

بهینه‌سازی شرایط اقلیمی داخل گلخانه با کاربرد انرژی‌های نوین

شهربانو وکیلی بسطام

استادیار پژوهش، بخش تحقیقات زراعی-باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی گلستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی گلستان، گرگان، ایران

*پست الکترونیکی نویسنده مسئول: sh.vakili@areeo.ac.ir

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۰۶/۰۲

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۹/۰۸

چکیده

امروزه استفاده از کشت‌های گلخانه‌ای به دلیل مزایای فراوان آن رو به افزایش است و بخش قابل توجهی از محصولات کشاورزی به‌ویژه سبزی و صیفی در گلخانه‌ها پرورش می‌یابند. در کشت‌های گلخانه‌ای، هزینه‌های انرژی بخش زیادی از هزینه تولید را به خود اختصاص می‌دهد. سیستم‌های گرمایش، تهویه و سرمایشی بخش عمده‌ی این انرژی را مصرف می‌کنند. این انرژی به‌طور عمده از سوخت‌های فسیلی مانند گاز یا گازوئیل و یا شبکه برق سراسری تأمین می‌شود. با توجه به محدود بودن عمر ذخایر سوخت‌های فسیلی و نیاز انرژی در سایر بخش‌ها، آلاینده‌ی ناشی از احتراق سوخت‌های فسیلی و اثرات مخرب زیست‌محیطی آن‌ها، خسارت هرساله‌ی قطعی شبکه‌های سراسری برق و گاز به گلخانه‌های تولیدی، کاهش مصرف انرژی‌های فسیلی و جایگزین کردن آن‌ها با منابع تجدیدپذیر ضروری است. استفاده از انرژی خورشیدی با نصب پنل‌های خورشیدی، استفاده از انرژی باد با نصب توربین‌های بادی، استفاده از انرژی زمین گرمایی و زیست‌توده ناشی از ضایعات کشاورزی و منابع طبیعی از منابع انرژی تجدیدپذیر هستند که جهت کاهش وابستگی به سوخت‌های فسیلی، مدیریت بهینه مصرف انرژی در گلخانه‌ها، کاهش اثرات زیست‌محیطی، اطمینان از وجود حداقل انرژی جهت تأمین گرمایش و سرمایش مورد نیاز محصول در صورت فقدان منابع فسیلی، افزایش بهره‌وری و توسعه پایدار در کشاورزی تأثیرگذار هستند.

کلیدواژه: انرژی‌های نوین، گلخانه، افزایش بهره‌وری، مدیریت انرژی

گرمایش گلخانه‌ای مورد استفاده قرار گیرند. یافته‌های حاصل از پژوهش سرلکی و همکاران (۱۴۰۰) نشان داد که تا ۸۰ درصد صرفه‌جویی در انرژی در گلخانه را می‌توان با بکارگیری فناوری‌های انرژی تجدیدپذیر حاصل نمود.

استفاده از انرژی‌های نوین در گلخانه به معنای استفاده از روش‌ها و فناوری‌های نوینی است که برای تأمین انرژی مورد نیاز گلخانه، از منابع تجدیدپذیر یا روش‌های مدیریت انرژی کارآمدتر بهره می‌برد و با استفاده از آن‌ها موجب کاهش وابستگی به سوخت‌های فسیلی و پایداری انرژی در گلخانه‌ها می‌گردد. از این انرژی‌ها انرژی خورشیدی، باد، انرژی زمین گرمایی (ژئوترمال) و زیست‌توده را می‌توان نام برد. این مقاله جهت آشنایی بهره‌برداران و کارشناسان گلخانه‌های تولیدی با منابع نوین و تجدیدپذیر جهت تولید انرژی در گلخانه نگارش شده است.

انرژی خورشیدی

انرژی خورشیدی یکی از فراوان‌ترین و در دسترس‌ترین منابع انرژی نوین در مناطق مختلف جهان شناخته می‌شود (دای و همکاران، ۲۰۰۹). کشور ایران از لحاظ دریافت انرژی خورشیدی بسیار غنی است، براساس پژوهش‌های انجام یافته دارای شرایط مناسب و پتانسیل بسیار مناسب برای بهره‌برداری از انرژی خورشیدی است (نجفی و همکاران، ۲۰۱۵). با توجه به این که در ایران به طور متوسط ۵/۵ کیلووات ساعت انرژی خورشیدی در هر متر مربع در روز بر سطح زمین می‌تابد و ۳۰۰ روز آفتابی در ۹۰٪ خاک کشور وجود دارد، یکی از کشورهای با پتانسیل مناسب در زمینه انرژی خورشیدی است (مؤمنی و همکاران، ۱۳۹۵ و زرینچی و همکاران، ۲۰۲۰). شکل ۱ توزیع مکانی ساعات آفتابی سالانه در ایران را نشان می‌دهد. افزایش جذب

باتوجه به محدود بودن عمر ذخایر سوخت‌های فسیلی، افزایش جمعیت و افزایش درخواست انرژی در سایر بخش‌ها، افزایش سطح زیر کشت گلخانه‌ها و درخواست انرژی بیشتر در این بخش و تلاش برای افزایش عملکرد محصول در واحد سطح که افزایش مصرف انرژی در این بخش را به دنبال خواهد داشت، ضروری است به کاهش روند مصرف انرژی‌های فسیلی و جایگزین کردن آن‌ها با سایر منابع انرژی، بیش از پیش توجه شود (مؤمنی و همکاران، ۱۳۹۹). در صورت کاهش انرژی در کشور اولویت با تأمین انرژی بخش مصرفی خانوارهای شهری و روستایی است و در سال‌های اخیر قطعی شبکه‌های گاز و یا برق در گلخانه‌های تولید محصولات مختلف جهت پایداری انرژی در بخش‌های خانگی رخ داده است. لذا مستقل بودن بخشی از انرژی مورد نیاز گلخانه‌های تولیدی می‌تواند از خسارت سرمای شدید در فصول سرد و یا گرمای بیش از حد در ماه‌های گرم سال جلوگیری کند.

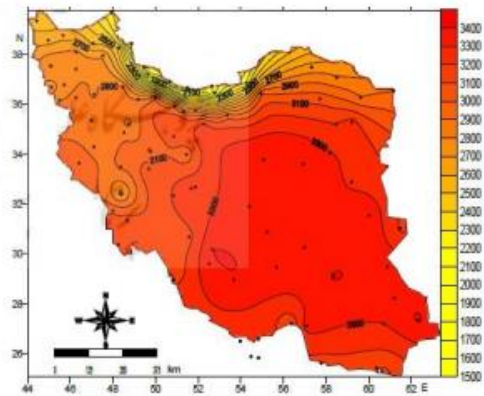
بیشترین سهم نهاده‌ها در کشت گلخانه‌ای مربوط به سوخت‌های فسیلی است درحالی‌که در کشت‌های مزرعه‌ای، سوخت پس از کود دومین نهاده پرمصرف می‌باشد (تاکی و همکاران، ۱۳۹۱). استفاده از سامانه‌های گرمایشی مناسب با هزینه‌های پایین، امری حیاتی برای فراهم کردن شرایط بهینه در محیط داخلی گلخانه در ماه‌های سرد سال است. به‌جای سوخت‌های فسیلی، منابع مختلف انرژی‌های تجدیدپذیر همچون انرژی زمین گرمایی (قسال و تیاری، ۲۰۰۴). انرژی خورشید و انرژی زیست‌توده (چائو و همکاران، ۲۰۰۹) می‌تواند در یک سامانه

برگشت هزینه برای استفاده از انرژی خورشیدی بین گلخانه مدرن و گلخانه سنتی گزارش گردید (وادی و مارتین، ۲۰۱۳). در سیستم گرمایش خورشیدی حجم و عایق‌بندی مخزن ذخیره حرارت باید متناسب با مساحت گلخانه و نیاز گرمایی محصول باشد. از مزایای استفاده از انرژی خورشیدی حذف وابستگی به شبکه برق، جلوگیری از خسارت در زمان قطع برق، کاهش هزینه انرژی در بلندمدت، کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای و حفظ محیط زیست را می‌توان برشمرد. به طور ویژه، استفاده از انرژی خورشیدی نیاز به سوخت‌های فسیلی را کاهش می‌دهد و در نهایت موجب صرفه‌جویی اقتصادی می‌شود. در بررسی‌ها در یک گلخانه‌ی نیمه‌خورشیدی (گلخانه‌ی یک‌طرفه شرقی-غربی، استفاده از دیوار شمالی برای ذخیره انرژی خورشیدی با نصب تجهیزات گرمایش کمکی الکتریکی) در تبریز، اختلاف دمای قابل ملاحظه ۱۹/۵ درجه سانتی‌گراد بین هوای داخل گلخانه و هوای بیرون گلخانه نشان داد که ساختار انتخاب شده برای گلخانه (بدون استفاده از سیستم‌های گرمایشی)، در جذب انرژی خورشید در روزهای سرد پاییز بسیار کارا بوده است. همچنین اختلاف دمای اندک بین گیاه، خاک و هوای داخلی گلخانه نشان داد که انتقال حرارت بین اجزای گلخانه به خوبی انجام شد (محمدی و همکاران، ۱۴۰۰).

در مطالعه‌ی دیگری در بررسی ساختار گلخانه‌های دارای پنل خورشیدی و دارای سیستم جمع‌آوری آب باران در استان کرمان، برآورد انرژی تولیدی و آب باران جمع‌آوری شده نشان داد که با قرار دادن سقف پنل تخت با زاویه ۲۸ درجه، در زمینی به مساحت حدود ۲ هکتار، سالانه بیش از ۶۰۰۰۰ متر مکعب آب باران جمع‌آوری شده و انرژی الکتریکی حاصل از آن به ۱۷۲۲۷۰۵۷ کیلووات در سال رسیده و توان الکتریکی تولید شده از این پنل‌های خورشیدی نصب

پرتو خورشید، سبب کاهش تلفات حرارتی در آب و هوای سرد و افزایش بازده گلخانه‌ها می‌شود (جعفری و همکاران، ۱۳۹۶). نصب پنل‌های خورشیدی بر روی سقف یا اطراف گلخانه (شکل ۲) می‌تواند به تولید برق برای استفاده در سیستم‌های مختلف مانند گرمایش، تهویه و روشنایی کمک کند. برای حل مشکل تغییرات شدت تابش خورشید، می‌توان از سیستم‌های ذخیره‌سازی انرژی مانند باتری‌ها یا ذخیره‌سازی حرارتی استفاده کرد (لو و همکاران، ۲۰۲۱). به طور کلی، از انرژی خورشیدی در گلخانه‌ها به سه صورت استفاده می‌گردد. در نوع اول که به گلخانه‌های غیرفعال معروف هستند، با استفاده از انرژی گرمایی حاصل از تابش‌های خورشیدی، گلخانه گرم می‌شود. در این گلخانه‌ها، شیوه ساخت به گونه‌ای است که بیشترین استفاده از تابش‌های خورشیدی در طول روز و کمترین تلفات انرژی از گلخانه در طول شب صورت می‌گیرد. در گلخانه‌های دسته دوم که گلخانه‌های فعال نامیده می‌شوند، با استفاده از جمع‌کننده‌ها و انتقال سیال گرم شده، گلخانه گرم می‌شود. در گلخانه‌های نوع سوم، با سلول‌های فتوولتائیک، تابش‌های خورشیدی به انرژی الکتریکی تبدیل شده و از آن در گلخانه استفاده می‌شود (مؤمنی و همکاران، ۱۳۹۵). ماژول‌های فتوولتائیک متداول به طور مستقیم نور خورشید را به دلیل اثر فتوولتائیک به الکتریسیته تبدیل می‌کنند و این انرژی را می‌توان به طور مستقیم برای دستگاه‌های دی‌سی و یا از طریق تبدیل با اینورترها برای دستگاه‌های ای‌سی استفاده کرد، همچنین گزینه‌ای برای ذخیره در باتری‌ها دارند (اسماعیلی و روشندل، ۲۰۱۹). استفاده از انرژی خورشیدی در گلخانه‌های سنتی که میزان هدررفت انرژی در آنها بالا است کارایی کمتری دارد. در مطالعه‌ای اختلاف معنی‌داری در مصرف انرژی و دوره

شده حدود ۹ مگاوات تخمین زده می‌شود، که علاوه بر کمک به محیط زیست و افزایش بهره‌وری فرآیند تولید، منجر به استفاده بهینه از آب باران نیز می‌شود (زارع‌زاده، ۲۰۲۳).



شکل ۱- توزیع مکانی ساعات آفتابی سالانه در ایران (مجرد و مرادی، ۱۳۹۰)



شکل ۲- نصب پنل‌های خورشیدی روی سقف یا کنار گلخانه

انرژی باد

در مناطقی که دارای بادهای غالب در طی سال می‌باشند نصب توربین‌های بادی می‌تواند جهت تولید برق برای مصرف در سیستم‌های مختلف گلخانه‌ها

همچون تهویه، آبیاری و حتی تأمین انرژی گرمایشی استفاده شود (جکبسون و دلوچی، ۲۰۱۱). یکی از معایب استفاده از این انرژی، دائمی نبودن وزش باد در کل شبانه روز است، لذا استفاده از سیستم‌های ذخیره‌کننده انرژی در زمان وزش باد توصیه می‌شود. برای مثال انرژی تولید شده در روز در مخازن آب ذخیره و در شب استفاده می‌گردد. از معایب دیگر استفاده از انرژی باد برای گلخانه، نیاز به نصب توربین‌های بادی خیلی بزرگ برای تأمین کل انرژی مورد نیاز است. این توربین‌ها هزینه نصب زیادی دارند و نیاز به سازه‌های محکم جهت نصب داشته و نیاز به سرعت باد شدیدتری دارند و همچنین ممکن است با ایجاد صدای زیاد موجب آزار افرادی که در آن مجموعه مشغول به کار هستند گردد. لذا از انرژی باد می‌توان با نصب توربین‌های بادی کوچک برای تأمین بخشی از انرژی مورد نیاز گلخانه استفاده کرد. در پژوهشی جهت تأمین انرژی گرمایی یک گلخانه ۳۰۰ مترمربعی در استان اردبیل توربین بادی ۳۰ کیلوواتی پیشنهاد شده است. در این پژوهش با توجه به آمار هواشناسی ایستگاه همدیدی فرودگاه اردبیل، استفاده از انرژی باد به شرط استفاده از توربین‌هایی با سرعت بین ۳ الی ۲۵ متر بر ثانیه برای تولید انرژی گرمایی مقرون به صرفه اعلام گردید. در این پژوهش یکی از معایب انرژی بادی نبودن آن در ساعاتی از کل شبانه روز گزارش شد. لذا ذخیره انرژی برق تولیدی توربین بادی بصورت گرما در ساعات وزش باد و استفاده از آن برای تأمین گرمای مورد نیاز داخل گلخانه در زمان‌های افت دمای هوا در این مطالعه پیشنهاد شده است (چراغی و همکاران، ۱۳۹۴). استفاده از توربین بادمحور افقی کوچک جهت تأمین برق بخشی از گلخانه در فیروزکوه نشان داد توربین‌های ۱۰ و ۵ کیلوواتی در این منطقه و در ارتفاع ۱۰ متری جهت

نصب و استفاده مناسب است (شهبازی و همکاران، ۱۳۹۸).

استفاده از فناوری توربین‌های بادی به دلیل قیمت پایین تمام شده برق تولیدی در مقایسه با دیگر منابع انرژی‌های تجدیدپذیر و توانایی ساخت اکثر قطعات توربین‌ها در کشور از دیدگاه دسترسی به فناوری اولویت بیشتری دارد. انرژی‌های تجدیدپذیر با توجه به زیرساخت‌های موجود در کشور می‌تواند سهم خود را در سبد انرژی کشور افزایش دهد (علمداری و همکاران، ۲۰۱۲؛ طلایی و همکاران، ۲۰۱۴).

زیست‌توده (بیومس)

زیست‌توده برای تولید انرژی توجه زیادی را در مقیاس جهانی به خود جلب کرده است (وت و همکاران، ۲۰۱۱). زیست‌توده به مواد آلی و بقایای محصولات کشاورزی، چوب و سایر مواد ارگانیک گفته می‌شود (شکل ۳). از زیست‌توده می‌توان برای احتراق مستقیم، تولید گازهای قابل احتراق و بیوگازها، برای تولید زغال و سوخت‌های مایع زیستی استفاده کرد. امروزه استفاده از زیست‌توده به عنوان یک منبع انرژی تجدیدپذیر در گلخانه‌ها در حال گسترش است. استفاده از ضایعات محصولات کشاورزی علاوه بر افزایش بهره‌وری تولید به حفظ محیط زیست کمک می‌کند. استفاده از زیست‌توده می‌تواند برای تولید انرژی گرمایی یا الکتریکی به کار رود (لو و همکاران، ۲۰۱۸). رهاسازی این منابع در طبیعت باعث تولید آلاینده‌های آب، خاک و هوا می‌شود و گازهای گلخانه‌ای قابل توجهی نیز منتشر می‌سازد. میزان نشر مواد آلاینده ناشی از احتراق زیست‌توده، کمتر از سوخت‌های فسیلی است. استفاده از زیست‌توده می‌تواند مسائل مربوط به انهدام ضایعات حاصل از تولیدات چوب و فرآوری مواد غذایی و زباله‌های جامد شهری را کاهش دهد. متأسفانه مطالعه‌ای در مورد

استفاده از زیست‌توده در تأمین انرژی مورد نیاز گلخانه در کشور انجام نشده است. چائو و همکاران (۲۰۰۹) در مطالعه فنی-اقتصادی خود از یک گلخانه ۳۰۳۵۱ متر مربعی در کانادا، نشان دادند که استفاده از بویلر زیست‌توده برای تأمین تا ۴۰٪ از نیاز گرمای سالانه، نتایج اقتصادی بهتری نسبت به استفاده صرف از دیگ بخار گاز طبیعی دارد. در شرایط آب و هوای سرد در چین، از گازهای داغ تولید شده از یک مشعل زیست‌توده که از یک مبدل حرارتی زیرزمینی عبور می‌کرد، برای گرم کردن خاک گلخانه و در نتیجه دمای داخلی گلخانه استفاده کردند. این مطالعه تجربی دمای داخل و خاک گلخانه را به ترتیب حدود ۵ و ۸ درجه سانتی‌گراد، افزایش داد (هوانگ و همکاران، ۲۰۲۰).



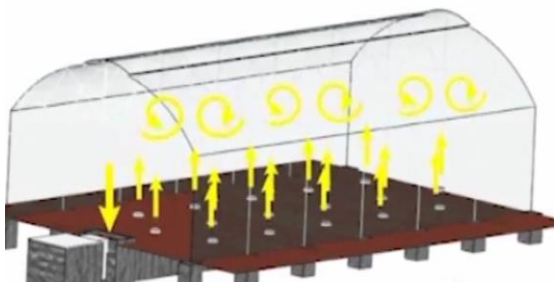
شکل ۳- نمونه‌ای از منابع زیست‌توده

انرژی زمین گرمایی

سیستم‌های زمین گرمایی از انرژی موجود در زیر سطح زمین برای ایجاد گرمایش و یا سرمایش استفاده می‌کنند. این انرژی می‌تواند به صورت مستقیم برای گرم کردن محیط گلخانه یا برای گرم کردن آب استفاده شود. این نوع انرژی می‌تواند به عنوان یک راه

شکل ۴- نمونه‌ای از استفاده از انرژی زمین گرمایی برای ایجاد دمای متعادل در گلخانه تولید گوجه‌فرنگی در استان گلستان

الف: لوله‌هایی که برای تبادل هوا از زیرزمین به داخل گلخانه تعبیه شده‌اند و ب: راهروهایی به عمق ۳-۴ متر در زیر گلخانه که کانال‌های تبادل هوا در بالای آن قرار دارند.



شکل ۵- نمای شماتیک از نحوه تبادل هوای زیر زمین در محیط داخل گلخانه

سیستم‌های کنترل نوین (اتوماسیون گلخانه)

اتوماسیون گلخانه، امکان مدیریت صحیح در جهت افزایش عملکرد و کیفیت محصولات گلخانه‌ای را فراهم می‌آورد. کنترل مطلوب شرایط محیطی گلخانه فرآیند دشواری است. شرایط داخل گلخانه کاملاً ناپایدار بوده و به‌طور پیوسته تغییر می‌کند. کنترل بهینه‌ی محیطی گلخانه تحت تأثیر متغیرهای مختلف بیرونی و درونی فرآیندی پیچیده و پرهزینه است. با این وجود، منافع حاصل از کنترل دقیق و بهینه‌ی گلخانه به مراتب بیشتر از هزینه‌های مربوط به سرمایه‌گذاری اولیه است (زارعی و عزیزی، ۱۳۹۴). اتوماسیون گلخانه‌ها، امکان اعمال مدیریتی صحیح را در جهت افزایش عملکرد و کیفیت محصولات گلخانه‌ای فراهم می‌آورد. مهم‌ترین بخش در اتوماسیون گلخانه، کنترل و مانیتورینگ دقیق شرایط محیطی آن می‌باشد (امید و شفایی، ۱۳۸۴).

حل پایدار و کم‌هزینه در سازگاری با تغییر اقلیم مطرح شود (اسمیت و همکاران، ۲۰۲۴). در طی فصول گرم، هوای سرد و در فصول سرد، هوای گرم زیرزمین با استفاده از کانال‌های تعبیه شده در کف گلخانه (شکل ۴ و ۵) به داخل گلخانه راه می‌یابند و هوای داخل را تا حدودی متعادل می‌سازند که در کاهش مصرف انرژی بسیار تأثیرگذار است. در کشت‌های گلخانه‌ای کنترل دمای گلخانه در برخی ماه‌ها به سختی انجام می‌شود و استفاده از انرژی زمین گرمایی می‌تواند در تعدیل دما و رسیدن به دمای بهینه در گلخانه کمک نماید. در شکل ۳ نمونه‌ای از استفاده از این انرژی در گلخانه تولید گوجه‌فرنگی در استان گلستان نشان داده شده است. در این گلخانه گرمایش با استفاده از هیت‌رهای کابینتی و سرمایش از طریق تهویه و سیستم مه‌پاش و فن‌های اگزاست انجام می‌شود. با این حال در برخی ماه‌های بسیار گرم سال و همچنین در ماه‌های زمستان به ترتیب ورود هوای خنک و گرم چندمتری زیرزمین (نسبت به گلخانه مجاور بدون سیستم زمین گرمایی) به کنترل بهتر دمای داخل گلخانه و همچنین کاهش مصرف انرژی کمک می‌کند.



(الف)



(ب)

پوشش مناسب گلخانه مانند ورق‌های پلی‌کربنات یا پلاستیک چندلایه و یا پرده‌های ذخیره‌کننده انرژی توصیه می‌شود.

- استفاده از انرژی خورشیدی در استان‌های مرکزی و جنوبی ایران با توجه به ساعات آفتابی بالا توصیه می‌گردد.

- در نصب پنل‌های خورشیدی دقت شود که خود تجهیزات در سقف گلخانه مانع رسیدن نور طبیعی به داخل گلخانه نگردد.

- در نصب پنل‌های خورشیدی حجم مخزن ذخیره حرارت باید متناسب با مساحت گلخانه و نیاز گرمایی محصول باشد.

- نصب توربین‌های بادی بزرگ به علت هزینه اولیه و نگهداری زیاد توصیه نمی‌شود.

- استفاده از انرژی زمین‌گرمایی در تمامی مناطق کشور امکان‌پذیر است، لیکن نوع سیستم زمین‌گرمایی باید بر اساس هزینه اولیه و مدت زمان برگشت هزینه ارزیابی گردد.

- هوشمندسازی سیستم‌های گرمایشی، سرمایشی و تهویه گلخانه و تنظیم شرایط اقلیمی داخل گلخانه به صورت هوشمند به کاهش هدررفت و افزایش بهره‌وری انرژی کمک می‌کند.

- استفاده از منابع انرژی‌های نوین باید بر اساس نیازهای گلخانه و شرایط اقلیمی و امکانات موجود مانند وجود ساعات آفتابی زیاد، وزش بادهای دائمی و یا در دسترس بودن منابع زیست‌توده و با احتساب هزینه و مدت زمان برگشت هزینه صورت گیرد.

- در استفاده از انرژی‌های نوین نیاز است دانش فنی لازم با مشورت با شرکت‌های معتبر و کاشناسان خبره کسب شود.

اهداف کاربرد سیستم‌های کنترل و اتوماسیون در گلخانه‌ها عبارتند از: دستیابی به دانش فنی، بومی‌سازی فناوری وارداتی، افزایش بهره‌وری انرژی و نیروی کار، افزایش بازده مدیریتی، افزایش یکنواختی رشد گیاه و کیفیت محصول، کاهش مصرف آب، کاهش مصرف کودها و سموم شیمیایی، کاهش مصرف مواد تنظیم‌کننده رشد، کاهش استهلاک تجهیزات گلخانه‌ای و نیز کاهش ریسک تولید در گلخانه (زارعی و عزیزی، ۱۳۹۴؛ اردیکز و دوبرویک، ۲۰۱۰). امروزه کنترل شرایط محیطی گلخانه‌ها در دنیا کاملاً تجاری شده و در سطوح مختلف قابل اجرا است. در ایران نیز توسعه کنترل هوشمند و مکانیزه برای بهینه‌سازی مصرف انرژی، افزایش بهره‌وری سایر نهاده‌ها و کاهش هزینه‌های تولید در بخش کشاورزی و به‌ویژه در گلخانه‌ها ضروری است.

توصیه‌های ترویجی

استفاده از انرژی‌های خورشیدی، باد، زیست‌توده و انرژی زمین‌گرمایی در گلخانه‌ها می‌تواند به کاهش هزینه‌های انرژی، کنترل راحت‌تر و دقیق‌تر شرایط محیطی داخل گلخانه، کاهش وابستگی به سوخت‌های فسیلی و اطمینان از تأمین بخشی از انرژی مورد نیاز با منابع موجود در صورت قطعی شبکه‌های سراسری گاز یا برق و جلوگیری از خسارت به محصولات ناشی از آن و در نتیجه افزایش پایداری سیستم‌های کشاورزی کمک کند. لیکن برای استفاده بهتر از این منابع انرژی موارد زیر توصیه می‌شود:

- دقت شود استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر جهت تأمین بخشی از انرژی گلخانه می‌باشد.

- برای جلوگیری از هدررفت انرژی عایق‌بندی مناسب گلخانه ضرورت دارد. برای این منظور استفاده از

منابع:

- امید، م. و شفائی، آ. ۱۳۸۴. کنترل کامپیوتری شرایط محیطی گلخانه. مجله تحقیقات مهندسی کشاورزی، ۶(۲۳): ۱۹-۱.
- تاک، م.، عجب شیرچی، ی.، عبدی، ر. و اکبرپور، م. ۱۳۹۱. تجزیه و تحلیل کارایی انرژی محصول خیار گلخانه-ای به روش تحلیل پوششی داده‌ها مطالعه موردی (شهرستان شهرضا - استان اصفهان). نشریه ماشین‌های کشاورزی، ۱۱(۱): ۲۸-۳۷.
- جعفری، م.، مرتضی پور، ح.، جعفری نعیمی، ک. و مهارلوئی، م. ۱۳۹۶. بررسی تجربی عملکرد سامانه‌ی گرمایش خورشیدی گلخانه مجهز به متمرکزکننده‌ی سهموی و جمع‌کننده‌ی خورشیدی تخت دومنظوره. نشریه ماشین‌های کشاورزی، ۷(۲): ۳۶۴-۳۷۸.
- چراغی، ع.، عباسپور، ع. و سلمان‌زاده، م. ۱۳۹۴. استفاده از انرژی باد به منظور تأمین انرژی گرمایی در گلخانه. کنفرانس بین‌المللی فناوری و مدیریت انرژی، تهران، <https://civilica.com/doc/460649>
- زارعی، ق. و عزیزی، آ. ۱۳۹۴. طراحی، ساخت و ارزیابی دستگاه مرکزی برای کنترل شرایط محیطی گلخانه. علوم و فنون کشت‌های گلخانه‌ای، ۶(۲۴): ۴۷-۶۱.
- سرلکی، ا.، چگینی، غ. ر.، مرزبان، ا. و بخشی، ح. ر. ۱۴۰۰. راهکارهای پایدار صرفه‌جویی انرژی در سیستم‌های گلخانه با استفاده از فناوری‌های انرژی‌های تجدیدپذیر. فصلنامه علمی انرژی‌های تجدیدپذیر و نو، ۸(۱): ۱-۱۲.
- شهبازی، ر.، کوراوند، ش. و حسن‌بیگی، س. ر. ۱۳۹۸. پتانسیل سنجی و استفاده از توربین باد محور افقی کوچک جهت تأمین برق بخشی از نیاز گلخانه در منطقه فیروز کوه. فصلنامه علمی - ترویجی انرژی‌های تجدیدپذیر و نو، ۶، ۲: ۱۰۵-۱۱۳.
- محمدی، ب.، رنجبر، س. ف.، عجب شیرچی، ی.، گروسی فرشی، ل. و باهری اسلامی، س. ۱۴۰۰. شبیه‌سازی انرژی، انرژی و اقتصادی یک گلخانه نیمه‌خورشیدی با راستی‌آزمایی تجربی. نشریه مهندسی مکانیک امیرکبیر، ۵۳، ۳: ۱۶۷۷-۱۶۹۴.
- مجرد، ف. و مرادی، ک. ۱۳۹۳. نگرشی بر ناموزونی‌ها و روندهای ساعات آفتابی در ایران. جغرافیا و توسعه، ۳۴: ۱۵۳-۱۶۶.



مؤمنی، د.، بناکار، ا.، قبادیان، ب و مینایی، س. ۱۳۹۵. طراحی، ساخت و ارزیابی سامانه گرمایش خورشیدی با عدسی فرسل خطی برای گلخانه. علوم و فنون کشت‌های گلخانه‌ای، ۷، ۲۵: ۵۹-۶۹.

Alamdari, P., Nematollahi, O., Mirhosseini, M. 2012. Assessment of wind energy in Iran: A review. *Renewable and sustainable energy reviews*, 16(1):836-60.

Chau, J., Sowlati, T., Sokhansanj, S., Preto, F., Melin, S. and Bi, X. 2009. Economic sensitivity of wood biomass utilization for greenhouse heating application. *Applied Energy*, 86 (5): 616–621.

Dai, X., Li, Y., Zhai, L. and Sun, W. 2009. 3,4-Ethylenedioxythiophene (EDOT)-based π -conjugated oligomers: Facile synthesis and excited-state properties. *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*, 206, 2-3: 164 -168.

Eredics, P. and Dobrowiecki, T.P. 2010. Neural models for an intelligent greenhouse: The heating. 11th IEEE Int. Symposium on computational intelligence and informatics, Budapest, Hungary, 63-68.

Esmaeli, H. and Roshandel, R. 2019. Optimal design for solar greenhouses based on climate conditions. *Renewable Energy*, 145: 1255-1265.

Jacobson, M. Z., and Delucchi, M. A. 2011. Providing all global energy with wind, water, and solar power, Part I: Technologies, energy resources, quantities and areas of infrastructure, and materials. *Energy Policy*, 39, 3: 1154- 1169.

Huang, T., Li, H., Zhang, G. and Xu, F. 2020. Experimental study on biomass heating system in the greenhouse: A case study in Xiangtan, China. *Sustainability*, 12 (14): 5673.

Ghosal, M., and Tiwari, G. 2004. Mathematical modeling for greenhouse heating by using thermal curtain and geothermal energy. *Solar energy*, 76: 603-613.

Liu, J., Chai, Y., Xiang, Y., Zhang X., Gou, S. and Liu, Y. 2018. Clean Energy Consumption of Power Systems Towards Smart Agriculture: Roadmap, Bottlenecks and Technologies. *CSEE Journal of Power and Energy Systems*, 4, 3: 273- 282.

Liu, Q., Mei-Hong, L.I. and M. F. Zhu. 2012. Application of solar energy in intelligent ecological agriculture. *Journal of Beihua University*, 13, 3: 344–347.

Najafi, G., Ghobadian, B., Mamat, R., Yusaf, T., Azmi, W. 2015. Solar energy in Iran: Current state and outlook. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 49:931-42.

Smith, T., Awolayo, A.N., Grasby, S.E. and Tutolo, B.M. 2024. Investigation of geochemically induced permeability alteration in geothermal reservoirs and its implications for sustainable geothermal energy production. *Applied Geochemistry*, 175: 106193.

Talaei, A., Ahadi, M.S., Maghsoudy, S. 2014. Climate friendly technology transfer in the energy sector: A case study of Iran. *Energy policy*, 64:349-63.

Vadiee, A. and Martin, V. 2013. Energy analysis and thermoeconomic assessment of the closed greenhouse–The largest commercial solar building, *Applied Energy*, 102: 1256-1266.



Wit, M., Londo, M. and Faaij, A. 2011. Productivity developments in European agriculture: Relations to and opportunities for biomass production. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15, 5: 2397-2412.

Zarezadeh, M. 2023. Simultaneous Supply of Energy and Water by Rainwater Harvest from the Roof of the Greenhouse Structure with a Solar Panel. *Water Harvesting Research*, 6,1: 55-69.

Zanjirchi, S.M., Shojaei, S., Sadrabadi, A.N., Jalilian, N. 2020. Promotion of solar energies usage in Iran: A scenario-based road map. *Renewable Energy*, 150:278-92.