



## مروری بر مطالعات تجربی انجام شده بر روی آب‌شیرین‌کن‌های خورشیدی فعال و غیر فعال در ایران و جهان

جاماسب پیرکندی<sup>۱\*</sup>، فرشید کسائی<sup>۲</sup>

۱- دانشیار، دانشگاه صنعتی مالک اشتر، مجتمع دانشگاهی هوافضا

۲- دانشجوی دکتری، مهندسی مکانیک، دانشگاه سمنان، سمنان

\* تهران، صندوق پستی ۱۷۷۴-۱۵۸۷۵، [jpirkandi@mut.ac.ir](mailto:jpirkandi@mut.ac.ir)

### چکیده

دستگاه‌های آب‌شیرین‌کن خورشیدی تبخیری به دلیل هزینه‌ی ساخت بسیار پایین و نداشتن مکانیزم‌های پیچیده و همچنین نیاز کمتر به سرویس و نگهداری امروزه مورد استقبال بسیاری از محققین قرار گرفته‌اند. تحقیقات بسیار وسیعی اعم از مدل‌سازی، بهینه‌سازی، ترکیب مکانیزم‌ها، آنالیز اقتصادی و همچنین بومی‌سازی انواع مدل‌های فعال و غیرفعال این دستگاه‌ها تا به امروز انجام شده است. نتایج حاصل از این تحقیقات به همراه پتانسیل بالای این دستگاه‌ها جهت پیاده‌سازی ایده‌های جدید بر روی آن‌ها منجر به ساخت و آزمایش طیف گسترده‌ای از انواع مدل‌های مختلف شده است. قسمت عمده‌ی این تحقیقات در کشورهای آسیایی و آفریقایی که دارای آب و هوای گرم و خشک می‌باشند انجام شده و همواره تاکید بر مناسب بودن این دستگاه‌ها جهت استفاده در مناطق دورافتاده بوده است. در حال حاضر تحقیقات بر روی این دستگاه‌ها در بیشتر نقاط جهان و به میزان زیادی ادامه دارد. در تحقیق حاضر به مرور تحقیقات انجام‌شده تجربی بر روی این دستگاه‌ها پرداخته است. این بررسی نشان می‌دهد که همواره تمرکز بر به‌کارگیری روش‌های جدید و مقرون به صرفه، جهت افزایش میزان خروجی و راندمان حرارتی دستگاه‌ها می‌باشد که در دستگاه‌های نوع فعال و غیر فعال نتایج آن متفاوت است.

کلیدواژگان: آب‌شیرین‌کن خورشیدی، فعال، غیرفعال، تحقیقات تجربی

## Experimental studies on active and passive solar stills in Iran and the world: A review

Jamasb Pirkandi<sup>1\*</sup>, Farshid Kassaei<sup>2</sup>

1- Faculty of Aerospace, Malek Ashtar University of Technology, Iran\*

۲- Department of Mechanical Engineering, Semnan University, Semnan, Iran

\* P.O.B. 15875-1774 Tehran, Iran, [jpirkandi@mut.ac.ir](mailto:jpirkandi@mut.ac.ir)

Received: 8 August 2019 Accepted: 28 December 2019

### Abstract

Solar stills have been welcomed by many researchers due to the very low cost of manufacturing and the lack of complicated mechanisms, as well as the need for service and maintenance. Extensive researches, including modeling, optimization, combination of mechanisms, economic analysis, and localization of various active and passive models of these devices has been carried out to date. The results of these researches, together with the high potential of these devices to implement new ideas on them, led to the construction and testing of a wide range of different types of models. Most of the researches have been conducted in Asian and African countries with hot and dry weather and has always been emphasized on the appropriateness of these devices for using in remote areas. Researches are currently under way on these devices in most parts of the world. In the present study, experimental researches on these devices has been reviewed. This study shows that the focus is on the use of new and cost effective methods to increase the output and thermal efficiency of devices, which differ in the active and passive type devices.

**Keywords:** Solar Still, Active, Passive, Experimental Research



## ۱-مقدمه

تمام روش‌های تقطیر بر این اصل متکی هستند که آب و گازهای محلول در آب شور، در اثر حرارت تبخیر شده ولی املاح محلول در آب شور باقی می‌مانند. از آب شور دریاها و اقیانوس‌ها می‌توان به روش تقطیر آب شیرین تهیه کرد. هنگامی که حرارت دریافت شده از خورشید با درجه حرارت کم روی آب شور اثر کند تنها آب تبخیر شده و املاح باقی می‌مانند و سپس با استفاده از روش‌های مختلف، آب تبخیر شده را تقطیر کرده و به این ترتیب آب شیرین تهیه می‌شود.

در سیستم‌های تقطیری خورشیدی، آب دریا را به ظروف کم عمقی که کاملاً آب بند می‌باشد و با هوای خارج ارتباطی ندارند، وارد می‌کنند. پوشش شفافی مانند شیشه و یا پلاستیک، سطح فوقانی ظروف مربوطه را می‌پوشاند. انرژی خورشیدی با طول موج‌هایی که از شیشه گذشته و با آب داخل ظرف برخورد می‌کند، آب را گرم می‌کند. شیشه شفاف مانع خروج اشعه‌های بازتاب خورشیدی از محفظه شده و علاوه بر آن باعث می‌شود که افت حرارتی از طریق جابجایی به مقدار زیادی کاهش یابد. به این ترتیب انرژی حرارتی خورشیدی در دستگاه آب‌شیرین‌کن محصور شده و موجب افزایش درجه حرارت آب و بالا رفتن میزان بخار آب در محفظه می‌گردد. در نتیجه نمک موجود در آب دریا در محفظه رسوب می‌کند. به تدریج که رطوبت نسبی در محفظه افزایش می‌یابد، بخار آب در اثر دفع حرارت از شیشه، روی سطح داخلی شیشه تقطیر شده و آب شیرین حاصله، به طرف محل جمع‌آوری در انتهای پوشش حرکت می‌کند. به این ترتیب با استفاده از انرژی خورشیدی و عمل تقطیر آب شیرین تهیه می‌شود. آب نمک غلیظ شده نیز به طور دائم یا متناوب، از دستگاه خارج شده و به آب دریا وارد می‌شود. این دستگاه‌ها مزایای خاص خود را دارند و همچنین پتانسیل بالایی جهت به‌کارگیری و ترکیب مکانیزم‌های دیگر با این دستگاه‌ها وجود دارد. در جدول ۱ به مقایسه برخی از پارامترهای این نوع دستگاه‌ها با تکنولوژی‌های دیگر پرداخته شده است.

مهم‌ترین عامل موثر در آب‌شیرین‌کن‌های خورشیدی شدت نور خورشید است. میزان تولید آب شیرین بر حسب کیلوگرم در هر مترمربع در روز، با شدت تابش خورشید نسبت مستقیم دارد. به علاوه عواملی چون درجه حرارت محیط خارج، سرعت باد، میزان ابری بودن آسمان و درجه حرارت آب دریا در مقدار بازدهی دستگاه موثر هستند. برای جذب حداکثر انرژی خورشیدی در آب شیرین‌کن‌ها، مواد مصرفی مخصوصی بکار می‌رود. قسمتی از تشعشع خورشیدی از طریق انعکاس و جذب (به وسیله شیشه و صفحه سیاه رنگ محفظه آب‌شیرین‌کن) و قسمتی

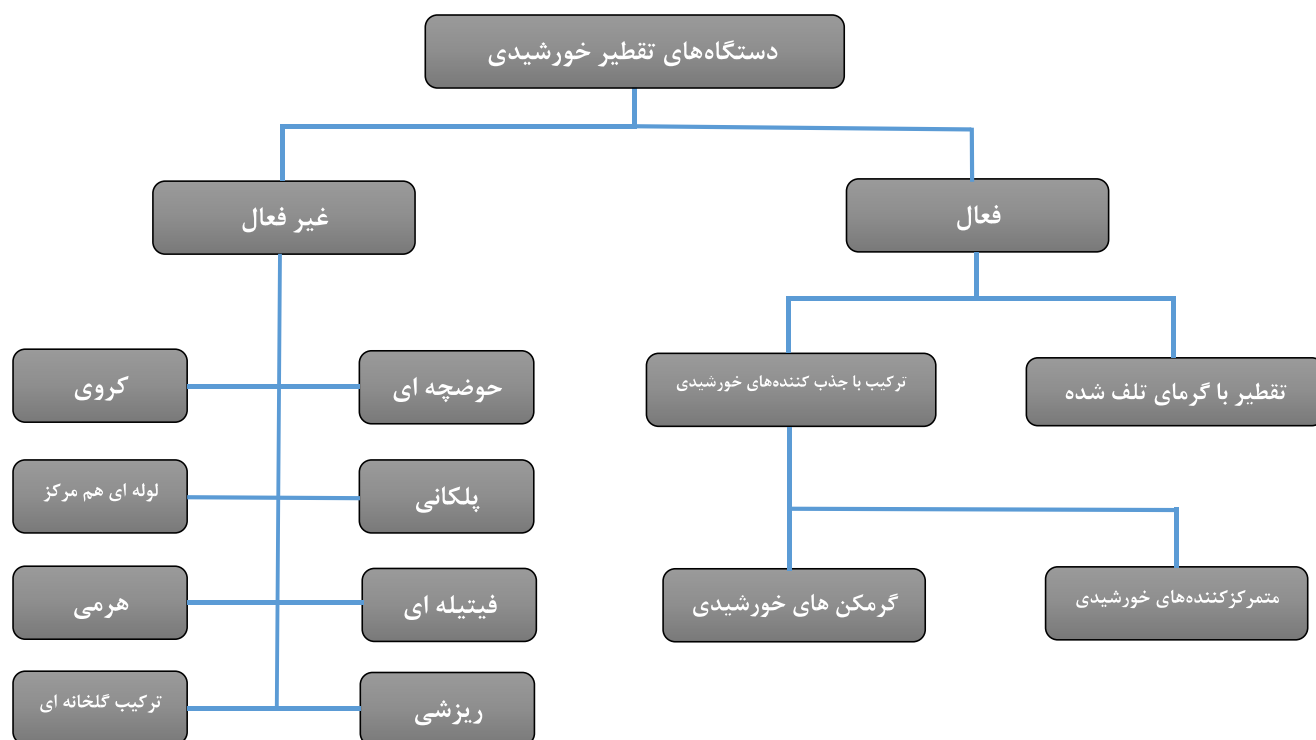
نیز از طریق جابجایی (در فضای بین شیشه و آب شور دستگاه) به هدر می‌رود. موارد دیگری نیز هستند که در مجموع باعث می‌شوند بازدهی این دستگاه‌ها به تنهایی پایین باشد. به همین جهت تحقیقات گسترده‌ای در جهت افزایش بازدهی این دستگاه‌ها صورت گرفته است که در این مقاله به آن‌ها پرداخته شده است. هدف مقاله بررسی تعدادی از بهینه‌سازی‌های انجام شده روی این نوع دستگاه‌ها و مقایسه تغییرات هر یک از پارامترها به همراه بررسی میزان تاثیر آنها در بهبود عملکرد و افزایش بازدهی دستگاه‌ها است.

جدول ۱ مقایسه انواع مکانیزم‌های مناسب برای نمونه‌های کوچک تصفیه آب [۱]

مکانیزم پارامتر	اسمز معکوس	الکترودیالیز	تقطیر خورشیدی
فضای مورد نیاز	کم	کم	زیاد
سرمایه‌گذاری به ازای ۱۰ لیتر در روز	زیاد	زیاد	زیاد
سهولت استفاده و نگهداری	زیاد	زیاد	زیاد
نیاز به توان ورودی	✓	✓	×
عملکرد به صورت پیوسته	✓	✓	×
رفع کدورت	✓	×	✓
رفع آلودگی باکتری	✓	×	✓
رفع سختی	✓	✓	✓
مناسب برای آب با شوری کم	✓	✓	✓
مناسب برای آب با شوری متوسط	×	✓	✓
مناسب برای آب دریا	×	×	×
حذف بو	✓	×	✓
حذف آرسنیک	✓	✓	✓
حذف فلوراید	✓	جزئی	✓
حذف آهن	✓	جزئی	✓
حذف نیترات	✓	جزئی	✓
حذف آفت‌کش‌ها	✓	جزئی	✓

آب‌شیرین‌کن‌های خورشیدی به دو گونه‌ی فعال و غیرفعال تقسیم‌بندی می‌شوند. نوع فعال از مکانیزم‌هایی مانند متمرکز کننده یا کلکتور خورشیدی در ساختار خود بهره می‌برند. شکل ۱ تقسیم‌بندی این دستگاه‌ها را به تفکیک نشان می‌دهد.





شکل ۱ تقسیم‌بندی آبشیرین‌کن‌های خورشیدی

دارد، اما در حال حاضر شیشه بهترین گزینه می‌باشد. هر چه ضخامت شیشه کمتر باشد توزیع دمایی در آن یکنواخت‌تر

شده و به دلیل اتلاف به محیط، دمای آن سریع‌تر کاهش می‌یابد که این امر سبب افزایش میزان چگالش می‌گردد.

#### ۲-۲- جهت دستگاه و زاویه‌ی شیشه

جهت و زاویه‌ی نصب دستگاه نسبت به سطح افق از مواردی است که باید در هنگام نصب آب شیرین‌کن‌های خورشیدی شیب‌دار مورد توجه قرار گیرد. مناسب‌ترین جهت برای نصب دستگاه‌های خورشیدی که به صورت ثابت هستند، راستای شرق - غرب جغرافیایی است. در نیم‌کره‌ی شمالی دستگاه باید رو به جنوب بوده و در نیم‌کره‌ی جنوبی برعکس باشد تا از انرژی خورشیدی به بهترین صورت بهره‌برداری گردد. بیشتر جمع‌کننده‌های انرژی خورشیدی برای بالا بردن میزان جذب تشعشع خورشید، به صورت زاویه‌دار نسبت به سطح افق نصب می‌شوند. همواره زاویه‌ای بهینه برای دریافت بیشینه‌ی انرژی خورشیدی وجود دارد که در صورت وجود نداشتن محدودیت‌های عملیاتی، دستگاه باید تحت آن زاویه نصب شود. این زاویه به گونه‌ی تقریبی با عرض جغرافیایی محل نصب برابر است. این در حالی است که در دستگاه‌های آبشیرین‌کن خورشیدی، زاویه‌ی شیشه بر ضخامت

#### ۲- پارامترهای موثر بر بازدهی آبشیرین‌کن‌ها

##### ۱-۲- جنس پوشش روی دستگاه

انتخاب جنس پوشش روی دستگاه یکی از عوامل مهم در طراحی آن است. در بیشتر دستگاه‌ها پوشش روی دستگاه از جنس پلاستیک یا شیشه می‌باشد. شیشه یکی از مواد مقاوم و عالی می‌باشد که معایبی هم مانند شکستن در هنگام نصب یا انتقال را دارد. در مقایسه با شیشه مواد دیگری هستند که دارای مزایایی مانند حمل آسان، قیمت مناسب و وزن کم می‌باشند ولی در برابر باد و باران دچار صدمه می‌شوند. در ابتدا محققان به صورت تجربی چندین گونه‌ی از صفحه‌های پلاستیکی را به عنوان پوشش بالای دستگاه استفاده کردند که مزیت‌هایی از قبیل وزن کم، قابلیت شکل‌پذیری به اشکال مختلف و مقاومت در برابر فشار در مقایسه با شیشه را داشتند. از سوی دیگر، معایبی هم از قبیل رسانش حرارتی پایین، نرخ پخش حرارتی بالا، انتقال زیاد اشعه مادون‌قرمز خورشید، هزینه‌ی بالا و کمیاب بودن در مناطق خشک و دور را داشتند. پژوهش‌ها همچنان بر روی تهیه‌ی پوشش‌های پلاستیکی مناسب نظیر طلق و پلکسی گلاس شفاف ادامه



آب شیرین بیشتر می‌شود. هر چه دمای آب شور ورودی بیشتر باشد نرخ تبخیر افزایش می‌یابد. با کاهش دمای محیط نیز دمای شیشه کاهش می‌یابد و این باعث اختلاف دمای سطح آب شور و شیشه می‌شود. البته کاهش دمای محیط سبب یک کاهش کلی در دمای دستگاه نیز خواهد شد. از جمله کارهای انجام‌شده جهت خنک کاری شیشه می‌توان به نصب کندانسور روی شیشه به شکل لوله‌های شبکه‌ای، اسپری کردن آب روی شیشه با روش‌های مختلف و همچنین نصب مازول ترمو الکتریک بر روی شیشه اشاره کرد.

#### ۲-۷- اثر باد و عوامل محیطی

سرعت وزش باد یک عامل تأثیرگذار بر روی میزان اتلاف حرارت از شیشه به محیط است. هر چه هوا صاف‌تر باشد میزان تابش مستقیم رسیده از خورشید به دستگاه بیشتر می‌شود و قابلیت جذب پرتوهای خورشید افزایش می‌یابد. نظریه‌های پژوهشگران در مورد تأثیر سرعت باد متفاوت است. نتایج به دست آمده در سرعت‌های مختلف باد نیز متفاوت است. بنابراین در طراحی و ساخت دستگاه جهت استفاده در مناطق بادخیز، می‌بایست تأثیر باد بر عملکرد دستگاه به دقت بررسی شود.

#### ۲-۸- اثر نرخ آب ورودی در آب شیرین‌کن‌های گونه‌ی شیب‌دار

تنظیم نرخ آب ورودی یکی از پارامترهای مهم بر بازدهی دستگاه‌های شیب‌دار است. دستگاه‌های شیب‌دار دارای ورودی و خروجی آب هستند. نرخ زیاد آب ورودی سبب سرد شدن سریع‌تر صفحه‌ی جذب‌کننده و همچنین کاهش زمان اقامت آب درون دستگاه و در نتیجه کاهش انتقال حرارت می‌گردد. استفاده از نرخ‌های پایین آب ورودی تأثیر بهتری بر کارکرد دستگاه خواهد داشت. هر چه میزان نرخ آب ورودی کمتر باشد بازده بالاتر می‌رود زیرا زمان ماندن آب روی صفحه‌ی تبخیرکننده بیشتر می‌شود و دمای آب افزایش می‌یابد. البته نرخ‌های خیلی پایین آب ورودی سبب کاتالیزه شدن جریان آب روی صفحه شده و امکان ایجاد رسوب را افزایش می‌دهد. با تنظیم مناسب نرخ آب ورودی می‌توان زمان ماندن جریان آب درون دستگاه را افزایش داد و از ایجاد نقاط خشک روی سطح تبخیر پیشگیری کرد.

#### ۲-۹- ذخیره‌ی حرارتی

یکی از موارد مهم در استفاده از دستگاه‌های خورشیدی عدم امکان استفاده از تابش خورشید در ۲۴ ساعت روز است. این امر سبب شده که ادامه‌ی فرآیند این دستگاه‌ها در نبود خورشید (هنگام شب) یا مواقع ابری متوقف گردد که این مسئله موجب کاهش در بازده آن‌ها می‌شود. برای حل این مشکل می‌بایست حرارت مورد نیاز این سیستم را به هنگام مساعد نبودن شرایط تابش خورشید (غروب و یا شب)، فراهم نمود. انرژی خورشید به شیوه‌ی مستقیم قابل ذخیره نیست. ابتدا باید آن را به سایر صورت‌های انرژی مانند انرژی‌های الکتریکی، شیمیایی یا حرارتی، ذخیره نمود که استفاده از روش‌های ذخیره‌ی انرژی به صورت حرارتی یک راهکار مناسب است. بنابراین با استفاده از

فیلم تشکیل‌شده بر روی شیشه و همچنین سرعت تخلیه‌ی آن تأثیرگذار است. ضخامت فیلم آب روی شیشه به سرعت تخلیه و موقعیت صفحه و انحراف آن از حالت عمود و ویسکوزیته مایع چگالیده شده بستگی دارد. گرانشی کمتر سبب کاهش ضخامت فیلم روی شیشه شده و باعث افزایش سرعت تخلیه می‌گردد.

#### ۲-۳- صفحه‌ی جذب‌کننده‌ی پرتوهای خورشیدی

یکی از قسمت‌های مهم دستگاه جنس صفحه‌ی جذب‌کننده است. جنس صفحه‌های جذب‌کننده باید قابلیت جذب و مقاومت حرارتی بالا داشته و نسبت به خوردگی مقاوم باشد و تا حد امکان از ایجاد رسوب پیشگیری نماید. زاویه‌ی قرار گرفتن صفحه نسبت به افق باید مناسب باشد تا امکان جذب بیشتر پرتوهای خورشید فراهم گردد. آهن گالوانیزه، سیمان، آجر و آلومینیوم از موادی هستند که در ساخت دستگاه‌های تقطیر استفاده می‌شوند. برای افزایش میزان جذب پرتوهای خورشید، اغلب صفحه‌ی جذب‌کننده توسط رنگ مشکی مات پوشیده می‌شود.

#### ۲-۴- افزایش دمای کف

بالا بردن دمای کف دستگاه یکی دیگر از پارامترهای مهم در جهت افزایش بازدهی آن است. روش‌های بسیار گوناگونی برای این منظور وجود دارد. استفاده از بین فلزی در کف دستگاه، استفاده از ترموکوپل، استفاده از کلکتورهای متمرکز کننده با سیال‌های مختلف و انتخاب مواد مختلف جهت جذب بیشتر گرما در کف تنها قسمتی از کارهای انجام‌شده برای این منظور هستند.

#### ۲-۵- عایق‌بندی

بدیهی است عایق‌بندی دستگاه نقش موثری در بهبود عملکرد آن دارد. صفحه‌ی زیرین دستگاه برای پیشگیری از اتلاف حرارتی و گرم نگه‌داشتن آب درون دستگاه باید به خوبی عایق‌بندی گردد. عایق باید دارای رسانایی حرارتی پایین و طول عمر بالا باشد. علاوه بر کف، دیواره‌های دستگاه نیز باید به خوبی عایق‌بندی شوند. از جمله موادی که تاکنون جهت عایق‌بندی استفاده شده است می‌توان به اسفنج پلی اورتان، بابل رپ، خاک اره و پوشش‌های دو جداره اشاره کرد.

#### ۲-۶- اختلاف دمای شیشه و سطح آب شور

اختلاف دما به عنوان نیرو محرکه در انتقال حرارت به شمار رفته و از پارامترهای موثر در افزایش آن است. اختلاف بیشتر دمای آب شور و پوشش شیشه‌ای در آب شیرین‌کن‌های خورشیدی سبب افزایش انتقال حرارت جابه‌جایی می‌شود که این مسئله باعث افزایش در میزان تبخیر آب می‌گردد. اختلاف دمای آب شور و پوشش شیشه‌ای را به چندین روش می‌توان ایجاد نمود. افزایش دمای آب ورودی به دستگاه، کاهش دمای شیشه یا محیط و به وجود آوردن هم‌زمان این دو حالت سبب افزایش در میزان اختلاف دمای شیشه و سطح آب شور می‌گردد که منجر به بالا رفتن میزان تبخیر و تولید آب شیرین بیشتر می‌شود. هر چه اختلاف دما بیشتر باشد نرخ چگالش و خروجی



استفاده از آبگرم‌کن‌های ترموسیفون، کلکتورهای تخت، کلکتورهای متمرکز کننده، ماژول‌های PVT از جمله روش‌هایی هستند که برای این منظور به کار گرفته شده‌اند.

### ۳-مروری بر آبشیرین‌کن‌های خورشیدی ساخته شده در ایران و جهان

در این قسمت تعدادی از پژوهش‌های انجام شده بر روی آبشیرین‌کن‌های مقیاس کوچک که با استفاده از روش تقطیری کار می‌کنند، معرفی شده است.

۳-۱- نمونه‌ی ساخته شده توسط رشیدی و همکاران [۲]: آن‌ها در این تحقیق از یک لایه لاستیک اسفنجی متخلخل مشبک در داخل آبشیرین‌کن حوضچه‌ای استفاده کردند. استفاده از این لایه به دلیل داشتن سطح مشکی رنگ و ظرفیت حرارتی پایین، منجر به جذب حداکثر نور خورشید و همچنین به‌کارگیری تمام انرژی جذب شده برای تبخیر آب می‌شود. نتیجه این تحقیق افزایش ۱۷,۳۵ درصدی در میزان آب خروجی دستگاه بود. نمایی از دستگاه ساخته شده توسط آن‌ها در شکل ۲ ارائه شده است.



شکل ۲ استفاده از لاستیک اسفنجی متخلخل در کف دستگاه [۲]

۳-۲- نمونه‌ی ساخته شده توسط آرآنکومار و همکاران [۳]: آن‌ها در این تحقیق از فوم اشباع کربن به دلیل هیدروفیل بودن و داشتن سطح

ترکیب مناسب روش‌های ذخیره‌ی حرارتی با دستگاه‌های خورشیدی می‌توان بازده این دستگاه‌ها را بهبود بخشید. ذخیره‌ی حرارتی به دلیل وجود روش‌های آسان ذخیره‌سازی و کاربردهای بسیار، مورد توجه بیشتری قرار گرفته است. ذخیره‌ی حرارتی از لحاظ دمایی به ذخیره در دمای پایین (کمتر از ۱۰۰ درجه‌ی سلسیوس)، ذخیره در دمای متوسط (بین ۱۰۰ تا ۵۰۰ درجه‌ی سلسیوس)، و ذخیره در دمای بالا (بسیار بالاتر) دسته‌بندی می‌گردد. از لحاظ زمانی نیز به ذخیره‌ی حرارتی در مدت زمان کم (چند ساعت یا چند روز) و ذخیره‌ی حرارتی در مدت زمان طولانی (چند ماه یا چند فصل) تقسیم‌بندی می‌شود.

#### ۲-۱-۰- عمق آب

به هر میزان عمق آب کمتر باشد میزان تبخیر افزایش یافته و بدین ترتیب میزان آب تولید شده نیز بیشتر می‌شود. به عبارت دیگر عمق آب با میزان تولید آب شیرین رابطه‌ی عکس دارد. در طراحی و بهره‌برداری دستگاه باید تلاش شود تا عمق آب در هنگام کار دستگاه در کمترین حالت ممکن باقی بماند.

#### ۲-۱-۱- استفاده از مواد حلال در آب

موادی که در آب شور حل شده و دمای تبخیر را پایین تر بیاورند طبیعتاً میزان تبخیر را افزایش خواهند داد. در نهایت این مسئله منجر به افزایش بازده دستگاه می‌شود. اما این امر هزینه بر بوده و برای استفاده درون سیستم توصیه نمی‌شود. به علاوه در صورت استفاده باید تأثیر آن روی سلامت آب خروجی به دقت بررسی شود.

#### ۲-۱-۲- شکل دستگاه

نوع سقف دستگاه که در آنجا عمل میعان صورت می‌گیرد نقش مهمی در بازدهی دستگاه دارد. این شکل می‌تواند به صورت یک طرفه، دو طرفه، چهار وجهی یا خمیده باشد که بسته به شرایط مختلف بازدهی هر کدام متفاوت است.

#### ۲-۱-۳- افزایش سطح دریافت انرژی

یکی از پارامترهای مؤثر در جهت افزایش بازدهی دستگاه‌ها، افزایش سطح دریافت انرژی خورشیدی است. یکی از روش‌های به کار گرفته شده، استفاده از رفلکتورهای داخلی و خارجی است که دارای اشکال مختلفی هستند. رفلکتورهای داخلی، درون دستگاه نصب می‌شوند و تشعشع وارد شده به داخل دستگاه را به سمت آب درون دستگاه بازتاب می‌دهند. رفلکتورهای خارجی نیز دارای انواع مختلفی هستند و می‌توانند به صورت تخت، سهموی، کروی و غیره باشند که هر کدام در قسمت‌های خاص و با زوایای مختلفی روی دستگاه نصب می‌شوند. این روش تأثیر زیادی بر عملکرد دستگاه خصوصاً در فصل زمستان دارد. جنس رفلکتورهای استفاده شده معمولاً ورق‌های فلزی براق و آینه‌های شیشه‌ای هستند.

#### ۲-۱-۴- پیش گرم کردن آب ورودی

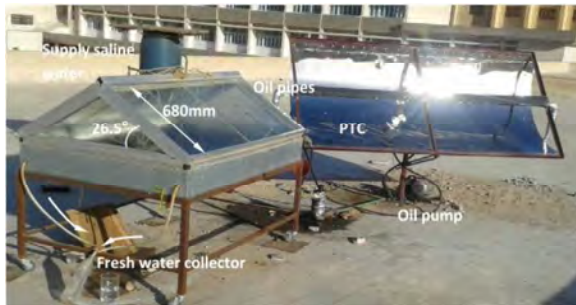
پیش گرم کردن آب ورودی به دستگاه نیز می‌تواند فرآیند تبخیر را تسریع کند. برای این منظور نیز تحقیقات گسترده‌ای انجام شده است.





شکل ۵ استفاده از کلکتور PVT جهت پیش گرم کردن آب ورودی دستگاه [۵]

۳-۵- نمونه‌ی ساخته شده توسط فتیحی و همکاران [۶]: در تحقیقی فتیحی و همکاران از یک کلکتور سهموی به صورت ثابت و گردان برای افزایش دمای داخل آب شیرین کن حوضچه‌ای دوطرفه بهره گرفتند. کلکتور مذکور سیال روغن داخل لوله را گرم می‌کرد و سپس از طریق شبکه‌ای از لوله‌ها به داخل دستگاه می‌فرستاد و این سیکل به طور مرتب تکرار می‌شد. استفاده از این روش به صورت گردان منجر به افزایش آب خروجی دستگاه به میزان ۱۴۲٫۳ درصد برای حالت بدون کلکتور و ۲۸٫۱ درصد برای حالت با کلکتور ثابت می‌شود. در شکل ۶ نمایی از این دستگاه ارائه شده است.



شکل ۶ استفاده از کلکتور سهموی گردان جهت گرم کردن کف دستگاه [۶]

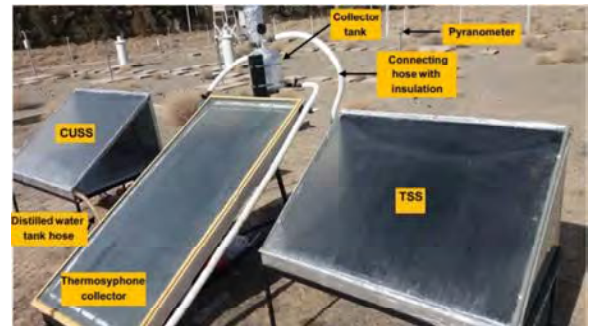
۳-۶- نمونه‌ی ساخته شده توسط ربی و همکاران [۷]: آن‌ها در تحقیق خود از پین‌های فلزی در کف دستگاه جهت افزایش سطح جذب گرمای خورشید به همراه یک کندانسور در قسمت پشتی دستگاه جهت میعان بیشتر بخار آب استفاده کردند. در نتیجه این تحقیق افزایش بازدهی دستگاه به ترتیب به میزان‌های ۴۱٫۹۵، ۲۳٫۳۹ و ۱۱ درصد به ترتیب برای حالت‌های دستگاه معمولی، دستگاه به همراه پین‌های فلزی و دستگاه به همراه کندانسور می‌باشد. نمایی از این دستگاه در شکل ۷ ارائه شده است.

مشکی رنگ جهت افزایش بیشتر نور خورشید در آب شیرین کن حوضچه‌ای خود بهره بردند. همچنین دستگاه را با بابل‌رپ نیز عایق‌بندی کردند و نتایج را با یک دستگاه معمولی مقایسه کردند. میزان خروجی دستگاه اولی و دستگاه بهینه‌سازی شده به ترتیب ۱٫۹۱ و ۳٫۱۱ میلی‌لیتر در روز به ازای هر مترمربع از دستگاه گزارش شد. نمایی از این دستگاه در شکل ۳ ارائه شده است.



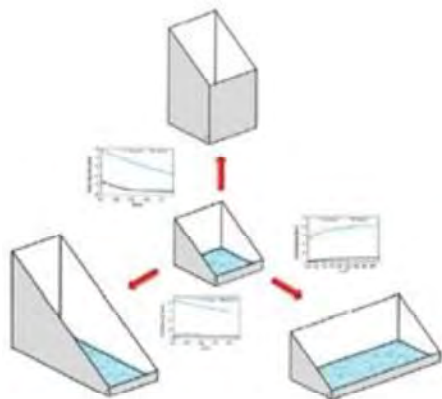
شکل ۳ استفاده از فوم اشباع کربن و همچنین عایق بندی با بابل رپ [۳]

۳-۳- نمونه‌ی ساخته شده توسط پاکدل و همکاران [۴]: آن‌ها در تحقیقی از یک کلکتور تخت به عنوان پیش گرم کن آب ورودی به دستگاه نوع حوضچه‌ای استفاده کردند. نتیجه‌ی استفاده از کلکتور تخت، منجر به افزایش بازدهی دستگاه به میزان ۲۳٫۹۲ درصد شد. همچنین در این تحقیق از مجراهای جانبی در دیواره‌های کناری دستگاه استفاده شد. این کار باعث جمع‌آوری قطرات آب دیواره‌های کناری دستگاه می‌شد که به میزان ۳۱٫۵۹ درصد بازدهی دستگاه را افزایش می‌دهد. نمایی از دستگاه در شکل ۴ ارائه شده است.



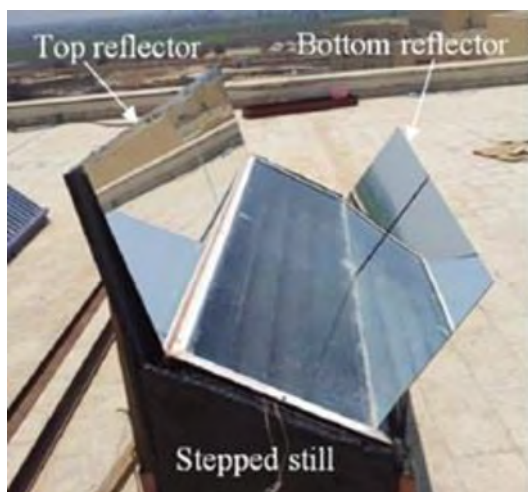
شکل ۴ استفاده از کلکتور تخت جهت پیش گرم کردن آب ورودی دستگاه [۴]

۳-۴- نمونه‌ی ساخته شده توسط نارویی و همکاران [۵]: در یک تحقیق نارویی و همکاران از یک کلکتور PVT به منظور پیش گرم کردن آب ورودی به آب شیرین کن پلکانی استفاده کردند. استفاده از این روش منجر به افزایش ۲۰ درصدی میزان آب تولیدی دستگاه شد. همچنین با استفاده از کلکتور ۱٫۰۶ کیلووات برق در روز تولید شد. در شکل ۵ نمایی از این دستگاه ارائه شده است.



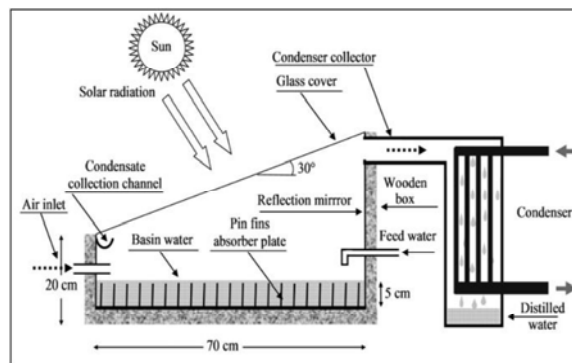
شکل ۹ شبیه‌سازی دستگاه نوع حوضچه‌ای با ابعاد مختلف [۹]

۳-۹- نمونه‌ی ساخته شده توسط اومارا و همکاران [۱۰]: آن‌ها در این تحقیق از دو آینه تخت در قسمت بالایی و پایینی آب شیرین کن نوع پلکانی به عنوان رفلکتور بیرونی و از چند آینه داخل دستگاه به عنوان رفلکتور داخلی استفاده کردند. نتایج تحقیق آن‌ها نشان می‌داد که دستگاه نوع پلکانی به همراه رفلکتورهای مذکور بازدهی بیشتری به میزان ۱۲۵ درصد نسبت به یک نمونه حوضچه‌ای ساده دارد. نمایی از این دستگاه در شکل ۱۰ ارائه شده است.



شکل ۱۰ اضافه کردن دو رفلکتور تخت به دستگاه مدل پلکانی [۱۰]

۳-۱۰- نمونه‌ی پونراج و همکاران [۱۱]: آنها در تحقیق خود از ماژول ترموالکتریک برای افزایش دمای کف و همچنین کاهش دمای شیشه استفاده کردند. نتیجه تحقیق آن‌ها نشان داد استفاده از ماژول ترموالکتریک افزایش ۳۰ درصدی بازده دستگاه را نسبت به دستگاه معمولی در بر دارد. در شکل ۱۱ نمایی از این دستگاه نشان داده شده است.



شکل ۷ استفاده از کندانسور در پشت و بین‌های فلزی در کف دستگاه [۷]

۳-۷- نمونه‌ی ساخته شده‌ی فیلی زاده و همکاران [۸]: آن‌ها در تحقیق خود از کلکتور تخت به منظور تبخیر کردن آب داخل یک دستگاه حوضچه‌ای چند طبقه استفاده کردند. این آزمایش با تعداد دو و سه کلکتور نیز تکرار شد. در نتیجه‌ی این آزمایش با تعداد یک کلکتور، میزان ۱۱،۵۶ کیلوگرم آب به دست آمد و با اضافه کردن کلکتور دوم این میزان تا ۹۶ درصد افزایش پیدا کرد. بررسی‌ها نشان داد که با اضافه کردن کلکتور سوم ۲۳ درصد نسبت به حالت دوم افزایش نشان داده می‌شود. نمایی از این دستگاه در شکل ۸ نشان داده شده است.



شکل ۸ اضافه کردن کلکتور تخت به دستگاه مدل چند طبقه [۸]

۳-۸- نمونه‌ی مدل‌سازی شده توسط فیلی زاده و همکاران [۹]: در تحقیقی دیگر آن‌ها ابعاد مختلف طول و عرض یک دستگاه آب شیرین کن خورشیدی حوضچه‌ای را شبیه‌سازی کردند. در نتیجه این تحقیق بیشینه ارتفاع دیوار جلویی دستگاه ۱۰ سانتی متر و نسبت عرض به طول بهینه‌ی دستگاه نیز ۰،۴ پیشنهاد شد. شکل ۹ شماتیکی از تحقیق آن‌ها را نشان می‌دهد.

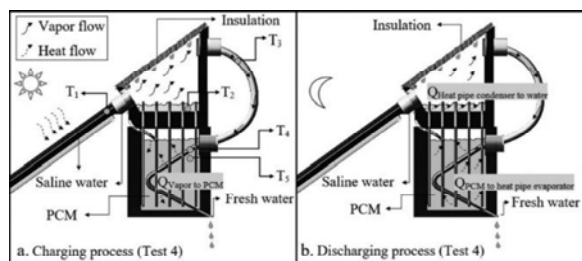


حوضچه‌ای ساده مشاهده شد. در شکل ۱۳ نمایی از این دستگاه ارائه شده است.



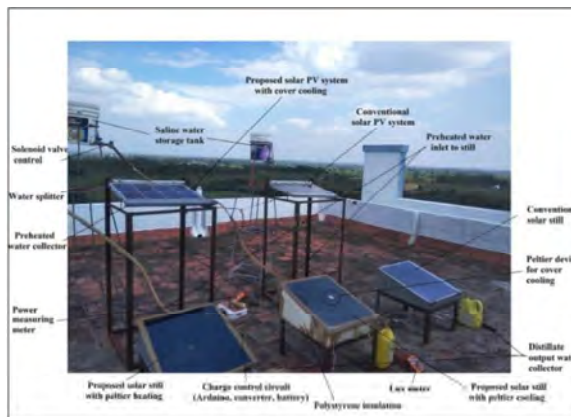
شکل ۱۳ استفاده از استخر خورشیدی همراه با رفلکتور تخت [۱۳]

۱۳-۳- نمونه‌ی فائق و شافی [۱۴]: آنها در یک تحقیق از یک کندانسور خارجی به همراه مواد تغییر فاز دهنده و همچنین وکیوم تیوب جهت افزایش دمای آب دستگاه استفاده کردند. در نتیجه‌ی این تحقیق مشخص شد که استفاده از یک کندانسور خارجی بدون مواد تغییر فاز دهنده منجر به افزایش خروجی به میزان ۵۶ درصد می‌شود. درحالی‌که استفاده از کندانسور خارجی به همراه مواد تغییر فاز دهنده منجر به افزایش خروجی آب به میزان ۸۶ درصد می‌شود. شماتیک دستگاه آنها در شکل ۱۴ ارائه شده است.



شکل ۱۴ استفاده از کندانسور و مواد تغییر فازدهنده و وکیوم تیوب [۱۴]

۱۴-۳- نمونه‌ی فرشی تبریزی و همکاران [۱۵]: آنها در تحقیقی از یک آب‌شیرین‌کن خورشیدی پلکانی با جریان پیوسته‌ی آب بر روی پلکان استفاده کردند. در این تحقیق میزان دبی‌های مختلف آب ورودی به دستگاه بررسی شد. در نهایت مشخص شد که میزان دبی آب ورودی به دستگاه با میزان خروجی دستگاه رابطه‌ی عکس داشته و هرچه دبی آب ورودی کم شود، میزان خروجی دستگاه افزایش می‌یابد. نمایی از دستگاه مذکور در شکل ۱۵ ارائه شده است.



شکل ۱۱ استفاده از مازول ترموالکتریک در کف و شیشه دستگاه [۱۱]

۱۱-۳- نمونه‌ی ساخته شده توسط پانچال [۱۲]: وی در یک تحقیق از تعداد ۱۴ عدد وکیوم تیوب جهت افزایش دمای آب دستگاه آب‌شیرین‌کن حوضچه‌ای استفاده کرد. همچنین در این تحقیق کف حوضچه با استفاده از سنگ گرانیات سیاه رنگ جهت افزایش ضریب جذب خورشید پوشانده شد. در نتیجه این تحقیق افزایش بازدهی به میزان ۵۶ درصد ناشی از استفاده از وکیوم تیوب‌ها و همچنین به میزان ۶۵ درصد ناشی از استفاده همزمان وکیوم تیوب‌ها و سنگ گرانیات گزارش شد. نمایی از این دستگاه در شکل ۱۲ ارائه شده است.

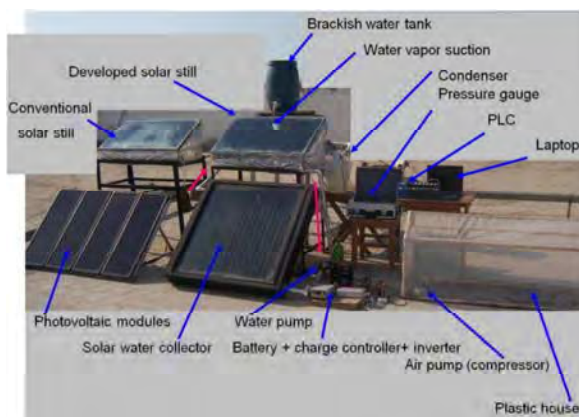


شکل ۱۲ استفاده از وکیوم تیوب جهت افزایش آب داخل دستگاه [۱۲]

۱۲-۳- نمونه‌ی دیندسا و میتال [۱۳]: آنها در تحقیقی از یک استخر خورشیدی همراه با رفلکتور تخت بر روی استخر جهت افزایش دمای آب ورودی به دستگاه استفاده کردند. در نتیجه‌ی این تحقیق میزان افزایش بازدهی ۷۱٫۲۱ درصد در خروجی دستگاه مشاهده شد. همچنین در این تحقیق از اسفنج‌های شناور بر روی آب دستگاه استفاده شد که در نتیجه‌ی آن افزایش خروجی دستگاه به میزان ۴۹٫۸۷ درصد نسبت به



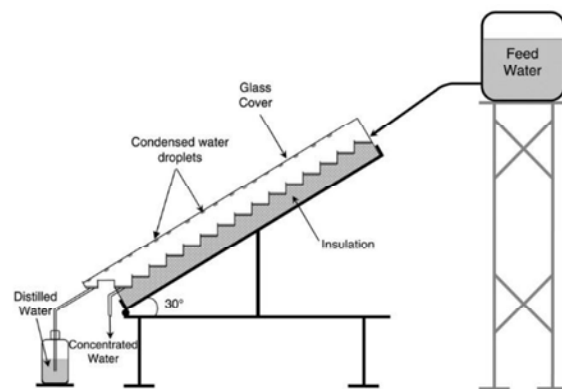




شکل ۱۷ استفاده از کندانسور و اسپری آب گرم همراه با دمیدن هوای گرم به دستگاه [۱۷]

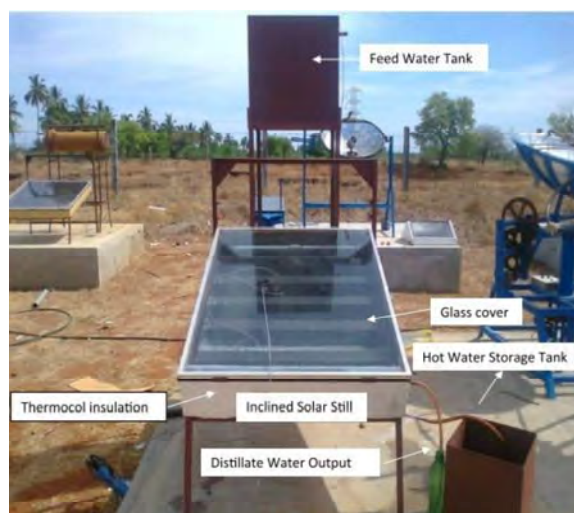
با توجه به بررسی‌های انجام شده مشخص شد که در سیستم‌های نوع غیر فعال عمده‌ی بهینه‌سازی‌ها متمرکز بر تغییراتی چون ابعاد دستگاه، شکل، مواد به کار رفته، شرایط محیطی و دمای کارکرد دستگاه است. بازدهی این نوع از دستگاه‌ها نسبت به نوع فعال عموماً پایین‌تر است. اما سهولت ساخت و نگهداری به همراه هزینه تمام شده بسیار کم این دستگاه‌ها، از جمله مزیت‌هایی هستند که باعث مناسب بودن آنها در شرایط خاص می‌شوند. در سیستم‌های نوع فعال به دلیل امکان به کارگیری چندین مکانیزم مختلف و حتی ترکیب آنها با یکدیگر، می‌توان بازدهی دستگاه‌ها را به مراتب بیشتر افزایش داد. هر کدام از این بهینه‌سازی‌ها مبتنی بر چهارده پارامتری می‌باشد که در قسمت قبلی توضیح داده شد و تاثیر تغییر هر یک از آنها روی دستگاه‌ها متفاوت است. همچنین هزینه‌ی تمام شده جهت بهینه‌سازی با توجه به تغییر هر کدام از پارامترها متفاوت می‌باشد که این تفاوت با توجه به شرایط مختلف جغرافیایی متغیر است. به عبارت دیگر ممکن است تغییر یکی از پارامترها جهت بهینه‌سازی در یک منطقه منجر به صرف هزینه زیاد و تاثیر کم در بهبود عملکرد دستگاه شود. حال آنکه با تغییر موقعیت جغرافیایی این تاثیر بیشتر شده و منجر به صرف هزینه‌ی زیاد نشود.

سایر بررسی‌های انجام شده در جدول‌های ۲ تا ۴ نشان داده شده است. در جدول ۲، تعدادی از دستگاه‌های نوع غیر فعال به همراه مختصری از کارهای انجام شده بر روی آنها آورده شده است. در جدول ۳ بررسی‌های مشابه برای نوع فعال نشان داده شده است و در جدول ۴ تعدادی از دستگاه‌های مدل پلکانی فعال و غیر فعال بررسی شده‌اند. این مدل از آب شیرین‌کن‌ها به دلیل تعداد زیاد تحقیقات انجام شده بر روی آنها، در جدولی جداگانه آورده شده است.



شکل ۱۵ بررسی دی‌های مختلف آب ورودی به دستگاه مدل پلکانی [۱۵]

۱۵-۳- نمونه‌ی هانسن و همکاران [۱۶]: در تحقیقی آنها از پشم مرجانی به همراه توری آهنی در کف دستگاه مدل پلکانی استفاده کردند. نتایج این تحقیق نشان داد که استفاده از دو ماده فوق منجر به افزایش خروجی دستگاه به میزان‌های ۷۱٫۲ و ۴۸٫۹ درصد نسبت به کفی صاف شیب‌دار و کفی پلکانی می‌شود. نمایی از این دستگاه در شکل ۱۶ ارائه شده است.



شکل ۱۶ استفاده از پشم مرجانی به همراه توری آهنی در کف دستگاه [۱۶]

۱۶-۳- نمونه‌ی الطویل و همکاران [۱۷]: آنها از یک کندانسور برای میعان بخار درون دستگاه جهت کاهش فشار بخار داخل دستگاه، به علاوه اسپری آب داغ به داخل دستگاه و همچنین دمیدن هوای گرم به داخل دستگاه جهت افزایش بازدهی استفاده کردند. نتایج نشان داد که استفاده از مکانیزم‌های فوق منجر به افزایش خروجی دستگاه به میزان ۱۴۲ درصد نسبت به مدل غیرفعال دستگاه می‌شود. نمایی از این دستگاه در شکل ۱۷ نشان داده شده است.



جدول ۲ تحقیق‌های انجام‌شده روی نوع غیرفعال

ردیف	محقق	سال	نوع آب‌شیرین‌کن	فعالیت و دستاوردها
۱	ال باهی و اینان [۱۸]	۱۹۹۹	حوضچه‌ای متصل به کندانسور بیرونی غیرفعال	میزان خروجی آب ۷ کیلوگرم بر مترمربع از دستگاه و بازدهی ۷۵ درصد به دست آمد.
۲	تریپاتی و تیواری [۱۹]	۲۰۰۵	حوضچه‌ای با کلکتور تخت	در ساعات شب با افزایش عمق آب میزان خروجی افزایش یافت.
۳	جانا، تانان [۲۰]	۲۰۰۶	فیتیله ای	افزایش قابل توجه خروجی توسط خنک‌سازی پوشش دستگاه گزارش شد.
۴	بادران [۲۱]	۲۰۰۷	حوضچه‌ای	استفاده از آسفالت در کف دستگاه منجر به افزایش خروجی دستگاه به میزان ۲۹ درصد شد، درحالی‌که استفاده همزمان از آسفالت در کف و آب پاش بر روی شیشه منجر به افزایش خروجی به میزان ۵۱ درصد شد.
۵	تیواری و تیواری [۲۲]	۲۰۰۷	حوضچه‌ای	افزایش ضریب جذب صفحه کف دستگاه از ۰٫۴ تا ۰٫۸ منجر به افزایش ۳۰٫۵۹ درصدی در میزان خروجی دستگاه می‌شود.
۶	سلواکومار و همکاران [۲۳]	۲۰۰۸	حوضچه‌ای با سقف V شکل	استفاده از زغال چوب در کف دستگاه منجر به افزایش ۵ درصدی خروجی دستگاه شد.
۷	عبدالله و همکاران [۲۴]	۲۰۰۹	حوضچه‌ای	استفاده از اسفنج سیمی پوشش دار، بدون پوشش و سنگ‌های مشکی رنگ منجر به افزایش خروجی دستگاه به ترتیب به میزان‌های ۴۳٫۲۸ و ۶۰ درصد شد.
۸	تاناکا [۲۵]	۲۰۰۹	فیتیله ای به همراه رفلکتور بیرونی	زاویه مناسب دستگاه نسبت به خط افقی برای تابستان ۱۰ درجه و برای زمستان ۵۰ درجه گزارش شد. همچنین رفلکتور بیرونی دستگاه منجر به افزایش خروجی سالانه دستگاه به میزان ۲۱ درصد گزارش شد.
۹	کابیل [۲۶]	۲۰۰۹	هرمی با کف مقعر	میزان خروجی ۴ لیتر بر مترمربع در روز و بازدهی ۴۵ درصد دستگاه گزارش شد.
۱۰	تاناکا [۲۷]	۲۰۰۹	حوضچه‌ای با رفلکتور بیرونی	افزایش تولید از ۷۰ تا ۱۰۰ درصد در زمستان توسط رفلکتورها به دست آمد.
۱۱	تاناکا و ناکاتاکه [۲۸]	۲۰۰۹	فیتیله ای با رفلکتور بیرونی	افزایش خروجی آب به میزان ۱۵ و ۲۷ درصد در مقایسه با نوع رفلکتور عمودی توسط افزایش طول رفلکتور گزارش شد.
۱۲	ردی و ردی [۲۹]	۲۰۰۹	حوضچه‌ای	در سرعت‌های باد به ترتیب ۱٫۱۴، ۲٫۰۶، ۲٫۹۲ و ۴٫۰۱ متر بر ثانیه، میزان بازدهی دستگاه به ترتیب برابر با ۴۴٫۷، ۵۳٫۸، ۵۶٫۳ و ۵۰٫۲ درصد گزارش شد.
۱۳	دویودی و تیواری [۳۰]	۲۰۱۰	حوضچه‌ای با کلکتور تخت	نوع غیرفعال دستگاه میزان خروجی روزانه ۱٫۸۳۸ کیلوگرم و نوع فعال دستگاه میزان خروجی روزانه ۲٫۷۹۱ کیلوگرم را نشان داد.
۱۴	فرشچی تریزی و همکاران [۳۱]	۲۰۱۰	حوضچه‌ای	استفاده از شن در کف دستگاه به عنوان ماده ذخیره گرما منجر شد تا ۱۲ درصد از کل آب تولیدشده مربوط به ساعات بعد از غروب آفتاب باشد.
۱۵	آرانکومار و همکاران [۳۲]	۲۰۱۲	هرمی ترکیب‌شده با لوله‌ای	دستگاه نمونه هرمی خروجی به میزان ۳۳۰۰ میلی‌لیتر در روز و دستگاه ترکیب‌شده با مدل لوله‌ای میزان ۶۹۲۸ میلی‌لیتر در روز به ازای یک مترمربع از دستگاه را نشان دادند.
۱۶	تامنه و تامنه [۳۳]	۲۰۱۲	هرمی	استفاده از یک فن بر روی شیشه دستگاه به منظور کاهش فشار بخار منجر به افزایش ۲۵ درصدی خروجی دستگاه شد.
۱۷	آرانکومار [۳]	۲۰۱۲	حوضچه‌ای با سقف کروی	افزایش بازدهی از ۳۴ تا ۴۲ درصد توسط خنک‌سازی شیشه دستگاه به وسیله‌ی جریان آب ورودی گزارش شد.
۱۸	احسن و همکاران [۳۴]	۲۰۱۲	لوله‌ای	از فیلم پلی تن به جای ورق ونیل کلرید در ساخت دستگاه استفاده شد که هزینه تولید و وزن دستگاه را کاهش داد.
۱۹	ایز و اوجیکه [۸]	۲۰۱۲	مستطیلی و هرمی	نوع مستطیلی دمای آب زیاد و دمای شیشه کم و بازدهی ۳۶ درصد دارد حال آنکه نوع هرمی دمای آب کم و دمای شیشه زیاد و بازدهی ۲۸٫۹ درصد دارد.
۲۰	سریواستوا [۳۵]	۲۰۱۳	حوضچه‌ای با ترموکوپل‌های شناور داخل دستگاه و رفلکتور	افزایش ۶۸ درصد و ۳۵ درصد توسط ترموکوپل‌ها و افزایش ۷۹ درصد توسط رفلکتورها به دست آمد.



استفاده از لاستیک اسفنجی متخلخل داخل حوضچه منجر به افزایش خروجی به میزان ۱۷,۳۵ درصد شد.	حوضچه‌ای یک طرفه	۲۰۱۷	رشیدی و همکاران [۳۶]	۲۱
استفاده از فوم اشباع کربن مشکی رنگ و همچنین عایق‌بندی دستگاه با بابل‌رپ میزان خروجی را از ۱,۹۱ به ۳,۱۱ کیلوگرم بر مترمربع افزایش داد.	حوضچه‌ای یک طرفه	۲۰۱۸	آرانکومار و همکاران [۳]	۲۲

هر یک پارامترها متفاوت است. تفاوت در شرایط محیطی آزمایش و همچنین روش به کار گرفته‌شده، باعث به وجود آمدن نتایج متفاوت حتی در تحقیقات مشابه شده است.

با توجه به تحقیقات نشان داده شده در جدول ۲ مشخص می‌شود که عمده‌ی بهینه‌سازی‌ها بر روی دستگاه‌های نوع غیر فعال شامل تغییر پارامترهایی چون عایق‌بندی، ضریب جذب کف، اختلاف دمای کف و شیشه، ذخیره حرارتی و تغییر شکل دستگاه است. نتایج حاصل از تغییر

جدول ۳ تحقیق‌های انجام‌شده روی نوع فعال

ردیف	محقق	سال	نوع آبشیرین‌کن	فعالیت و دستاوردها
۱	ورویولوس و همکاران [۳۷]	۲۰۰۱	حوضچه‌ای دوطرفه متصل به کلکتور تخت	خروجی دستگاه متصل به کلکتور در طول روز تا دو برابر و در شب تا سه برابر افزایش یافت.
۲	بادران و همکاران [۳۸]	۲۰۰۵	حوضچه‌ای دو طرفه متصل به کلکتور تخت	دستگاه متصل شده به کلکتور بازدهی ۲۲,۲۶ درصد و خروجی ۲,۳ کیلوگرم بر مترمربع و دستگاه معمولی بازدهی ۲۸,۵۶ درصد و خروجی ۱,۵ کیلوگرم بر مترمربع را نشان داد. میزان تولید آب ۱۸ درصد نسبت به حالت غیرفعال افزایش یافت.
۳	عبدالرحیم و لشین [۳۹]	۲۰۰۷	حوضچه‌ای یک طرفه متصل به کلکتور سهموی	میزان تولید آب نسبت به حالت غیرفعال ۳,۵ برابر شد.
۴	کومار و تیواری [۴۰]	۲۰۰۸	حوضچه‌ای یک طرفه با کلکتور PVT	میزان تولید آب و بازدهی به ترتیب ۵۲,۳۶ درصد و ۴۳,۸ درصد نسبت به حالت غیرفعال افزایش یافت.
۵	ال سبای و همکاران [۸]	۲۰۰۸	حوضچه‌ای یک طرفه متصل به استخر خورشیدی کم عمق	بازدهی میانگین از ۶۷,۲۱ تا ۶۹,۵۹ درصد و ۵۷,۷۷ تا ۶۲,۰۱ درصد به ترتیب برای نوع حوضچه‌ای و شیب‌دار گزارش شد.
۶	الطویل و زنگمینگ [۴۱]	۲۰۰۹	حوضچه‌ای یک طرفه و شیب‌دار متصل به توربین بادی	این بهینه‌سازی منجر به افزایش خروجی تا ۱۹,۹ و ۳۴,۸ درصد به ترتیب برای دستگاه با رفلکتور داخلی و دستگاه با رفلکتور داخلی و بیرونی می‌شود.
۷	خلیفه و همکاران [۴۲]	۲۰۰۹	حوضچه‌ای به همراه رفلکتور داخلی و بیرونی	استفاده از کلکتور PVT منجر به افزایش بازدهی حرارتی دستگاه به میزان ۲۰ درصد شد.
۸	کومار [۴۳]	۲۰۱۰	حوضچه‌ای به همراه کلکتور PVT	میزان خروجی ۸ درصد و ۱۵,۵ درصد به ترتیب برای سرعت باد ناشی از فن ۳ و ۴,۵ متر بر ثانیه افزایش یافت. همچنین با اسپری آب در فاصله‌های زمانی ۲۰ و ۱۰ دقیقه‌ای، میزان خروجی به ترتیب ۱۵,۷ و ۳۱,۸ درصد افزایش یافت.
۹	احمد و همکاران [۱۰]	۲۰۱۲	حوضچه‌ای به همراه آب پاش و فن خنک‌کننده	میزان خروجی ساعتی آب تا ۸۷۵ میلی‌لیتر بر مترمربع افزایش یافت.
۱۰	کارگر شریف آباد [۴۴]	۲۰۱۳	حوضچه‌ای یک طرفه متصل به کلکتور PHP	افزایش بازدهی به میزان ۵۶ درصد ناشی از استفاده از ۱۴ و کیوم تیوب نسبت به حالت غیرفعال مشاهده شد.
۱۱	پانچال و همکاران [۱۲]	۲۰۱۳	حوضچه‌ای به همراه و کیوم تیوب	استفاده از این روش منجر به این شد که همه‌ی طبقات گرم شوند و همچنین تولید آب شیرین در ساعات شب نیز ادامه یابد.
۱۲	ژیونگ و همکاران [۴۵]	۲۰۱۳	دولنگه به همراه ۱۴ عدد و کیوم تیوب در طبقه‌ی پایین	استفاده از کلکتور تخت و ورود هوای داغ به دستگاه با استفاده از پمپ، منجر به افزایش خروجی دستگاه به میزان ۱۴۸ درصد نسبت به نوع حوضچه‌ای غیرفعال شد.
۱۳	گااور و همکاران [۲]	۲۰۱۴	حوضچه‌ای به همراه کلکتور تخت و پنل خورشیدی	استفاده از مکانیزم‌های ذکرشده منجر به افزایش خروجی دستگاه به میزان ۱۴۲ درصد نسبت به مدل غیرفعال دستگاه شد.
۱۴	الطویل و همکاران [۱۷]	۲۰۱۴	حوضچه‌ای به همراه تزریق آب و هوای گرم و کندانس بخار داخل دستگاه	



۱۵	کومار و همکاران [۴۶]	۲۰۱۴	حوضچه‌ای به همراه تعدادی و کیوم تیوب	میزان خروجی آب ۳,۴۷ کیلوگرم در روز با عمق یک سانتیمتر و دبی ۰,۰۰۶ کیلوگرم بر ثانیه به دست آمد.
۱۶	فیلی زاده و همکاران [۹]	۲۰۱۵	حوضچه‌ای چند طبقه به همراه کلکتور تخت	استفاده از دو کلکتور تخت منجر به افزایش ۹۶ درصدی دستگاه نسبت به حالت یک کلکتور شد.
۱۷	سعیدی و همکاران [۴۷]	۲۰۱۵	حوضچه‌ای به همراه کلکتور PVT	بهینه‌ترین دبی ورودی آب و تعداد کلکتور به ترتیب ۰,۴۴ کیلوگرم بر ثانیه و ۷ عدد محاسبه شد که منجر به خروجی ۸,۷۳ کیلوگرم و بازدهی حرارتی ۲۱,۵۶ درصد می‌شود.
۱۸	علی ریاحی و همکاران [۴۸]	۲۰۱۵	حوضچه‌ای به همراه هیتر برقی و پنل خورشیدی	میزان تولید دستگاه ۶ برابر بیشتر از نوع غیرفعال دستگاه گزارش شد.
۱۹	سینگ و همکاران [۴۹]	۲۰۱۶	حوضچه‌ای به همراه دو کلکتور PVT	بیش‌ترین میزان بازدهی حرارتی به میزان ۶۹,۰۶ درصد گزارش شد.
۲۰	یاری و همکاران [۵۰]	۲۰۱۶	حوضچه‌ای به همراه و کیوم تیوب و پنل خورشیدی شفاف برای شیشه	بیش‌ترین میزان خروجی آب به میزان ۴,۷۷ کیلوگرم و ۵,۸۹ کیلوگرم بر مترمربع در روز به ترتیب برای دستگاه‌های با پنل شفاف و با شیشه ساده گزارش شد.
۲۱	ربی و همکاران [۷]	۲۰۱۷	حوضچه‌ای به همراه کندانسور و بین‌های فلزی	در این حالت دستگاه نسبت به حالت غیرفعال ۹۵ درصد افزایش بازدهی را نشان می‌دهد.
۲۲	پاکدل و همکاران [۴]	۲۰۱۷	حوضچه‌ای به همراه کلکتور تخت	استفاده از کلکتور تخت منجر به افزایش بازدهی ۲۳,۹۲ درصدی شد.
۲۳	فاق و شافی [۱۴]	۲۰۱۷	حوضچه‌ای به همراه کندانسور با مواد تغییر فاز دهنده	استفاده از کندانسور خارجی به همراه مواد تغییر فاز دهنده منجر به افزایش خروجی به میزان ۸۶ درصد شد
۲۴	فتحی و همکاران [۶]	۲۰۱۸	حوضچه‌ای دو طرفه به همراه کلکتور سهموی گردان	استفاده به صورت گردان میزان آب خروجی را ۱۴۲,۳ درصد نسبت به حالت غیرفعال افزایش داد.
۲۵	پونراچ و همکاران [۱۱]	۲۰۱۸	حوضچه‌ای به همراه ترمو الکتریک	استفاده از مازول ترموالکتریک افزایش ۳۰ درصدی نسبت به حالت غیرفعال را نشان می‌دهد.
۲۶	دیندسا و میتال [۱۳]	۲۰۱۸	حوضچه‌ای به همراه استخر خورشیدی	استفاده از حرارت حاصل از استخر خورشیدی برای آب ورودی به دستگاه منجر به افزایش خروجی دستگاه به میزان ۷۱,۲۱ درصد شد.

دریافت کرد و بالطبع حجم دستگاه و هزینه‌ی تمام شده‌ی آن افزایش می‌یابد. دستگاه‌های فعال و غیر فعال نوع پلکانی هم نتایج مشابهی را نشان می‌دهند و بهینه‌سازی‌های انجام شده برای نوع فعال این دستگاه‌ها بازدهی بیشتری را نسبت به نوع غیر فعال نشان می‌دهد.

عمده‌ی تحقیقات انجام شده بر روی نوع فعال شامل اضافه کردن مکانیزم‌هایی مانند کلکتور تخت، کلکتور سهموی، مازول‌های PV و PVT و سایر مکانیزم‌ها به منظور افزایش بازدهی از طریق روش‌های مختلف است. با اضافه کردن اینگونه مکانیزم‌ها می‌توان نتایج بهتری

جدول ۴ تحقیق‌های انجام‌شده روی نوع پلکانی

ردیف	محقق	سال	نوع آب‌شیرین‌کن	فعالیت و دستاوردها
۱	وارد [۵۱]	۲۰۰۳	پلکانی	میزان خروجی آب ۹ لیتر بر مترمربع از دستگاه در یک روز گزارش شد.
۲	رادوان و همکاران [۵۲]	۲۰۰۵	پلکانی	استفاده از مواد تغییر فاز دهنده در ساختار دستگاه استفاده شد و میزان خروجی ۴,۶ لیتر بر مترمربع و میزان بازدهی حرارتی ۵۷ درصد در یک روز برای دستگاه گزارش شد.
۳	ولمورگان و همکاران [۵۳]	۲۰۰۸	پلکانی	افزایش بازدهی دستگاه به میزان‌های ۶۰,۳، ۷۶، ۹۶ درصد به ترتیب برای حالت‌های استفاده از بین فلزی، اسفنج و هردو در کف پلکان دستگاه گزارش شد.
۴	عبدالله و همکاران [۵۴]	۲۰۰۸	پلکانی	تبدیل دستگاه از حوضچه‌ای به پلکانی افزایش خروجی به میزان ۱۸۰ درصد، و ترکیب دستگاه با یک سان ترکر افزایش خروجی به میزان ۳۶۰ درصد را نشان داد.
۵	سادیننی و همکاران	۲۰۰۸	پلکانی	استفاده از شیشه دو جداره میزان خروجی دستگاه را از ۵,۵۱ به ۲,۲ لیتر بر مترمربع در روز



کاهش داد. همچنین نوع پلکانی ساخته شده خروجی به میزان ۲۰ درصد بیشتر از نوع حوضچه‌ای را نشان داد.	پلکانی	۲۰۰۹	ولمورگان [۵۶]	۵۵
افزایش خروجی دستگاه به میزان ۱۰۰ درصد بعد از استفاده همزمان از پین فلزی، اسفنج و سنگریزه مشاهده شد.	پلکانی	۲۰۱۰	فرشچی تبریزی و همکاران [۱۵]	۶
رابطه دبی ورودی آب با میزان خروجی بررسی شد و مشخص شد که میزان دبی آب ورودی با میزان خروجی رابطه‌ی عکس دارد.	پلکانی	۲۰۱۱	ال ذهبی و همکاران [۵۷]	۷
استفاده از مکانیزم پاشش آب بر روی پلکان و کندانسور خارجی منجر به خروجی دستگاه به میزان ۶,۳۵۵ لیتر بر مترمربع و بازدهی حرارتی ۷۷,۳۵ درصد شد.	پلکانی	۲۰۱۱	دشتیان و همکاران [۵۸]	۸
استفاده از مواد PCM در کف دستگاه منجر به افزایش خروجی دستگاه به میزان ۳۱ درصد شد.	پلکانی	۲۰۱۳	علاءالدین و همکاران [۵۹]	۹
استفاده از اسفنج در کف دستگاه میزان خروجی را از ۱۴۶۸ کیلوگرم بر سانتیمترمربع به ۱۳۰۵ کیلوگرم بر مترمربع افزایش داد.	پلکانی	۲۰۱۳	اسدی و همکاران [۶۰]	۱۰
دستگاه عملکرد مناسبی در حذف باکتری‌ها و انواع مواد زائد آب نشان داد.	پلکانی	۲۰۱۳	بختیاری و همکاران [۶۱]	۱۱
پس از بهینه‌سازی و تغییرات در طراحی دستگاه، میزان خروجی دستگاه به میزان ۲۶ درصد افزایش داده شد و در نهایت میزان خروجی ۶,۷ لیتر بر مترمربع در یک روز گزارش شد.	پلکانی	۲۰۱۳	اومارا و همکاران [۱۰]	۱۲
میزان خروجی دستگاه با استفاده از رفلکتورهای داخلی ۱۸ درصد افزایش یافت.	پلکانی	۲۰۱۳	عبدالله [۶۲]	۱۳
خروجی دستگاه پلکانی به میزان ۸۵ درصد نسبت به نوع حوضچه‌ای غیرفعال با استفاده از ورودی هوای گرم به کف دستگاه افزایش پیدا کرد. این میزان هنگام استفاده از مکانیزم خنک‌سازی شیشه با استفاده از جریان آب، ۶۵ درصد افزایش و در حالت استفاده از هردو مکانیزم ۱۱۲ درصد گزارش شد.	پلکانی	۲۰۱۴	السامادونی و همکاران [۶۳]	۱۴
استفاده از فیلم نازک آب بر روی شیشه دستگاه، میزان خروجی را ۸,۲ درصد افزایش داد.	پلکانی	۲۰۱۴	ال آگر [۶۴]	۱۵
استفاده از مکانیزم چرخش و بازگرداندن آب به دستگاه، میزان خروجی را ۴۳ درصد نسبت به دستگاه حوضچه‌ای افزایش داد.	پلکانی	۲۰۱۴	راجان و همکاران [۶۵]	۱۶
استفاده از مواد جامد ذخیره ساز گرما، میزان خروجی دستگاه را تا ۷۳ درصد افزایش داد.	پلکانی	۲۰۱۴	السامادونی و همکاران [۶۶]	۱۷
افزایش خروجی دستگاه به میزان‌های ۱۰۸,۶۶ و ۱۶۵ درصد به ترتیب برای حالت‌های استفاده از یک کندانسور بیرون دستگاه، استفاده از رفلکتورهای بیرونی و داخلی، و استفاده همزمان از کندانسور و رفلکتور نسبت به دستگاه حوضچه‌ای غیرفعال به دست آمد.	پلکانی	۲۰۱۴	اومارا و همکاران [۱۰]	۱۸
استفاده از دو رفلکتور بیرونی تخت به همراه رفلکتورهای داخلی میزان خروجی را تا ۱۲۵ درصد نسبت به نوع حوضچه‌ای ساده افزایش داد.	پلکانی	۲۰۱۵	هانسن و همکاران [۱۶]	۱۹
استفاده از پشم مرجانی به همراه توری آهنی منجر به افزایش خروجی دستگاه به ترتیب به میزان‌های ۷۱,۲ و ۴۸,۹ درصد نسبت به کفی صاف شیب‌دار و کفی پلکانی شد.	پلکانی	۲۰۱۶	فرشچی تبریزی و همکاران [۶۷]	۲۰
ترکیب دستگاه پلکانی با مکانیزم HD منجر به افزایش خروجی دستگاه تا ۵,۴ کیلوگرم بر مترمربع در روز شد.	پلکانی	۲۰۱۷	هانسن و همکاران [۶۸]	۲۱
استفاده از پلکان لبه‌دار منجر به افزایش خروجی به میزان ۷۴,۲۵ درصد نسبت به کفی شیب‌دار صاف شد.	پلکانی	۲۰۱۷	ساتون و همکاران [۶۹]	۲۲
استفاده از پنج عدد وکیوم تیوب افقی برای پلکان دستگاه منجر به افزایش خروجی آب به میزان ۳۱,۸ درصد شد.	پلکانی	۲۰۱۷	ناناراج و همکاران [۷۰]	۲۳
در نتیجه استفاده از دو رفلکتور بیرونی تخت، میزان ۴۳۳۳ و ۵۶۵۰ میلی‌لیتر آب خروجی در روز برای نوع معمولی و با رفلکتور گزارش شد.	پلکانی	۲۰۱۸	نارویی و همکاران [۵]	۲۴
استفاده از کلکتور PVT افزایش خروجی آب به میزان ۲۰ درصد را نشان داد.	پلکانی	۲۰۱۹	کتابچی و همکاران [۷۱]	۲۵
استفاده از دو رفلکتور بیرونی تخت بیش‌ترین تأثیر را در زمستان داشته، حال آنکه استفاده از کندانسور روی شیشه بیش‌ترین تأثیر را در بهار دارد. همچنین بیش‌ترین میزان خروجی ۴,۲ کیلوگرم بر مترمربع نیز گزارش شد.	پلکانی			۲۶



## ۴- جمع بندی

در این مقاله به معرفی و بررسی عوامل موثر بر بازدهی آب شیرین کن-های خورشیدی پرداخته شد. همچنین تعدادی از تحقیقات تجربی انجام شده در ایران و جهان بر روی آب شیرین کن های خورشیدی بر پایه تقطیر فعال و غیرفعال بررسی شد. به دلیل پتانسیل زیاد این نوع از آب شیرین کن ها در به کارگیری سیستم های جدید و اضافه کردن مکانیزم های مختلف جهت افزایش بازدهی آن ها، تحقیقات انجام شده بسیار وسیع و نسبتاً پراکنده هستند. بهینه سازی های انجام شده بر روی دستگاه ها به دلیل تفاوت داشتن شرایط اقلیمی، دسترسی متفاوت به تکنولوژی های خاص در کشورهای مختلف و همچنین وابستگی زیاد این دستگاه ها به تشعشع خورشید بسیار گسترده می باشد. چرا که بسیاری از این بهینه سازی ها تنها برای یک منطقه ای خاص انجام شده و ممکن است در صورت تغییر محیط، تأثیر چندانی در دستگاه نداشته باشند. در سیستم های غیر فعال تمرکز بر روی تغییر دادن ابعاد، شکل دستگاه، مواد به کار رفته در دستگاه، دمای کارکرد و مواردی از این قبیل است. در حالی که در سیستم های فعال تمرکز بر روی اضافه کردن مکانیزم های مختلف و بررسی تأثیر آنها در بهبود عملکرد دستگاه است. بررسی ها نشان می دهد که دستگاه های نوع فعال عموماً بازدهی بیشتری نسبت به نوع غیرفعال دارند. همچنین به کارگیری یک مکانیزم خاص جهت افزایش بازدهی، نتایج متفاوتی در فصل های مختلف سال و همچنین شرایط جغرافیایی مختلف ارائه می دهد. به همین جهت می بایست در طراحی و بهینه سازی این دستگاه ها تمامی پارامترها از جمله موقعیت جغرافیایی و شرایط اقلیمی منطقه لحاظ شوند.

## ۵- مراجع

- performance," *Sol. Energy*, vol. 163, no. January, pp. 54-61, 2018.
- [7] K. Rabhi, R. Nciri, F. Nasri, C. Ali, and H. Ben Bacha, "Experimental performance analysis of a modified single-basin single-slope solar still with pin fins absorber and condenser," *Desalination*, vol. 416, no. April, pp. 86-93, 2017.
- [8] M. Feilizadeh, M. R. Karimi Estahbanati, K. Jafarpur, R. Roostaazad, M. Feilizadeh, and H. Taghvaei, "Year-round outdoor experiments on a multi-stage active solar still with different numbers of solar collectors," *Appl. Energy*, vol. 152, pp. 39-46, 2015.
- [9] M. Feilizadeh, M. Soltanieh, M. R. Karimi Estahbanati, K. Jafarpur, and S. S. Ashrafmansouri, "Optimization of geometrical dimensions of single-slope basin-type solar stills," *Desalination*, vol. 424, no. October, pp. 159-168, 2017.
- [10] Z. M. Omara, A. E. Kabeel, and M. M. Younes, "Enhancing the stepped solar still performance using internal and external reflectors," *Energy Convers. Manag.*, vol. 78, pp. 876-881, 2014.
- [11] P. Pounraj *et al.*, "Experimental investigation on Peltier based hybrid PV/T active solar still for enhancing the overall performance," *Energy Convers. Manag.*, vol. 168, no. May, pp. 371-381, 2018.
- [12] H. N. Panchal, "Enhancement of distillate output of double basin solar still with vacuum tubes," *J. King Saud Univ. - Eng. Sci.*, vol. 27, no. 2, pp. 170-175, 2015.
- [13] G. S. Dhindsa and M. K. Mittal, "Experimental study of basin type vertical multiple effect diffusion solar still integrated with mini solar pond to generate nocturnal distillate," *Energy Convers. Manag.*, vol. 165, no. March, pp. 669-680, 2018.
- [14] M. Faegh and M. B. Shafii, "Experimental investigation of a solar still equipped with an external heat storage system using phase change materials and heat pipes," *Desalination*, vol. 409, pp. 128-135, 2017.
- [15] F. F. Tabrizi, M. Dashtban, H. Moghaddam, and K. Razzaghi, "Effect of water flow rate on internal heat and mass transfer and daily productivity of a weir-type cascade solar still," *Desalination*, vol. 260, no. 1-3, pp. 239-247, 2010.
- [16] R. S. Hansen, C. S. Narayanan, and K. K. Murugavel, "Performance analysis on inclined solar still with different new wick materials and wire mesh," *Desalination*, vol. 358, pp. 1-8, 2015.
- [17] M. A. Eltawil and Z. M. Omara, "Enhancing the solar still performance using solar photovoltaic, flat plate collector and hot air," *Desalination*, vol. 349, pp. 1-9, 2014.
- [18] D. Inan, "Schematic of the solar still," vol. 123, pp. 79-83, 1999.
- [19] A. K. Tiwari and G. N. Tiwari, "Effect of water depth on heat and mass transfer in a solar still in summer climate condition," *Desalination*, vol. 217, pp. 267-275, 2006.
- [20] B. Janarthanan, J. Chandrasekaran, and S. Kumar, "Performance of floating cum tilted-wick type solar still with the effect of water flowing over the glass cover," *Desalination*, vol. 190, no. 1-3, pp. 51-62, 2006.
- [21] O. O. Badran, "Experimental study of the enhancement parameters on a single slope solar still productivity," *Desalination*, vol. 209, no. 1-3 SPEC. ISS., pp. 136-143, 2007.
- [22] A. K. Tiwari and G. N. Tiwari, "Thermal modeling based on solar fraction and experimental study of the annual and seasonal performance of a single slope passive solar still: The effect of water depths," *Desalination*, vol. 207, no. 1-3, pp. 184-204, 2007.
- [23] B. S. Kumar, S. Kumar, and R. Jayaprakash, "Performance analysis of a 'V' type solar still using a
- [1] S. Maiti, C. Bhatt, P. Patel, and P. K. Ghosh, "Practical and sustainable household seawater desalination using an improved solar still," *Desalin. Water Treat.*, vol. 57, no. 8, pp. 3358-3371, 2016.
- [2] S. Rashidi, N. Rahbar, M. S. Valipour, and J. A. Esfahani, "Enhancement of solar still by reticular porous media: Experimental investigation with exergy and economic analysis," *Appl. Therm. Eng.*, vol. 130, pp. 1341-1348, 2018.
- [3] T. Arunkumar *et al.*, "Productivity enhancement of solar still by using porous absorber with bubble-wrap insulation," *J. Clean. Prod.*, vol. 195, pp. 1149-1161, 2018.
- [4] M. A. Pakdel, M. Hedayatzadeh, S. M. Tabatabaei, and N. Niknia, "An experimental study of a single-slope solar still with innovative side-troughs under natural circulation mode," *Desalination*, vol. 422, no. September, pp. 174-181, 2017.
- [5] M. Naroei, F. Sarhaddi, and F. Sobhnamayan, "Efficiency of a photovoltaic thermal stepped solar still: Experimental and numerical analysis," *Desalination*, vol. 441, no. March, pp. 87-95, 2018.
- [6] M. Fathy, H. Hassan, and M. Salem Ahmed, "Experimental study on the effect of coupling parabolic trough collector with double slope solar still on its



- 490–497, 2009.
- [42] A. J. N. Khalifa and H. A. Ibrahim, "Effect of inclination of the external reflector on the performance of a basin type solar still at various seasons," *Energy Sustain. Dev.*, vol. 13, no. 4, pp. 244–249, 2009.
- [43] S. Kumar, "Thermal-economic analysis of a hybrid photovoltaic thermal (PVT) active solar distillation system: Role of carbon credit," *Urban Clim.*, vol. 5, pp. 112–124, 2013.
- [44] H. Kargar Sharif Abad, M. Ghiasi, S. Jahangiri Mamouri, and M. B. Shafii, "A novel integrated solar desalination system with a pulsating heat pipe," *Desalination*, vol. 311, pp. 206–210, 2013.
- [45] J. Xiong, G. Xie, and H. Zheng, "Experimental and numerical study on a new multi-effect solar still with enhanced condensation surface," *Energy Convers. Manag.*, vol. 73, pp. 176–185, 2013.
- [46] S. Kumar, A. Dubey, and G. N. Tiwari, "A solar still augmented with an evacuated tube collector in forced mode," *Desalination*, vol. 347, pp. 15–24, 2014.
- [47] F. Saeedi, F. Sarhaddi, and A. Behzadmehr, "Optimization of a PV/T (photovoltaic/thermal) active solar still," *Energy*, vol. 87, pp. 142–152, 2015.
- [48] A. Riahi, K. Wan Yusof, B. S. Mahinder Singh, M. H. Isa, E. Olisa, and N. A. M. Zahari, "Sustainable potable water production using a solar still with photovoltaic modules-AC heater," *Desalin. Water Treat.*, vol. 57, no. 32, pp. 14929–14944, 2016.
- [49] D. B. Singh, J. K. Yadav, V. K. Dwivedi, S. Kumar, G. N. Tiwari, and I. M. Al-Helal, "Experimental studies of active solar still integrated with two hybrid PVT collectors," *Sol. Energy*, vol. 130, pp. 207–223, 2016.
- [50] M. Yari, A. E. Mazareh, and A. S. Mehr, "A novel cogeneration system for sustainable water and power production by integration of a solar still and PV module," *Desalination*, vol. 398, pp. 1–11, 2016.
- [51] J. Ward, "A plastic solar water purifier with high output," *Sol. Energy*, vol. 75, no. 5, pp. 433–437, 2003.
- [52] A. M. Radhwan, "Transient performance of a stepped solar still with built-in latent heat thermal energy storage," *Desalination*, vol. 171, no. 1, pp. 61–76, 2005.
- [53] V. Velmurugan, S. Senthil Kumaran, V. Niranjana Prabhu, and K. Srihar, "Productivity enhancement of stepped solar still - Performance analysis," *Therm. Sci.*, vol. 12, no. 3, pp. 153–163, 2008.
- [54] S. Abdallah and O. O. Badran, "Sun tracking system for productivity enhancement of solar still," *Desalination*, vol. 220, no. 1–3, pp. 669–676, 2008.
- [55] S. B. Sadineni, R. Hurt, C. K. Halford, and R. F. Boehm, "Theory and experimental investigation of a weir-type inclined solar still," *Energy*, vol. 33, no. 1, pp. 71–80, 2008.
- [56] V. Velmurugan, J. Mandlin, B. Stalin, and K. Srihar, "Augmentation of saline streams in solar stills integrating with a mini solar pond," *Desalination*, vol. 249, no. 1, pp. 143–149, 2009.
- [57] A. M. El-Zahaby, A. E. Kabeel, A. I. Bakry, S. A. El-Agouz, and O. M. Hawam, "Enhancement of solar still performance using a reciprocating spray feeding system-An experimental approach," *Desalination*, vol. 267, no. 2–3, pp. 209–216, 2011.
- [58] M. Dashtban and F. F. Tabrizi, "Thermal analysis of a weir-type cascade solar still integrated with PCM storage," *Desalination*, vol. 279, no. 1–3, pp. 415–422, 2011.
- [59] A. Alaudeen, K. Johnson, P. Ganasundar, A. Syed Abuthahir, and K. Srihar, "Study on stepped type basin in a solar still," *J. King Saud Univ. - Eng. Sci.*, vol. 26, no. 2, pp. 176–183, 2014.
- [60] R. Zarasvand Asadi, F. Suja, M. H. Ruslan, and N. A. charcoal absorber and a boosting mirror," *Desalination*, vol. 229, no. 1–3, pp. 217–230, 2008.
- [24] S. Abdallah, M. M. Abu-Khader, and O. Badran, "Effect of various absorbing materials on the thermal performance of solar stills," *Desalination*, vol. 242, no. 1–3, pp. 128–137, 2009.
- [25] H. Tanaka, "Tilted wick solar still with external flat plate reflector: Optimum inclination of still and reflector," *Desalination*, vol. 249, no. 1, pp. 411–415, 2009.
- [26] A. E. Kabeel, "Performance of solar still with a concave wick evaporation surface," *Energy*, vol. 34, no. 10, pp. 1504–1509, 2009.
- [27] H. Tanaka, "Experimental study of a basin type solar still with internal and external reflectors in winter," *Desalination*, vol. 249, no. 1, pp. 130–134, 2009.
- [28] H. Tanaka and Y. Nakatake, "Increase in distillate productivity by inclining the flat plate external reflector of a tilted-wick solar still in winter," *Sol. Energy*, vol. 83, no. 6, pp. 785–789, 2009.
- [29] H. Sharon, K. S. Reddy, D. Krithika, and L. Philip, "Experimental performance investigation of tilted solar still with basin and wick for distillate quality and environmental aspects," *Desalination*, vol. 410, pp. 30–54, 2017.
- [30] V. K. Dwivedi and G. N. Tiwari, "Experimental validation of thermal model of a double slope active solar still under natural circulation mode," *Desalination*, vol. 250, no. 1, pp. 49–55, 2010.
- [31] F. F. Tabrizi and A. Z. Sharak, "Experimental study of an integrated basin solar still with a sandy heat reservoir," *Desalination*, vol. 253, no. 1–3, pp. 195–199, 2010.
- [32] T. Arunkumar, K. Vinothkumar, A. Ahsan, R. Jayaprakash, and S. Kumar, "Experimental Study on Various Solar Still Designs," *ISRN Renew. Energy*, vol. 2012, pp. 1–10, 2012.
- [33] Y. Taamneh and M. M. Taamneh, "Performance of pyramid-shaped solar still: Experimental study," *Desalination*, vol. 291, pp. 65–68, 2012.
- [34] A. Ahsan, M. Imteaz, A. Rahman, B. Yusuf, and T. Fukuhara, "Design, fabrication and performance analysis of an improved solar still," *Desalination*, vol. 292, pp. 105–112, 2012.
- [35] P. K. Srivastava and S. K. Agrawal, "Experimental and theoretical analysis of single sloped basin type solar still consisting of multiple low thermal inertia floating porous absorbers," *Desalination*, vol. 311, pp. 198–205, 2013.
- [36] S. Rashidi, J. Abolfazli Esfahani, and N. Rahbar, "Partitioning of solar still for performance recovery: Experimental and numerical investigations with cost analysis," *Sol. Energy*, vol. 153, pp. 41–50, 2017.
- [37] K. Voropoulos, E. Mathioulakis, and V. Belessiotis, "Experimental investigation of a solar still coupled with solar collectors," *Desalination*, vol. 138, no. 1–3, pp. 103–110, 2001.
- [38] O. O. Badran and H. A. Al-Tahaine, "The effect of coupling a flat-plate collector on the solar still productivity," *Desalination*, vol. 183, no. 1–3, pp. 137–142, 2005.
- [39] Z. S. Abdel-Rehim and A. Lasheen, "Experimental and theoretical study of a solar desalination system located in Cairo, Egypt," *Desalination*, vol. 217, no. 1–3, pp. 52–64, 2007.
- [40] S. Kumar and A. Tiwari, "Design, fabrication and performance of a hybrid photovoltaic/thermal (PV/T) active solar still," *Energy Convers. Manag.*, vol. 51, no. 6, pp. 1219–1229, 2010.
- [41] M. A. Eltawil and Z. Zhengming, "Wind turbine-inclined still collector integration with solar still for brackish water desalination," *Desalination*, vol. 249, no. 2, pp.



- 78, no. March, pp. 176–193, 2017.
- [79] A. E. Kabeel, T. Arunkumar, D. C. Denkenberger, and R. Sathyamurthy, “Performance enhancement of solar still through efficient heat exchange mechanism – A review,” *Appl. Therm. Eng.*, vol. 114, pp. 815–836, 2017.
- [80] R. Sathyamurthy *et al.*, “A Review of integrating solar collectors to solar still,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 77, no. November, pp. 1069–1097, 2017.
- [81] A. E. Kabeel, Z. M. Omara, and M. M. Younes, “Techniques used to improve the performance of the stepped solar still-A review,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 46, pp. 178–188, 2015.
- [82] A. M. Manokar *et al.*, “Inclined solar still designs: A review,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 54, no. April 2017, pp. 430–447, 2017.
- [83] A. A. El-Sebaei and E. El-Bialy, “Advanced designs of solar desalination systems: A review,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 49, pp. 1198–1212, 2015.
- [84] A. K. Kaviti, A. Yadav, and A. Shukla, “Inclined solar still designs: A review,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 54, pp. 429–451, 2016.
- [85] A. M. Manokar, D. P. Winston, A. E. Kabeel, R. Sathyamurthy, and T. Arunkumar, “Different parameter and technique affecting the rate of evaporation on active solar still -a review,” *Heat Mass Transf. und Stoffuebertragung*, vol. 54, no. 3, pp. 593–630, 2018.
- [86] K. Selvaraj and A. Natarajan, “Factors influencing the performance and productivity of solar stills - A review,” *Desalination*, vol. 435, no. September, pp. 181–187, 2018.
- [87] V. Manikandan, K. Shanmugasundaram, S. Shanmugan, B. Janarthanan, and J. Chandrasekaran, “Wick type solar stills: A review,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 20, pp. 322–335, 2013.
- [88] A. Muthu Manokar *et al.*, “Integrated PV/T solar still- A mini-review,” *Desalination*, vol. 435, no. March, pp. 259–267, 2018.
- [89] Z. M. Omara, A. E. Kabeel, and A. S. Abdullah, “A review of solar still performance with reflectors,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 68, no. October 2016, pp. 638–649, 2017.
- Jalil, “The application of a solar still in domestic and industrial wastewater treatment,” *Sol. Energy*, vol. 93, pp. 63–71, 2013.
- [61] F. B. Ziahari, A. Z. Sharak, H. Moghadam, and F. F. Tabrizi, “Theoretical and experimental study of cascade solar stills,” *Sol. Energy*, vol. 90, pp. 205–211, 2013.
- [62] A. S. Abdullah, “Improving the performance of stepped solar still,” *Desalination*, vol. 319, pp. 60–65, 2013.
- [63] Y. A. F. El-Samadony and A. E. Kabeel, “Theoretical estimation of the optimum glass cover water film cooling parameters combinations of a stepped solar still,” *Energy*, vol. 68, pp. 744–750, 2014.
- [64] S. A. El-Agouz, “Experimental investigation of stepped solar still with continuous water circulation,” *Energy Convers. Manag.*, vol. 86, pp. 186–193, 2014.
- [65] A. Senthil Rajan, K. Raja, and P. Marimuthu, “Multi basin desalination using biomass heat source and analytical validation using RSM,” *Energy Convers. Manag.*, vol. 87, pp. 359–366, 2014.
- [66] Y. A. F. El-Samadony, A. S. Abdullah, and Z. M. Omara, “Experimental study of stepped solar still integrated with reflectors and external condenser,” *Exp. Heat Transf.*, vol. 28, no. 4, pp. 392–404, 2015.
- [67] F. Farshchi Tabrizi, M. Khosravi, and I. Shirzaei Sani, “Experimental study of a cascade solar still coupled with a humidification-dehumidification system,” *Energy Convers. Manag.*, vol. 115, pp. 80–88, 2016.
- [68] R. Samuel Hansen and K. Kalidasa Murugavel, “Enhancement of integrated solar still using different new absorber configurations: An experimental approach,” *Desalination*, vol. 422, no. April, pp. 59–67, 2017.
- [69] E. Saettone, Y. Valencia-Tovar, and A. Gómez-de-la-Torre-Gastello, “Preliminary overview and evaluation of a stepped solar distiller with internal reflective walls and borosilicate vacuum tubes,” *Desalination*, vol. 413, pp. 136–143, 2017.
- [70] S. Joe Patrick Gnanaraj, S. Ramachandran, and David Santosh Christopher, “Enhancing the design to optimize the performance of double basin solar still,” *Desalination*, vol. 411, pp. 112–123, 2017.
- [71] F. Ketabchi, S. Gorjian, S. Sabzehparvar, Z. Shadram, M. S. Ghoreishi, and H. Rahimzadeh, “Experimental performance evaluation of a modified solar still integrated with a cooling system and external flat-plate reflectors,” *Sol. Energy*, vol. 187, no. June 2018, pp. 137–146, 2019.
- [72] S. Rashidi *et al.*, “Enhancing the stepped solar still performance using internal and external reflectors,” *Desalination*, vol. 78, no. 1–3, pp. 392–404, 2017.
- [73] K. H. Nayi and K. V. Modi, “Pyramid solar still: A comprehensive review,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 81, no. April 2017, pp. 136–148, 2018.
- [74] P. KALITA, A. DEWAN, and S. BORAH, “A Review on Recent Developments in Fully,” *Sadhana*, vol. 41, no. 2, pp. 203–223, 2016.
- [75] H. N. Panchal and S. Patel, “An extensive review on different design and climatic parameters to increase distillate output of solar still,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 69, no. December 2015, pp. 750–758, 2017.
- [76] A. F. Muftah, M. A. Alghoul, A. Fudholi, M. M. Abdul-Majeed, and K. Sopian, “Factors affecting basin type solar still productivity: A detailed review,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 32, pp. 430–447, 2014.
- [77] A. Shukla, K. Kant, and A. Sharma, “Solar still with latent heat energy storage: A review,” *Innov. Food Sci. Emerg. Technol.*, vol. 41, pp. 34–46, 2017.
- [78] Z. M. Omara, A. S. Abdullah, A. E. Kabeel, and F. A. Essa, “The cooling techniques of the solar stills’ glass covers – A review,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol.

