

# دخیره‌سازی انرژی‌های تجدیدپذیر

## در کشاورزی



مصطفی جعفریان 

دانش‌آموخته دکتری مهندسی مکانیک بیوسیستم  
دانشگاه تهران و مدرس مجتمع آموزش عالی شیروان



m.jafarian@ut.ac.ir





چکیده

بخش کشاورزی به منظور پاسخگویی به نیاز روزافزون غذا برای جمعیت رو به رشد کره زمین و فراهم کردن مواد غذایی کافی و مناسب، به مصرف انرژی‌های گوناگون وابسته است. امروزه به دلیل پایان‌پذیری منابع انرژی فسیلی، ضرورت نگهداری آن‌ها برای نسل‌های بعد، محدودیت‌های برقرسانی و تأمین سوخت برای نقاط دورافتاده و همچنین آلودگی‌های زیست‌محیطی ناشی از مصرف بی‌رویه سوخت‌های فسیلی، توجه جامعه جهانی به انرژی‌های تجدیدپذیر افزایش پیدا کرده است. برای اکثر منابع انرژی‌های تجدیدپذیر به ویژه انرژی گرمایی خورشید، انرژی زمین‌گرمایی و انرژی گرمای هدررفت، زمان و حتی مکان تولید و مصرف آن‌ها متفاوت است. در انرژی‌های تجدیدپذیر به دلیل ماهیت متغیر و متناوبشان، امکان پیش‌بینی توان خروجی تولیدی مشکل بوده و این مسئله باعث نوسان شدید در توان خروجی می‌شود که این امر مشکلات فراوانی را برای عملکرد سامانه به همراه خواهد داشت؛ لذا نیازمند روشی مناسب، جهت بهره‌برداری بهینه هستند. از جمله مهم‌ترین روش‌های بهینه‌سازی در بهره‌برداری از انرژی‌های تجدیدپذیر، به‌کارگیری سامانه‌های ذخیره‌سازی انرژی است تا تعادل بین تولید و مصرف برقرار شود. در این مقاله روش‌های مختلف ذخیره‌سازی انرژی با توجه ویژه به انرژی حرارتی بررسی می‌شوند. همچنین مزایا، معایب و محدودیت‌های به‌کارگیری آن‌ها ارزیابی خواهد شد. افزایش نیاز بشر به انرژی، مشکلاتی از قبیل مکان و زمان متفاوت تولید و مصرف انرژی و گران بودن انرژی در بعضی از ساعات شبانه‌روز، اهمیت ذخیره‌سازی انرژی را آشکار نموده است. ذخیره‌سازی انرژی عموماً به شکل‌های مکانیکی، الکتریکی و حرارتی صورت می‌گیرد که در ادامه به توضیح آن‌ها پرداخته می‌شود.



## ذخیره‌ی انرژی الکتریکی

این روش شامل ذخیره‌ی انرژی در باتری، ذخیره‌ی انرژی در ابرخازن و ذخیره‌ی انرژی مغناطیسی در ابرساناها است. برای ذخیره‌ی این نوع انرژی در باتری، با اتصال منبع انرژی الکتریکی به آن عمل شارژ صورت می‌گیرد. باتری، این انرژی را به صورت شیمیایی نگهداری می‌کند و در قطب‌های آن با تبدیل انرژی شیمیایی به الکتریکی قابل دریافت است.

## ذخیره‌ی انرژی شیمیایی

این نوع ذخیره‌سازی بر اساس جذب و آزادسازی انرژی از طریق شکست و تغییر شکل پیوند مولکولی در واکنش شیمیایی کاملاً برگشت‌پذیر انجام می‌شود. مقدار ماده، نوع واکنش و میزان تغییر، بر گرمای ذخیره شده تأثیر مستقیم دارند. روش‌های صنعتی شده این نوع ذخیره‌سازی عبارت‌اند از: باتری‌های الکترومکانیکی<sup>۱</sup>، ذخیره‌ی مولکولی ارگانیک<sup>۲</sup> و ذخیره در پمپ حرارتی شیمیایی<sup>۳</sup>.

## ذخیره‌ی انرژی مکانیکی

این ذخیره‌سازی، عموماً در قالب انرژی گرانشی، ذخیره آب در مخزن مرتفع، هوای فشرده، چرخ طیار و هیدروالکتریک انجام می‌پذیرد. هنگامی که به انرژی خروجی زیادی نیاز نباشد، انرژی مازاد ذخیره می‌شود و در زمان نیاز آزاد شده و مورد استفاده قرار می‌گیرد. لازم به توضیح است که در ذخیره آب در مخزن مرتفع، توان مازاد به صورت انرژی گرانشی آب توسط پمپ به داخل یک مخزن مرتفع برای استفاده بعدی ذخیره‌سازی می‌شود. در ذخیره‌سازی انرژی به صورت هوای فشرده شده، توان مازاد به صورت انرژی پتانسیل فشاری توسط کمپرسور به داخل یک مخزن هوای فشرده برای استفاده بعدی ذخیره‌سازی می‌شود.

## ذخیره‌ی انرژی گرمایی

ذخیره‌سازی انرژی گرمایی به صورت تغییر در انرژی درونی مواد به شکل محسوس، نهان، ترموشیمیایی و یا ترکیبی از آن‌ها صورت می‌گیرد. در حالت ذخیره گرمای محسوس، انرژی به وسیله افزایش دما در جامدات یا مایعات ذخیره می‌شود. مقدار ذخیره گرما در این حالت به گرمای ویژه، تغییر دما و مقدار ماده بستگی دارد. آب به دلیل ظرفیت گرمایی بالا و ارزان بودن یکی از بهترین مواد برای این نوع ذخیره است. روغن‌ها، نمک‌های مذاب و فلزات مایع از دیگر موارد مورد استفاده می‌باشند؛ اما ذخیره گرمای نهان، بر اساس جذب و آزادسازی

انرژی از طریق تغییر فاز از جامد به مایع، جامد به گاز یا مایع به گاز و برعکس انجام می‌شود. با استفاده از این روش می‌توان انرژی حرارتی را با چگالی بسیار بالا ذخیره کرد و همچنین انجام این فرآیند، در شرایط تقریباً دما ثابت صورت می‌گیرد.



1. Electromechanical batteries
2. Organic molecular storage
3. Chemical heat pump storage

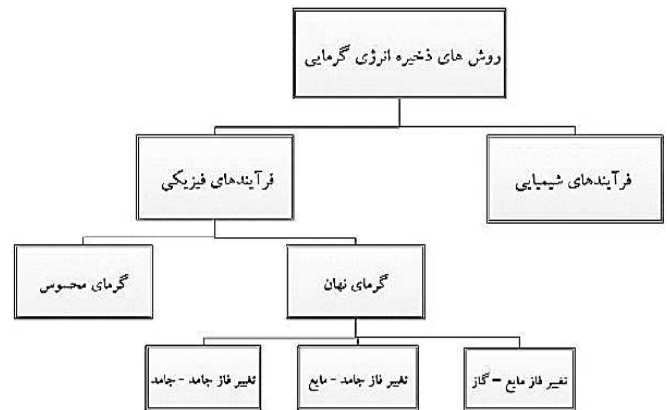


این سامانه‌ها با آن مواجه هستند، عدم کارایی جمع‌کننده‌ها در شب و یا هوای ابری است؛ به این دلیل که میزان تابش خورشید، در طول شبانه‌روز هیچ‌گاه ثابت نبوده و در شب به صفر می‌رسد این در حالی است که نیاز به انرژی در تمام ساعات شبانه روز همواره وجود دارد.

## جمع‌کننده‌های خورشیدی

گرمایش آب و فضا، مجموعاً بیش از ۸۰ درصد انرژی در ساختمان‌ها را مصرف می‌کنند. لذا با توجه به سهم ساختمان در مصرف انرژی، بیش از یک سوم کل انرژی مصرفی جهان برای گرمایش، مصرف می‌شود. در این میان، گرمایش آب به طور متوسط ۲۰ تا ۳۰ درصد از کل انرژی مصرفی در ساختمان‌ها را دربرمی‌گیرد. استفاده از انرژی خورشیدی در قیاس با سایر انواع انرژی‌های تجدیدپذیر برای اهداف گرمایشی از مقبولیت و اهمیت زیادی برخوردار است؛ دلیل آن کاربری فنی ساده‌تر، محدوده‌ی دمایی متوسط و نیز اقتصادی بودن آن است. در صورت استفاده از آبگرم‌کن‌های خورشیدی می‌توان سالانه حدود ۷۰٪ انرژی مورد نیاز برای گرمایش آب در ساختمان‌ها را تأمین کرد و در مناطق سردسیر، هزینه سالانه انرژی خانوار را تا ۵۰٪ می‌توان کاهش داد (فرامرز و عزیز، ۱۳۹۲).

در حالت کلی، نحوه کارکرد آبگرم‌کن خورشیدی بدین صورت است که در روزهای آفتابی، انرژی خورشید برای گرم کردن آبی که از داخل لوله‌های عبور می‌کند، استفاده می‌شود. در سامانه‌ی گرمایشی مستقیم، آب در حین عبور از صفحات و شیشه‌ای که در پشت‌بام خانه قرار دارند گرم می‌شود. سپس آب گرم شده در یک مخزن ذخیره‌ی عایق شده که معمولاً در بالای صفحات قرار دارد ذخیره می‌شود. گاهی یک سامانه گرم‌کن کمکی پشتیبان هم در مجموعه قرار داده می‌شود تا دمای آب را در روزهایی



## انرژی خورشیدی

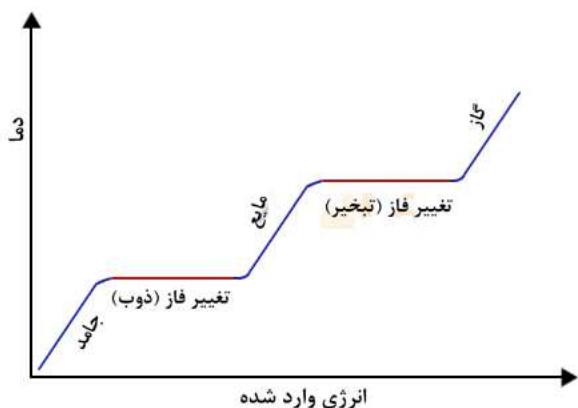
انرژی خورشیدی یکی از منابع انرژی تجدیدپذیر است که به طور گسترده در بخش کشاورزی برای کاربردهای مختلف استفاده می‌شود که موجب تسهیل زندگی و افزایش بهره‌وری تولید می‌شود. از جمله این موارد می‌توان به خشک کردن محصولات زراعی، باغی و دانه‌ها، تولید آب گرم مصرفی در دامپروری‌ها، مرغداری‌ها، گلخانه‌ها و سایر تأسیسات کشاورزی اشاره نمود (Resch et al., 2008). به دام انداختن انرژی حرارتی خورشید جهت استفاده در گلخانه‌ها و نیز بهره‌برداری از الکتریسیته تولید شده از انرژی خورشیدی در دامداری‌ها و واحدهای کوچک تولیدی نیز از راهبردهای مهم استفاده از آن است (Motamed Shariati et al., 2016). با توجه به موقعیت جغرافیایی ایران، در میان انرژی‌های تجدیدپذیر، انرژی خورشید می‌تواند سهم به‌سزایی در تأمین انرژی در ایران داشته باشد. از نظر جغرافیایی ایران بر روی کمربند خورشیدی جهان قرار گرفته و از این لحاظ دارای موقعیت بسیار خوبی است. شایان ذکر است که شدت تابش در کشور ایران از بسیاری از نقاط اروپا که استفاده وسیعی از انرژی خورشیدی می‌نمایند نیز بیشتر است (لایقی، ۱۳۹۴).

یکی از مصادیق اصلی به‌کارگیری انرژی خورشیدی که در بخش کشاورزی هم کاربرد زیادی پیدا کرده است، سامانه‌های جمع‌کننده‌ی خورشیدی<sup>۱</sup> هستند. با این وجود، بزرگ‌ترین مشکلی که امروزه کاربران



## مواد تغییر فاز دهنده (PCMs)

تغییر فاز مواد، از مهم‌ترین پدیده‌های فیزیکی است که به‌صورت روزمره در طبیعت اتفاق می‌افتد. از جمله مهم‌ترین پدیده‌های طبیعی که با تغییر فاز همراه هستند می‌توان از ذوب، انجماد، تبخیر، میعان و تصعید نام برد. مثال‌های رایج آن عبارتند از ذوب شدن یخ، یخ‌زدن آب، سوختن شمع و...



نحوه تغییر فاز با افزایش سطح انرژی

در میان روش‌های ذخیره‌سازی انرژی حرارتی بیان شده، ذخیره انرژی به شکل نهان به دلیل چگالی بالای ذخیره انرژی و مشخصه‌های منحصر به فرد آن در ذخیره گرما در دمای ثابت هنگام تغییر فاز، روشی قابل قبول‌تر می‌باشد. اهمیت ذخیره انرژی به‌صورت گرمای نهان زمانی مشخص می‌شود که توجه شود گرمای ذخیره شده در یک کیلوگرم آب در فرآیند ذوب یخ صفر درجه سلسیوس، برای گرم کردن یک کیلوگرم آب صفر درجه سلسیوس به دمای ۸۰ درجه سلسیوس کافی است (Raoux et al., 2012). در واقع نحوه عملکرد این مواد به این صورت است که با افزایش دمای آن‌ها تا نقطه ذوب با تغییر فاز از حالت جامد به مایع، انرژی حرارتی را در خود ذخیره می‌کنند و با کاهش دمای آن‌ها تا نقطه انجماد با تغییر فاز از حالت مایع به جامد انرژی حرارتی ذخیره‌شده را آزاد می‌کنند.

که ممکن است انرژی خورشیدی برای تأمین آب گرم، کافی نباشد بالا ببرد. سامانه گرم‌کن کمکی معمولاً از برق، گاز (طبیعی یا مایع) و یا سوخت جامد استفاده می‌کند. سامانه‌های غیرمستقیم از یک مبدل حرارتی استفاده می‌کنند و برای مناطقی که مستعد یخ‌زدن هستند توصیه می‌شوند. روش کار به این صورت است که آب مخلوط‌شده با مقداری ضدیخ (اتیلن گلیکول)، درون لوله‌ها جریان می‌یابد و حرارت جذب شده از خورشید توسط مبدل حرارتی به آب داخل تانک ذخیره، منتقل می‌شود (Salameh, 2014). استفاده از آبگرم‌کن خورشیدی از دیدگاه حفظ محیط زیست و کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای، سرمایه‌گذاری بسیار خوبی است. از طرفی از این سامانه‌ها می‌توان برای تأمین انرژی خشک کردن محصولات کشاورزی، گرم کردن دامداری‌ها و مرغداری‌ها و تأمین آب گرم تأسیسات کشاورزی و فن‌آوری‌های پس از برداشت نیز استفاده کرد.



## گلخانه‌های خورشیدی

یکی دیگر از کاربردهای انرژی خورشیدی در بخش کشاورزی، گرمایش گلخانه‌ها است. گلخانه‌های تجاری به طور معمول برای تأمین نیازهای روشنایی خود از خورشید استفاده می‌کنند، برخی به گونه‌ای طراحی شده‌اند که بتوانند از گرمای خورشید نیز استفاده کنند. طراحی این گلخانه‌ها به این صورت است که انرژی خورشیدی را در طول روز آفتابی جمع‌آوری کرده و به صورت حرارت ذخیره می‌کنند و در شب و یا در طول دوره‌های زمانی که هوا ابری است استفاده می‌کنند.

ویژگی‌های گلخانه‌های خورشیدی که آن‌ها را از گلخانه‌های معمولی متمایز می‌کند، عبارت‌اند از:

۱. جهت پوشش شفاف، به گونه‌ای است که حداکثر حرارت خورشید را در طول زمستان دریافت می‌کنند؛
۲. در آن‌ها از مواد ذخیره‌ساز حرارت برای نگهداری گرمای خورشید استفاده شده است؛

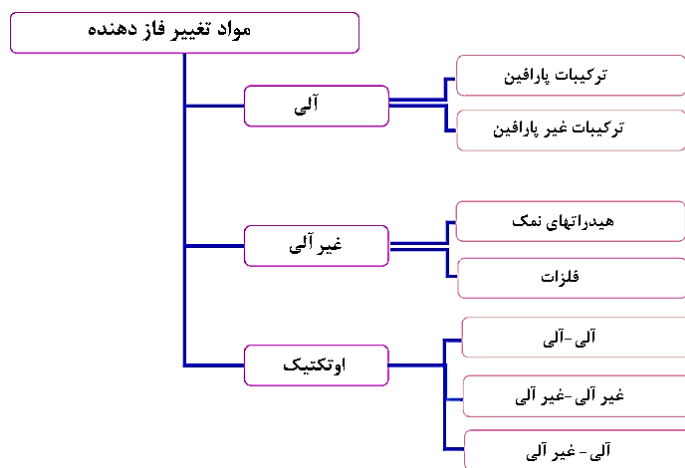
۳. در قسمت‌هایی که در آن نور خورشید کم است و یا نور مستقیم خورشید وجود ندارد عایق‌کاری بیشتر صورت می‌گیرد؛

۴. از مواد شفاف عایق با روش‌های نصب خاص که حداقل اتلاف حرارتی را دارند استفاده می‌شود؛

۵. تمهیداتی برای تهویه طبیعی به منظور خنک‌سازی در تابستان در نظر گرفته می‌شود. در گلخانه‌های خورشیدی، سامانه‌ی گرمایش یا خورشیدی به همراه سامانه‌ی گرمایش گازی یا برقی تکمیل می‌شود. در گلخانه‌های خورشیدی فعال برای به حرکت در آوردن هوا یا آب گرم شده از مناطق ذخیره‌سازی به مناطق دیگر گلخانه از پمپ استفاده می‌شود.

استفاده از گلخانه خورشیدی در تولید محصولات کشاورزی در دو دهه گذشته چند برابر شده است. هدف اصلی یک گلخانه، تولید محصول با عملکرد بالاتر در خارج از فصل کشت با حفظ دمای مطلوب در هر مرحله از رشد گیاه است. سامانه‌ی گرمایش (یا خنک کننده) مناسب برای این منظور در گلخانه‌ها

در کاربردهای صنعتی از این پدیده، برخی از مواد به علت دارا بودن گرمای نهان بالا، دمای تغییر فاز مناسب و تغییر حجم کم در هنگام تغییر فاز، در سامانه‌های ذخیره‌سازی انرژی حرارتی استفاده می‌شوند. این مواد با عنوان کلی مواد تغییر فاز دهنده (PCM)<sup>۱</sup> شناخته می‌شوند. امروزه از مواد تغییر فاز دهنده برای ذخیره‌سازی انرژی حرارتی در نیروگاه‌های خورشیدی، خنک‌کردن و تهویه هوای اتاق، جلوگیری از آتش‌سوزی، اجاق‌های گرم‌کننده، ذخیره‌سازی انرژی حرارتی اتلافی، مدیریت حرارتی تجهیزات الکترونیکی، کاربردهای ساختمانی، بازیافت حرارتی و ... استفاده می‌شود.



دسته‌بندی مواد تغییر فاز دهنده

برای انرژی گرمایی خورشید، بهترین روش این است که در ساعاتی که میزان تابش خورشید بیش از حد نیاز است، انرژی مازاد ذخیره شود و در زمان کاهش میزان تابش، استفاده شود. ذخیره‌سازی گرمای نهان به عنوان یک راه حل کاربردی برای حل مشکل فوق می‌تواند به کار گرفته شود. از میان روش‌های ذخیره‌سازی انرژی گرمایی، سامانه‌هایی که از مواد تغییر فاز دهنده بهره می‌گیرند، عمومیت و محبوبیت بیشتری نسبت به سایر سامانه‌ها پیدا کرده‌اند.



نظر داخل در طول روز و شب، محل گلخانه و شرایط محیطی خارج در عملکرد کلی سامانه‌ی گرمایش گلخانه تأثیر دارد.

### کاربرد در زمینه مواد غذایی

حفظ دمای غذا در فاصله بین تولید و مصرف، از مشکلات عمده تولیدکنندگان مواد غذایی است که کاربرد مواد تغییر فاز دهنده در این زمینه مشکلات عمده حفظ دمای غذا را تا لحظه تحویل حل می‌نماید.

### ذخیره‌سازی سرما

سامانه‌های ذخیره‌سازی یخ به دو نوع کلی استاتیک و دینامیک تقسیم می‌شوند. در سامانه‌های استاتیک، تولید و ذخیره یخ در یک جا انجام می‌شود و در سامانه‌های دینامیکی، یخ پس از تولید به مخزن ذخیره‌سازی منتقل می‌شود. روش استاتیکی به فضا و هزینه اولیه کمتری در مقایسه با روش دینامیکی

وجود دارد که تأثیر قابل توجهی در زمان کشت، کیفیت و کمیت محصولات دارد. پژوهش‌های مستمر در این زمینه به پیشرفت سریع و تجاری‌سازی این سامانه‌ها با نتایج رضایت‌بخش منجر شده است. سامانه‌ی گرمایش گلخانه‌ای در طول روز برای افزایش ذخیره‌سازی انرژی حرارتی، حرارت مازاد را از داخل گلخانه به منطقه ذخیره‌سازی گرما انتقال می‌دهد. این حرارت در شب نیازهای گرمایشی گلخانه را فراهم می‌کند. مهم‌ترین سامانه‌های ذخیره‌سازی گرمایشی گلخانه‌ای عبارت‌اند از: ذخیره‌سازی در آب، ذخیره‌سازی در سنگ‌فرش و ذخیره‌سازی در مواد تغییر فاز دهنده. علاوه بر این، از عایق‌های قابل حمل (برده حرارتی) و ذخیره‌ساز دیوار شمالی نیز برای بالا بردن درجه حرارت هوا در گلخانه‌ها استفاده می‌شود.

عوامل دیگری مانند اندازه گلخانه، نوع مواد پوشش‌دهنده، روش ذخیره‌سازی گرما، مقدار مواد استفاده‌شده، نوع کشت، درجه حرارت هوای مورد



نیاز دارد، لذا استفاده از روش استاتیکی رایج‌تر است. مقدار حرارت قابل جذب توسط این سامانه، برای خنثی نمودن بار سرمایشی، معادل حرارت نهایی ذوب یخ موجود در مخزن است.

ذخیره‌سازی سرما می‌تواند کاربرد زیادی در صنایع مختلف از قبیل حمل و نقل داروها، انجماد مواد غذایی (صنایع لبنی و سردخانه‌ها) و انجماد فلزات داشته باشد. از طرفی برای ذخیره‌سازی سرما توسط آب سرد، از انرژی حرارت محسوس آب استفاده می‌شود. آب در طی ساعات غیر پیک شب توسط یک پمپ بین مخزن و اواپراتور سامانه تیرید جریان پیدا می‌کند و پس از سرد شدن، در داخل مخزن برای استفاده در ساعات پیک جمع‌آوری می‌شود.

## نتیجه‌گیری

افزودن واحدهای تولید پراکنده انرژی از قبیل واحدهای خورشیدی و بادی به سامانه‌های تولید انرژی، موجب بهبود قابلیت اطمینان آن‌ها می‌شوند. اما به علت ماهیت غیرقابل پیش‌بینی اکثر منابع انرژی‌های تجدیدپذیر و خروجی متغیر آن‌ها، اثر بهبود قابلیت اطمینان توسط این واحدها کمتر

از واحدهای معمول سامانه قدرت است؛ بنابراین می‌توان از سامانه ذخیره‌ساز انرژی استفاده کرد و مشکل ماهیت غیرقابل پیش‌بینی منابع انرژی‌های تجدیدپذیر را رفع نمود.

سامانه‌های ذخیره انرژی می‌توانند جهت مقاصد مدیریت انرژی، کیفیت توان و یا به عنوان واسط انرژی به کار گرفته شوند. در این مقاله، روش‌های مختلف ذخیره‌سازی انرژی بیان شد و موارد کاربرد آن‌ها در کشاورزی مورد بررسی قرار گرفت. از مهم‌ترین کاربردهای ذخیره‌سازی انرژی در کشاورزی می‌توان به استفاده از تانک ذخیره آب به منظور آبیاری، استفاده از باتری به منظور ذخیره الکتریسیته، استفاده از مواد تغییر فاز دهنده و سامانه‌ی ذخیره گرمای محسوس خورشیدی در خشک‌کن‌ها، صنایع غذایی و گلخانه‌ها اشاره نمود. استفاده از تجهیزات ذخیره‌سازی انرژی می‌تواند عملکرد دینامیکی سامانه‌های خورشیدی و بادی را بهبود بخشد. سامانه ذخیره‌ساز انرژی در صورت اجرا، سبب افزایش بهره‌وری مصرف انرژی شده و هزینه‌های مربوط به مصرف سوخت فسیلی و انرژی الکتریکی را کاهش می‌دهد. در نتیجه سودآوری تولید محصولات کشاورزی افزایش خواهد یافت.

## منابع و مآخذ



فرامرزی، م. و عزیزی، ل. (۱۳۹۲). آبگرمکن‌های خورشیدی. تهران: انتشارات آتی نگر. لایقی، م. (۱۳۹۴). انرژی خورشیدی فناوری و کاربردها (جلد اول). تهران: انتشارات جهاد دانشگاهی.

Motamed Shariati, H., Mobli, H., Sharifi, M., & Ahmadi, H. (2016). Estimating Solar Radiation with Ordinary Meteorological Data in Mashhad. *Iranian Journal of Biosystems Engineering*, 47(1), 185–196. <https://doi.org/10.22059/ijbse.2016.58491>

Raoux, S., Ielmini, D., Wuttig, M., & Karpov, I. (2012). Phase change materials. *MRS Bulletin-Materials Research Society*, 37(2), 118.

Resch, G., Held, A., Faber, T., Panzer, C., Toro, F., & Haas, R. (2008). Potentials and prospects for renewable energies at global scale. *Energy Policy*, 36(11), 4048–4056. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2008.06.029>

Salameh, Z. (2014). *Renewable Energy System Design*. Massachusetts: Elsevier Inc.