سال ۲۹، شماره ۱۳۴، صفحات ۱۵–۲۸، نوع مقاله: مروری

مجله علمی مهندسی مکانیک

ISSN: 1605-9719

DOI: 10.30506/mmep.2020.102729.1700

مروری بر عملکرد آب‌شیرین‌کن خورشیدی همراه با بازتاب‌دهنده‌ها

محمدرضا عصاری[۱ و *]، صفورا کریمی[۲]، محسن پرور[۳]، نرگس صادقیان[۴]

[۱] دانشیار دانشگاه صنعتی جندی شاپور دزفول، دانشکده مهندسی مکانیک

[۲] استادیار دانشگاه صنعتی جندی شاپور دزفول، گروه مهندسی شیمی

[۳] مربی دانشگاه صنعتی جندی شاپور دزفول، گروه مهندسی مکانیک

[۴] دانشجوی کارشناسی ارشد تبدیل انرژی دانشگاه صنعتی جندی شاپور دزفول

*مسئول مکاتبات: mr_assari@yahoo.com

◄ چکیده

آب یک عنصر مهم در توسعه اقتصاد و رفاه هر ملت است. کمبود آب شیرین به عنوان یک مسأله مهم در سراسر جهان شناخته شده است. در موارد متعددی، آب‌شیرین‌کن‌های خورشیدی در مناطق خشک و جزایر دورافتاده، یکی از راه‌های مقرون به صرفه به منظور تهیه آب آشامیدنی و همچنین کشاورزی هستند. آب‌شیرین‌کن خورشیدی دستگاه ساده‌ای است که تصفیه آب را با استفاده از انرژی خورشید از طریق فرآیندهای تبخیر و چگالش انجام می‌دهد. اَشکال مختلفی از آب‌شیرین‌کن‌های خورشیدی وجود دارد. تحقیقات نشان داده است که آب‌شیرین‌کن‌های خورشیدی معمولی بهره‌وری نسبتاً پایینی دارند که برای زندگی فردی مناسب نیستند. از این رو، محققان برای بهبود عملکرد آب‌شیرین‌کن‌های خورشیدی تلاش کردند و دریافتند که آب‌شیرین‌کن ترکیب شده با بازتاب‌دهنده‌های داخلی یا خارجی، یک اصلاح خوب و ارزان جهت افزایش شدت تابش خورشیدی به حوضچه و همچنین عملکرد شیرین‌سازی هستند. در این پژوهش، یک بررسی گسترده از آب‌شیرین‌کن‌های خورشیدی همراه با بازتاب‌دهنده‌ها ارائه شده است. به طور کلی مطالعات نشان می‌دهند که استفاده از بازتاب‌دهنده‌ها در بهبود عملکرد آب‌شیرین‌کن‌های خورشیدی مؤثر هستند.

◄ واژگان کلیدی

آب‌شیرین‌کن خورشیدی
عملکرد
بازتاب‌دهنده‌ها
شیرین‌سازی
تابش خورشید

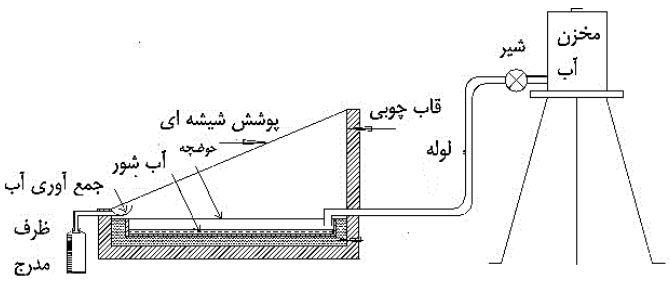
◄ تاریخچه مقاله

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۱۱/۰۷
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۳/۳۱

۱ مقدمه

با افزایش گرم‌شدن کره زمین در جهان، بحران آب در آینده نزدیک یک چالش جدی خواهد بود که مسبب آن ۴ گروه صنعتی، خانگی، جامعه و کشاورزی هستند که از میان سهم کشاورزی، حدود ۷۰ درصداست [۱]. علاوه بر این در سراسر دنیا، مناطق خشک و دور افتاده‌ای وجود دارد که دسترسی به شبکه برق و آب آشامیدنی برای آن‌ها دشوار است. برای این تقاضا، باید از منابع جدید آب استفاده کرد و شیرین‌سازی آب دریا و آب‌های شور، راه‌حل مناسبی به نظر می‌آید. همچنین نگرانی‌های زیست‌محیطی در مورد استفاده از انرژی‌های تجدیدناپذیر سبب افزایش علاقه به سامانه‌های شیرین‌سازی با استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر نظیر خورشید و باد شده است تا برای روستاهای دورافتاده منابع آب کافی فراهم شود. بنابراین به منظور تولید آب آشامیدنی، استفاده از آب‌شیرین‌کن خورشیدی به عنوان یکی از فناوری‌های امیدوارکننده در دسترس به دلیل مزایایی مانند فراوانی، پاک‌بودن و صرف هزینه پایین مورد توجه قرار گرفته است. اگر چه استفاده از آب‌شیرین‌کن خورشیدی برای شیرین‌سازی آب شور یا دریا با توجه به نیاز انرژی، اقتصادی است اما میزان عملکرد آن‌ها نسبتاً پایین است و باید آن را بهبود بخشید. ظرفیت تولید آب‌شیرین‌کن ساده حدود ۲ تا ۵ لیتر مترمربع در روز است [۲]. این موضوع سبب می‌شود که آب‌شیرین‌کن‌های خورشیدی در مقایسه با سیستم‌های آب‌شیرین‌سازی متعارف غیر اقتصادی تلقی شوند.

یک آب‌شیرین‌کن خورشیدی همان‌طور که در شکل ۱ نشان داده شده است، دستگاه ساده‌ای است که به عنوان یک جاذب برای تابش خورشیدی عمل می‌کند و به طور هم‌زمان به عنوان یک مبدل انرژی خورشیدی به انرژی حرارتی است که آب درون حوضچه آب‌شیرین‌کن را تبخیر می‌کند. بخار ایجاد شده در بخش سرد داخل پوشش شیشه‌ای تقطیر شده، سپس آب شیرین تولیدی توسط مکانیزمی جمع‌آوری گردیده و به داخل محفظه مورد نظر تعبیه شده جهت ذخیره‌سازی آب شیرین راه پیدا می‌کند.



شکل ۱: طرح کلی آب‌شیرین‌کن معمولی [۳].

پارامترهای مؤثر بر عملکرد آب‌شیرین‌کن خورشیدی عبارت‌اند از: شدت تابش خورشیدی که خود تابع روز سال و عرض جغرافیایی محل می‌باشد، سرعت باد، دمای محیط، دمای پوشش شیشه‌ای، هندسه آب‌شیرین‌کن، سطح صفحه جاذب، دمای آب ورودی، زاویه سرپوش، عمق آب و غیره، که ۳ عامل

ابتدایی به دلیل اینکه پارامترهای هواشناسی هستند قابل کنترل نیستند و بقیه عوامل قابل تغییر هستند [۴، ۵]. آب‌شیرین‌کن‌های خورشیدی را می‌توان در شکل‌های مختلفی نظیر حوضچه‌ای، لوله‌ای، دودکشی، کروی، فیتیله‌ای و ... ساخت که هر شکل مزایا و معایب خاص خود را دارد و می‌توان با اصلاح هر کدام و اعمال تغییراتی نظیر استفاده از بازتاب‌دهنده‌ها، مواد تغییرفازدهنده و دیگر روش‌ها عملکرد آن‌ها را بهبود بخشید.

محققان بسیاری به بررسی و دسته‌بندی آب‌شیرین‌کن‌های خورشیدی، بهبود فناوری آب‌شیرین‌کن‌های خورشیدی، آب‌شیرین‌کن‌های فعال و غیر فعال، شیب‌دار، پلکانی، فتیله‌ای و آب‌شیرین‌کن ترکیب شده با کندانسورها پرداخته‌اند. بنابراین، در پژوهش پیش رو مروری گسترده بر آب‌شیرین‌کن‌های خورشیدی ترکیب شده با بازتاب‌دهنده‌های داخلی و خارجی خواهیم داشت.

۲ معرفی بازتاب‌دهنده‌ها

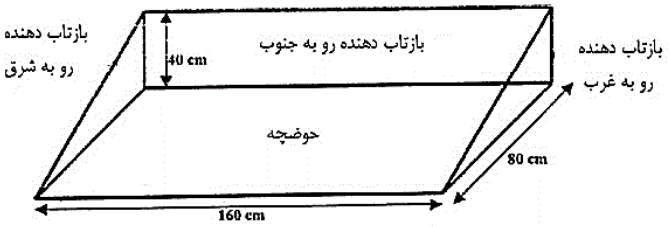
استفاده از آینه‌ها در ساخت آب‌شیرین‌کن‌های خورشیدی به‌طور محسوسی عملکرد را افزایش می‌دهد. بازتاب‌دهنده‌های داخلی برای تمرکز و هدایت تابش خورشیدی به حوضچه مفیدند و زمانی که نور خورشید ضعیف و یا دمای محیط نسبتاً کم است، استفاده از آنها توصیه می‌شود. بازتاب‌دهنده‌های خارجی نیز برای تغییر جهت پرتوهای خورشیدی مناسب‌اند.

۳ دسته‌بندی آب‌شیرین‌کن‌های خورشیدی همراه بازتاب‌دهنده

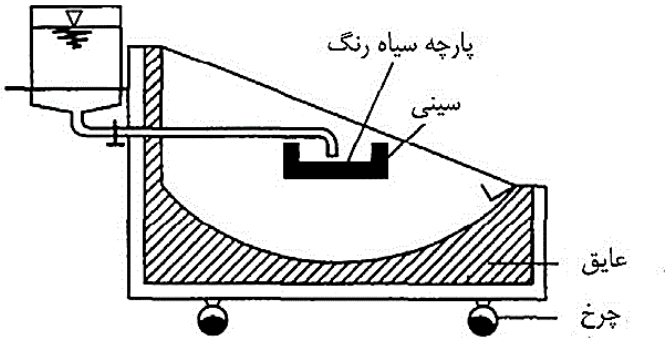
به منظور دست‌یابی به عملکرد بالای آب‌شیرین‌سازی، محققان تلاش‌های بسیاری را برای ساخت طرح‌های مختلف آب‌شیرین‌کن خورشیدی انجام دادند و متوجه شدند که آب‌شیرین‌کن ساخته شده با بازتاب‌دهنده‌ها ایده مناسبی خواهد بود. بازتاب‌دهنده‌ها در آب‌شیرین‌کن خورشیدی را می‌توان به ۳ دسته تقسیم‌بندی نمود: بازتاب‌دهنده‌های داخلی، بازتاب‌دهنده‌های خارجی (در بالا، پایین، طراحی‌های مختلف) و ترکیب بازتاب‌دهنده‌های داخلی و خارجی. بازتاب‌دهنده‌های داخلی و یا خارجی برای زمانی‌که تابش خورشید ضعیف یا دمای محیط نسبتاً پایین است پیشنهاد می‌شوند. استفاده از بازتاب‌دهنده‌های داخلی یا خارجی، یک رویکرد اقتصادی به منظور متمرکز کردن تابش خورشیدی به کف حوضچه است که عملکرد آب‌شیرین‌سازی را تا حد امکان افزایش می‌دهد. مقایسه ساده‌ای از آب‌شیرین‌کن‌های خورشیدی مختلف همراه با بازتاب‌دهنده‌ها در جدول ۱ بیان شده است. این جدول براساس مکان، عملکرد روزانه، بهبود بهره‌وری، بازده و مشاهدات در آزمایش مقایسه شده‌اند.

۱.۳ بازتاب‌دهنده‌های داخلی[1]

بازتاب‌دهنده‌های داخلی بر روی دیواره‌های داخلی درون آب‌شیرین‌کن نصب می‌شوند. بنابراین یکی از معایب استفاده از بازتاب‌دهنده‌های داخلی، خراب شدن آینه‌های داخلی می‌باشد. در مقابل، مزایای استفاده از آینه‌های داخلی می‌توان به متمرکز کردن تابش خورشیدی به کف حوضچه و در نتیجه افزایش تولید آب شیرین و همچنین کاهش اتلاف انرژی حرارتی از آب‌شیرین‌کن اشاره کرد. در ذیل پژوهش‌های شامل بازتاب‌دهنده داخلی بیان شده است: تمیمی [۶] در سال ۱۹۸۷، آب‌شیرین‌کن خورشیدی یک‌طرفه با آینه‌های نصب شده بر روی دیواره‌های جانبی آن را به صورت تجربی مورد بررسی قرار داد و دریافت که استفاده از آینه‌ها باعث افزایش عملکرد در تمام طول روز می‌شود. در پژوهشی دیگر الـسیفی و متیاس [۷] در سال ۲۰۰۲ آزمایشاتی جهت یافتن اثرات بازتاب‌دهنده داخلی روی دیواره‌های داخلی و جانبی آب‌شیرین‌کن یک‌طرفه مطابق شکل ۲ انجام دادند و همچنین از مدل‌سازی ریاضی استفاده کردند و دریافتند که میزان آب شیرین تولیدی با نصب بازتاب‌دهنده‌ها در زمستان و تابستان به ترتیب ۸۲/۶ و ۲۲ درصد افزایش یافته است. طرح جدیدی از آب‌شیرین‌کن با بازتاب‌دهنده پارابولیک استوانه‌ای توسط میناسیان و همکارن [۸] ارائه شد که در شکل ۳ نشان داده شده است. بازتاب‌دهنده برای متمرکزکردن تابش خورشیدی روی سطح سیاه رنگ خارجی واقع در یک سینی که با فیتیله سیاه پوشانده شده بود، در مرکز کانون نصب شده است. آن‌ها نشان دادند که میزان تولید طرح جدید آب‌شیرین‌کن ۲۵ تا ۳۵ درصد بیشتر از آب‌شیرین‌کن حوضچه‌ای معمولی بوده است.



شکل ۲: آب‌شیرین‌کن با بازتاب‌دهنده‌های داخلی [۷].



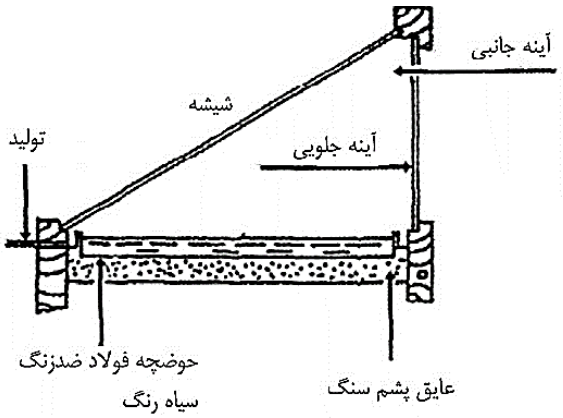
شکل ۳: آب‌شیرین‌کن حوضچه‌ای با بازتاب‌دهنده پارابولیک استوانه‌ای [۸].

ال‌ـهایک و بادران [۹]، عملکرد آب‌شیرین‌کن یک‌طرفه و دوطرفه حوضچه‌ای را در سال ۲۰۰۴ در حالی که بازتاب‌دهنده‌های داخلی مطابق شکل ۴ روی تمام سطوح داخلی نصب بودند، مقایسه کردند. آزمایش آن‌ها در ماه آگوست انجام شد و دریافتند که آب شیرین خروجی در آب‌شیرین‌کن یک طرفه ۲۰ درصد بیشتر از دو طرفه است. در پژوهشی دیگر عبدالله و همکاران [۱۰] در سال ۲۰۰۸ طرح اصلاح شده‌ای از آب‌شیرین‌کن حوضچه‌ای فراهم آوردند. اصلاح آن‌ها به این صورت بود که مطابق شکل ۵ بازتاب‌دهنده‌های

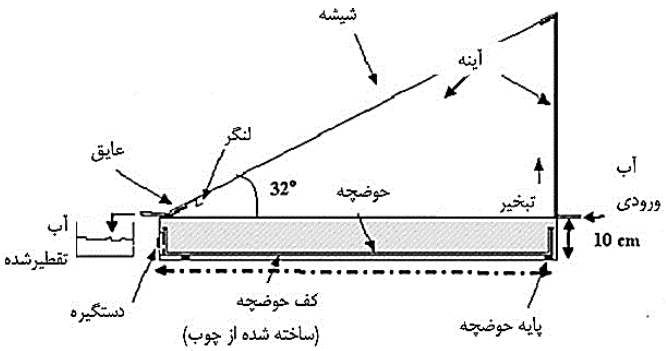
[1] internal reflectors (IRs)

داخلی بر روی دیواره‌های داخلی آب‌شیرین‌کن نصب شده بودند که مقدار اتلاف انرژی را به حداقل برسانند. نتایج تجربی نشان داد که استفاده از آینه‌های داخلی، موجب بهبود ۳۰ درصدی عملکرد آب‌شیرین‌کن شده است. همچنین تغییر طراحی آب‌شیرین‌کن حوضچه‌ای مسطح به پلکانی ۱۸۰ درصد متوسط عملکرد را افزایش داده است. استهبناتی و همکاران [۱۱] در سال ۲۰۱۶، اثرات بازتاب‌دهنده‌های داخلی بر عملکرد آب‌شیرین‌کن یک‌طرفه را به صورت تجربی و عددی در تابستان و زمستان مورد مطالعه قرار دادند و پس از تأیید مدل با داده‌های تجربی، عملکرد آب‌شیرین‌کن با و بدون بازتاب‌دهنده داخلی روی دیوارهای مختلف ارزیابی شد. نتایج نشان داد که استفاده هم‌زمان از بازتاب‌دهنده‌های داخلی در دیواره‌های جلو و اطراف موجب افزایش ۱۸ درصدی عملکرد آب‌شیرین‌کن می‌شود. با این وجود، نصب بازتاب‌دهنده داخلی روی دیواره عقب می‌تواند عملکرد سالیانه را ۲۲ درصد افزایش دهد. همچنین نصب بازتاب‌دهنده‌های داخلی روی تمام دیواره‌ها در مقایسه با آب‌شیرین‌کن بدون بازتاب‌دهنده داخلی مطابق شکل ۶ می‌تواند میزان آب شیرین تولیدی را در زمستان، تابستان و کل سال به ترتیب ۶۵، ۲۲ و ۳۴ درصد افزایش دهد.

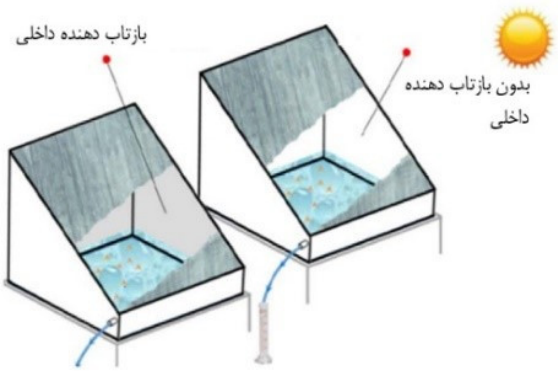
در تحقیقی دیگر اومارا و همکاران [۱۲] در سال ۲۰۱۳، آب‌شیرین‌کن خورشیدی پلکانی را با نصب بازتاب‌دهنده‌های داخلی روی دیواره‌های عمودی طرفین پلکان مطابق شکل ۷ اصلاح کردند. همان‌گونه که انتظار می‌رفت، عملکرد آب‌شیرین‌کن پلکانی همراه با بازتاب‌دهنده بالاتر از بدون بازتاب‌دهنده بود.



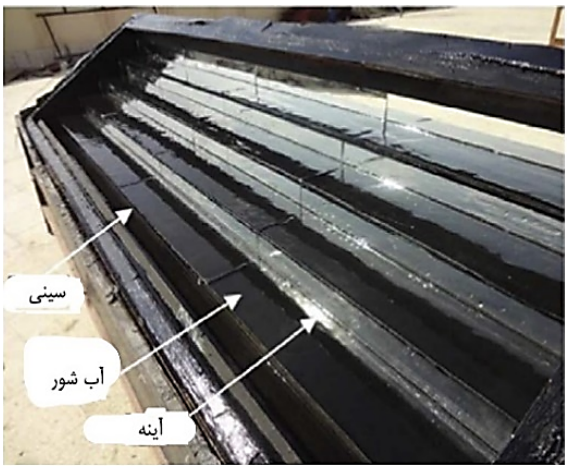
شکل ۴: آب‌شیرین‌کن حوضچه‌ای با بازتاب‌دهنده‌های داخلی [۹].



شکل ۵: آب‌شیرین‌کن حوضچه‌ای با بازتاب‌دهنده‌های داخلی [۱۰].



شکل ۶: آب‌شیرین‌کن خورشیدی یک طرفه با بازتاب‌دهنده‌های داخلی [۱۱].



شکل ۷: آب‌شیرین‌کن پلکانی با بازتاب‌دهنده‌های داخلی[۱۲].

نتایج نشان داد که بهره‌وری آب‌شیرین‌کن پلکانی با و بدون بازتاب‌دهنده به ترتیب ۷۵ و ۵۷ درصد بالاتر از آب‌شیرین‌کن معمولی است. همچنین عملکرد آب‌شیرین‌کن پلکانی با و بدون بازتاب‌دهنده به ترتیب برابر ۵۶ و ۵۳ درصد بود، درحالی‌که بهره‌وری آب‌شیرین‌کن معمولی فقط ۳۴ درصد بود.

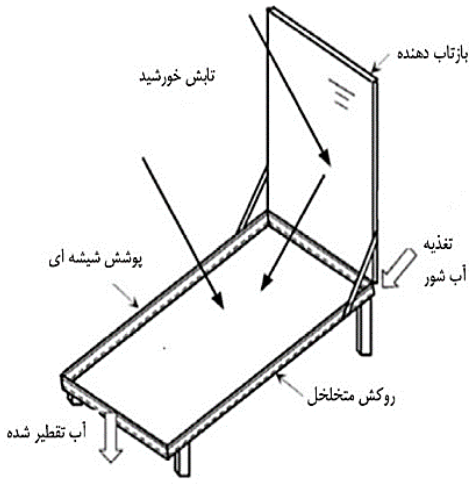
۲.۳ بازتاب‌دهنده‌های خارجی[۲]

همان طور که گفته شد خراب شدن سریع آینه‌های داخلی به عنوان یک ضرر استفاده از آینه‌ها درون آب‌شیرین‌کن خورشیدی شناخته شده است. از این رو محققان به استفاده از بازتاب‌دهنده‌های خارجی در آب‌شیرین‌کن خورشیدی روی آوردند. بازتاب‌دهنده‌های خارجی از مواد با بازتاب بالا نظیر آینه ساخته شده‌اند. بنابراین از مزایای استفاده از بازتاب‌دهنده‌های خارجی، تغییر جهت تابش خورشیدی به منظور افزایش دمای صفحه جاذب می‌باشد، همچنین پرتوهای مستقیم و پخشی خورشید که از پوشش شیشه‌ای عبور می‌کنند با استفاده از بازتاب‌دهنده‌های خارجی بهبود می‌یابند. این نوع بازتاب‌دهنده‌ها خود به سه گروه بازتاب‌دهنده در بالا و پایین و طراحی‌های مختلف تقسیم‌بندی می‌شوند که در زیر به برخی از پژوهش‌های هر گروه اشاره شده است. همچنین خواهیم دید، هیروش تاناکا دانشمندی است که بیشترین مطالعات را در زمینه اثرات بازتاب‌دهنده‌ها در میزان تقطیر آب‌شیرین‌کن خورشیدی داشته است.

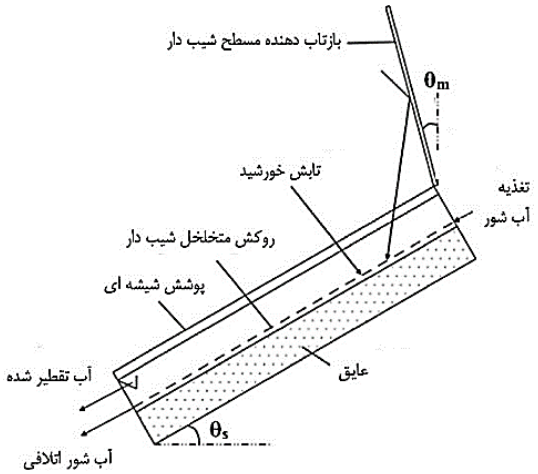
[2]external reflectors (ERs)

۱.۲.۳ بازتاب‌دهنده خارجی در بالا[3]

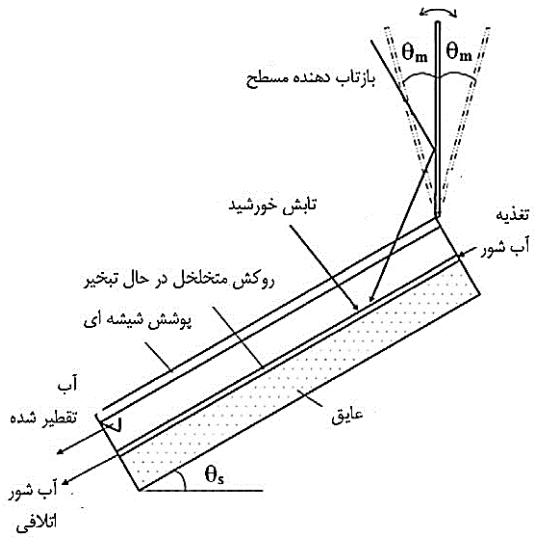
تاناکا و ناکاتاک [۱۳] در سال ۲۰۰۷ یک تحلیل تئوری برای مطالعه بازتاب‌دهنده خارجی بر روی عملکرد آب‌شیرین‌کن شیب‌دار با پارچه متخلخل انجام دادند که در Error! Reference source not found. نشان داده شده است. آن‌ها یک روش هندسی برای محاسبه تابش خورشیدی منعکس شده توسط بازتاب‌دهنده خارجی و جذب شده توسط پارچه و همچنین تجزیه و تحلیل انتقال حرارت و جرم از آب‌شیرین‌کن خورشیدی به منظور پیش‌بینی عملکرد تقطیر برای ۴ روز از سال (روزهای بهار، تابستان، پاییز و زمستان) در عرض ۳۰ درجه شمالی انجام دادند و دریافتند که به طور متوسط میزان بهره‌وری در سال ۹ درصد افزایش می‌یابد. در پژوهشی دیگر تاناکا و ناکاتاک [۱۴] در سال ۲۰۰۹ تحلیل تئوری ازآب‌شیرین‌کن خورشیدی شیب‌دار با پارچه متخلخل همراه با بازتاب‌دهنده خارجی مایل در بالا را در یک روز زمستانی انجام دادند که در شکل ۹ نشان داده شده است. مقدار آب مقطر به دست آمده از آب‌شیرین‌کن با بازتاب‌دهنده مایل نسبت به آب‌شیرین‌کن با بازتاب‌دهنده عمود، هنگامی که طول بازتاب‌دهنده نصف یا برابر طول آب‌شیرین‌کن بود، به ترتیب حدود ۱۵ و ۲۷ درصد بیشتر بود. تاناکا [۱۵] در سال ۲۰۰۹ یک تحلیل تئوری بر روی آب‌شیرین‌کن شیب‌دار با پارچه متخلخل همراه با بازتاب‌دهنده خارجی در بالا که قابلیت تغییر زاویه دارد با هدف تعیین شیب مطلوب برای بازتاب‌دهنده و آب‌شیرین‌کن خورشیدی در عرض جغرافیایی ۳۰ درجه شمالی برای فصل‌های مختلف انجام داد که در شکل ۱۰ نشان داده شده است. او دریافت که با تنظیم زاویه آب‌شیرین‌کن و بازتاب‌دهنده در هر فصل می‌توان میزان بهره‌وری در طول سال را حدود ۲۱ درصد افزایش داد. الباهی و اینان [۱۶]، آب‌شیرین‌کن معمولی ترکیب‌شده با یک کندانسور خارجی در بالا را مطابق شکل ۱۱ بررسی کردند، بازتاب‌دهنده از جنس فولاد ضدزنگ ساخته شده بود، که هم تابش خورشیدی را به حوضچه برساند و هم برای کندانسور سایه‌بان شود. نتیجه مطالعات ایشان به این صورت بود که عملکرد آب‌شیرین‌کن حدود ٪۷۰ افزایش یافته است و عملکرد روزانه تا ۷ لیتر بر مترمربع در روز افزایش داشته است.



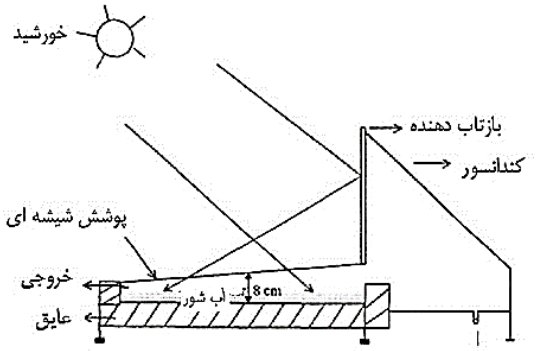
شکل ۸: بازتاب‌دهنده خارجی عمودی بالا در آب‌شیرین‌کن شیب‌دار با روکش متخلخل [۱۳].



شکل ۹: آب‌شیرین‌کن شیب‌دار با پارچه متخلخل همراه با بازتاب‌دهنده خارجی مایل در بالا [۱۴].



شکل ۱۰: آب‌شیرین‌کن شیب‌دار با پارچه متخلخل با بازتاب‌دهنده خارجی در بالا [۱۵].

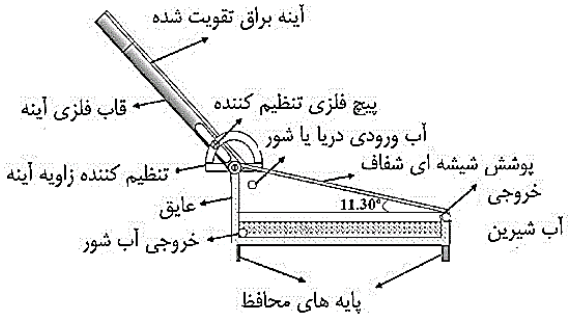


شکل ۱۱: آب‌شیرین‌کن معمولی ساخته شده با یک بازتاب‌دهنده در بالا [۱۶].

در پژوهشی دیگر عملکرد واحد تقطیر خورشیدی با استفاده از آینه تقویت‌کننده توسط شنگومان و همکاران [۱۷] مورد مطالعه قرار گرفت. آینه مطابق Error! Reference source not found. در بالای پوشش شیشه‌ای قرار داشت و این امکان را فراهم می‌کرد که تابش خورشیدی بیشتری

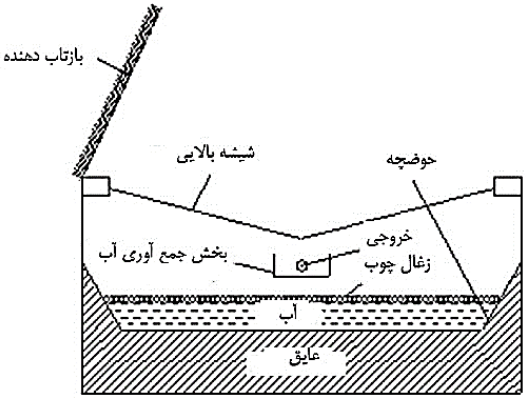
[3] external top reflectors

را به کف حوضچه انعکاس دهد و متناسب با حرکت خورشید تغییر زاویه داشته باشد. بیشترین مقدار آب جمع‌آوری شده در طول روز ۴/۲ لیتر بود. همچنین بازده آب‌شیرین‌کن ٪۳۵ بود که با استفاده از آینه تقویت‌شده به ٪۴۵ افزایش یافت.

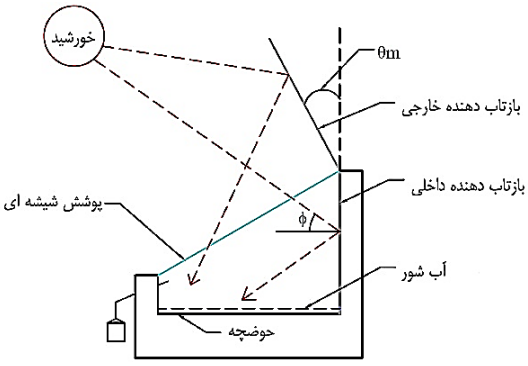


شکل ۱۲: نمایی از آب‌شیرین‌کن خورشیدی با آینه براق تقویت شده [۱۷].

سلواکومار و همکاران [۱۸] عملکرد حرارتی آب‌شیرین‌کن v شکل را مورد تجزیه و تحلیل قرار دادند که در شکل ۱۳ نشان داده شده است. مهمترین مزیت این نوع آب‌شیرین‌کن جمع‌آوری آب مقطر تولیدی در مرکز آن است. از دیگر مزایای آن افزایش میزان تولید آب مقطر خروجی بوده است. بازده کلی برای آب‌شیرین‌کن با و بدون بازتاب‌دهنده به ترتیب ۲۴/۴۷ و ۱۱/۹۲ درصد بود. ایشان همچنین آزمایش مشابهی را برای جاذب زغال چوب در آب‌شیرین‌کن با و بدون بازتاب‌دهنده انجام دادند که عملکرد به ترتیب ۳۰/۰۵ و ۱۴/۱۰ درصد بود.



شکل ۱۳: آب‌شیرین‌کن V شکل با بازتاب‌دهنده خارجی [۱۸].

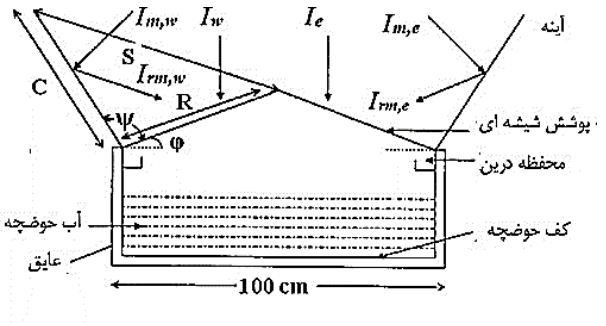


شکل ۱۴: آب‌شیرین‌کن حوضچه‌ای با بازتاب‌دهنده خارجی در بالا [۱۹].

هانگ و چانگ [۱۹] در سال ۲۰۱۷ با استفاده از الگوریتم لونبرگ–مارکارد، زاویه بهینه بازتاب‌دهنده خارجی نسبت به حالت عمود برای آب‌شیرین‌کن حوض‌دار مطابق شکل ۱۴ را محاسبه کردند. تحقیق آن‌ها نشان داد که در یک روز زمستانی، با تنظیم زاویه بازتاب‌دهنده خارجی و ثابت نگه داشتن آن، بهره‌وری نسبت به زمانی‌که بازتاب‌دهنده عمود است، ۲۷/۸ درصد افزایش دارد که ۲/۳۸ برابر آب‌شیرین‌کن بدون بازتاب‌دهنده است.

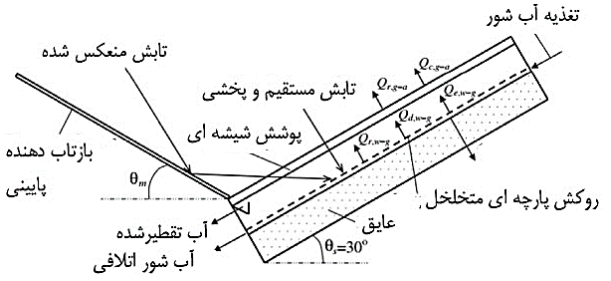
۲.۲.۳ بازتاب‌دهنده خارجی در پایین[۴]

سبای [۲۰] در سال ۲۰۰۰ از آینه‌های خارجی برای بررسی عملکرد آب‌شیرین‌کن دوطرفه حوضچه‌ای مطابق شکل ۱۵، استفاده کرد. دو آینه با زاویه شیب یکسان به خارج آب‌شیرین‌کن نصب شده بودند. ایشان گزارش داد که تابش روی آب‌شیرین‌کن با استفاده از این آینه‌های خارجی افزایش قابل توجهی داشته است. همچنین دریافت که بهره‌وری روزانه آب‌شیرین‌کن با آینه در تابستان و زمستان حدود ۱۹ و ۳۰ درصد بالاتر از بدون آینه است که این به علت افزایش دمای آب حوضچه و اختلاف دمای آب و شیشه است.



شکل ۱۵: طرح آب‌شیرین‌کن دوطرفه حوضچه‌ای با بازتاب‌دهنده‌های خارجی [۲۰].

تاناکا [۲۱] در سال ۲۰۱۱ یک تحلیل تئوری از آب‌شیرین‌کن شیب‌دار با پارچه متخلخل با بازتاب‌دهنده خارجی تخت در پایین که قابلیت تغییر زاویه دارد را همان‌طور که در شکل ۱۶ نشان داده شده است ارائه داد. طول بازتاب‌دهنده خارجی برابر طول آب‌شیرین‌کن و زاویه آب‌شیرین‌کن ثابت بود. این تحلیل برای چهار روز در سال (تابستان، زمستان و بهار و پاییز) انجام شد. ایشان دریافت که با زاویه بازتاب‌دهنده مناسب هر فصل، میزان بهره‌وری افزایش می‌یابد، همچنین زمانی‌که بازتاب‌دهنده در زاویه شیب ۳۵ درجه قرار گرفت میانگین بهره‌وری چهار روز بیشترین مقدار را داشته است و عملکرد آن ۱۳ درصد بیشتر از آب‌شیرین‌کن بدون بازتاب‌دهنده بوده است.



شکل ۱۶: آب‌شیرین‌کن شیب‌دار با روکش متخلخل با بازتاب‌دهنده خارجی در پایین[۲۱].

[4]external bottom reflectors

۳.۲.۳ طراحی‌های مختلف بازتاب‌دهنده خارجی

دیو و همکاران [۲۲] در سال ۲۰۱۱ عملکرد روزانه حاصل از آب‌شیرین‌کن حوضچه‌ای ترکیب‌شده با یک بازتاب‌دهنده منحنی شکل، مطابق شکل ۱۷ در عمق‌های آب ۰/۰۱، ۰/۰۲ و ۰/۰۳ متر، به ترتیب برابر ۶/۳، ۵/۶ و ۴/۳ کیلوگرم بر متر مربع گزارش دادند. در همان عمق‌های آب، عملکرد روزانه حاصل از آب‌شیرین‌کن حوضچه‌ای به ترتیب برابر ۲/۱، ۱/۹ و ۰/۸ کیلوگرم بر متر مربع بود.

شکل ۱۷: آب‌شیرین‌کن خورشیدی با بازتاب‌دهنده خارجی منحنی شکل [۲۲].

الگارنی [۲۳] در سال ۲۰۱۳، مطابق شکل ۱۸، یک آزمایش تجربی در زمستان بر روی آب‌شیرین‌کن دو سطح شیب‌دار با بازتاب‌دهنده‌های خارجی و همچنین تجزیه وتحلیل عددی انجام داد و پس از مقایسه با نتایج تجربی، تأیید مدل انجام پذیرفت. نتایج نشان داد که بازتاب‌دهنده‌های خارجی میزان عملکرد را تقریباً ۸۲٪ افزایش داده‌اند.

شکل ۱۸: آب‌شیرین‌کن دو سطح شیب‌دار با بازتاب‌دهنده‌های خارجی[۲۳].

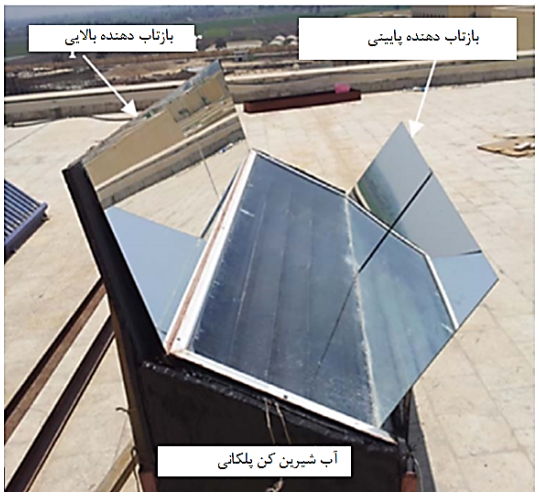
عصاری و همکاران [۲۴] آب‌شیرین‌کن خورشیدی دو طرفه همراه با بازتاب‌دهنده‌های خارجی چرخان از پایین را به صورت تجربی در دو حالت ثابت و چرخان مورد بررسی قرار دادند که در شکل ۱۹ نشان داده شده است.

شکل ۱۹: آب‌شیرین‌کن دوطرفه همراه با بازتاب‌دهنده چرخان از پایین [۲۴].

آن‌ها دریافتند که مقدار آب مقطر تولیدی حالت چرخان نسبت به حالت ثابت حدود ۶۴ درصد افزایش داشته است و بهره‌وری دو حالت چرخان و ثابت در دو روز با هوای نسبتاً ابری به ترتیب ۴۷ و ۵۳ درصد نسبت به هوای آفتابی کاهش داشته است.

۳.۳ ترکیب بازتاب‌دهنده‌های داخلی و خارجی[5]

اومارا و همکاران [۲۵] در سال ۲۰۱۴ عملکرد آب‌شیرین‌کن پلکانی همراه با بازتاب‌دهنده‌های داخلی و خارجی را بررسی کردند. همان‌طور که در شکل ۲۰، نشان داده شده است، آب‌شیرین‌کن پلکانی با بازتاب‌دهنده‌های داخلی و خارجی (در بالا و پایین) ساخته شده بود. آن‌ها دریافتند که میزان عملکرد آب‌شیرین‌کن پلکانی همراه با بازتاب‌دهنده‌های داخلی و خارجی نسبت به آب‌شیرین‌کن معمولی، حدود ۱۲۵ درصد افزایش داشته است.

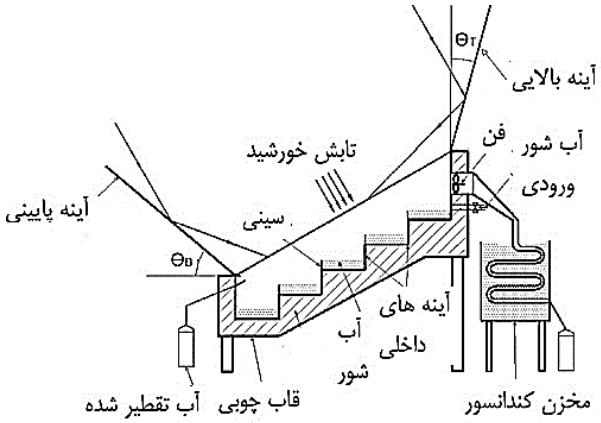


شکل ۲۰: آب‌شیرین‌کن پلکانی همراه با بازتاب‌دهنده‌های داخلی و خارجی [۲۵].

ال‌ـسامادونی و همکاران [۲۶] در سال ۲۰۱۵ یک تحقیق عملی به منظور مقایسه دو نوع آب‌شیرین‌کن حوض دار و پلکانی ترکیب شده با کندانسور خارجی و بازتاب‌دهنده‌های داخلی و خارجی مطابق شکل ۲۱ انجام

[5] internal and external reflectors (IERs)

دادند. هر دو نوع آب‌شیرین‌کن در شرایط آب و هوایی مشابهی قرار داشتند. نتایج نشان داد که مقدار روزانه آب شیرین در آب‌شیرین‌کن پلکانی زمانی‌که هر دو بازتاب‌دهنده و کندانسور استفاده شده‌اند، حدود ۱۶۵ درصد بیشتر از آب‌شیرین‌کن معمولی است.

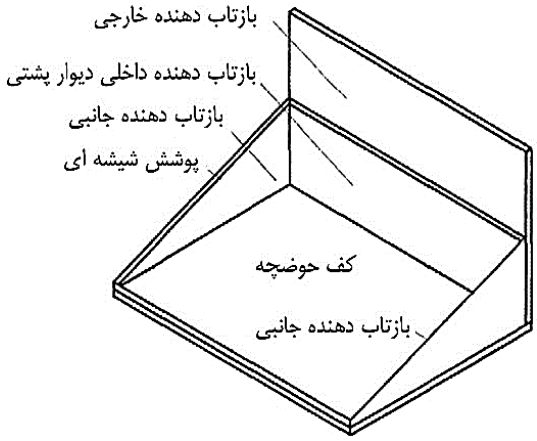


شکل ۲۱: آب‌شیرین‌کن حوضچه‌ای با بازتاب‌دهنده‌های داخلی و خارجی در پایین [۲۶].

تاناکا [۲۷] در سال ۲۰۰۹ آب‌شیرین‌کن حوضچه‌ای با بازتاب‌دهنده‌های داخلی و خارجی را مطابق شکل ۲۲ که شامل حوضچه با بازتاب‌دهنده‌های داخلی، پوشش شیشه‌ای، و بازتاب‌دهنده خارجی در بالا می‌باشد را مورد بررسی قرار داد و دریافت که عملکرد روزانه حدود ۷۰ تا ۱۰۰ درصد در روزهای زمستان افزایش داشته است.

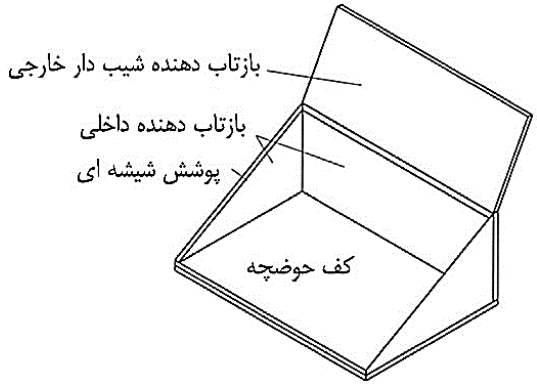
شکل ۲۲: آب‌شیرین‌کن معمولی همراه با بازتاب‌دهنده‌های داخلی و خارجی [۲۷].

تاناکا و همکاران [۲۸] یک بررسی تئوری از آب‌شیرین‌کن حوضچه‌ای با بازتاب‌دهنده‌های داخلی و خارجی مطابق شکل ۲۳ انجام دادند. آن‌ها دریافتند که میزان تولید به طور قابل ملاحضه‌ای در تمام طول سال به جز در تابستان افزایش می‌یابد. در طول فصل تابستان، بازتاب‌دهنده خارجی بر روی سطح حوضچه در صبح و عصر سایه ایجاد می‌کند که سبب کاهش میزان تولید می‌شود. افزایش میزان تولید در طول سال با اضافه کردن بازتاب‌دهنده‌های داخلی و خارجی ۴۸ درصد بود، در حالی‌که با اضافه کردن فقط بازتاب‌دهنده داخلی این میزان حدود ۲۲ درصد بوده است.



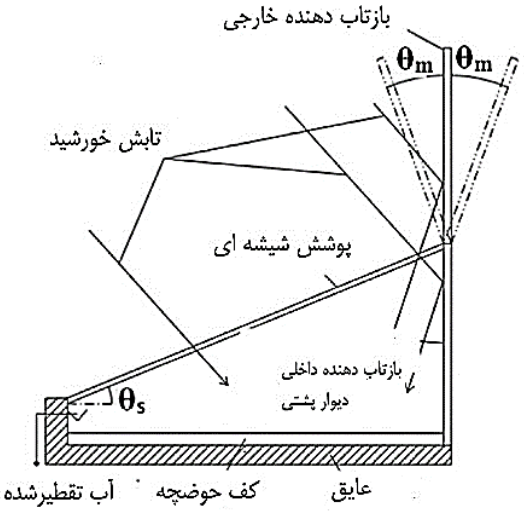
شکل ۲۳: آب‌شیرین‌کن حوضچه‌ای با بازتاب‌دهنده‌های داخلی و خارجی [۲۸].

تاناکا [۲۹] یک بررسی تئوری برای فهمیدن اثرات بازتاب‌دهنده خارجی بر روی میزان تولید آب‌شیرین‌کن معمولی با بازتاب‌دهنده‌های داخلی و خارجی مطابق شکل ۲۴ انجام داد. آن‌ها دریافتند که با تغییر زاویه بازتاب‌دهنده خارجی به سمت عقب میزان تولید افزایش می‌یابد. علاوه بر این، تولید روزانه آب‌شیرین‌کن با هر دو بازتاب‌دهنده داخلی و خارجی با کاهش شیب پوشش شیشه‌ای افزایش می‌یابد. ایشان نشان دادند که افزایش تولید روزانه با تغییر زاویه آینه خارجی نسبت به حالت عمود حدود ۷ یا ۱۲ درصد می‌باشد.



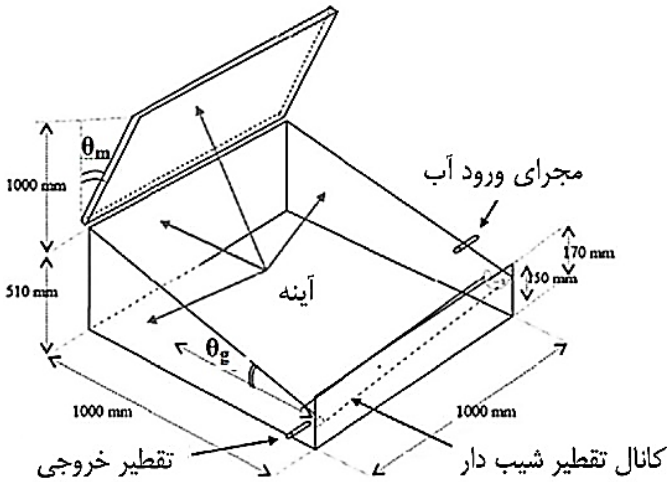
شکل ۲۴: آب‌شیرین‌کن معمولی با بازتاب‌دهنده‌های داخلی و خارجی [۲۹].

تاناکا [۳۰] در سال ۲۰۱۰ یک مطالعه عددی برای بررسی اثرات بازتاب‌دهنده‌های داخلی و خارجی روی آب‌شیرین‌کن یک‌طرفه حوضچه‌ای مطابق شکل ۲۵ انجام داد و گزارش داد که مقدار روزانه آب شیرین را می‌توان با خمیدگی بازتاب‌دهنده خارجی در تابستان و بازتاب‌دهنده جلویی در فصل‌های دیگر افزایش داد. طول بازتاب‌دهنده خارجی نصف طول آب‌شیرین‌کن بود و عرض جغرافیایی ۳۰ درجه در نظر گرفته شده بود. ایشان برای روزهای سال با توجه به تغییر هر دو زاویه‌های سرپوش آب‌شیرین‌کن و بازتاب‌دهنده خارجی، بهره‌وری‌های متفاوتی به دست آورد و زاویه بهینه ماهانه بازتاب‌دهنده خارجی، برای زاویه سرپوش ۱۰ تا ۵۰ درجه را به دست آورد. افزایش مقدار متوسط روزانه تقطیر در طول سال، برای آب‌شیرین‌کن با زاویه بهینه بازتاب‌دهنده خارجی به علاوه بازتاب‌دهنده داخلی با زاویه‌های سرپوش ۱۰، ۳۰ و ۵۰ درجه نسبت به نوع بدون بازتاب‌دهنده آن به ترتیب برابر ۲۹، ۴۳ و ۶۷ درصد بود.



شکل ۲۵: آب‌شیرین‌کن حوضچه‌ای با بازتاب‌دهنده‌های داخلی و خارجی [۳۰].

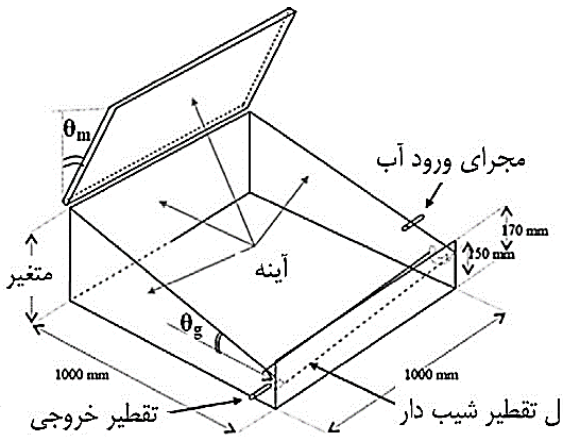
خلیفه و ابراهیم [۳۱] یک بررسی تجربی بر روی آب‌شیرین‌کن حوضچه‌ای با بازتاب‌دهنده‌های داخلی و خارجی مطابق شکل ۲۶ از ماه ژوئن تا دسامبر انجام داد. آن‌ها به این نتیجه رسیدند که استفاده از بازتاب‌دهنده‌های داخلی عملکرد روزانه را به طور متوسط ۱۹/۷ درصد افزایش می‌دهد . علاوه بر آن میزان تقطیر خروجی با بازتاب‌دهنده‌های خارجی به طور متوسط ۳۴/۵، ۳۴/۴ و ۳۴/۸ و ۲۴/۷ درصد به ترتیب در زاویای ۰، ۱۰، ۲۰ و ۳۰ درجه است.



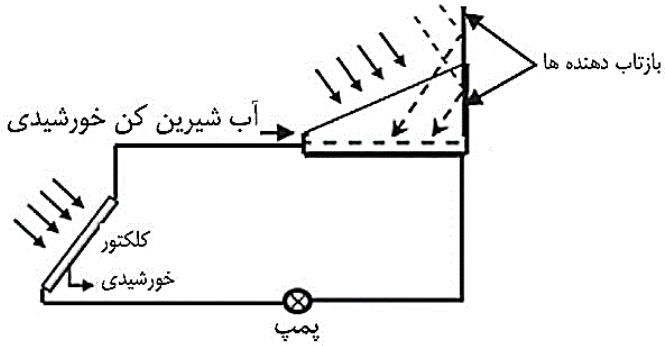
شکل ۲۶: آب‌شیرین‌کن معمولی با بازتاب‌دهنده‌های داخلی و خارجی [۳۱].

در پژوهشی دیگر خلیفه و ابراهیم [۳۲] یک بررسی تجربی بر روی آب‌شیرین‌کن با بازتاب‌دهنده‌های داخلی و خارجی با زاویه‌های ۰ (عمود)، ۱۰، ۲۰ و ۳۰ درجه با زاویه پوشش شیشه‌ای ۲۰، ۳۰ و ۴۰ درجه مطابق شکل ۲۷ انجام دادند. آن‌ها دریافتند که بالاترین میزان تولید آب‌شیرین‌کن در زاویه شیب پوشش شیشه‌ای و بازتاب‌دهنده ۲۰ درجه می‌باشد که میزان تقطیر روزانه ٪۱۴۵ بیشتر از آب‌شیرین‌کن ساده می‌باشد.

بوبکری و چاکر [۳۳] گزارش دادند که استفاده از بازتاب‌دهنده‌های داخلی و خارجی میزان تولید را در زمستان ۷۲/۰۸ درصد، در بهار ۴۰/۳۳ درصد و در تابستان ۷/۵۴ درصد افزایش می‌دهد. آن‌ها همچنین دریافتند که با کوپل کردن یک مخزن ذخیره حرارت با آب‌شیرین‌کن مطابق شکل ۲۸ تولید در زمستان، بهار و تابستان به ترتیب ۲۱، ۲۷/۵ و ۲۳/۲ درصد افزایش می‌یابد.

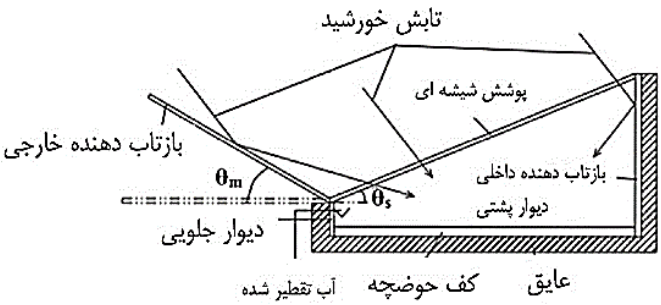


شکل ۲۷: آب‌شیرین‌کن معمولی با بازتاب‌دهنده‌های داخلی و خارجی [۳۲].



شکل ۲۸: آب‌شیرین‌کن فعال با بازتاب‌دهنده‌های داخلی و خارجی [۳۳].

تاناکا [۳۴] در سال ۲۰۱۱، یک بررسی تئوری بر روی آب‌شیرین‌کن حوض‌دار با بازتاب‌دهنده خارجی و داخلی مطابق شکل ۲۹ انجام داد. طول بازتاب‌دهنده خارجی برابر طول آب‌شیرین‌کن بود و عرض جغرافیایی ۳۰ درجه در نظر گرفته شده بود. این تحلیل برای ۳ روز از سال، در فصل‌های بهار، تابستان و زمستان و با زاویه سرپوش ثابت ۲۰ درجه و زاویه بازتاب‌دهنده مناسب هر فصل انجام شد. نتایج به این صورت بود که برای آب‌شیرین‌کن دارای بازتاب‌دهنده، بهره‌وری روزانه نسبت به آب‌شیرین‌کن ساده به ترتیب ۴۱، ۲۵ و ۶۲ درصد بیشتر بود.



شکل ۲۹: آب‌شیرین‌کن معمولی با بازتاب‌دهنده‌های داخلی و خارجی در پایین [۳۴].

۴ پژوهش‌ها در رابطه با تأثیر بازتاب‌دهنده‌ها و دیگر عوامل

سگورا و همکاران [۳۵] در سال ۲۰۱۶ در تحقیقی به بررسی خواص انواع بازتاب‌دهنده‌ها پرداختند. آزمایش بر روی انواع بازتاب‌دهنده‌ها در فضای آزاد و فضای بسته شبیه‌سازی انجام شد تا بتوان به عمر بازتاب‌دهنده و ویژگی‌هایی مانند روند تخریب، ظاهر آن و خواص نوری و چشمی، دست یافت. سه بازتاب‌دهنده اصلی شیشه، آلومینیوم و ترکیب با نقره بررسی شدند و دریافتند که بازتاب‌دهنده شیشه‌ای طول عمر بیشتری دارد. اومارا و همکاران [۲] در سال ۲۰۱۷ مروری بر روی انواع آب‌شیرین‌کن‌های خورشیدی همراه با بازتاب‌دهنده‌ها و دسته‌بندی آن‌ها انجام دادند. آب‌شیرین‌کن‌ها شامل بازتاب‌دهنده داخلی، خارجی یا هر دو نوع هستند. بازتاب‌دهنده‌های خارجی نیز به دو دسته بازتاب‌دهنده در بالا و پایین تقسیم می‌شوند. آن‌ها دریافتند نصب بازتاب‌دهنده‌ها در محل‌هایی که تابش خورشید ضعیف یا دمای محیط پایین است، مؤثرتر می‌باشد. همچنین به منظور عملکرد بهتر، باید زاویه بازتاب‌دهنده متناسب با فصل تغییر کند. گارسیا و همکاران [۳۶] در سال ۲۰۱۷ در تحقیقی به گردآوری آزمایش‌های انجام شده درباره وسایل و روش‌های اندازه‌گیری نور بازتاب‌شده از بازتاب‌دهنده‌ها پرداختند. توصیف ویژگی‌های نوری مواد بازتاب‌دهنده‌های خورشیدی بسیار چالش برانگیز است و اگرچه وسایل تجاری برای اندازه‌گیری بازتاب وجود دارد، این وسایل برای کاربردهای دیگر ساخته شده‌اند و گاهی به نیازهای صنعت حرارتی خورشیدی پاسخ نمی‌دهند. در تحقیق آن‌ها به روش‌های جایگزین برای محاسبه بازتاب مواد، مدل‌های بازتابی جهت تخمین اطلاعات مورد نیاز و تحقیق‌های حال حاضر در زمینه نمونه‌های اولیه بازتاب‌سنج‌ها پرداخته شده است.

کریشنالال و همکاران [۳۷] در سال ۲۰۱۷ طی یک بررسی جامع از تأثیر پارامترهای مختلف بر عملکرد آب‌شیرین‌کن خورشیدی دریافتند که استفاده از آینه‌ها برای افزایش میزان تبخیر و همچنین متمرکز کردن پرتو خورشیدی به آب‌شیرین‌کن خورشیدی روش مناسبی می‌باشد.

لوخانده و شایخ [۳۸] در سال ۲۰۱۸ طی پژوهشی عملکرد آب‌شیرین‌کن دو سطح شیب‌دار تک حوضچه‌ای با و بدون استفاده از مواد تغییر فاز دهنده، اثر بازتاب‌دهنده‌ها و فین‌ها را بررسی کردند. آزمایش آن‌ها طی ۱۴ روز در ماه می ۲۰۱۸ انجام شد. نتایج به این صورت بود که بازده آب‌شیرین‌کن ساده ۱۴/۳۶ درصد بود و با استفاده از فقط پوشش سیاه به ۱۷/۱۷ درصد رسید. همچنین با استفاده از پوشش سیاه و بازتاب‌دهنده‌ها و مواد تغییر فازدهنده به ترتیب افزایش ۲۴/۴۳ و ۴۰/۵۳ درصدی در عملکرد را شاهد بودند.

موفتاح و همکاران [۳۹] به بررسی افزایش بهره‌وری آب‌شیرین‌کن خورشیدی پله‌دار با استفاده از بازتاب‌دهنده‌های داخلی و خارجی، مواد جاذب و کندانسورهای خارجی، پرداختند. با وجود این بهینه‌سازی‌ها، بهره‌وری آب‌شیرین‌کن خورشیدی از ۶/۹ به ۸/۹ کیلوگرم بر متر مربع رسید و ۲۹ درصد افزایش داشت.

ساهو و همکاران [۴۰] با انجام آزمایشی بر روی آب‌شیرین‌کن خورشیدی معمولی که با استفاده از بازتاب‌دهنده‌ها، پارچه کنفی و زاویه شیشه اصلاح شده بود، و مقایسه نتایج با آب‌شیرین‌کن معمولی دریافتند که با ترکیب همه این اصلاحات، تولید آب و بازده آب‌شیرین‌کن اصلاح‌شده به ترتیب ۷۲/۱۸ و ۴۱/۵ درصد از نوع معمولی خود بیشتر است.

کتابچی و همکاران [۴۱] طی آزمایشی بر روی آب‌شیرین‌کن شیب‌دار با اعمال تغییراتی نظیر نصب میله‌های زاویه‌دار روی حوضچه، ساخت حوضچه با زاویه شیب قابل تنظیم، نصب بازتاب‌دهنده خارجی مسطح در بالا و پایین و سیستم خنک‌کننده روی پوشش شیشه‌ای در شرایط آب و هوایی تهران در طول تابستان، زمستان و بهار انجام شد، دریافتند در صورتی‌که تنها یک تغییر اعمال شود عبور سیستم خنک‌کننده روی پوشش شیشه‌ای بیشترین تأثیر در افزایش میزان بهره‌وری را در بهار دارد، و همچنین استفاده از بازتاب‌دهنده در زاویه شیب بهینه، بهترین نتایج را در زمستان خواهد داشت. همچنین حداکثر میزان بهره‌وری ۴/۲ کیلوگرم بر مترمربع برای حوضچه شیب‌دار با زاویه ۲۵ درجه همراه با بازتاب‌دهنده در بالا و پایین به ترتیب در زاویه ۱۰ و ۴۵ درجه می‌باشد. علاوه بر این، بازده آب‌شیرین‌کن ۳۶/۷ درصد به دست آمد که ۱۴/۲ درصد بالاتر از آب‌شیرین‌کن در زاویه بهینه ۲۵ درجه بدون بازتاب‌دهنده و آب سرد روی پوشش شیشه‌ای تحت همان شرایط آب و هوایی است.

جوپارتیک و ولمورگان [۴۲] طی آزمایشی با استفاده از مواد ذخیره‌ساز گرما در حوضچه یا با تمرکز تابش خورشیدی روی آب‌شیرین‌کن به کمک بازتاب‌دهنده خارجی تلاش کردند که میزان بهره‌وری آب‌شیرین‌کن را افزایش دهند. آن‌ها برای این مطالعه، سه عدد آب‌شیرین‌کن خورشیدی به صورت معمولی، با مواد ذخیره‌ساز گرما، با بازتاب‌دهنده خارجی با ابعاد یکسان را مورد بررسی قرار دادند و دریافتند که میزان بهره‌وری آب‌شیرین‌کن با مواد ذخیره ساز ۲۳/۰۸ درصد بالاتر از آب‌شیرین‌کن معمولی بوده است در حالی‌که در آب‌شیرین‌کن همراه بازتاب‌دهنده‌ها ۶۲/۹۷ درصد بوده است.

۵ تحلیل هزینه پژوهش عصاری و همکاران [۲۴]

استفاده از آب‌شیرین‌کن خورشیدی باید معقول باشد، یعنی نه تنها از نظر عملکرد باید بالا باشد، بلکه از نظر هزینه نیز باید مقرون به‌صرفه باشد. هزینه تولید آب به عوامل مختلفی از جمله هزینه‌های نگهداری، سیستم‌های کنترل و مصرف انرژی بستگی دارد. هزینه تولید آب شیرین را می‌توان از رابطه زیر به دست آورد:

$$C = \frac{10I(\overline{\mathrm{LA}} + \overline{\mathrm{MR}} + \overline{\mathrm{TI}}) + 1000(K_C + s)}{A(Y_D - Y_R)} \qquad (1)$$

که در رابطه بالا I کل سرمایه‌گذاری، $\overline{\mathrm{LA}}$ اهداف سالانه و میزان استهلاک، $\overline{\mathrm{MR}}$ نگهداری سالانه و تعمیر کار و مواد، $\overline{\mathrm{TI}}$ مالیات سالانه و هزینه‌های بیمه، K_C دستمزد عملیات و کارگر، s مجموع مقدار ثابت هزینه تامین آب شور، Y_D عملکرد واحد سالانه آب تقطیر شده ($\mathrm{Lm^{-2}}$)، Y_R عملکرد واحد سالانه آب باران جمع‌آوری شده ($\mathrm{Lm^{-2}}$) و A سطح مقطع آب‌شیرین‌کن خورشیدی ($\mathrm{m^2}$) است. از آن‌جایی‌که آب‌شیرین‌کن خورشیدی در حالت چرخان نیاز به هزینه اضافی برای چرخش و کنترل جهت کلکتور دارد، بنابراین باید آن‌ها را در نظر گرفت. از این رو، باید عبارت C_{ext} به معادله (۱) اضافه شود.

بنابراین خواهیم داشت:

$$C = \frac{۱۰I(\overline{\mathrm{LA}} + \overline{\mathrm{MR}} + \overline{\mathrm{TI}}) + ۱۰۰۰(K_C + s)}{A(Y_D - Y_R)} + C_{\mathrm{ext}} \quad (۲)$$

ولیکن از آنجایی‌که در این تحقیق از سیستم دستی به طور منظم برای چرخش زاویه‌های بازتاب‌دهنده استفاده شده است بنابراین عبارت را می‌توان از رابطه (۲) حذف کرد. در نتیجه هزینه حالت چرخان نسبت به حالت ثابت به صورت زیر می‌باشد:

$$\frac{C_R}{C_F} = \frac{\frac{۱۰I_R(\overline{\mathrm{LA}}_R + \overline{\mathrm{MR}}_R + \overline{\mathrm{TI}}_R) + ۱۰۰۰(K_{CR} + s_{CR})}{A_R(Y_{DR} - Y_{RR})}}{\frac{۱۰I_F(\overline{\mathrm{LA}}_F + \overline{\mathrm{MR}}_F + \overline{\mathrm{TI}}_F) + ۱۰۰۰(K_{CF} + s_{CF})}{A(Y_{DF} - Y_{RF})}} \quad (۳)$$

$$\frac{\frac{۱}{Y_{DR}}}{\frac{۱}{Y_{DF}}} = \frac{Y_{DF}}{Y_{DR}}, \quad (۴)$$

$$Y_{DR} > Y_{DF} \Rightarrow C_R > C_F \quad (۵)$$

از آنجایی که، تمام عبارات موجود در صورت کسر هزینه‌ها هستند که برای هر دو حالت در این مطالعه ثابت هستند و همچنین مساحت آب‌شیرین‌کن در هر دو حالت یکسان است، بدیهی است که عبارت Y_D بین دو حالت متفاوت است. مقدار آب تقطیرشده در حالت چرخان بیش از حالت ثابت است. بنابراین در این مطالعه، هزینه تولید آب برای حالت چرخان کمتر از حالت ثابت است.

۶ نتایج و پیشنهادها

اگر چه هنوز مشکلات و چالش‌هایی در زمینه طراحی آب‌شیرین‌کن‌های خورشیدی وجود دارد که به‌سادگی قابل تجزیه و تحلیل نمی‌باشند، در این مقاله به بررسی و تحولات آب‌شیرین‌کن‌های خورشیدی همراه با بازتاب‌دهنده‌ها پرداخته شده است. نتایج حاصل از کارهای قبلی انجام شده به وضوح نشان می‌دهد که بهبود عملکرد آب‌شیرین‌کن‌های خورشیدی همراه بازتاب‌دهنده به دلیل شرایط مختلف آزمایشگاهی برای تکنیک‌های مختلف، بسیار متفاوت است. این مقاله مروری بیانگر نتایج خاص پژوهش‌هایی است که توسط افرادی در زمینه آب‌شیرین‌کن‌های خورشیدی همراه با بازتاب‌دهنده‌ها انجام شده است که به هموار کردن راه پژوهشگران برای درک طرح‌های قبلی و ساختن طرح‌های جدید با پارامترهای طراحی بهینه جهت افزایش میزان تقطیر خروجی بیان شده است. با توجه به تحقیقات و مطالعات انجام شده به این نتیجه خواهیم رسید که بازتاب‌دهنده‌ها جهت بهبود عملکرد آب‌شیرین‌کن خورشیدی استفاده می‌شوند. براساس مباحث فوق نتیجه‌های زیر استنباط می‌شوند:

- بازتاب‌دهنده‌ها به منظور افزایش میزان تولید آب روزانه در آب‌شیرین‌کن خورشیدی مورد استفاده قرار می‌گیرند.
- بازتاب‌دهنده‌ها باعث کاهش اتلاف حرارتی آب‌شیرین‌کن می‌شوند.
- بازتاب‌دهنده شیشه‌ای طول عمر بیشتری دارد.
- نصب بازتاب‌دهنده‌ها، در مکان‌هایی که تابش خورشیدی ضعیف یا دمای محیط نسبتاً کم است، عملی‌تر است.
- زاویه نصب بازتاب‌دهنده‌های خارجی باید متناسب با فصل‌ها تغییر کند تا عملکرد را در تمام سال افزایش دهد.
- بازتاب‌دهنده خارجی براساس ماه باید رو به عقب یا جلو چرخانده شود.
- عملکرد روزانه را می‌توان با تنظیم زاویه آب‌شیرین‌کن و بازتاب‌دهنده‌ها در هر فصل افزایش داد.
- مزایای استفاده از هر دو نوع بازتاب‌دهنده داخلی و خارجی در زمستان بیشتر از تابستان است.
- در آب‌شیرین‌کن با زاویه پوشش شیشه‌ای بزرگتر، اثرات بازتاب‌دهنده خارجی در بالا کمتر خواهد بود.
- بازتاب‌دهنده خارجی مسطح عمودی برای آب‌شیرین‌کن شیب دار با روکش متخلخل اثر کمتری نسبت به آب‌شیرین‌کن معمولی دارد.

یکی از راه‌های مناسب افزایش عملکرد، استفاده از بازتاب‌دهنده‌ها است و باید تأثیر منظم زاویه بازتاب‌دهنده‌ها و زاویه آب‌شیرین‌کن نسبت به جنوب به منظور بازتاب نور بیشتر به صفحه جاذب آب‌شیرین‌کن مورد بررسی قرار گیرد.

جدول ۱: مقایسه آب‌شیرین‌کن‌های خورشیدی مختلف با بازتاب‌دهنده.

شماره	دسته‌بندی	نویسندگان	محل (عرض جغرافیایی)	ماده بازتاب‌دهنده	عملکرد روزانه ($kg/m^2/d$)؛ بهبود؛ بازده	اثر بازتاب‌دهنده‌ها	مشاهدات در آزمایش
۱ ـ بازتاب‌دهنده‌های داخلی							
۱		ال سیفی و متیاس [۷]	قاهره، مصر (۲۵° N)	آینه	۷/۲ – ۳/۰۵؛ ۸۲/۶٪ در زمستان و ۲۲٪ در تابستان؛ –	۲۲٪؛ ۸۲/۶٪	اثر سرمایش پشت پوشش شیشه‌ای، به علت اختلاف دمای بالاتر در مقایسه با نوع معمولی
۲	آب‌شیرین‌کن معمولی	میناسیان و همکاران [۸]	بغداد، عراق (۳۳/۳۳° N)	فولاد ضد زنگ	۶ – ۱/۲۳؛ ۳۵٪ – ۲۵٪؛ –	۲۵ – ۳۵٪	تولید آب‌شیرین‌کن حوضچه‌ای معمولی با استفاده از یک بازتاب‌دهنده پارابولیک استوانه‌ای از جنس فولاد ضد زنگ افزایش یافت.
۳		ال هایک و بادران [۹]	عمان، اردن (۳۲° N)	آینه	–؛ ۲۰٪؛ ۱۱٪	۲۰٪	عملکرد آب‌شیرین‌کن نشان می‌دهد که دمای سطح آب با کاهش عمق آب و افزودن رنگ افزایش یافته است.

جدول ۲: ادامه جدول ۱.

۴		عبدالله و همکاران [۱۰]	عمان، اردن (۳۲° N)	آینه	۱/۶۴٪؛ ۳۰٪؛ –	۳۰٪	نصب آینه‌های داخلی روی دیواره‌های جانبی آب‌شیرین‌کن عملکرد بهتری دارد، زیرا این آینه‌ها تابش خورشیدی را روی حوضچه متمرکز می‌کنند.
۵		استهبناتی و همکاران [۱۱]	ایران (۳۰° N)	آینه	۳۴٪؛ –؛ –	۳۴٪	نصب بازتاب‌دهنده‌های داخلی روی تمام دیواره‌ها در مقایسه با آب‌شیرین‌کن بدون بازتاب‌دهنده داخلی میزان تولید را در زمستان، تابستان و کل سال به ترتیب ۶۵٪، ۲۲٪ و ۳۴٪ افزایش می‌دهد.
۶	آب‌شیرین‌کن پلکانی	اومارا و همکاران [۱۲]	مصر (۳۱/۷° N)	آینه	۶/۳۵٪؛ ۷۵٪؛ ۵۶٪	۱۸٪	تولید آب‌شیرین‌کن پلکانی با و بدون استفاده از بازتاب‌دهنده داخلی نسبت به آب‌شیرین‌کن معمولی به ترتیب ۷۵٪ و ۵۷٪ بالاتر بود.
۲ــ بازتاب‌دهنده‌های خارجی							
۷	آب‌شیرین‌کن شیب‌دار با پارچه متخلخل	تاناکا و ناکاتاک [۱۳]	کوروموه، ژاپن (۳۳° N)	آینه	–؛ ۹٪؛ –	۹٪	متوسط مقدار روزانه تقطیر برای چهار روز (بهار، تابستان، پاییز و زمستان)، بیشترین میزان عملکرد برای آب‌شیرین‌کن همراه بازتاب‌دهنده در زاویه ۲۰ درجه، و برای آب‌شیرین‌کن بدون بازتاب‌دهنده در ۳۰ درجه می‌باشد.
۸		تاناکا و ناکاتاک [۱۴]	کوروموه، ژاپن (۳۳°N)	آینه	۴/۲؛ ۱۵٪؛ –	۱۵٪	بازتاب‌دهنده شیب‌دار می‌تواند میزان تقطیر را در هر زاویه شیب آب‌شیرین‌کن افزایش دهد، که شیب بازتاب‌دهنده باید ۱۵ درجه نسبت به عمود باشد.
۹		تاناکا [۱۵]	کوروموه، ژاپن (۳۳° N)	آینه	–؛ ۲۱٪ در طول سال؛ –	۲۱٪	میزان تقطیر با شیب بازتاب‌دهنده رو به عقب در زمستان و رو به جلو در تابستان افزایش می‌یابد. همچنین زاویه شیب بازتاب‌دهنده باید در طول سال کمتر از ۲۵ درجه باشد.
۱۰	آب‌شیرین‌کن معمولی کوپل شده با بازتاب‌دهنده از جنس فولاد ضد زنگ و کندانسور خارجی	ال باهی و اینان [۱۶]	آنکارا، ترکیه (۳۹/۶° N)	فولاد ضد زنگ	–	–	بازده آب شیرین کن تا حدود ۷۰٪ بهبود یافت و آب شیرین تولیدی به $7\,l/m^2 \cdot d$ رسید.
۱۱	آب‌شیرین‌کن معمولی	شنگومان و همکاران [۱۷]	هند (۱۱/۳۰° N)	آینه	۴/۲؛ –؛ ۴۵٪	–	بازده آب‌شیرین‌کن ۳۵٪ بود که با استفاده از آینه‌ها به ۴۵٪ رسید.
۱۲	آب‌شیرین‌کن V شکل	سلوا کومار و همکاران [۱۸]	هند (۲۲° N)	آینه	۲/۷؛ ۷/۳؛ ۱۲	۷/۳٪	مزیت اصلی آب‌شیرین‌کن V شکل، جمع‌آوری آب در مرکز است و تمام آب تقطیرشده به راحتی به محل خروج هدایت می‌شود.

جدول ۳: ادامه جدول ۲.

بازتاب‌دهنده خارجی در پایین							
۱۳	آب‌شیرین‌کن دوطرفه تک حوضچه‌ای	سبای [۲۰]	تانتا، مصر (۳۱° N)	آینه	؛ – ؛ ۱۹٪ در تابستان و ۳۰٪ در زمستان؛ –	۱۹٪ در تابستان و ۳۰٪ در زمستان	میزان تولید آب‌شیرین‌کن دو طرفه تک حوضچه‌ای با استفاده از بازتاب‌دهنده‌ها به علت افزایش دمای آب حوضچه و اختلاف دمای آب و شیشه بالاتر از بدون بازتاب‌دهنده بود.
۱۴	آب‌شیرین‌کن شیب‌دار با پارچه متخلخل	تاناکا [۲۱]	کورومه، ژاپن (۳۰° N)	آینه	– ؛ ۱۳٪ ؛ –	۱۳٪	زمانی که بازتاب‌دهنده مسطح در زاویه شیب ۲۰ درجه در زمستان، ۳۰ و ۵۰ درجه در بهار و تابستان باشد میزان تقطیر بیشترین مقدار را دارد.
طرح‌های مختلف							
۱۵	آب‌شیرین‌کن جاذب معکوس	دیو و همکاران [۲۲]	مسقط، عمان (۲۳/۳۷° N)	فولاد	۶/۳ ؛ ۲۰۰٪ ؛ –	۲۰۰٪	حداکثر عمق آب بهینه شده را می‌توان ۰/۰۳ متر برای آب‌شیرین‌کن با جاذب معکوس در نظر گرفت.
۱۶	آب‌شیرین‌کن دو طرفه	الگارنی [۲۳]	عربستان سعودی (۲۶° N)	آینه	۴/۰۳ ؛ ۸۲٪ در زمستان	۸۲٪ در زمستان	۴ آینه شیب‌دار در اطراف آب‌شیرین‌کن قرار گرفتند که منعکس‌کننده تابش بیشتر خورشید بر آب‌شیرین‌کن باشند.
۱۷		عصاری و همکاران [۲۴]	دزفول، ایران (۳۲/۴۲° N)	آینه			۳ آینه با زاویه شیب قابل تغییر در زیر حوضچه قرار گرفتند و بهره‌وری آب‌شیرین‌کن دو حالت چرخان و ثابت در دو روز با هوای نسبتاً ابری به ترتیب ۴۷ و ۵۳ درصد نسبت به هوای آفتابی کاهش داشته است.
بازتاب‌دهنده‌های داخلی و خارجی							
۱۸	آب‌شیرین‌کن پلکانی	اوامارا و همکاران [۲۵]	مصر (۳۱/۷° N)	آینه	۸/۱۰ ؛ ۱۲۵٪ ؛ ~ ۶۱	۶۸٪	تولید آب‌شیرین‌کن پلکانی با بازتاب‌دهنده خارجی در بالا و پایین به ترتیب ۳۳٪ و ۴۱٪ بیشتر از آب‌شیرین‌کن معمولی است.
۱۹	آب‌شیرین‌کن پلکانی	ال سامادونی و همکاران [۲۶]	مصر (۳۱/۷° N)	آینه	۷/۴ ؛ ۱۰۸٪ ؛ ~ ۵۹٪	۷۷٪	تولید آب‌شیرین‌کن پلکانی با هر دو بازتاب‌دهنده و یک کندانسور حدود ۱۶۵٪ بالاتر از آب‌شیرین‌کن معمولی است. بازده روزانه حدود ۶۶٪ است.
۲۰	آب‌شیرین‌کن معمولی (بازتاب‌دهنده داخلی و خارجی در بالا)	تاناکا [۲۷]	کورومه، ژاپن (۳۳° N)	آینه	۱/۵۸ ؛ ۷۵٪ ؛ –	۷۵٪	یک اصلاح بسیار ساده با استفاده از بازتاب‌دهنده‌های داخلی و خارجی تولید روزانه را در آب‌شیرین‌کن حوضچه‌ای در زمستان حدود ۷۰ تا ۱۰۰٪ افزایش می‌دهد.
۲۱		تاناکا و همکاران [۲۸]	کورومه، ژاپن (۳۳° N)	آینه	۷ ~ ؛ ۴۸٪ ؛ –	۴۸٪	افزایش میزان تولید با استفاده از بازتاب‌دهنده‌های داخلی و خارجی ۴۸٪ است در صورتی که با اضافه کردن فقط بازتاب‌دهنده داخلی ۲۲٪ می‌باشد.
۲۲		تاناکا [۲۹]	کورومه، ژاپن (۳۳° N)	آینه	– ؛ ۱۲٪ ؛ –	۱۲٪	فایده استفاده از هر دو بازتاب‌دهنده داخلی و خارجی در تابستان کمتر از زمستان است.

جدول ۴: ادامه جدول ۳.

۲۳		تاناکا [۳۰]	کورومه، ژاپن (۳۳° N)	آینه	– ٪؛ ۴۳٪؛ –	۴۳٪	مقدار روزانه تقطیر می‌تواند با تغییر زاویه بازتاب‌دهنده خارجی رو به عقب در تابستان و رو به جلو در سایر فصول افزایش یابد. زاویه شیب بازتاب‌دهنده خارجی باید کمتر از ۲۵ درجه در طول سال باشد.
۲۴		خلیفه و ابراهیم [۳۱]	بغداد، عراق (۳۳/۳° N)	آینه	– ٪؛ ۳۲٪ در طول سال؛ –	۳۲٪	متوسط عملکرد روزانه با استفاده از بازتاب‌دهنده داخلی و یا خارجی به جز در تابستان افزایش می‌یابد.
۲۵		خلیفه و ابراهیم [۳۲]	بغداد، عراق (۳۳/۳° N)	آینه	– ٪؛ ۱۴۵٪ در زمستان؛ –	۱۴۵٪	عملکرد روزانه آب‌شیرین‌کن بدون بازتاب‌دهنده در هر زاویه پوشش شیشه‌ای تقریباً یکسان است
۲۶		بوبکری و چاکر [۳۳]	قسطنطنیه، الجزایر (۳۶° N)	آینه	۳/۵٪؛ ۷۲/۸٪ در زمستان؛ –	۷۲/۸٪ در زمستان	تولید شبانه آب‌شیرین‌کن زمانی‌که آب‌شیرین‌کن با مخزن ذخیره‌سازی خارج از ساعت آفتابی کوپل می‌شود افزایش می‌یابد.
۲۷	آب‌شیرین‌کن معمولی (بازتاب‌دهنده داخلی و خارجی در پایین)	تاناکا [۳۴]	کورومه، ژاپن (۳۳° N)	آینه	– ٪؛ ۴۲٪ در طول سال؛ –	۴۲٪	تولید آب‌شیرین‌کن با بازتاب‌دهنده‌های داخلی و خارجی در بهار، تابستان و زمستان به ترتیب ۴۱، ۲۵ و ۶۲٪ بیشتر از آب‌شیرین‌کن معمولی است.

مراجع

[1] Tiwari, GN and Sahota, Lovedeep. *Advanced Solar-Distillation Systems: Basic Principles, Thermal Modeling, and Its Application*. Springer, 2017.

[2] Omara, ZM, Kabeel, AE, and Abdullah, AS. A review of solar still performance with reflectors. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 68:638–649, 2017.

[3] Velmurugan, V, Gopalakrishnan, M, Raghu, R, and Srithar, K. Single basin solar still with fin for enhancing productivity. *Energy Conversion and Management*, 49(10):2602–2608, 2008.

[4] Belessiotis, Vassilis, Kalogirou, Soteris, and Delyannis, Emmy. *Thermal solar desalination: Methods and systems*. Elsevier, 2016.

[5] Selvaraj, Karthikeyan and Natarajan, Alagumurthi. Factors influencing the performance and productivity of solar stills-a review. *Desalination*, 435:181–187, 2018.

[6] Tamini, A. Performance of a solar still with reflectors and black dye. *Solar & Wind Technology*, 4(4):443–446, 1987.

[7] El-Swify, ME and Metias, MZ. Performance of double exposure solar still. *Renewable Energy*, 26(4):531–547, 2002.

[8] Minasian, AN, Al-Karaghouli, AA, and Habeeb, SK. Utilization of a cylindrical parabolic reflector for desalination of saline water. *Energy conversion and management*, 38(7):701–704, 1997.

[9] Al-Hayeka, Imad and Badran, Omar O. The effect of using different designs of solar stills on water distillation. *Desalination*, 169(2):121–127, 2004.

[10] Abdallah, Salah, Badran, Omar, and Abu-Khader, Mazen M. Performance evaluation of a modified design of a single slope solar still. *Desalination*, 219(1-3):222–230, 2008.

[11] Estahbanati, MR Karimi, Ahsan, Amimul, Feilizadeh, Mehrzad, Jafarpur, Khosrow, Ashrafmansouri, Seyedeh-Saba, and Feilizadeh, Mansoor. Theoretical and experimental investigation on internal reflectors in a single-slope solar still. *Applied Energy*, 165:537–547, 2016.

[12] Omara, ZM, Kabeel, AE, and Younes, MM. Enhancing the stepped solar still performance using internal reflectors. *Desalination*, 314:67–72, 2013.

[13] Tanaka, Hiroshi and Nakatake, Yasuhito. Improvement of the tilted wick solar still by using a flat plate reflector. *Desalination*, 216(1-3):139–146, 2007.

[14] Tanaka, Hiroshi and Nakatake, Yasuhito. Increase in distillate productivity by inclining the flat plate external reflector of a tilted-wick solar still in winter. *Solar Energy*, 83(6):785–789, 2009.

[15] Tanaka, Hiroshi. Tilted wick solar still with external flat plate reflector: optimum inclination of still and reflector. *Desalination*, 249(1):411–415, 2009.

[16] El-Bahi, A and Inan, D. A solar still with minimum inclination, coupled to an outside condenser. *Desalination*, 123(1):79–83, 1999.

[17] Shanmugan, S, Rajamohan, P, and Mutharasu, D. Performance study on an acrylic mirror boosted solar distillation unit utilizing seawater. *Desalination*, 230(1-3):281–287, 2008.

[18] Kumar, B Selva, Kumar, Sanjay, and Jayaprakash, R. Performance analysis of a "v" type solar still using a charcoal absorber and a boosting mirror. *Desalination*, 229(1-3):217–230, 2008.

[19] Huang, Cheng-Hung and Chang, Ting-Rui. Determination of optimal inclination function for external reflector of basin type still for maximum distillate productivity. *Energy*, 141:1728–1736, 2017.

[20] El-Sebaii, AA. Effect of wind speed on some designs of solar stills. *Energy Conversion and Management*, 41(6):523–538, 2000.

[21] Tanaka, Hiroshi. Tilted wick solar still with flat plate bottom reflector. *Desalination*, 273(2-3):405–413, 2011.

[22] Dev, Rahul, Abdul-Wahab, Sabah A, and Tiwari, GN. Performance study of the inverted absorber solar still with water depth and total dissolved solid. *Applied energy*, 88(1):252–264, 2011.

[23] Al-Garni, Ahmed Z. Effect of external reflectors on the productivity of a solar still during winter. *Journal of Energy Engineering*, 140(1):04013002, 2013.

[24] Assari, MR, Basirat Tabrizi, H, Parvar, M, and Forooghi Nia, M. Performance of rotating solar still with rotating external reflectors (research note). *International Journal of Engineering*, 32(6):884–892, 2019.

[25] Omara, ZM, Kabeel, AE, and Younes, MM. Enhancing the stepped solar still performance using internal and external reflectors. *Energy conversion and management*, 78:876–881, 2014.

[26] El-Samadony, YAF, Abdullah, AS, and Omara, ZM. Experimental study of stepped solar still integrated with reflectors and external condenser. *Experimental Heat Transfer*, 28(4):392–404, 2015.

[27] Tanaka, Hiroshi. Experimental study of a basin type solar still with internal and external reflectors in winter. *Desalination*, 249(1):130–134, 2009.

[28] Tanaka, Hiroshi and Nakatake, Yasuhito. Theoretical analysis of a basin type solar still with internal and external reflectors. *Desalination*, 197(1-3):205–216, 2006.

[29] Tanaka, Hiroshi. Effect of inclination of external reflector of basin type still in summer. *Desalination*, 242(1-3):205–214, 2009.

[30] Tanaka, Hiroshi. Monthly optimum inclination of glass cover and external reflector of a basin type solar still with internal and external reflector. *Solar Energy*, 84(11):1959–1966, 2010.

[31] Khalifa, Abdul Jabbar N and Ibrahim, Hussein A. Effect of inclination of the external reflector on the performance of a basin type solar still at various seasons. *Energy for Sustainable Development*, 13(4):244–249, 2009.

[32] Khalifa, Abdul Jabbar N and Ibrahim, Hussein A. Effect of inclination of the external reflector of simple solar still in winter: An experimental investigation for different cover angles. *Desalination*, 264(1-2):129–133, 2010.

[33] Boubekri, M and Chaker, A. Yield of an improved solar still: numerical approach. *Energy Procedia*, 6:610–617, 2011.

[34] Tanaka, Hiroshi. A theoretical analysis of basin type solar still with flat plate external bottom reflector. *Desalination*, 279(1-3):243–251, 2011.

[35] García-Segura, A, Fernández-García, A, Ariza, MJ, Sutter, F, and Valenzuela, L. Durability studies of solar reflectors: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 62:453–467, 2016.

[36] Fernández-García, Aránzazu, Sutter, Florian, Martínez-Arcos, Lucía, Sansom, Christopher, Wolfertstetter, Fabian, and Delord, Christine. Equipment and methods for measuring reflectance of concentrating solar reflector materials. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 167:28–52, 2017.

[37] krishna lal, Radha, Mishra, Shubham, and andHarshit Dwivedi, J.P.Dwivedi. A comprehensive study of the different parameters of solar still. materials today: Proceedings. *Materials today*, 167:3572–3580, 2017.

[38] Lokhande, Akash A and Shaikh, SM. Performance investigation of single basin double slope solar still with and without phase change material and effect of reflector and fins. 2018.

[39] Muftah, Ali F, Sopian, Kamaruzzaman, and Alghoul, MA. Performance of basin type stepped solar still enhanced with superior design concepts. *Desalination*, 435:198–209, 2018.

[40] Sahoo, Bibhuti and Subudhi, Chandana. Performance enhancement of solar still by using reflectors-jute cloth-improved glass angle. *The Journal of Engineering Research [TJER]*, 16(1):1–10, 2019.

[41] Ketabchi, Faezeh, Gorjian, Shiva, Sabzehparvar, Saba, Shadram, Zahra, Ghoreishi, Mahshid Sadat, and Rahimzadeh, Hassan. Experimental performance evaluation of a modified solar still integrated with a cooling system and external flat-plate reflectors. *Solar Energy*, 187:137–146, 2019.

[42] Gnanaraj, S Joe Patrick and Velmurugan, V. Experimental investigation on the performance of modified single basin double slope solar stills. *International Journal of Ambient Energy*, pp. 1–10, 2019.