



مروری بر عملکرد آب گرم کن خورشیدی صفحه تخت

محمدامین شجاعی پناه^۱، مصطفی کیانی ده کیانی^{۲*}، محسن سلیمانی^۳

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، مهندسی مکانیک بیوسیستم- انرژی تجدیدپذیر، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز،

اهواز، ایران

Mohammadaminshojaei78@gmail.com

۲- دانشیار، مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران

Mostafa-kyani@yahoo.com

۳- دانشیار، مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران

m.soleymani@scu.ac.ir

خلاصه

انرژی خورشیدی به عنوان یک منبع انرژی پاک و تجدیدپذیر، با توجه به افزایش نگرانی‌های زیست‌محیطی و افزایش قیمت سوخت‌های فسیلی، جایگاه ویژه‌ای در جهان امروز پیدا کرده است. این تحقیق بررسی کرده است که استفاده از آبگرم‌کن‌های خورشیدی به عنوان راهکاری اقتصادی و پایدار برای استفاده از انرژی پاک و موثر مطرح است. پژوهش‌های اخیر نشان داده‌اند که کارایی آبگرم‌کن‌های خورشیدی به طور چشم‌گیری بهبود یافته است، و این فناوری به عنوان راهکاری موثر برای کاهش وابستگی به منابع انرژی سنتی و کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای معرفی شده است. مطالعات بر روی ساختار و عملکرد آبگرم‌کن‌های خورشیدی، اهمیت زیادی دارد. از جمله کلک‌تورهای صفحه تخت که به دلیل سادگی و کارایی بالا، به عنوان یکی از انتخاب‌های اصلی در این زمینه مطرح شده‌اند. با توجه به نتایج مطالعات پیشین، استفاده از انرژی خورشیدی در بخش کشاورزی می‌تواند به کاهش هزینه‌های انرژی، بهبود محیط زیست و افزایش بهره‌وری منجر شود. این راه حل نه تنها از نظر اقتصادی جذاب است بلکه از نظر حفظ محیط زیست نیز اثرگذار است.

کلمات کلیدی: انرژی خورشیدی، آبگرم‌کن خورشیدی، کلک‌تور، انرژی تجدیدپذیر

۱- مقدمه

نیاز به انرژی در سطح جهان به طور مداوم در حال افزایش است. این افزایش تقاضا برای انرژی منجر به افزایش استفاده از سوخت‌های فسیلی شده است. کشورهای در حال توسعه و توسعه یافته به دلیل تأمین منابع انرژی، نگرانی‌های زیست‌محیطی، افزایش قیمت سوخت‌های فسیلی و پیشرفت تکنولوژی، توجه بیشتری به انرژی‌های تجدیدپذیر دارند. انرژی‌های تجدیدپذیر مانند خورشید، باد و انرژی زمین گرمایی، زیست‌محیط را آلوده نمی‌کنند و با محیط زیست سازگار

هستند. تحقیقات اخیر در زمینه منابع انرژی تجدیدپذیر به طور گسترده افزایش یافته است. انرژی خورشیدی به دلیل پتانسیل بالای خود، اهمیت بیشتری پیدا کرده است [1]. استفاده از انرژی خورشیدی به دلیل افزایش قیمت سوخت های فسیلی، نگرانی جهانی از کمبود منابع انرژی فسیلی و کاهش آلودگی های زیست محیطی، در حال افزایش است [2]. گرم کردن آب با استفاده از جمع کننده و آبگرم کن های خورشیدی، به عنوان یکی از روش های آسان و اقتصادی شناخته شده برای استفاده از انرژی پاک مطرح می شود. آبگرم کن خورشیدی انرژی تابش خورشید را جذب کرده و به انرژی حرارتی برای مصارف مختلف تبدیل می کند [3]. این انرژی حرارتی سپس به سیال منتقل می شود که می تواند هوا یا مایع باشد [4]. آبگرم کن های خورشیدی بر اساس اصل اثر گلخانه عمل می کنند، تابش های با طول موج کوتاه را جذب می کنند و آن را برای گرم کردن صفحه جمع کننده نگه می دارند [5,6]. تاریخچه استفاده از آبگرم کن های خورشیدی به سال ۱۷۶۷ در سوئیس بازمی گردد. از آن زمان به بعد، توسعه و بهبود آبگرم کن های خورشیدی ادامه داشته است. مطالعات اخیر نشان می دهد که کارایی آبگرم کن های خورشیدی به طور چشمگیری بهبود یافته است. امروزه، این فناوری به عنوان راهکاری موثر برای کاهش وابستگی به منابع انرژی سنتی و کاهش انتشار گازهای گلخانه ای مطرح است. به طور کلی، انرژی خورشیدی به عنوان یک منبع انرژی تجدیدپذیر و پاک، توانمندی بالقوه بسیاری برای استفاده در بخش کشاورزی دارد. این فناوری می تواند به کاهش هزینه های انرژی و مسائل زیست محیطی مرتبط با استفاده از منابع انرژی سنتی کمک کند و به افزایش انعطاف پذیری و پایداری سیستم های کشاورزی منجر شود [7]. در چند سال اخیر، انرژی های تجدیدپذیر پتانسیل عظیمی برای استفاده در بخش کشاورزی نشان داده اند. انرژی خورشیدی به عنوان یک منبع انرژی تجدیدپذیر پاک، قابل گسترش و قابل اعتماد با حداقل تأثیر بر محیط زیست می تواند به عنوان گزینه ای مناسب برای استفاده در گلخانه های کشاورزی در نظر گرفته شود. به این ترتیب، پیاده سازی فناوری های خورشیدی می تواند به کاهش وابستگی انرژی سیستم های کشت گلخانه ای به منابع معمولی کمک کند و منجر به حداقل رساندن انتشار گازهای گلخانه ای شود [8]. بیشتر گیاهان گلخانه ای فصل گرم در دمای روزانه بین ۲۰ تا ۳۰ درجه سلسیوس و ۱۴ تا ۱۸ درجه سلسیوس در شب به سرعت رشد می کنند. در مناطقی از جهان که زمستان ها سرد است و دمای محیط کمتر از ۰ درجه سلسیوس است، سیستم های گرمایشی برای تأمین دمای هوای داخلی معینی برای گلخانه ها مورد نیاز هستند [9]. برعکس، در آب و هوای گرمسیری، که دمای محیط در تابستان از ۴۰ درجه سلسیوس فراتر می رود، سیستم های خنک کننده برای جلوگیری از دمای بالای هوا یا تجمع گرما در طول روز بالاتر از حد بهینه، به سیستم های خنک کننده نیاز است [10]. با توجه به مطالب ذکر شده می توان از انرژی خورشیدی به دو صورت فتوولتائیک و حرارتی در بخش کشاورزی استفاده کرد. از انرژی برق خورشیدی می توان در پمپاژ آب و تراکتورهای خورشیدی استفاده کرد [11]. از انرژی حرارتی خورشیدی می توان در تأمین آب گرم و خشک کردن محصولات کشاورزی و گرمایش گلخانه ها استفاده کرد [12]. در این مطالعه به بررسی استفاده جمع کننده های صفحه تخت جهت تأمین آب پرداخته می شود.

۲- ساختار آبگرم کن های خورشیدی

ایران یکی از کشورهایی است که دارای آفتاب فراوانی است و به عنوان یکی از بهترین کشورها دریافت انرژی خورشیدی شناخته می‌شود. از روی دیگر باتوجه به مشکلات متعددی که گریبان کشور گرفته اعم از خشکسالی های پیاپی و ناترازی انرژی و عدم توانایی در تامین انرژی مورد نیاز مصرفی، استفاده از انرژی های جایگزین مناسب در دست اقدام باید قرار بگیرد از این رو انرژی خورشیدی می تواند گزینه ی بسیار مناسبی باشد. با توجه به این موضوع و همچنین به این حقیقت که انرژی خورشیدی فراوان و بی نهایت است و بدون نیاز به سیستم های توزیع پیچیده، می تواند در سراسر کشور استفاده شود، این فرصت ارزشمند نباید دست خالی گذاشته شود. با توجه به آمادگی کشور ایران در زمینه علمی و صنعتی برای ایجاد و گسترش تکنولوژی خورشیدی، اگر طرح های مرتبط با انرژی خورشیدی معرفی و ترویج شوند، و علوم و فنون مربوطه حمایت شود، صنایع خورشیدی کشور می تواند به عنوان یک صنعت مستقل و موفق جایگاه خود را پیدا کند. آبرگمکن های خورشیدی یکی از راهبردی ترین سیستم ها جهت تامین آب و انرژی اولیه جهت استفاده در مناطق دور دست و گلخانه ها و همچنین مصارف واحدی کوچک و خانگی می باشد. یک سیستمی که در عین ساده بودن و در دسترس بودن گزینه ی بسیار مناسبی به عنوان جایگزین و حتی یک سیستم کمک کننده می تواند در نظر گرفت. در این پژوهش به استفاده از این سیستم و همچنین شبیه سازی و بررسی اقتصادی آن پرداخته می شود و در ادامه به معرفی آبرگمکن های خورشیدی و نحوه کار و عملکردی آن ها در سال های اخیر می پردازد. استفاده از انرژی خورشیدی امروزه یکی از اقدامات حیاتی برای تأمین انرژی است و به عنوان یکی از راهکارهای مؤثر در جهت توسعه پایدار تلقی می شود.

۲-۱- کلکتور های خورشیدی

مبدل های انرژی خورشیدی انواع ویژه ای از مبدل های حرارتی هستند که توانایی تبدیل انرژی تشعشعی خورشید به انرژی داخلی ماده انتقال دهنده را دارند. این مبدل ها جزء اصلی هر سیستم خورشیدی محسوب می شوند. مبدل خورشیدی ابزارهایی هستند که تابش خورشید را جذب کرده و آن را به گرما تبدیل کرده و سپس به سیالی که در کلکتور در حال گردش است (معمولاً هوا، آب یا روغن) منتقل می کنند. بنابراین، انرژی خورشیدی به صورت آب گرم در تجهیزات تهویه فضا یا به صورت انرژی حرارتی در تانک های ذخیره سازی می شود تا در زمان هایی که خورشید نیست مورد استفاده قرار گیرد. در کل، دو نوع کلکتور خورشیدی وجود دارد: کلکتورهای غیرمتمرکز و کلکتورهای متمرکز. کلکتورهای غیرمتمرکز یا ثابت، مساحت یکنواختی برای جذب تابش خورشید دارند، در حالی که کلکتورهای خورشیدی متمرکز، خورشید را تعقیب می کنند و معمولاً سطح منعکس کننده مقعری دارند تا انرژی خورشید را به سمت یک سطح دریافت کننده کوچکتر و متمرکز کنند، که منجر به افزایش شار تابشی می شود [13].

کلکتورهای خورشیدی بطور کلی بخاطر حرکتشان (ثابت، چرخان تک محوره، چرخان دو محوره) و دمای کارکردشان قابل تمایز می باشند. در ابتدا به بررسی نوع ثابت کلکتورها پرداخته میشود. این کلکتورها همیشه در یک موقعیت ثابت هستند و خورشید را دنبال نمی کنند. سه نوع از این کلکتورها در این دسته بندی قرار می گیرند:

1- کلکتورهای صفحه ای تخت* (FPC)

2- کلکتورهای سهموی مرکب ثابت† (SCPC)

3- کلکتورهای لوله ای خلا‡ (ETC)

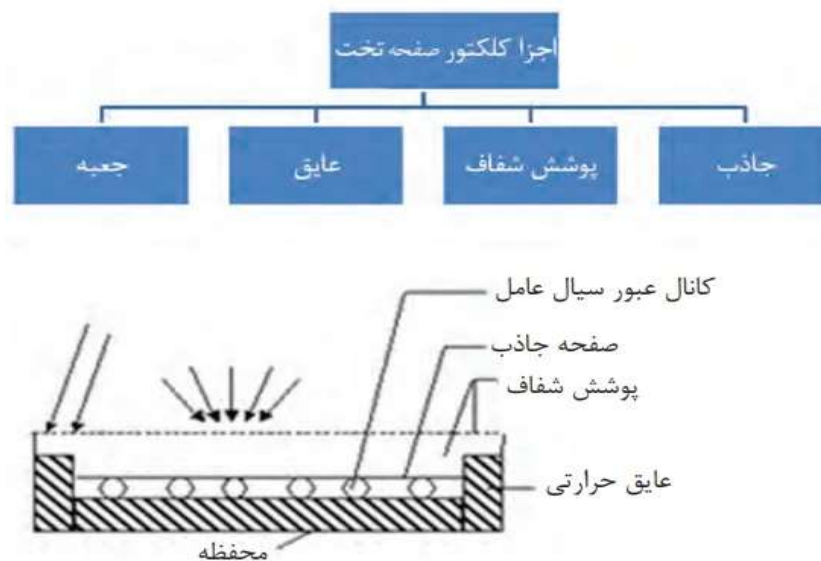
۲-۲- کلکتورهای صفحه ای تخت

هنگامی که نور خورشید از یک سطح شفاف عبور می کند، به سطح سیاهی برخورد می کند که بسیاری از نور را جذب می کند. در نتیجه، بخش قابل توجهی از انرژی توسط این سطح جذب می شود و سپس توسط ماده میانی به سیال درون لوله منتقل می شود تا برای ذخیره سازی یا استفاده آینده آماده شود. سطح زیرین جاذب و لبه های محفظه به خوبی عایق بندی شده اند تا از اتلافات هدایتی جلوگیری شود. لوله های عبور دهنده مایع می توانند به سطح جاذب متصل شوند یا به عنوان بخشی از سطح جاذب باشند. این لوله ها در هر دو انتها به هدرهایی با قطر بزرگ متصل شده اند. برای کاهش اتلافات جابجایی، از پوشش شفاف بر روی سطح جاذب استفاده می شود که این کار از طریق مهار لایه هوای راکد بین سطح جاذب و شیشه انجام می شود. همچنین، شیشه های اتلافات تابشی را کاهش داده و از اثر گلخانه ای جلوگیری می کند زیرا شیشه ماده ای شفاف است که نورهای خورشیدی با طول موج کوتاه را جذب می کند، اما برای نورهای با طول موج بلند تقریباً مات عمل می کند و آنها را از خود عبور نمی دهد. کلکتورهای سطح تخت عموماً در یک مکان ثابت قرار می گیرند و نیازی به تعقیب خورشید ندارند. این کلکتورها باید به طور مستقیم در جهت استوا و به سمت جنوب در نیمکره شمالی و به سمت شمال در نیمکره جنوبی متمایل باشند. زاویه بهینه انحنای کلکتور باید با موقعیت جغرافیایی به خوبی تطابق داشته باشد و از زاویه انحراف حدود ۱۰ تا ۱۵ درجه بیشتر یا کمتر، بستگی دارد [14]. جمع کننده خورشیدی صفحه تخت شامل یک صفحه جاذب فلزی از جنس مس یا آلومینیوم است که در اثر تابش خورشید حرارت را جذب کرده و آن را به یک سیال مانند آب که داخل لوله جریان دارد منتقل می کند. رنگ این پوشش صفحه جمع کننده (در بالا لوله ها) همیشه تیره انتخاب می شود و دارای پوشش خاصی از جنس اکسیدتیتانیوم است که بتواند ضریب جذب انرژی را به حداکثر و ضریب پخش را به حداقل برساند. برای رسیدن به دمای بالا مجموعه پوشش صفحه جمع کننده و لوله ها را در داخل یک جعبه که از اطراف و پشت آن عایق شده است قرار می دهند تشعشع خورشید از پوشش شیشه ای عبور یافته و باعث گرم کردن صفحه جاذب می شود.

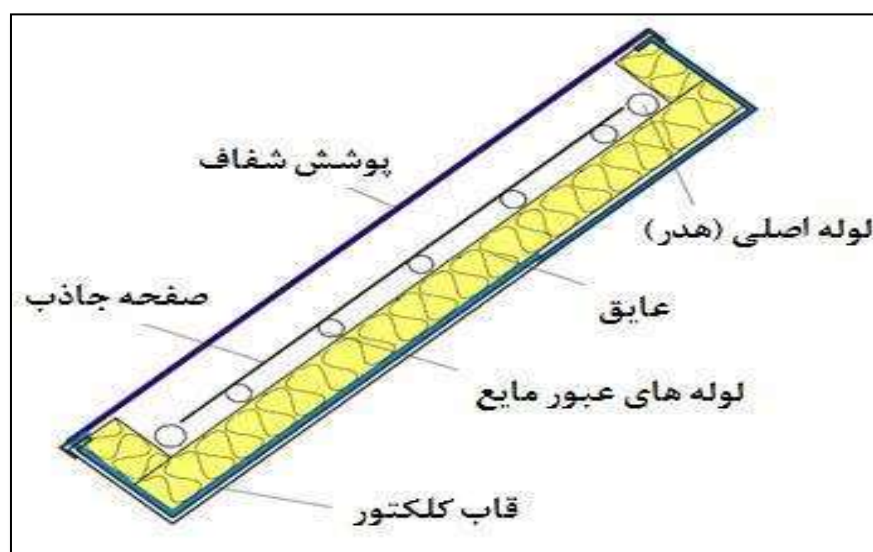
* Flat Plate Collectors

† Stationary Compound Parabolic Collectors

‡ Evacuated Tube Collectors



شکل ۱- شماتیک کلکتور صفحه تخت [15].



شکل ۲-نمایی از جمع کننده خورشیدی صفحه تخت [16].

۳-مروری بر مطالعات پیشین

باتوجه به نیازهای که عموماً هر جامعه ی و جهان با آن روبرو است با مطالعه و بررسی های که در گذشته تا به اکنون شده است به جایگزین کردن و استفاده از انرژی خورشیدی پی برد و در راستای بهبود این امر قدم برداشت. در پژوهشی، تجزیه و تحلیل انرژی یک آبگرمکن خورشیدی در مقیاس خانگی با هدف ارائه روش های مناسب برای صرفه جویی در هزینه و بالابردن راندمان آن انجام شد. نتایج نشان داد که تلفات انرژی ناشی از عدم عایق کامل حرارتی اجتنابناپذیر بود [17].

یک آب گرمکن خورشیدی استوانه‌ای در گروه مهندسی مکانیک دانشگاه بحرین طراحی و ساخته شد. این آب گرمکن از یک لوله استوانه‌ای از جنس شیشه با کیفیت بالا ساخته شده بود. از یک لوله کوئل مسی به شکل حلقه های مارپیچی که به رنگ مشکی رنگ آمیزی شده بود به عنوان جمع کننده انرژی خورشیدی استفاده گردیده بود. نتایج نشان داد که حداکثر اختلاف دمای بین ورودی و خروجی آب گرمکن ۲۸ درجه سلسیوس و با جریان جرمی ۹ کیلوگرم در ساعت به دست آمد. همچنین حداکثر راندمان آب گرمکن خورشیدی ۴۱ درصد محاسبه شد [18].

در تحقیقی، تاثیر زاویه جمع کننده نسبت به افق بر عملکرد آن مورد ارزیابی قرار گرفت. همچنین یک مدل ریاضی برای تخمین کل تابش خورشیدی بر سطح زاویه دار و بدست آوردن زاویه بهینه توسعه داده شد. نتایج نشان داد که زاویه بهینه بین ۰ درجه در ماه ژوئن و ۶۱ درجه در ماه دسامبر در طول سال تغییر کرد. میانگین سالانه زاویه بهینه ۳۰ درجه بدست آمد [19].

در پژوهشی دیگر، تأثیر هدایت حرارتی صفحه جاذب یک کلکتور خورشیدی بر عملکرد یک آب گرمکن خورشیدی ترموسیفونی مورد بررسی قرار گرفت. مطالعه در دو دمای ۵۰ و ۸۰ درجه سلسیوس که به ترتیب کاربرد خانگی و صنعتی دارند، انجام شد. نتایج نشان داد که وابستگی عملکرد سامانه در هدایت حرارتی $50 \text{ W/m}^\circ\text{C}$ کمتر از هدایت حرارتی $100 \text{ W/m}^\circ\text{C}$ بود. همچنین، تعداد کانال های هوا و نرخ جریان جرمی عبوی از آنها بر راندمان کلکتور تاثیر داشت [20]. در تحقیقی، پتانسیل استفاده از انرژی خورشیدی در آب گرمکن ها شش شهر ترکیه مورد بررسی قرار گرفت. در این تحقیق دو نوع کلکتور مختلف از نظر صفحه جاذب (ورق گالوانیزه و لوله خلاء) از نظر عملکردی و اقتصادی مقایسه شدند. نتایج نشان داد که ورق گالوانیزه از نظر میزان انرژی مورد نیاز برای گرمایش آب در سراسر ترکیه مناسب تر بود. همچنین قیمت سیستم های گرمایشی نوع صفحه جاذب گالوانیزه نسبت به لوله خلاء ۳۰ درصد کمتر بود [21].

در تحقیقی دیگر، تعیین زاویه بهینه در طول سال مورد ارزیابی قرار گرفت. یافته ها نشان داد که در ماه های زمستان، زاویه باید افزایش یابد تا تابش ماهانه خورشیدی بیشتری دریافت کند، در حالی که در ماه های تابستان، زاویه باید کاهش یابد [22].

در تحیقی دیگر تاثیر اندازه جمع کننده بر دو جمع کننده صفحه تخت در مقیاس بزرگ و معمولی به صورت عددی شبیه سازی گردید. همچنین تاثیر پارامترهای محیطی و عملیاتی بر عملکرد حرارتی دو جمع کننده مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که جمع کننده صفحه تخت در مقیاس بزرگ عملکرد بهتری نسبت به نوع معمولی، به ویژه برای تابش خورشیدی کم، دمای محیط پایین و نرخ جریان جرم، دارد. بیشترین ساعت آفتابی حدود ۹ ساعت بوده که انرژی مفید در این حالت حدود ۵۵ درصد است [23].

با بررسی زاویه بهینه جمع کننده خورشیدی صفحه تخت واقع در کاشان، بصورت ماهیانه، فصلی، شش ماهه و سالانه پرداختند. در این تحقیق، به دلیل تشابه اقلیمی اصفهان با کاشان، از متوسط ماهیانه تشعشع روزانه اندازه گیری شده درازمدت در ایستگاه اصفهان، برای محاسبه زوایای شیب بهینه استفاده شده است. بیشینه زاویه نسبت به افق ۶۰ درجه در ماه آذر و کمینه آن صفر درجه برای ماه های تیر و خرداد بدست آمد [24].

یوسفی و همکاران استفاده از آبگرمکن‌های خورشیدی برای گرم کردن آب را از نظر اقتصادی و زیست‌محیطی مورد بررسی قرار دادند. آن‌ها نتیجه گرفته‌اند که جایگزینی آبگرمکن‌های گازی با آبگرمکن‌های خورشیدی، از نظر اقتصادی و زیست‌محیطی منطقی است. هرچند جایگزینی این آبگرمکن‌ها توسط شهروندان عادی به دلیل مسائل مالی و طولانی بودن دوره بازگشت سرمایه، در عمل به صرفه نیست اما با توجه به کاهش آلودگی هوا و گازهای گلخانه‌ای و توانایی صادرات گاز صرفه‌جویی شده، پرداخت هزینه‌های اولیه توسط وزارت نیرو می‌تواند جذابیت لازم برای استفاده کردن آبگرمکن‌های خورشیدی ایجاد نماید [25].

مختاری و همکاران کاربرد سامانه خورشیدی از لحاظ فنی برای گرمایش یک گلخانه، از نوع دوقلو با سازه قوسی و پوشش پلی‌اتیلن تک لایه، مورد بررسی قرار دادند. بدین منظور در ابتدا، نیاز گرمایشی گلخانه تعیین شد. سپس با توجه به نتایج بدست آمده، آبگرمکن خورشیدی از نوع صفحه تخت، با شش مترمربع جمع‌کننده و ۵۰۰ لیتر حجم مخزن، انتخاب و در کنار یک واحد گلخانه تولید خیار، برای گرمایش هوای درون گلخانه به کمک چهار عدد رادیاتور آلومینیومی ۱۰ پره، نصب گردید. نتایج نشان داد که از منظر میزان کربن دی‌اکسید، متوسط دما و رطوبت نسبی اختلاف معنی‌داری میان این گلخانه و نوع مرسوم (گلخانه گازوئیلی) مشاهده نشد ولی از حیث شاخص کلروفیل و عملکرد محصول، میان دو گلخانه، به ترتیب در سطح احتمال یک و پنج درصد اختلاف معنی‌داری وجود داشت [26].

۴- نتیجه گیری

تحقیقات اخیر نشان داده است که انرژی خورشیدی به عنوان یک منبع انرژی پاک و تجدیدپذیر، با پتانسیل بالا و کارایی قابل توجه، اهمیت بیشتری در مقایسه با سوخت‌های فسیلی پیدا کرده است. از آبگرمکن‌های خورشیدی به عنوان راهکاری موثر برای استفاده از انرژی پاک و پایدار در بخش‌های مختلف اجتماعی استفاده می‌شود. تأثیر مثبت این فناوری در کاهش وابستگی به منابع انرژی سنتی، کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای و بهبود محیط زیست آشکار است. از طرف دیگر، استفاده از کلکتورهای خورشیدی صفحه تخت به عنوان یکی از روش‌های موثر و اقتصادی برای گرم کردن آب و استفاده در کشاورزی، نشان‌دهنده امکانات بیشتری در بهره‌وری انرژی و کاهش هزینه‌های مرتبط با انرژی است. با توجه به تحقیقات و مطالعات پیشین، استفاده از انرژی خورشیدی در بخش کشاورزی نه تنها می‌تواند به بهبود شرایط محیط زیست و کاهش هزینه‌ها کمک کند، بلکه می‌تواند به افزایش انعطاف‌پذیری و پایداری سیستم‌های کشاورزی منجر شود. این نتایج نشان می‌دهند که انرژی خورشیدی به عنوان یک گزینه پایدار و کارآمد، می‌تواند در بهبود شرایط انرژی و محیط زیست در بخش کشاورزی نقش مهمی ایفا می‌کند.

- 1- Zaboli, M., Saedodin, S., Ajarostaghi, S. S. M., & Karimi, N. (2023). Recent progress on flat plate solar collectors equipped with nanofluid and turbulator: state of the art. *Environmental Science and Pollution Research*, 30(51), 109921-109954.
- 2- Luo, X., Ma, X., Xu, Y. F., Feng, Z. K., Du, W. P., Wang, R., & Li, M. (2018). Solar water heating system. In *Handbook of Energy Systems in Green Buildings* (pp. 145-194). Springer, Berlin, Heidelberg.
- 3- Bretado-de los Rios, M. S., Rivera-Solorio, C. I., & Nigam, K. D. P. (2021). An overview of sustainability of heat exchangers and solar thermal applications with nanofluids: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 142, 110855.
- 4- Chowdhury, M. S., & Salam, B. (2019). Flat Plate Solar Collector Using Nanofluid. *Proceedings of the 2017 ICMERE*, 152.
- 5- Zondag, H. A. (2008). Flat-plate PV-Thermal collectors and systems: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 12(4), pp. 891–959.
- 6- Tian, Y., & Zhao, C. Y. (2013). A review of solar collectors and thermal energy storage in solar thermal applications. *Applied energy*, 104, 538-553.
- 7- Ahmadi, A., Ganji, D. D., & Jafarkazemi, F. (2016). Analysis of utilizing Graphene nanoplatelets to enhance thermal performance of flat plate solar collectors. *Energy conversion and management*, 126, 1-11.
- 8- Gorjian, S., Calise, F., Kant, K., Ahamed, M. S., Copertaro, B., Najafi, G., ... & Shamshiri, R. R. (2021). A review on opportunities for implementation of solar energy technologies in agricultural greenhouses. *Journal of Cleaner Production*, 285, 124807.
- 9- Sethi, V.P., & Sharma, S.K. (2008). Survey and evaluation of heating technologies for worldwide agricultural greenhouse applications. *Sol Energy*;82:832–59.
- 10- Sethi VP, Sharma SK. Survey of cooling technologies for worldwide agricultural greenhouse applications. *Sol Energy* 2007;81:1447–59.
- 11- Obalalu, A. M., Alqarni, M. M., Odetunde, C., Memon, M. A., Olayemi, O. A., Shobo, A. B., ... & Hendy, A. S. (2023). Improving agricultural efficiency with solar-powered tractors and magnetohydrodynamic entropy generation in copper–silver nanofluid flow. *Case Studies in Thermal Engineering*, 51, 103603.
- 12- Fudholi, A., & Sopian, K. (2019). A review of solar air flat plate collector for drying application. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 102, 333-345.
- 13- میلانی شیروان، ک.، ماموریان، م.، (۱۳۹۴). مروری بر مقالات انجام شده بر روی کلکتورهای خورشیدی صفحه تخت . دومین همایش ملی مدیریت انرژی های نو و پاک .
- 14- Kalogirou, S. A. (2004). Solar thermal collectors and applications. *Progress in energy and combustion science*, 30(3), 231-295.
- 15- Kalogirou, S. (2003). The potential of solar industrial process heat applications. *Applied Energy*, 76(4), 337-361.



- 16- Chowdhury, A. S., & Saagoto, M. S. (2020). A review of Solar Flat Plate Thermal Collector.
- 17- Xiaowu, W., & Ben, H. (2005). Exergy analysis of domestic-scale solar water heaters. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 9(6), 638-645.
- 18- Al-Madani, H. (2006). The performance of a cylindrical solar water heater. *Renewable Energy*, 31(11), 1751-1763.
- 19- Ulgen, K. (2006). Optimum tilt angle for solar collectors. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, 28(13), 1171-1180.
- 20- Hossain, M., Saidur, R., Fayaz, H., Rahim, N., Islam, M., Ahamed, J., & Rahman, M. (2011). Review on solar water heater collector and thermal energy performance of circulating pipe. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15(8), 3801-3812.
- 21- Benli, H. (2016). Potential application of solar water heaters for hot water production in Turkey. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 54, 99-109.
- 22- Girnar, J., & Gadhe, P. (2019). Optimum Tilt Angle for Solar Panel in Pune. *International Journal for Research in Engineering Application & Management*. 5(2). 182-185.
- 23- Wang, D., Mo, Z., Liu, Y., Ren, Y., & Fan, J. (2022). Thermal performance analysis of large-scale flat plate solar collectors and regional applicability in China. *Energy*, 238, 121931.
- 24- خراسانی زاده، ح.، مسچی، س. م. (۱۴۰۱). تعیین زاویه شیب بهینه ماهیانه، فصلی، شش ماهه و سالانه کلکتورهای خورشیدی تخت در کاشان. مهندسی و مدیریت انرژی، ۳(۴): ۳۸-۴۹
- 25- یوسفی، ح.، رومی، س.، و نوالهی، ی. (۱۳۹۷). امکان سنجی اقتصادی و زیست محیطی استفاده از- انرژی خورشیدی در تأمین آبگرم مصرفی ساختمان های مسکونی (مطالعه موردی: شهر تهران)، نشریه آمایش محیط
- 26- مختاری ستائی، م.، بهرامی، ه.، شیخ داودی، م.، مومنی، و د. سلیمانی، م. (۱۴۰۰). ارزیابی فنی کاربرد مکانیزاسیون کشاورزی، ۶(۳): آبگرمکن خورشیدی صفحه تخت در گرمایش گلخانه ها در جنوب استان کرمان ۴۹-۵۸