



Comparison of the efficiency of the single and double-slope solar stills in dry regions (Case study: Zabul city)

Mansour Jahantigh¹ | Moien Jahantigh²

1. Corresponding Author, Department of Soil Conservation and Water Management, Sistan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center (AREEO) Zabol, Iran. E-mail: MJahantigh2000@yahoo.com

2. Department of Soil Conservation and Water Management, Sistan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center (AREEO) Zabol, Iran. E-mail: moienja23@yahoo.com

Article Info

Article type: Research Article

Article history:

Received: July. 13, 2024

Revised: Nov. 18, 2024

Accepted: Jan. 18, 2024

Published online: May. 2025

Keywords:

Efficiency,
Solar Stills,
Saline Water,
Solar Energy.

ABSTRACT

The Sistan region is experiencing significant water stress due to an ongoing drought and water scarcity crisis. In response, the utilization of saline water resources through desalination techniques has become crucial for addressing diverse water demands in this area. This study explores the efficiency of single and double slope Solar stills in Zabol City. The dimensions of the basin Solar stills were 60×95 cm, which covered with glass. To increase the absorption capacity and reduce thermal energy waste, the tank color was chosen to be dark. Inside the Solar stills thermometer was placed to measure the temperature. The results showed that the evaporative-distillation process lead to remove the pollutant and improve the improved quality indicators, including water hardness (TDS), salinity (EC), and BOD in the produced freshwater. The findings indicated that evaporative distillation led to the removal of pollutants and improved quality indicators, including total dissolved solids (TDS), electrical conductivity (EC), and biochemical oxygen demand (BOD). A comparison of the internal temperatures of the systems indicated that the highest internal temperature was created in the double-slope basin solar stills, which was significantly higher than that of the single-slope type ($p \leq 0.01$). The findings also showed that the double-slope solar still had a higher efficiency (28.6%) than the single-slope type (24.5%), which was statistically significant at the one percent level ($p \leq 0.01$). Comparing the performance of double-slope and single-slope solar stills showed that the double-slope system has higher performance in producing fresh water, and the use of solar energy is considered a potential for the development of evaporation-distillation desalination plants in the Sistan.

Cite this article: Jahantigh, M., & Jahantigh, M. (2025). Comparison of the efficiency of the single and double-slope solar stills in dry regions (Case study: Zabul city), *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 56 (3), 649-663. <https://doi.org/10.22059/ijswr.2025.379282.669754>

© The Author(s).

Publisher: The University of Tehran Press.

DOI: <https://doi.org/10.22059/ijswr.2025.379282.669754>



EXTENDED ABSTRACT

Introduction:

Water is one of the basic needs of human life and good health on earth. Access to water is one of the most important challenges in developing countries, especially in dry areas. So that with population growth and socio-economic development of societies, countries are limited in meeting their water needs. The most important sources of surface and underground water in some places are salty, which needs to be desalination. One of them is the solar distillation method. This method is very simple and low-cost, and it is suitable for supplying water to areas with low population and places where water supply is difficult. This method is very simple and low-cost, and it is suitable for supplying water to areas with low population and places where water supply is difficult.

Objective:

This study explores the efficiency of single and double slope Solar stills in Zabol City. The purpose of this study is to investigate the performance of the single and double-slope solar still collectors in the climatic conditions of Zabol city in the southeast of the country.

Material and method:

The dimensions of the basin Solar stills were 60×95 cm, which covered with glass. To increase the absorption capacity and reduce thermal energy waste, the tank color was chosen to be dark. Inside the Solar stills thermometer was placed to measure the temperature. The results showed that the evaporative-distillation process lead to remove the pollutant and improve the improved quality indicators, including water hardness (TDS), salinity (EC), and BOD in the produced freshwater. The findings indicated that evaporative distillation led to the removal of pollutants and improved quality indicators, including total dissolved solids (TDS), electrical conductivity (EC), and biochemical oxygen demand (BOD).

Result and Discussion:

A comparison of the internal temperatures of the systems indicated that the highest internal temperature was created in the double-slope basin solar stills, which was significantly higher than that of the single-slope type ($p \leq 0.01$). The findings also showed that the double-slope solar still had a higher efficiency (28.6%) than the single-slope type (24.5%), which was statistically significant at the one percent level ($p \leq 0.01$). Comparing the performance of double-slope and single-slope solar stills showed that the double-slope system has higher performance in producing fresh water, and the use of solar energy is considered a potential for the development of evaporation-distillation desalination plants in the Sistan.

Author Contributions

All authors contributed equally to the conceptualization of the article and writing of the original and subsequent drafts.

Data Availability Statement

Data is available on reasonable request from the authors.

Acknowledgements

The authors would like to thank the reviewers and editor for their critical comments that helped to improve the paper. The authors gratefully acknowledge the support and facilities provided by the Department of Hydrology and Water Resources, Soil Conservation and Watershed Management Research Institute, Organization (AREEO), Iran.

Ethical considerations

The Authors avoid falsifying data, plagiarism and misconduct.

Conflict of interest

The author declares no conflict of interest.

مقایسه کارایی آب شیرین کن‌های خورشیدی یک شیب و دو شیب در مناطق خشک (مطالعه موردی: شهر زابل)

منصور جهان تیغ^۱ | معین جهان تیغ^۲

۱. نویسنده مسئول، بخش تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی سیستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی و

ترویج کشاورزی، زابل، ایران. رایانامه: Mjahantigh2000@yahoo.com

۲. بخش تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی سیستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی،

زابل، ایران. رایانامه: moienja23@yahoo.com

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله پژوهشی	در حال حاضر تداوم خشکسالی و بحران کم آبی باعث تنش آبی شدید در منطقه سیستان شده است که بهره‌برداری از منابع آب شور با شیرین کردن آن نقش بسزایی در تامین آب برای مصارف مختلف در این منطقه دارد. در این پژوهش که باهدف مقایسه کارایی آب شیرین کن‌های تبخیری-تقطیری با استفاده از انرژی خورشیدی انجام شد، عملکرد آب شیرین کن‌های دو شیب و تک شیب در شهر زابل مورد بررسی قرار گرفت. آب شیرین کن‌های مورد استفاده دارای مخزنی به ابعاد ۹۵*۶۰ سانتی‌متر می‌باشد که سطح آن‌ها با پوشش شیشه محصور شد. به‌منظور بالا بردن قابلیت جذب و کاهش هدر رفت انرژی حرارتی، رنگ مخازن آن‌ها تیره انتخاب شد. همچنین برای جمع‌آوری آب تقطیر شده از سطح شیشه‌ها نیز کانال‌های شیب‌داری در مخازن این سامانه‌ها تعبیه شد. بانصب دماسنج درجه حرارت داخلی این سامانه‌ها و با نمونه برداری از آب ورودی و خروجی به آب شیرین کن‌ها خصوصیات شیمیایی آب استحصال‌ی آنها اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد که فرآیند تبخیر - تقطیر در آب شیرین کن‌ها باعث حذف آلاینده‌ها و بهبود شاخص‌های کیفی از جمله میزان سختی آب (TDS)، شوری (EC) و BOD در آب شیرین تولید شده است. مقایسه دمای داخلی سامانه‌ها بیانگر آن است که بیشترین درجه حرارت داخلی در مخزن آب شیرین کن دو شیب ایجاد شده است که به‌طور معنی‌دار بیشتر از نوع یک شیب می‌باشد ($p \leq 0.01$). همچنین یافته‌ها نشان داد که آب شیرین کن دو شیب درصد کارایی بیشتری (۲۸/۶) نسبت به نوع یک شیب (۲۴/۵) داشت که از لحاظ آماری نیز در سطح یک درصد معنی‌دار بود ($p \leq 0.01$). مقایسه عملکرد آب شیرین کن‌های دو شیب و تک شیب نشان داد که سامانه دو شیب عملکرد بالاتری در تولید آب شیرین دارد و استفاده از انرژی خورشیدی پتانسیلی بالقوه برای توسعه آب شیرین کن‌های تبخیری - تقطیری در منطقه سیستان بشمار می‌رود.

واژه‌های کلیدی:

آب شور،
آب شیرین کن،
انرژی خورشیدی،
کارایی.

استناد: جهان تیغ؛ منصور، جهان تیغ؛ معین (۱۴۰۴)، مقایسه کارایی آب شیرین کن‌های خورشیدی یک شیب و دو شیب در مناطق خشک (مطالعه موردی: شهر زابل)،

مجله تحقیقات آب و خاک ایران، ۵۶ (۳)، ۶۶۳-۶۴۹ <https://doi.org/10.22059/ijswr.2025.379282.669754>



© نویسندگان.

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.

DOI: <https://doi.org/10.22059/ijswr.2025.379282.669754>

مقدمه

آب یکی از نیازهای اساسی زندگی بشر و بهداشت خوب بر روی کره زمین به حساب می‌آید. دسترسی به آب یکی از چالش‌های مهم کشورهای در حال توسعه به خصوص در مناطق خشک است. به طوری که با رشد جمعیت و توسعه اقتصادی-اجتماعی جوامع، کشورها برای تأمین نیاز آبی خود با محدودیت همراه هستند. آب‌های سطحی و زیرزمینی مهم‌ترین منابع آب برای رفع نیاز بشر می‌باشند، ولی در برخی از جاها این آب به دلیل شوری بالا برای استفاده با محدودیت‌هایی همراه است. از این رو، با توجه به این که منابع آب شیرین دنیا محدود است، باید از طرق دیگری اقدام به تأمین نیاز آبی شود. یکی از آنها روش تقطیر خورشیدی است. این روش بسیار ساده و کم هزینه‌ای بوده و برای تأمین آب مناطقی با جمعیت کم و جاهایی که تأمین آب آن با مشکل همراه است، مناسب می‌باشد. در این آب‌شیرین‌کن‌ها از قواعد اصلی تبخیر و تقطیر آب استفاده می‌شود. آب شور و غیرقابل آشامیدن وارد مخزن دستگاه می‌شود و سپس توسط تابش نور خورشید گرم و تبخیر می‌شود. مواد اضافه و حتی برخی از میکروب‌ها هنگام تبخیر از مولکول‌های آب جدا شده و در مخزن باقی می‌مانند. به عبارت دیگر، مولکول‌های آب عاری از آلودگی به صورت بخار، رو به بالا حرکت می‌کنند. از آنجا که این سامانه توسط شیشه، پلاستیک یا غیره بسته شده است، بخار آب راهی به بیرون از سامانه ندارد و روی سطح سرپوش تقطیر می‌شود. سرپوش مذکور شیب‌دار است و با شیب خود، قطرات آب حاصل از تقطیر را به سمت خروجی سامانه هدایت می‌کند. سامانه تبخیر آفتابی یک روش مقرون به صرفه اقتصادی در نمک‌زدایی آب شور می‌باشد.

انرژی خورشیدی بدون هزینه، غیر آلاینده و تمام نشدنی برای تولید آب شیرین در دسترس است. در بین انواع آب‌شیرین‌کن‌های آفتابی، نوع دو شیب‌دار کمترین هزینه را دارد. این روش قادر به تأمین آب مورد نیاز خانوار و سایر کاربردها در مقیاس پایین می‌باشد. برای تولید آب زیاد با این روش چندین واحد سامانه تقطیر خورشیدی مورد نیاز است (Kaushik and Ranjan, 2016; Raveena et al., 2016). پژوهش‌های متعددی در این خصوص انجام گرفته است. نتایج پژوهش Chendake et al. (2015) با طراحی سامانه تبخیر آفتابی دو شیب نشان داد که در این مدل از ۱۲ لیتر آب غیرمعتارف در طول ۸ ساعت ۱/۶ لیتر آب با ۳۰۰ ppm TDS تولید شده است. کارایی آن ۲۲/۳۳ درصد با عمق ۲ سانتی‌متر بود. Aljubouri (2017) گزارش داد که عوامل متعددی از جمله زاویه قرار گرفتن پوشش بر روی مخزن آب، درجه حرارت و ارتفاع آب مخزن بر میزان تبخیر آب و کارایی آب‌شیرین‌کن‌های خورشیدی تأثیر دارند. آنان در مطالعه‌ای با بررسی اثر عمق آب (۱، ۲، ۳، ۵ و ۷ سانتی‌متر) و زاویه نصب درپوش (۲۰، ۳۱، ۴۵ و ۵۰) بر روی آب‌شیرین‌کن‌های خورشیدی دریافتند که بهترین کارایی را عمق ۱ سانتی‌متر با زاویه ۲۰ درجه داشته است. علاوه بر آن جنس پلاستیک یا شیشه نیز از دیگر عواملی است که بر روی میزان تولید آب شیرین مؤثر است. Arunkumar et al. (2012) در پژوهشی الگوهای متنوع آب استحصال حاصل از فرآیند تبخیر خورشیدی را مورد بررسی قرار دادند. آنان با ساخت هفت طرح تبخیر خورشیدی شامل تبخیر خورشیدی کروی، هرمی، نیمه کروی، تبخیر خورشیدی دو مخزنی و دو شیشه‌ای، سامانه تبخیر خورشیدی متمرکز کننده تک شیب، سامانه تبخیر خورشیدی لوله‌ای و سامانه تبخیر خورشیدی لوله‌ای همراه هرم دریافتند که سامانه تبخیر خورشیدی سهمی بیشترین کارایی را نسبت به سایر طرح‌واره‌های دیگر داشته است. نتایج مطالعات Vishnu and Chinnamma (2018) بیانگر آن بود که با استفاده از روش تقطیر خورشیدی آب فاضلاب، آب شور و سایر آب‌های غیرمعتارف قابل تصفیه است. آنان به منظور شیرین‌سازی آب شور با طراحی مدلی بر اساس انرژی تجدید شونده خورشیدی دریافتند که در این روش ابتدا آلودگی از طریق پالایه‌ای مواد جامد معلق و سایر مواد آلوده حذف و آب باقی مانده در مخزن از طریق لوله‌های تعبیه شده با انرژی خورشیدی تبخیر و سپس تقطیر می‌شود.

Almajali et al. (2024) در پژوهشی عملکرد آب‌شیرین‌کن خورشیدی دو شیب با استفاده از سلول‌های خورشیدی را مورد آزمایش قرار دادند. نتایج کار آنان نشان داد که با استفاده از این سلول‌ها، راندمان تولید آب ۸۳/۵ درصد افزایش یافته است. به طوری که حداکثر تولید روزانه آب سامانه در ساعات اوج تابش خورشیدی ۱۹ لیتر بر متر مربع افزایش پیدا کرده بود. نتایج مطالعات Ramzy et al. (2024) در بررسی عملکرد آب‌شیرین‌کن خورشیدی دو شیب در نقاط مختلف کشور مصر بیانگر آن بود که بکارگیری ادوات جانبی از قبیل صفحه‌های فولادی حدود ۳۲/۷ درصد راندمان تولید آب شیرین را افزایش می‌دهد. در مطالعات صورت گرفته در کشور نیز عساری و همکاران (۱۴۰۲) در پژوهشی به بررسی اثر ماسه بر میزان تولید آب شیرین‌کن خورشیدی با مخزن حوضچه‌ای پرداختند. یافته‌های آنان نشان داد که با افزایش میزان ماسه راندمان تولید آب شیرین‌کن در روزهای آفتابی کاهش می‌یابد. در تحقیقی پرویز و همکاران (۱۴۰۲) برای افزایش راندمان ذخیره انرژی گرمایی در مخزن آب شیرین‌کن از مواد تغییر فاز دهنده موم پارافین استفاده نموده‌اند. نتایج بیانگر آن بود که بکارگیری این مواد سبب افزایش راندمان تولید آب شیرین شده است.

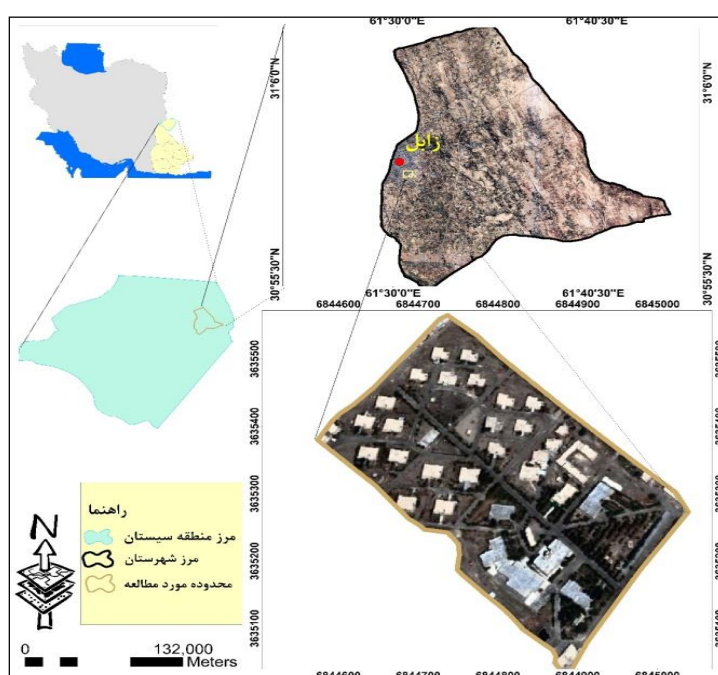
بررسی پیشینه تحقیق نشان می‌دهد که انرژی خورشیدی منبع بالقوه‌ای برای تأمین انرژی حرارتی و الکتریکی می‌باشد که استفاده از آن در دستگاه‌های آب‌شیرین‌کن برای تأمین آب مورد نیاز مناطق خشک با تصفیه آب‌های نامعتارف بسیار حائز اهمیت می‌باشد. ضمن

آنکه امروزه استفاده از انرژی خورشیدی به دلیل رایگان و تجدیدپذیر بودن و همچنین دسترسی آسان به آن هموار مورد توجه محققان به منظور استفاده در دستگاه‌های آبشیرین کن بوده است. منطقه سیستان از جمله مناطق خشک کشور است که با متوسط ۳۲۵۰ ساعت آفتابی از پتانسیل بالقوه‌ای برای بهره‌برداری از انرژی خورشیدی برخوردار می‌باشد. کمترین و بیشترین میزان تابش دریافتی خورشیدی به ترتیب ۲۳/۵۴ (خرداد) و ۱۲/۳۹ (آذر) و متوسط آن ۱۸/۳۲ مگاژول بر مترمربع در روز می‌باشد (کیخا و میری، ۱۳۹۳). با عنایت به بحران کم‌آبی و تداوم خشکسالی در منطقه سیستان استفاده از انرژی خورشیدی و تولید آب شیرین رویکردی کاربردی به منظور بهره‌برداری از منابع آب شور و تامین بخشی از نیاز آبی منطقه سیستان می‌باشد. لذا این تحقیق با هدف ارزیابی کارایی آب شیرین کن‌های خورشیدی یک شیب و دو شیب به منظور تولید آب شیرین در منطقه سیستان انجام شد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در شمال استان سیستان و بلوچستان در مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی سیستان واقع در شهرستان زابل با مختصات جغرافیایی $35^{\circ} 30' 61''$ طول شرقی و $30^{\circ} 55' 30''$ درجه عرض شمالی و در ارتفاع حدود ۴۸۰ متر از سطح دریا قرار دارد (شکل ۱). این منطقه مسطح و فاقد ناهمواری طبیعی است. متوسط بارندگی سالیانه این محدوده ۵۰ میلی‌متر است. در حالی که تبخیر و تعرق منطقه بالا و به ۵۰۰۰ میلی‌متر می‌رسد. به‌طوری که حدود ۳۰۰۰ میلی‌متر آن در ماه‌های خرداد، تیر و مرداد اتفاق می‌افتد. متوسط درجه حرارت سالانه منطقه ۲۷/۶ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. متوسط رطوبت نسبی این محدوده پایین و حدود ۲۷ درصد است. متوسط میزان تابش خورشید و ساعات آفتابی منطقه حدود ۱۲ ساعت در روز است که این خود نقش مؤثری در افزایش تبخیر و تعرق و کاهش رطوبت نسبی و پوشش گیاهی و همچنین ایجاد شرایط بحرانی در منطقه ایفاء می‌نماید. وزش بادهای ۱۲۰ روزه، از شاخص‌های ویژه این منطقه محسوب می‌شود، به‌طوری که سرعت آن در برخی از ایام سال به بیش از ۱۲۰ کیلومتر در ساعت نیز می‌رسد که ماحصل وزش این بادهای بر منطقه، بروز خسارات زیاد و تخریب زیست بوم این ناحیه است. وزش بادهای شدید و سوزان ۱۲۰ روزه سیستان، افزایش دمای آبشیرین کن‌ها در فصل تابستان را به‌همراه دارد و در فصل زمستان نیز سبب کاهش دمای این سامانه‌ها می‌گردد. از همین رو، یکی از عوامل توسعه نیافتگی منطقه سیستان وزش طوفان‌های شنی است که نقش بازدارنده‌ای در پیشرفت آن دارد. آب سیستان وابسته به کشور افغانستان است و خود فاقد سفره آب زیرزمینی می‌باشد. این منطقه دارای آب زیر سطحی بوده که شور می‌باشد. خاک منطقه ماحصل رسوبات انتقال یافته از کشور افغانستان است که بافت سنگینی دارد. پوشش گیاهی سیستان را گونه‌های مقاوم به شوری از جمله انواع گز، سالسولا، سیاه شور، ترات، خار شتر تشکیل می‌دهد.



شکل ۱. موقعیت منطقه اجرای پژوهش در کشور، استان

روش کار

برای اجرای این پژوهش در ابتدا اقدام به طراحی و ساخت دو نوع آب شیرین کن مستطیل شکل یک شیب (شکل ۲) و دو شیب (شکل ۳) شد. ابعاد مخزن هریک از این آب شیرین کن ها ۶۰ * ۹۵ سانتی متر بود که روی پایه به ارتفاع ۸۰ سانتی متر قرار گرفته و در بالای این دستگاه پوشش شیشه (با ضخامت ۴ میلی متر) قرار گرفت و محل هایی نیز برای ورود آب شور و خروج آب شیرین تعبیه شد. به منظور بالا بردن قابلیت جذب و کاهش هدر رفت گرما، رنگ مخازن آنها تیره انتخاب شد. منبع آبی در کنار این آب شیرین کن ها در ارتفاع ۱/۵ متر قرار گرفت تا از طریق لوله آب به داخل مخازن آنها وارد شود. در داخل مخازن این آب شیرین کن ها، شناور جهت ورود خودکار آب و همچنین دماسنج نیز برای اندازه گیری دمای داخل آنها و هوای آزاد قرار گرفت و در خروجی هریک از این آب شیرین کن ها نیز ظروف جمع آوری آب شیرین قرار داده شد. آب شور مورد نیاز در محل اجرای طرح با حفر گودال حدود ۱/۵ - ۱ متر تأمین شد. داخل مخازن هر یک از سامانه ها و همچنین در بیرون آنها دماسنج به منظور اندازه گیری دمای مخازن آنها و همچنین دمای هوای آزاد گذاشته شد. در این پژوهش میزان شیرین کردن آب هریک از آب شیرین کن ها در عمق یک سانتی متر مورد بررسی قرار گرفت. همچنین با نمونه برداری از آب ورودی و خروجی آب شیرین کن ها پارامترهای pH، EC، کل جامدات محلول (TDS)، مجموع کلسیم و منیزیم، سدیم و پتاسیم، سدیم محلول، کربنات، بیکربنات، سولفات و BOD₅ براساس استانداردهای آزمایشگاهی اندازه گیری شد (APHA, 2005). میزان آب تولیدی هریک از آب شیرین کن های طراحی شده و درجه حرارت هوا با فاصله هر ۱۲ روز در طی روز اندازه گیری گردید. به منظور محاسبه کارایی آب شیرین کن ها نیز از معادله (۱) استفاده شد (وفایی و همکاران، ۱۳۹۷).

$$E = \frac{Q \times 2.3}{G \times A}$$

رابطه (۱)

که در آن

E = کارایی دستگاه

Q = میزان آب شیرین تولیدی روزانه (لیتر)

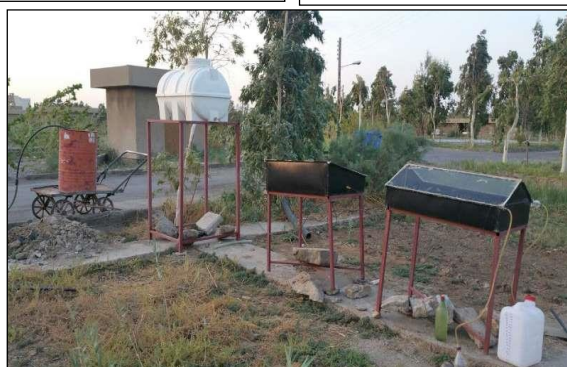
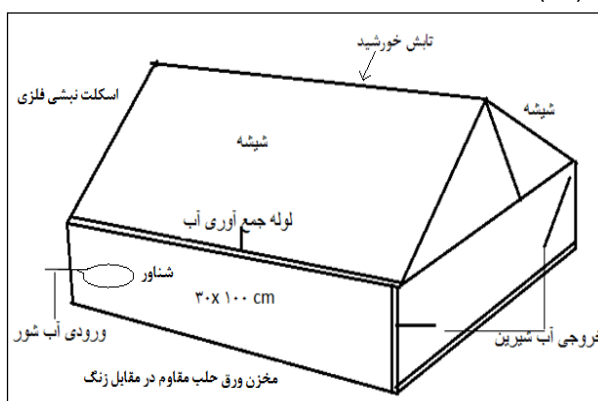
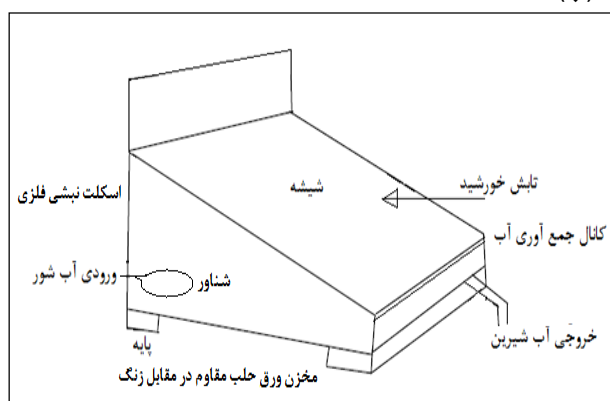
G = تابش روزانه اشعه خورشید (MJ/m²)

A = مساحت مخزن (مترمربع)

برای تجزیه و تحلیل آماری داده ها از نرم افزار SPSS. 23 استفاده شد. در ابتدا با بررسی نرمال بودن داده ها با استفاده از آزمون کولموگروف - اسمیرنوف، برای مقایسه میانگین داده ها از آزمون t استفاده شد. با استفاده از روش رگرسیون گام به گام نیز متغیرهای موثر بر عملکرد آب شیرین کن ها نیز مورد بررسی قرار گرفت.

(الف)

(ب)



شکل ۲. الف) نمایی از شماتیک آب شیرین کن تک شیب، ب) نمایی از شماتیک آب شیرین کن دو شیب، ج) نمایی از سامانه های ساخته شده در پژوهش حاضر

نتایج و بحث

نتایج حاصل از اندازه‌گیری پارامترهای شیمیایی آب ورودی و خروجی آب شیرین کن‌های ساخته شده در جدول (۱) ارائه شده است. میزان سختی آب ورودی به آب شیرین کن‌ها برابر با ۷۷۰ میلی گرم در لیتر است که با توجه به طبقه‌بندی استاندارد جهانی (APHA) در گروه آب‌های شور طبقه‌بندی می‌شود؛ این در حالی است که میزان سختی آب شیرین تولید شده به طور محسوس کاهش یافته (برابر با صفر) که در گروه آب‌های شیرین قرار می‌گیرد. از آنجا که در آب شیرین کن‌های خورشیدی مکانیسم تولید آب بر اساس فرآیند تبخیر - تقطیر صورت می‌گیرد (بهزاد مهر و همکاران، ۱۳۹۶)، لذا این شرایط باعث حذف مواد جامد محلول از جمله کلسیم و منیزیم در آب استحصالی و در نتیجه کاهش میزان سختی آب می‌شود. علاوه بر آن این فرایند با کاهش غلظت سدیم و سدیم محلول نقش بسزایی در کاهش میزان شوری آب دارد. بطوریکه مقایسه مقادیر این پارامترها در قبل و بعد از شیرین‌سازی بیانگر کاهش میزان پارامترهای فوق الذکر و بهبود شاخص‌های کیفی آب می‌باشد. در بررسی شاخص BOD که به نوعی منعکس کننده میزان آلودگی آب می‌باشد، نتایج نشان داد که مقدار این شاخص قبل از شیرین‌سازی برابر با ۳۵ پی‌پی‌ام بوده است که فرآیند تبخیر اکسیژن محلول و تقطیر آن بر سطح شیشه آب شیرین کن‌ها باعث حذف مواد آلاینده و کاهش میزان آلاینده‌گی آب خروجی شده است.

جدول ۱. ویژگی‌های آب مورد استفاده قبل و پس از شیرین کردن

ویژگی	نوع آب	TDS (mg/L)	pH	شوری (میکرو موس بر سانتی)	منیزیم (me/L)	مجموع کلسیم و منیزیم (me/L)	سدیم (me/L)	مجموع کاتیون ها (me/L)	پتاسیم (ppm)	سدیم محلول (%)	نیترژن (ppm)	نسبت جذب سدیم	منیزیم (ppm)	BOD (ppm)
قبل از شیرین کردن		۷۷۰	۷/۷	۱۳۵۰	۲۱/۲	۱۱۸	۱۴۹/۲	۲۶/۱	۰	۷۹	۰/۸	۲۹/۹	۳۵۲/۶	۲۵
بعد از شیرین کردن		۰	۷/۶	۱۲۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰/۳	۰	۴/۸	۰

با نصب دماسنج در داخل سامانه‌ها تغییرات دمای داخلی سامانه‌ها و همچنین میزان عملکرد آن‌ها در طی فصول مختلف سال مورد بررسی قرار گرفت (جدول ۲). با توجه به نتایج با شروع آزمایش در فروردین ماه دمای هوا از ساعات حدود ۶ صبح تا ۲ بعد ظهر رو به افزایش و بعد از ساعت ۲ بعد ظهر کاهش یافت. بیشترین میزان درجه حرارت دو سامانه مزبور در این ماه به ترتیب ۶۶، ۶۵ و دمای هوا آزاد برابر با ۴۴ درجه سانتی‌گراد بود (جدول ۲). میزان متوسط آب شیرین تولیدی آنها به طور متوسط در ساعات آفتابی برابر با ۹۱۷ (یک شیب) و ۹۵۷ میلی‌لیتر (دو شیب) بوده است. بررسی عملکرد این سامانه‌ها در اردیبهشت ماه با داشتن حدود ۱۳/۵ ساعت تابش خورشید بیانگر آن بود که میزان آب استحصالی آنها در طول ساعات روز متفاوت بوده است. بطوریکه نتایج آزمایش نشان داد که با طلوع خورشید، آب شیرین کن دو شیب زودتر نسبت به نوع تک شیب گرما را به خود جذب نموده که این فرآیند سبب افزایش کارایی این نوع آب شیرین کن تا قبل از ظهر می‌شود. بطوریکه براساس نتایج به دست آمده دمای داخلی سامانه در ساعت ۷ صبح (دمای هوا برابر با ۲۴ درجه سانتی‌گراد) با افزایش ۱/۵ برابری نسبت به آب شیرین کن تک شیب (۲۷ درجه سانتی‌گراد) به ۴۰ درجه سانتی‌گراد در آب شیرین کن دو شیب افزایش یافت. براساس اندازه‌گیری‌های صورت گرفته بیشترین کارایی سامانه دو شیب در بازه زمانی ۹ صبح تا ۱۴ بعد ظهر می‌باشد. درحالی که بعد از آن به دلیل تغییر جهت تابش نور خورشید و همچنین کاهش انرژی تابشی دمای داخلی این سامانه نسبت به آب شیرین کن تک شیب به طور محسوس کاهش می‌یابد. به طوری که در ساعت ۶ عصر روز ۱۴۰۱/۲/۲۷ با اندازه‌گیری درجه حرارت داخل سامانه با استفاده از دماسنج نصب شده یک شیب و دو شیب به ترتیب برابر با ۵۲ و ۴۵ بوده که با کاهش دما در ساعت ۷ عصر به ۴۵ و ۳۲ درجه سانتی‌گراد تقلیل یافت. در حالی که دمای هوای آزاد در ساعات مزبور به ترتیب ۳۷ و ۳۰ درجه سانتی‌گراد اندازه‌گیری شد. در طول روز مزبور میزان آب شیرین استحصال شده در سامانه‌های یک شیب و دو شیب به ترتیب برابر با ۱۰۸۴ و ۱۰۷۷ میلی‌لیتر بوده است. در خرداد ماه با افزایش دمای هوا به ۴۹، میانگین دمای مخازن در سامانه‌های یک شیب و دو شیب به ترتیب برابر با ۷۲ و ۷۱ درجه سانتی‌گراد و متوسط میزان آب شیرین استحصال شده نیز به ترتیب برابر با ۱۲۳۱ و ۱۴۱۸ میلی‌لیتر بوده است. با تداوم افزایش دما طی ماه‌های تیر و مرداد درجه حرارت داخل سامانه‌های تک شیب و دو شیب به طور متوسط ۷۲ و ۷۱ درجه سانتی‌گراد و میانگین تولید آب شیرین هریک از

آب شیرین کن‌های فوق‌الذکر برابر با ۱۳۰۳ و ۱۴۹۷/۵ میلی‌لیتر در روز می‌باشد. بررسی عملکرد آب شیرین کن‌ها در طی ماه‌های شهریور تا اسفند ماه نیز بیانگر تغییرات محسوس دمای داخل مخازن این سامانه‌ها و میزان تولید آب استحصالی در طی روز می‌باشد. با توجه به نتایج به دست آمده بررسی وضعیت درجه حرارت آب شیرین کن‌ها و هوای آزاد در ماه‌های مختلف سال نشان می‌دهد که آب شیرین کن یک شیب در ابتدای روز با یک شیب ملایم گرم و در انتهای روز نیز با شیب کم سرد می‌شود. در حالی که نوع دو شیب در هنگام طلوع خورشید زودتر گرما را جذب نموده ولی با غروب خورشید زودتر گرمای خود را از دست می‌دهد (جدول ۲). به‌طور کلی نتایج نشان داد که بیشترین اختلاف دمای مخازن آب شیرین کن‌ها و هوای آزاد در گرم‌ترین موقع روز در تیرماه به ۲۴ درجه سانتی‌گراد رسیده است که این میزان درجه حرارت نقش مهمی در کارایی آب شیرین کن داشته است. ولی این اختلاف در روزهای سرد به حداقل مقدار می‌رسد. به‌طوری‌که اختلاف دما در ماه‌های سرد سال آذر و دی به ترتیب ۲۱ و ۱۷ درجه سانتی‌گراد بوده است. در تایید این مهم نتایج مطالعات صورت گرفته همچون Al-Hamadini et al. (2024) و Swetha and Venugopal (2011) نیز بیانگر آن است که عواملی از جمله تعداد ساعات آفتابی و درجه حرارت محیط رابطه مستقیمی با کارایی آب شیرین کن‌های خورشیدی و همچنین میزان تولید آب دارد. مقایسه بیشینه دمای هوای سامانه یک شیب و دو شیب و هوای آزاد در ماه‌های مختلف سال و همچنین مقایسه میزان تولید آب شیرین روزانه هر یک از سامانه‌های یک شیب و دو شیب در ماه‌های مختلف سال در شکل ۳ و ۴ ارائه شده است.

جدول ۲. نتایج حداکثر دمای مخازن و هوای آزاد و میزان آب شیرین سامانه‌ها در طول روز ماه‌های مختلف سال

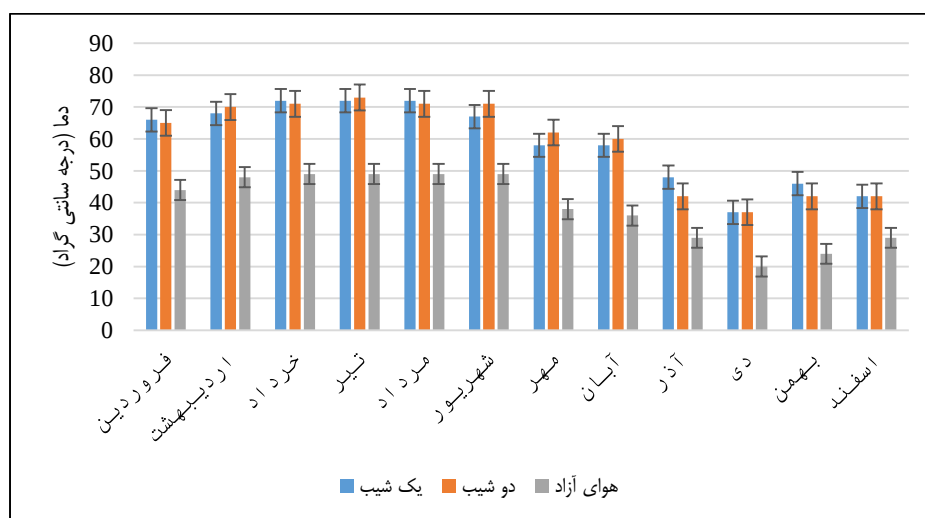
ماه	ویژگی	نوع آب شیرین کن	ساعت روز با دمای زیاد				حجم آب شیرین تولیدی در طول روز (میلی‌لیتر)
			۱۱-۱۲	۱۲-۱۳	۱۳-۱۴	۱۴-۱۵	
فروردین	حرارت	I ₁	۶۰	۶۴	۶۶	۶۴	-
	داخلی ^۱	I ₂	۵۸	۶۲	۶۵	۶۳	-
	حرارت هوا	-	۴۲	۴۴	۴۶	۴۳	-
	حجم آب ^۲	I ₁	۶۰	۱۱۲	۱۵۰	۱۴۰	۹۱۷
		I ₂	۶۶	۱۱۵	۱۵۲	۱۵۰	۹۵۷
اردیبهشت	حرارت	I ₁	۶۲	۶۵	۶۸	۶۸	-
	داخلی ^۱	I ₂	۶۳	۶۵	۶۸	۷۰	-
	حرارت هوا	-	۴۴	۴۶	۴۶	۴۸	-
	حجم آب ^۲	I ₁	۹۶	۱۵۰	۱۳۲	۱۶۴	۱۰۷۲
		I ₂	۱۳۰	۱۷۶	۱۳۲	۱۵۶	۱۰۷۷
خرداد	حرارت	I ₁	۶۵	۷۰	۷۲	۷۰	-
	داخلی ^۱	I ₂	۶۵	۶۹	۷۱	۶۹	-
	حرارت هوا	-	۴۳	۴۵	۴۹	۴۷	-
	حجم آب ^۲	I ₁	۹۴	۱۴۴	۱۵۳	۲۱۵	۱۲۳۱
		I ₂	۱۵۲	۲۳۰	۲۲۲	۲۳۸	۱۴۱۸
تیر	حرارت	I ₁	۶۶	۷۱	۷۳	۷۱	-
	داخلی ^۱	I ₂	۶۶	۷۰	۷۲	۷۰	-
	حرارت هوا	-	۴۳	۴۵	۴۹	۴۷	-
	حجم آب ^۲	I ₁	۹۱۰	۱۵۴	۱۷۳	۲۳۵	۱۳۲۴
		I ₂	۱۶۲	۲۴۲	۲۳۲	۲۴۸	۱۵۱۲
مرداد	حرارت	I ₁	۶۵	۷۰	۷۲	۷۰	-
	داخلی ^۱	I ₂	۶۵	۶۹	۷۱	۶۹	-
	حرارت هوا	-	۴۳	۴۵	۴۹	۴۷	-
	حجم آب ^۲	I ₁	۹۵	۱۴۶	۱۵۵	۲۲۴	۱۲۸۳
		I ₂	۱۶۲	۲۲۹	۲۳۲	۲۴۲	۱۴۸۳
شهریور	حرارت	I ₁	۴۳	۵۲	۵۶	۶۶	-
	داخلی ^۱	I ₂	۴۹	۵۶	۶۱	۶۶	-
	حرارت هوا	-	۳۳	۳۴	۳۵	۳۷	-
	حجم آب ^۲	I ₁	۸۳	۸۹	۱۳۱	۱۸۶	۱۰۴۲
		I ₂	۷۸	۱۱۳	۱۳۱	۱۷۲	۱۰۵۸

۱- دمای هوای داخل سامانه‌ها (درجه سانتی‌گراد) ۲- حجم آب شیرین شده (میلی‌لیتر) در طول روز I₁= آب شیرین کن یک شیب I₂= آب شیرین کن دو شیب

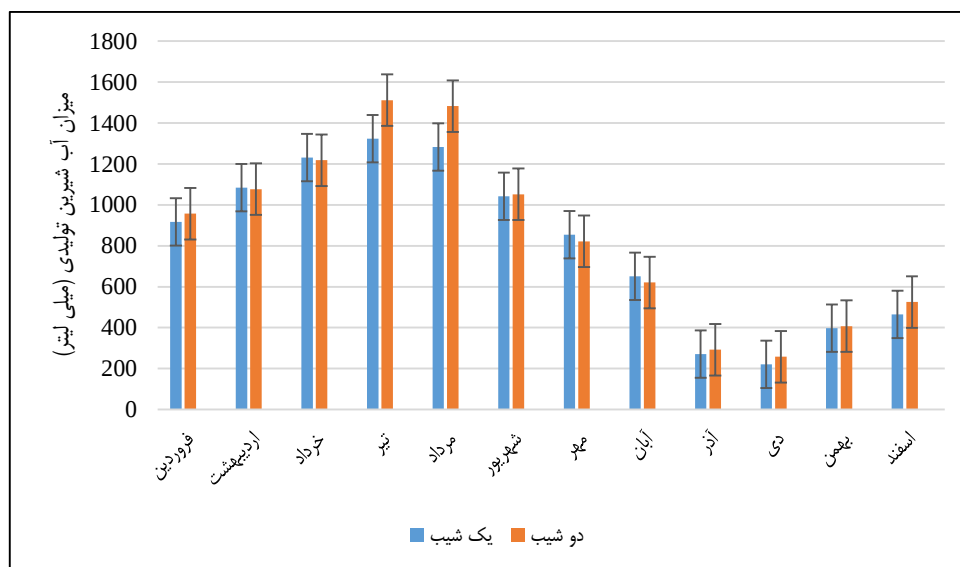
ادامه جدول ۲

ماه	ویژگی	نوع آب شیرین کن	ساعت روز با دمای زیاد				حجم آب شیرین تولیدی در طول روز (میلی لیتر)
			۱۱-۱۲	۱۲-۱۳	۱۳-۱۴	۱۴-۱۵	
مهر	حرارت داخلی ^۱	I ₁	۵۲	۵۸	۵۲	۴۶	-
		I ₂	۵۸	۶۲	۵۶	۴۹	-
	حرارت هوا	-	۳۴	۳۸	۳۳	۳۱	-
	حجم آب ^۲	I ₁	۱۵۶	۱۴۸	۱۲۰	۹۵	۸۵۴
		I ₂	۱۴۸	۱۳۴	۱۰۴	۶۸	۸۲۲
آبان	حرارت داخلی ^۱	I ₁	۵۵	۵۸	۵۲	۴۶	-
		I ₂	۵۸	۶۰	۵۶	۵۲	-
	حرارت هوا	-	۳۴	۳۶	۳۱	۲۹	-
	حجم آب ^۲	I ₁	۱۲۰	۱۱۴	۷۸	۶۲	۶۵۱
		I ₂	۱۳۵	۱۱۶	۶۹	۵۲	۶۲۵
آذر	حرارت داخلی ^۱	I ₁	۴۶	۴۱	۴۸	۳۲	-
		I ₂	۴۲	۴۲	۴۲	۲۹	-
	حرارت هوا	-	۲۶	۲۷	۲۹	۲۴	-
	حجم آب ^۲	I ₁	۴۴	۵۵	۲۸	۲۰	۲۷۱
		I ₂	۴۶	۶۸	۳۸	۱۲	۲۹۲
دی	حرارت داخلی ^۱	I ₁	۳۲	۳۷	۳۶	۳۰	-
		I ₂	۳۱	۳۷	۳۵	۲۹	-
	حرارت هوا	-	۱۸	۲۰	۱۹	۱۸	-
	حجم آب ^۲	I ₁	۲۶	۴۲	۳۵	۳۱	۲۲۱
		I ₂	۴۴	۵۰	۳۳	۳۰	۲۵۸
بهمن	حرارت داخلی ^۱	I ₁	۴۰	۴۵	۴۶	۴۳	-
		I ₂	۳۵	۴۰	۴۲	۴۰	-
	حرارت هوا	-	۲۲	۲۵	۲۴	۲۴	-
	حجم آب ^۲	I ₁	۴۲	۸۸	۷۰	۶۲	۳۹۷
		I ₂	۴۰	۹۲	۶۴	۶۶	۴۰۷
اسفند	حرارت داخلی ^۱	I ₁	۴۲	۴۰	۴۲	۳۸	-
		I ₂	۴۱	۴۰	۴۲	۳۸	-
	حرارت هوا	-	۲۳	۲۳	۲۹	۲۷	-
	حجم آب ^۲	I ₁	۶۴	۷۸	۶۷	۴۸	۴۶۵
		I ₂	۷۴	۸۶	۶۸	۵۲	۵۲۵

۱- دمای هوای داخل سامانه‌ها (درجه سانتی‌گراد) ۲- حجم آب شیرین شده (میلی‌لیتر) در طول روز I₁= آب شیرین کن یک شیب I₂= آب شیرین کن دو شیب



شکل ۳. مقایسه بیشینه دمای هوای سامانه یک شیب و دو شیب و هوای آزاد در ماه‌های مختلف سال



شکل ۴. مقایسه میانگین میزان تولید آب شیرین روزانه هر یک از سامانه‌های یک شیب و دو شیب در ماه‌های مختلف سال

نتایج حاصل از بررسی عملکرد آبشیرین‌کن‌ها در ساعات مختلف در طی ماه‌های سال در جدول ۳ ارائه شده است. در فروردین ماه حداکثر میزان تولید آب استحصال شده در بازه زمانی ۱۳ تا ۱۴ بعد از ظهر ثبت شد که برابر با ۱۵۶ میلی‌لیتر و مربوط به سامانه دو شیب می‌باشد. در طی ماه‌های اردیبهشت، خرداد، تیر، مرداد و شهریور ماه حداکثر میزان تولید آب شیرین در ساعات بین ۱۴ تا ۱۵ صورت گرفته است. در ماه‌های مهر و آبان حداکثر میزان تولید آب شیرین در ساعات ۱۱-۱۲ صورت گرفته است. در بررسی عملکرد این سامانه‌ها در طی ماه‌های آذر، دی، بهمن و اسفند یافته‌ها بیانگر آن است که بیشترین میزان تولید آب در طی ساعات ۱۲ تا ۱۳ تولید شده است (جدول ۳).

جدول ۳. حداکثر میزان تولید آب، آبشیرین‌کن‌ها در ساعات مختلف ماه‌های سال

نوع آب شیرین کن	یک شیب		دو شیب		ماه
	حداکثر تولید آب شیرین (میلی‌متر)	ساعت	درجه حرارت (سانتی‌گراد)	حداکثر تولید آب شیرین (میلی‌متر)	ساعت
فروردین	۱۵۰	۱۳-۱۴	۶۶	۱۵۲	۱۳-۱۴
اردیبهشت	۱۶۴	۱۴-۱۵	۶۸	۱۵۶	۱۴-۱۵
خرداد	۲۱۵	۱۴-۱۵	۷۰	۲۳۸	۱۴-۱۵
تیر	۲۳۰	۱۴-۱۵	۷۱	۲۳۶	۱۴-۱۵
مرداد	۲۲۴	۱۴-۱۵	۷۰	۲۴۲	۱۴-۱۵
شهریور	۱۸۶	۱۴-۱۵	۶۶	۱۷۲	۱۴-۱۵
مهر	۱۵۶	۱۱-۱۲	۵۲	۱۴۸	۱۱-۱۲
آبان	۱۲۰	۱۱-۱۲	۵۸	۱۳۵	۱۱-۱۲
آذر	۵۵	۱۲-۱۳	۴۱	۶۸	۱۲-۱۳
دی	۴۲	۱۲-۱۳	۳۷	۵۰	۱۲-۱۳
بهمن	۸۸	۱۲-۱۳	۴۵	۹۲	۱۲-۱۳
اسفند	۷۸	۱۲-۱۳	۴۲	۸۶	۱۲-۱۳

در بررسی کارایی آب شیرین‌کن‌ها نتایج به دست آمده مویید آن است که گرمای هوا و تابش خورشید تأثیر مستقیمی بر کارایی آنها دارد و برعکس کاهش دمای هوا کارایی آنها را به شدت تقلیل می‌دهد. ذکر این نکته نیز حائز اهمیت است که ارتفاع سطح آب مخزن نیز ارتباط مستقیمی با عملکرد این سامانه‌ها دارد و هر چه ارتفاع سطح آب کمتر باشد انرژی گرمایی کمتری برای رسیدن به مرحله تبخیر نیاز است (Samue et al., 2022; ElSebaey, 2022; Lee et al., 2020). در این پژوهش نیز به منظور افزایش عملکرد سیستم، ارتفاع سطح آب مخزن ۱ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. با توجه به نتایج بیشترین کارایی (۵۱ درصد) در تیر ماه و مربوط به سامانه دو شیب بوده است. در

حالی که سامانه نوع یک شیب در این ماه کارایی ۴۵ درصد را نشان داد. کمترین کارایی این سامانه‌ها در دی ماه بوده است. به‌طوری‌که در این ماه آب شیرین کن‌های یک شیب و دو شیب به‌ترتیب ۷ و ۱۱ درصد کارایی داشته‌اند (جدول ۴).

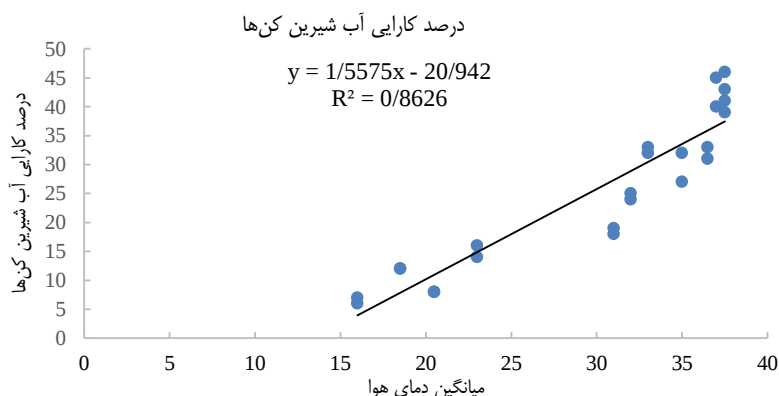
جدول ۴. کارایی سامانه‌های مورد مطالعه در ماه‌های مختلف سال (درصد)

ماه	نوع سامانه	کارایی	ماه	نوع سامانه	کارایی
فروردین	یک شیب	۳۰	مهر	یک شیب	۲۷
	دو شیب	۳۵		دو شیب	۲۷
اردیبهشت	یک شیب	۳۶	آبان	یک شیب	۲۲
	دو شیب	۳۴		دو شیب	۲۰
خرداد	یک شیب	۴۲	آذر	یک شیب	۱۰
	دو شیب	۵۰		دو شیب	۱۱
تیر	یک شیب	۴۵	دی	یک شیب	۷
	دو شیب	۵۱		دو شیب	۱۱
مرداد	یک شیب	۴۲	بهمن	یک شیب	۱۵
	دو شیب	۴۹		دو شیب	۱۴
شهریور	یک شیب	۳۴	اسفند	یک شیب	۱۷
	دو شیب	۳۶		دو شیب	۱۹

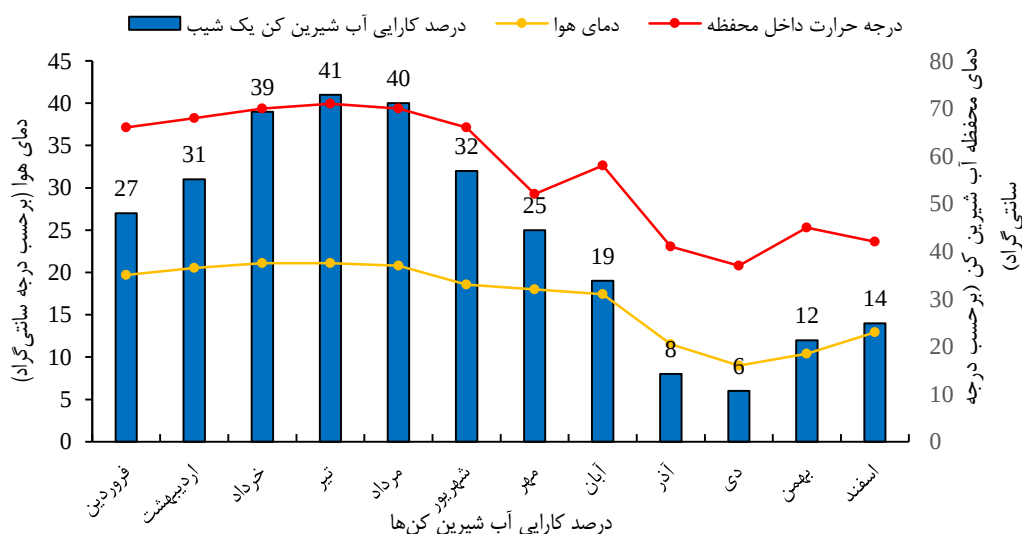
نتایج حاصل از مقایسه میانگین حجم آب تولیدی و دمای داخلی آب شیرین کن‌ها در جدول ۵ ارائه شده است. بر اساس نتایج به دست آمده تفاوت معنی‌داری در میزان آب تولیدی در سامانه‌های مورد مطالعه وجود دارد. به‌طوری‌که بیشترین میزان آب تولیدی مربوط به آب شیرین کن نوع دو شیب و برابر با ۱۴۷/۹۱ میلی‌لیتر بود که بیانگر عملکرد بهتر این سامانه نسبت به آب شیرین کن تک شیب می‌باشد. در بررسی میزان دمای داخلی سامانه‌ها، یافته‌ها بیانگر آن است که بیشترین دمای داخلی نیز در مخزن آب شیرین کن دو شیب ایجاد شده است که از لحاظ آماری به‌طور معنی‌دار بیشتر از میزان دمای آب در نوع یک شیب می‌باشد ($p \leq 0/01$). این افزایش دما در آب شیرین کن دو شیب به دلیل متمرکز شدن انرژی خورشیدی به درون مخزن آب شیرین کن متاثر از تغییر جهت زاویه تابشی بر سطح شیشه‌های نصب شده می‌باشد که با مطالعات صورت گرفته همچون Muftah et al. (2018) همخوانی دارد. شکل ۵ همبستگی میزان دمای هوا با درصد کارایی آب شیرین کن‌ها را در طول دوره پژوهش نشان می‌دهد. میانگین دمای همچنین تغییرات دمای هوا، دمای داخل مخازن سامانه‌ها و میزان کارایی آنها در طول دوره آزمایش در شکل ۶ ارائه شده است.

جدول ۵. تجزیه میانگین حجم آب تولیدی و دمای داخلی سامانه‌های آب شیرین کن

متغیر	میانگین	انحراف معیار	t آزمون	Sig
			t	df
میانگین حجم آب تولیدی در آب شیرین کن یک شیب	۱۴۰/۰۵	۶۵/۲۶	-۵/۵۸	۱۱
میانگین حجم آب تولیدی در آب شیرین کن دو شیب	۱۵۰/۴۱	۶۷/۳۹		
میانگین دمای داخلی در آب شیرین کن یک شیب	۵۴/۳۱	۱۳/۰۱	-۴/۴۵	۱۱
میانگین دمای داخلی در آب شیرین کن دو شیب	۵۸/۵	۱۳/۱۴		



شکل ۵. بررسی همبستگی میزان دمای هوا با درصد کارایی آب شیرین کن‌ها طی دوره مورد پژوهش



شکل ۶. بررسی تغییرات دمای هوا، دمای داخلی و میزان کارایی آب شیرین کن‌ها طی دوره مورد مطالعه

به منظور برآورد معادلات رگرسیونی گام به گام بین میزان تولید آب شیرین برای هر یک از سامانه‌های یک شیب و دو شیب به مثابه متغیر وابسته با میزان دمای هوا، دمای داخل مخازن آنها و تعداد ساعات آفتابی ماهانه به مثابه متغیر مستقل وارد مدل رگرسیونی شدند که نتایج در جدول ۶ ارائه شده است. بر اساس نتایج به دست آمده دمای میانگین داخلی محفظه آب شیرین کن به ترتیب ۹۰ و ۸۶ درصد تغییرات حجم آب تولیدی آب شیرین کن‌های یک شیب و دو شیب را توجیه می‌کند. با برآورد ضرایب متغیرهای مورد مطالعه براساس روش گام به گام، معادله رگرسیونی برای آب شیرین کن‌های تک شیب (رابطه ۲) و دو شیب (رابطه ۳) تعیین شد که نتایج مطابق ذیل می‌باشد:

رابطه ۲)
$$Y = -184/69 + 4/191 \text{ temperature} + 1/768 \text{ temperature-iner} + 7/663 \text{ suny-time}$$

رابطه ۳)
$$Y = -202/317 + 8/67 \text{ temperature} + 1/49 \text{ temperature-iner} + 11/39 \text{ suny-time}$$

در معادلات بالا Y، حجم آب تولیدی آب شیرین کن‌ها، temperature = دمای هوا، temperature-iner = دمای داخل مخازن و suny-time = تعداد ساعات آفتابی ماهانه است. با توجه به معادلات به دست آمده متغیرهای دمای هوا، دمای داخلی مخزن آب شیرین کن‌ها و تعداد ساعات آفتابی در جهت مثبت بر میزان آب تولیدی آب شیرین کن‌ها تأثیر گذار می‌باشد.

جدول ۶. نتایج تجزیه رگرسیون گام به گام آب تولیدی با مؤلفه‌های دمای هوا، دمای آب شیرین کن و ساعات آفتابی

مراحل رگرسیون گام به گام	
سامانه یک شیب	
عدد ثابت	-۱۸۴/۶۹
دمای داخلی آب شیرین کن	۰/۴۴
ضریب تبیین R ^۲	۰/۹۰
سامانه دو شیب	
عدد ثابت	-۲۰۲/۳۱۷
دمای داخلی آب شیرین کن	۸/۶۷
ضریب تبیین R ^۲	۰/۸۶

نتیجه گیری

با توجه به تداوم خشکسالی و بحران بی‌آبی در منطقه سیستان بهره‌برداری از آب‌های شور از طریق شیرین سازی آب با استفاده از انرژی خورشیدی رویکردی کاربردی جهت تامین بخشی از نیاز آب کشاورزی و صنعت در این منطقه می‌باشد. در این پژوهش عملکرد آب شیرین کن‌های نوع دو شیب و تک شیب و همچنین خصوصیات شیمیایی آب استحصال آنها مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که

فرآیند تبخیر - تقطیر در آب شیرین کن‌های طراحی شده باعث حذف آلاینده‌ها و بهبود شاخص‌های کیفی از جمله میزان سختی آب (TDS)، شوری (EC) و BOD در آب شیرین تولید شده است. مقایسه دمای داخلی سامانه‌ها بیانگر آن است که بیشترین درجه حرارت داخلی در مخزن آب شیرین کن دو شیب ایجاد شده است که به‌طور معنی‌دار بیشتر از نوع یک شیب می‌باشد ($p \leq 0.01$). همچنین در بررسی عملکرد سامانه‌های مورد مطالعه یافته‌ها نشان داد که بیشترین عملکرد روزانه (۵۱ درصد) مربوط به آب شیرین کن دوشیب است که باعث شیرین‌سازی ۲۳۶ میلی‌لیتر آب در روز شده است. در مجموع، بر اساس نتایج به دست آمده از این تحقیق نتیجه‌گیری می‌شود که آب شیرین کن‌های تبخیری - تقطیری با بهره‌برداری از انرژی خورشیدی پتانسیل بالقوه‌ای جهت بهره‌برداری از آب‌های شور و همچنین سایر آب‌های نامتعارف را فراهم می‌نماید که توسعه آن یک استراتژی مناسب برای تامین آب در مناطق خشک و بحرانی از جمله منطقه سیستان می‌باشد.

پیشنهاده‌ها

- اجرای پژوهش‌های کاربردی در سطح وسیع‌تر.
- انجام پژوهش‌های کاربردی به‌منظور افزایش کارایی آب شیرین کن‌های خورشیدی.
- اجرای پژوهش در خصوص شیرین کردن آب با استفاده از آب شیرین کن‌های خورشیدی با مخزنی از جنس آجر و سیمان به‌منظور کاهش هزینه.

سپاس‌گزاری

از مسئولین محترم پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری به دلیل تأمین هزینه اعتبارات این پژوهش تشکر و قدردانی می‌شود.

"هیچ‌گونه تعارض منافع بین نویسندگان وجود ندارد"

منابع

- پرویز، سید مهدی؛ سفید، محمد و پیرزایی خبازی، نوید. (۱۴۰۲). بررسی تجربی اثر ترکیبی کندانسور و مواد تغییر فاز دهنده در عملکرد آب شیرین کن خورشیدی حوضچه تک شیب. *فصلنامه علمی کارافن*. (۳۰/۲۰: ۲۳۸-۲۴۱). doi: 10.48301/kssa.2023.368106.2333.
- عصاری، محمدرضا؛ اسفنده، احسان و بهاروند، رضا. (۱۴۰۱). مطالعه تجربی اثر استفاده از ماسه بر عملکرد آب شیرین کن خورشیدی، *نشریه انرژی های تجدیدپذیر و نو*. (۹/۱): ۹۳-۸۷.
- کیخا، مهدی و میری، محدثه. (۱۳۹۳). ارزیابی پتانسیل تابش خورشیدی در منطقه سیستان، اولین کنفرانس ملی انرژی های تجدید پذیر و توسعه پایدار. زابل. ایران.
- موقری، علیرضا و طاوسی، تقی. (۱۳۹۲). امکان‌سنجی و پهنه‌بندی مکان‌های مستعد جهت استقرار پنبه‌های خورشیدی با تکیه بر فراسنج‌های اقلیمی در استان سیستان و بلوچستان. *فصلنامه پژوهش‌های سیاست‌گذاری و برنامه ریزی انرژی*. (۱/۱): ۱۱۴-۹۹.
- وفایی، محمد؛ برزگر نژاد، محمد؛ اربابی، علی؛ شکیب، سید احسان و غفوریان محمد مصطفی. (۱۳۹۷). مطالعه تجربی و تحلیل اقتصادی آب شیرین کن خورشیدی پلکانی با شرایط مختلف. *نشریه مهندسی مکانیک/میرکبیر* 52(6), 1513-1530. doi: 10.22060/mej.2018.14556.5887

REFERENC

- Aljubour, A. A. (2017). Design and Manufacturing of Single Sloped Solar Still: Study the Effect of Inclination Angle and Water Depth on Still Performance, *Journal of Al-Nahrain University*, 20 (2), 60-70. <https://doi.org/10.22401/JNUS.20.2.08>.
- Almajali, T., A. H., Ismail, F. B., Kazem, H. A., Gunnasegaran, P. A., Shurafa, S. M. A. & Al-Muhsen, N. F. (2024). Enhanced water production and improving solar water distillation efficiency of double-slope solar stills: Modeling and validation. *Thermal Science and Engineering Progress*, 53, 102712. <https://doi.org/10.1016/j.tsep.2024.102712>.
- Arun Kumar, T., Vinothkumar, K., Amimul, A., Jayaprakash, R & Kumar, R. (2012). Experimental Study on Various Solar Still Designs, *International Scholarly Research Network ISRN Renewable Energy*, Volume 2012, Article ID 569381, 10 pages. <https://doi.org/10.5402/2012/569381>.



- Assari, M. R., Esfandeh, E., & Baharvand, R. (2022). Experimental investigation of effect of using sand on the performance of solar still. *Journal of Renewable and New Energy*, 9(1), 87-93. (In Persian)
- Durkaieswaran, P., & Murugavel, K.K. (2015). Various special designs of single basin passive solar still - A review (Review), 49, 1048-1060. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.04>.
- Chendake A.D., Pawar R.S., Thorat P.V., & Pol A.D. (2015). Design and Development of Double Slope Type Solar Distillation Unit, Res. *Journal Agriculture and Forestry Science*, 3(4), 1-6.
- Charcosset, C. (2009). A review of membrane processes and renewable energies for desalination. *Desalination*, 245(1-3), 214-231.
- Delyannis, E.E., & Delyannis, A. (1985). Economics of solar stills. *Desalination*; 52:167-76.
- Durkaieswaran, P., & Kalidasa, M. (2015). Various special designs of single basin passive solar still - A review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 49, 1048-1060.
- El-Sebaey, M., Ellman, S., Hegazy, A., & Panchal, H. (2022). Experimental study and mathematical model development for the effect of water depth on water production of a modified basin solar still, *Thermal Engineering*, (33), 1-13. <https://doi.org/10.1016/j.csite.2022.101925>.
- Eltawil, M., Zhengming, Z., & Yuan, L. (2009). A review of renewable energy technologies integrated with desalination systems. *Renew. Sustain. Energy Rev*, 13, 2245-2262. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2009.06.011>.
- Elsaid, K., E. TahaSayed., M. A. Abdelkareem., A. Baroutaji & A.G.Olabi. (2020). Environmental impact of desalination processes: Mitigation and control strategies, *Science of The Total Environment*, 740. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.140125>.
- Hitesh, N., Panchal, P., & Shah K. (2011). Effect of varying glass cover thickness on performance of solar still: in a Winter Climate Conditions, *International Journal of Renewable Energy Research-IJRER*, 1(4), 212-223.
- Kalogirou, S.A. (2005). Seawater desalination using renewable energy sources. *Program Energy Combust science*. 31, 242-282.
- Kikha, M., & Miri, M. (2013). Evaluation of solar radiation potential in Sistan region, the first national meeting of renewable energies and sustainable development, Zabul, <https://civilica.com/doc/430627> (In Persian)
- Karthickmunisamy, T., Arulprakash, S., J. Ahamed, N., Ajith, S., & Akaash. M.R. (2017). Design and Fabrication of Single Slope Solar Still Using Metal Matrix Structure as Energy Storage, *International Journal of Scientific & Engineering Research*, 7(8), 325-332.
- Manchanda, H., & Kumar, M. (2015). A comprehensive decade review and analysis on designs and performance parameters of passive solar still, *Renewables*, 2 (17), 2-24. <https://doi.org/10.1186/s40807-015-0019-8>.
- Mathur. K., Thomas, M., Lineswala, P., & Nayar, S. (2015). Solar Distillation of Water, *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*, 2(7), 767-770. <https://doi.org/10.18280/ijht.370213>.
- Mehta, A., Vyas, A., Bodar, N., & Lathiya, D., (2011). Design of Solar Distillation System, *International Journal of Advanced Science and Technology*, 29, 67-74.
- Movaqqari, A., & Tavousi, T. (2013). Zoning Feasibility and Potential Locations for the Deployment of Solar Panels Based on Climatic Variables in Sistan and Baluchestan. *Quarterly Journal of Energy Policy and Planning Research*, 0 (1): 99-114. (In Persian)
- Parwez, S. M., Sefid, M., & Perzai Khabazi, N. (2023). Experimental Investigation of the Combined Effect of Condenser and Phase Change Materials in the Performance of Single Slope Solar Still. *Karafan Journal*, 20(3), 221-238. doi: 10.48301/kssa.2023.368106.2333.
- Rubio, E., Luis, j., Zayas, F., & Porta, M. A. (2020). Current Status of Theoretical and Practical Research of Seawater Single-Effect Passive Solar Distillation in Mexico, *Journal of Marine Science and Engineering*, 8(2), 1-17.
- Ramzy, K., Abdelgaleel, M., & Kabeel, A.E. (2023). Performance of a single slope solar still using different porous absorbing materials: an experimental approach. *Environ Science Pollution Recourse* 30, 72398-72414. <https://doi.org/10.1007/s11356-023-27465-5>.
- Ranjan, K. R. & Kaushik, S. C. (2016). Economic feasibility evaluation of solar distillation systems based on the equivalent cost of environmental degradation and high-grade energy savings, *International Journal of Low-Carbon Technologies*, 11, 8-15. doi.org/10.1093/ijlct/ctt048.
- Raveena, J., Ramteke, R., Dhurwey, B., Borkar, J., Ankit, A., sheikh, M.A., & Katekar, V. (2016). Recent

- Trends in Solar Distillation, *International Journal for Research in Applied Science & Engineering Technology (IJRASET)*, 4(6), 184-192.
- Samuel, A. J., Brizuela, K.C., & Chang, C.T. (2022). Design and Investigation of an effective Solar Still Applicable to Remote Islands. *Water*, 14, 703. [https://doi.org/ 10.3390/w1405070](https://doi.org/10.3390/w1405070).
- Vafaie, M., Barzgarnezhad, M., Arbabi, A., shakib, E. & Ghafurian, M. M. (2018). Experimental Study and Economic Evaluation of a Cascade Solar Water Desalination Unit in Various Conditions. *Amirkabir Journal of Mechanical Engineering*, 52(6), 1513-1530. doi: 10.22060/mej.2018.14556.5887
- Vinoth Kumar, K., & Kasturi, V. (2008). Performance study on solar still with enhanced condensation, *Journal of Desalination*, 230, 51–61. doi. 10.1016/j.desal.2007.11.015
- Vishnu. K and M. A. Chinnamma. 2018. Design, Fabrication and Working of Solar Distillation System, *International Journal of Advanced Information in Engineering Technology (IIAIET)*, 5(4), 2-6.