه<sup>۳</sup> مدت زمانی است که طول می‌کشد تا هزینه ثابت اولیه با سود خالص حاصل از طرح برابر شود و به کمک رابطه (۳) به دست می‌آید.

$$PBP = \frac{1}{IRR} \quad (3)$$

هزینه تمام‌شده<sup>۴</sup> ارزش قیمتی محصول بر اساس هزینه‌های انجام گرفته در فرایند تولید است و متغیر خوبی برای مقایسه با قیمت فروش محصول است، یعنی هرچه هزینه تمام‌شده کوچک‌تر از قیمت فروش باشد در آن فرایند سود بیشتری به دست می‌آید و در رابطه (۴) به دست می‌آید. در این رابطه  $CP$  هزینه تمام‌شده است که از حاصل تقسیم هزینه عملیاتی ( $OC$ ) بر ظرفیت به دست می‌آید.

5. Internal Rate of Return  
 6. Pay Back Period  
 7. Net Present Value

1. Net Present Value (NPV)  
 2. Internal Rate of Return (IRR)  
 3. Pay Back Period (PBP)  
 4. Cost Price

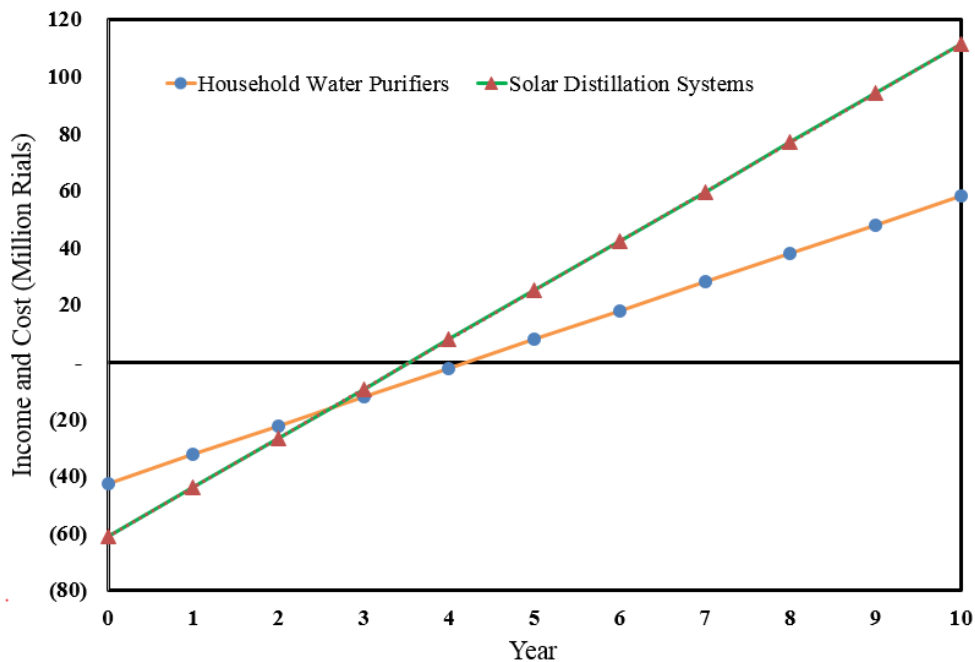
آن فهمید. به‌طور کلی از روی نمودار می‌توان فهمید با این که هزینه ثابت اولیه سامانه تقطیر خورشیدی بیشتر از دستگاه تصفیه خانگی است؛ ولی به‌علت داشتن هزینه‌های کمتر در طول زمان با شیب بیشتری ارزش ایجاد می‌کند و می‌تواند به صرفه‌تر باشد.

در نظر گرفتن نرخ تنزیل یا تورم پولی است که به‌طور متوسط می‌توان ۱۸ درصد فرض کرد. در انتها نموداری از جریان مالی هر دو روش در شکل (۶) آورده شده که می‌توان شاخص‌هایی نظیر سال‌های بازگشت سرمایه و انتخاب گزینه اقتصادی بهتر را از روی

جدول ۳. خلاصه هزینه سرمایه‌گذاری و محاسبه شاخص‌های اقتصادی.

Table 3. Summary of capital cost and calculation of economic indicators.

Item	Solar distillation systems	Household water purifiers	Unit
Capacity	30	30	L/day
Fixed Capital Investment (FCI)	61,248,000	42,500,000	Rials
Operating Cost	250,370	7,451,850	Rials/year
Income (value of treated water)	17,520,000	17,520,000	Rials/year
Cost Price (CP)	23	681	Rials
Internal Rate of Return (IRR)	28	24	%
Pay Back Period (PBP)	3.5	4.2	year
Net Present Value (NPV)	111,448,300	58,181,500	Rials

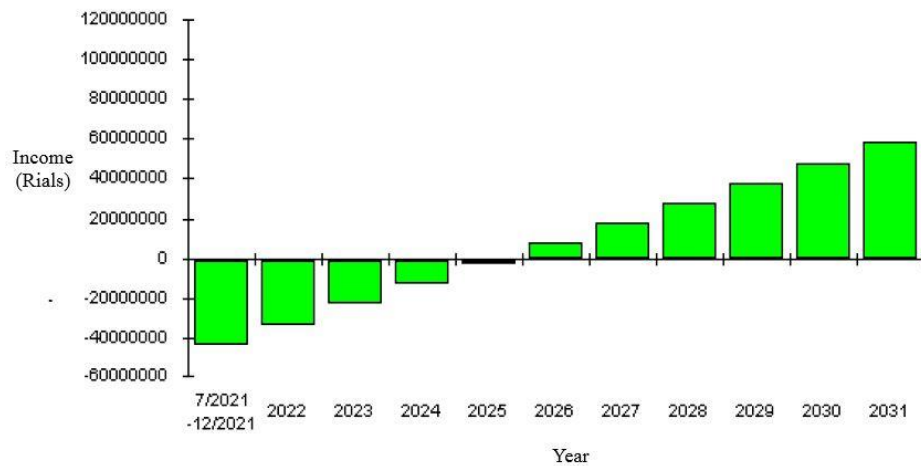


شکل ۶. نمودار مقایسه جریان مالی دو روش.

Figure 6. Comparison of the cash flow diagram for two methods.

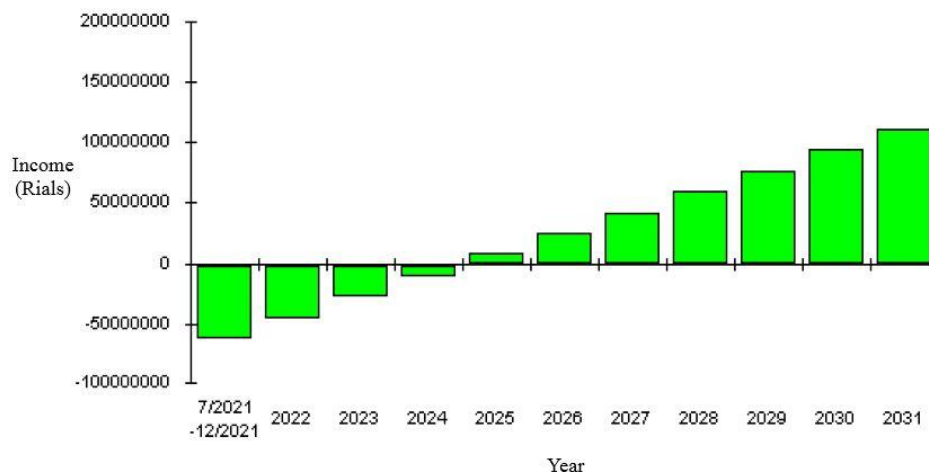
صرفه‌جویی برای فرد استفاده‌کننده به دنبال خواهد داشت. همچنین هزینه دستگاه تصفیه آب خانگی بعد از ۴ سال و سامانه تقطیر خورشیدی بعد از ۳ سال از راه‌اندازی برگردانده می‌شود. برای نمایش مقدار IRR حساب‌شده به وسیله نرم‌افزار کامفار، نتایج شکل‌های (۹) و (۱۰) که به ترتیب برای دستگاه تصفیه آب خانگی و سامانه تقطیر خورشیدی است، دقیقاً برابر با نتایج حاصل از جدول (۳) است. همان‌طور که در توضیح رابطه (۲) بیان شد IRR دارای نرخ تنزیلی است و در NPV برابر صفر، حاصل می‌شود که در شکل‌های (۹) و (۱۰) نشان داده شده است.

مطابق محاسبات در نرم‌افزار اکسل که در جدول (۳) و شکل (۶) آمده است، محاسبات در نرم‌افزار کامفار نیز انجام گرفت که در شکل‌های (۷) و (۸) به ترتیب نمودار جریان مالی برای روش دستگاه تصفیه آب خانگی و سامانه تقطیر خورشیدی به صورت جداگانه نشان داده شده است (علت جدا کشیده شدن دو جریان مالی در مقایسه با شکل (۶) در این است که محاسبات کامفار برای هر پروژه به صورت جداگانه بود و خروجی‌ها را می‌توان جداگانه رسم و مقایسه کرد). مطابق نتایج برآمده از هر دو روش محاسباتی، می‌توان استنباط کرد که استفاده از دستگاه تصفیه آب خانگی ۵۸ میلیون ریال و سامانه تقطیر خورشیدی ۱۱۱ میلیون ریال



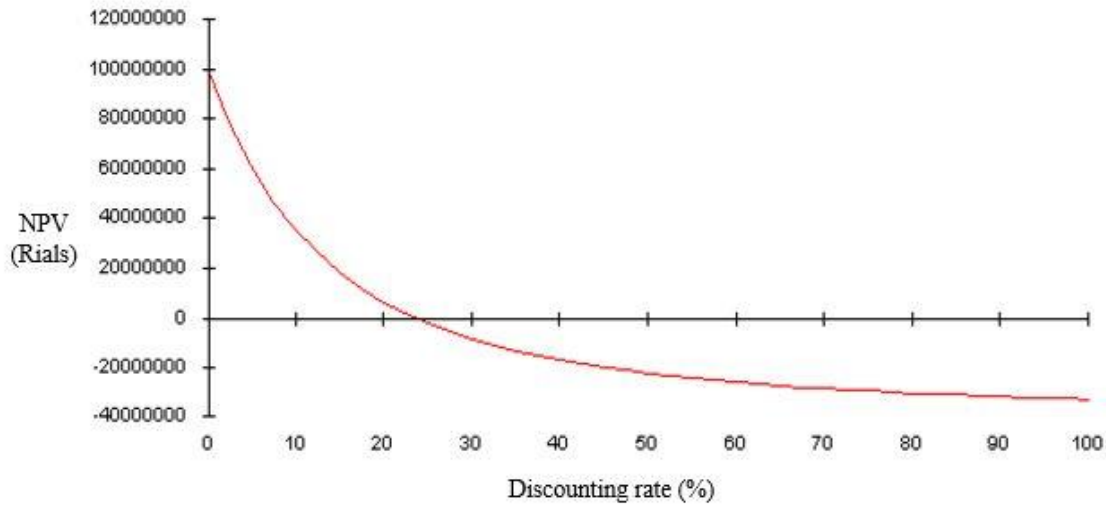
شکل ۷. جریان مالی دستگاه تصفیه آب خانگی.

Figure 7. Cash flow for household water purifiers.



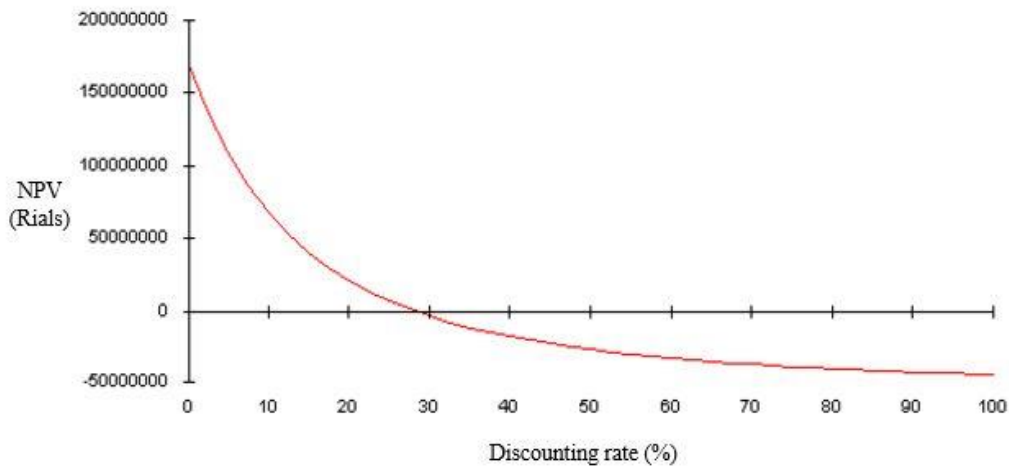
شکل ۸. جریان مالی سامانه تقطیر خورشیدی.

Figure 8. Cash flow for solar distillation systems.



شکل ۹. نمودار محاسبه IRR برای دستگاه تصفیه آب خانگی.

Figure 9. IRR calculation diagram for household water purifiers.



شکل ۱۰. نمودار محاسبه IRR برای سامانه تقطیر خورشیدی.

Figure 10. IRR calculation diagram for solar distillation systems.

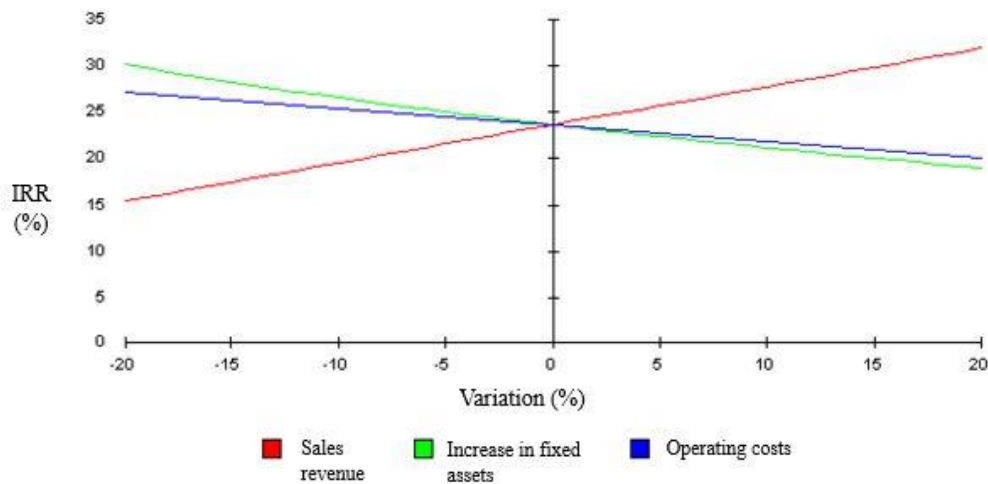
#### ۴-۱ تجزیه حساسیت

در این بخش با استفاده از نرم‌افزار کامفار تجزیه حساسیت انجام گرفته است؛ علاوه بر تأثیر هزینه آب که با نام Sales revenue آمده است، تأثیر هزینه‌های عملیاتی با نام Operating Costs و تأثیر تغییرات در هزینه ثابت اولیه با نام Increase in fixed assets نیز آمده است. شکل‌های (۱۱) و (۱۲) به ترتیب تجزیه حساسیت دستگاه تصفیه آب خانگی و سامانه تقطیر خورشیدی را با استفاده از نرم‌افزار کامفار برای این مؤلفه‌ها نشان می‌دهند.

به‌منظور بررسی هزینه آب در شکل‌های (۱۱) و (۱۲)، در ابتدا مشاهده می‌شود که شیب این منحنی‌ها مثبت است؛ زیرا با افزایش قیمت آب تصفیه‌شده پول بیشتری صرفه‌جویی می‌شود؛ لذا IRR افزایش می‌یابد؛ ولی شیب تغییرات IRR نسبت به تغییر قیمت آب در روش سامانه تقطیر خورشیدی کمتر است؛ زیرا هزینه ثابت این سامانه بیشتر از دستگاه تصفیه آب خانگی است، که هزینه ثابت در صورت رابطه (۲) برای سال اول است و به‌عنوان عرض از مبدأ است. البته پر واضح است که به‌دلیل مصرف آب کمتر و کمتر بودن

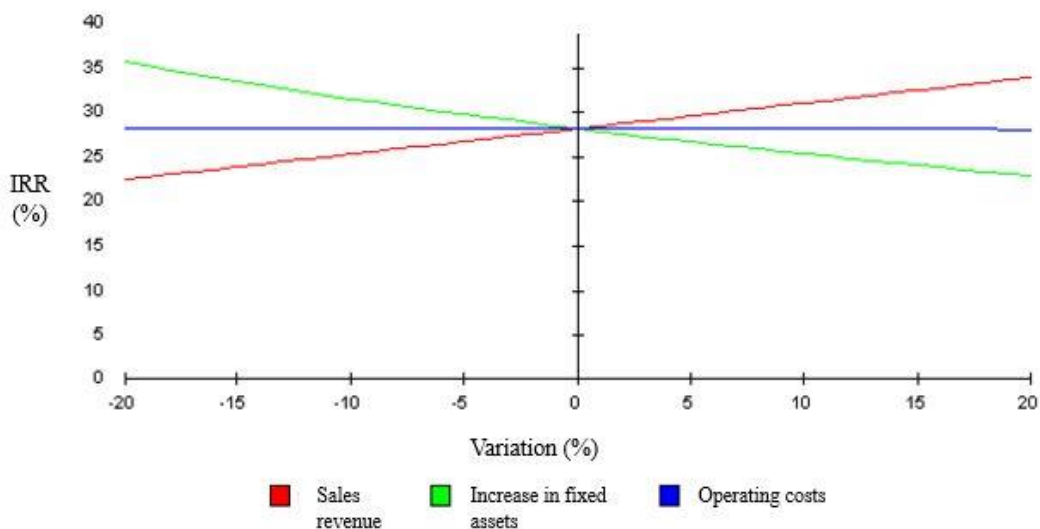
رنگ آبی است (و در وسط واقع شده است) برای دستگاه تصفیه آب خانگی شیب تند تری دارد که علت آن مصرف بیشتر آب به وسیله این دستگاه است و مقدار چشمگیری آب دور ریز دارد؛ اما سامانه تقطیر خورشیدی چنین نیست و منحنی این مؤلفه حدوداً به صورت خطی در آمده است؛ ولی تأثیر هزینه ثابت اولیه در سامانه تقطیر خورشیدی خود را بیشتر نشان داده است. زیرا به علت بالاتر بودن هزینه ثابت اولیه، درصد تغییرات آن هم مقدار بیشتری است؛ لذا خود را در محاسبه IRR بیشتر نشان می‌دهد.

هزینه‌های عملیاتی نظیر تعویض پالایه‌های متعدد، نمودار آن در تمام بازه تحلیل بالای نمودار برای دستگاه تصفیه آب خانگی است. هم‌چنین پیداست که با تغییر ۲۰ درصدی در قیمت آب نیز واحد سامانه تقطیر خورشیدی مناسب‌تر است. علاوه بر آن در شکل (۱۱) و (۱۲) نیز تأثیر دو مؤلفه دیگر یعنی تغییرات در هزینه ثابت اولیه و هزینه عملیاتی برای هر روش اضافه شده است. واضح است که تغییرات مثبت در این دو مؤلفه باعث کاهش سود شده و لذا شیب این دو منحنی در هر دو نمودار منفی است. تأثیر هزینه عملیاتی که



شکل ۱۱. آنالیز حساسیت نرخ بازگشت سرمایه برای دستگاه تصفیه آب خانگی.

Figure 11. Sensitivity analysis on the rate of return for household water purifiers.



شکل ۱۲. آنالیز حساسیت نرخ بازگشت سرمایه برای سامانه تقطیر خورشیدی.

Figure 12. Sensitivity analysis on the rate of return for solar distillation systems.

## ۵. نتیجه‌گیری

آب آشامیدنی سالم نیاز ضروری و روزانه مردم است؛ لذا امروزه یافتن راهکاری که بتواند پیوسته تأمین‌کننده این نیاز باشد به صورت جدی احساس می‌شود. دستگاه‌های تصفیه آب خانگی با داشتن ویژگی‌هایی هم‌چون هدررفت بی‌رویه آبی که قابلیت استفاده مجدد دارد، مصرفی بودن و نیاز به تعویض دوره‌ای و امکان بروز آلودگی به دلیل تجمع میکروبی، بهره‌وری مناسبی ندارند. از سویی با توجه به موقعیت جغرافیایی ایران می‌توان به استفاده از انرژی‌های خورشیدی که یکی از صورت‌های این انرژی، سامانه‌های تقطیر خورشیدی است، توجه کرد. این سامانه‌ها می‌توانند بر سطح زیاد پشت‌بام خانه‌ها و مناطق دارای تابش کافی روزانه انرژی خورشید، برای روستاها و خانوارهای کم‌جمعیتی که به آب آشامیدنی دسترسی ندارند، مناسب باشند. این سامانه‌ها علاوه بر طول عمر بالا و کاربری آسان در مقایسه با دستگاه تصفیه آب خانگی، اقتصادی‌تر و برای استفاده خانوارها در تأمین آب شیرین مناسب‌تر هستند. فرهنگ‌سازی در جامعه، تصویرسازی مناسب از سامانه‌های خورشیدی و آموزش (ساخت، بهره‌برداری و تعمیر) این دستگاه‌ها از اصلی‌ترین مؤلفه‌های مورد توجه برای استفاده عمومی از سامانه تقطیر خورشیدی است.

## مراجع

- water treatment and public distribution network in Garmsar city, under the control of water safety plan", Iranian Journal of Health and Environment, 12(3): pp. 477-488, In Persian, (2019).
- [6] Fawell, J. K., Lund, U., Mintz, B., Total dissolved solids in drinking-water. Background document for development of WHO guidelines for drinking-water quality. Second Edition, World Health Organization, Geneva, pp. 1-3, (2003).
- [7] Gholami-Borujeni, F., Rahimi, H., Eslamifar, M., Yazdani Charati, J., "Heterotrophic Bacteria Count Index in Drinking Water and Possibility of Biofilm Formation in Household Drinking Water Treatment Devices in Sari", Journal of Mazandaran University of Medical Sciences, 30(192), pp. 118-125, In Persian, (2021).
- [8] Mohammadi Jouzdani, S., Vagharfard, H., Daneshkar Arasteh, P., Zerafat, M., "Water-Energy Nexus at Reverse Osmosis Seawater Desalination Technology", Iran-Water Resources Research, 15(3): pp.324-338, In Persian, (2019).
- [9] Tiwari, G. N., Singh, H. N., Tripathi, R., "Present status of solar distillation", Solar Energy, Vol. 75, No. 5, pp. 367-373, (2003).
- [10] Qasim, M., Badrelzaman, M., Darwish, N. N., Darwish, N. A., Hilal, N., "Reverse osmosis desalination: A state-of-the-art review", Desalination, Vol. 459, pp. 59-104, (2019).
- [11] Dvorak, B. I., Skipton, S., "G08-1490 Drinking Water Treatment: Reverse Osmosis", Historical Materials from University of Nebraska-Lincoln Extension, <http://digitalcommons.unl.edu/extensionhist/4344>, October (2008).
- [12] Kiyani, L., Rezatofighi, S., Motamedi, H., "Identification and Study of Antibiotic Resistance of Bacteria in Membranes of Household Water Filter Systems in Ahvaz", Iranian Journal of Health and Environment, 9(4), pp. 559-570, In Persian, (2017).
- [13] Rajaei, M. S., Salemi, Z., Karimi, B., Ghanad Zadeh, M. J., Mashayekhi, M., "Effect of Household Water Treatment Systems on the Physical and Chemical Quality of Water in 2011-2012", Journal of Arak University Medical Sciences, 16(3): pp. 26-36, In Persian, (2013).
- [14] Bahrami, M., Abbaszadeh, P., "An overview of renewable energies in Iran", Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol. 24, pp. 198-208, (2013).
- [15] Kashani, A. H., Izadkhast, P. S., Asnaghi, A., "Mapping of solar energy potential and solar system capacity in Iran", International Journal of Sustainable Energy, Vol. 33, No. 4, pp. 883-903, (2014).
- [16] Tiwari, G. N., Tiwari, A. K., Solar Distillation Practice for Water Desalination Systems, First Edition. Anamaya publishers, New Delhi, pp. 12-58, (2008).
- [1] Madani, K., "Water management in Iran: what is causing the looming crisis?", Journal of Environmental Studies and Sciences, Vol. 4, No. 4, pp. 315-328, (2014).
- [2] Rezaee, M., Sarrafzadeh, M., "Challenges and Opportunities for Wastewater Reuse in Municipal Consumptions: a Case Study in Tehran Metropolis", Iran-Water Resources Research, 12(4), pp. 36-49, In Persian, (2017).
- [3] Moridi, A., Kerachian, R., Zokaei, M., "Assessment of Iran's Water Resources Quality (2004-2014)", Iran-Water Resources Research, 12(4), pp. 23-35, In Persian, (2017).
- [4] Semsar Yazdi, A., Baghaeepoor, M., Semsar Yazdi, M., "Estimation of the Per Capita of Drinking Water Consumption; A Case Study of Ardekan City, Yazd Province", Journal of Water and Wastewater Science and Engineering, 1(1): pp. 4-10, In Persian, (2016).
- [5] Abolli, S., Alimohammadi, M., Zamanzadeh, M., Yaghmaeian, K., Yunesian, M., Hadi, M., Soleimani, Z., "Survey of drinking water quality of household

- [17] Tiwari, G. N., Dimri, V., Chel, A., "Parametric study of an active and passive solar distillation system: energy and exergy analysis", *Desalination*, Vol. 242, No. 1-3, pp. 1-18, (2009).
- [18] Alig, F. A., "Evolution of water purification methods", *International Journal of Unani and Integrative Medicine*, Vol. 2, No. 2, pp. 108-116, (2018).
- [19] Foster, R. E., Eby, S., Amos, W., Eby, S., "Ten years of solar distillation application along the US-Mexico border", *Solar World Congress, International Solar Energy Society, Orlando, Florida, U.S.A*, (2005).
- [20] Misner, B., "Drinking Distilled Water- Are the effects Positive or Negative? - An Opinion", *WebmedCentral NUTRITION*, [https://static.webmedcentral.com/article\\_view/2554](https://static.webmedcentral.com/article_view/2554), December 03, (2011).
- [21] Kozisek, F., Health risks from drinking demineralised water. In: *Nutrients in drinking water*, First Edition, World Health Organization, Geneva, pp. 148-163, (2005).