بررسی فنی کاربرد سامانه خورشیدی صفحه تخت برای گرمایش گلخانه ها در جنوب استان کرمان

معین مختاری‌ستائی [۱*]، هوشنگ بهرامی[۲]، محمدجواد شیخ‌داودی[۳]، داود مؤمنی[٤] و محسن سلیمانی[٥]

۱. گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران (moein.mokhtari@gmail.com)
۲. گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران (bahrami16@gmail.com)
۳. گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران (Javad1950@gmail.com)
۴. بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اصفهان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اصفهان، ایران (momenidavood@yahoo.com)
۵. گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران (m.soleymani@scu.ac.ir)

چکیده

در این پژوهش، کاربرد سامانه خورشیدی از لحاظ فنی برای گرمایش یک گلخانه، از نوع دوقلو با سازه قوسی و پوشش پلی‌اتیلن تک لایه، مورد بررسی قرار گرفت. بدین منظور در ابتدا، نیاز گرمایشی گلخانه تعیین شد. سپس با توجه به نتایج بدست آمده، آبگرمکن خورشیدی از نوع صفحه تخت، با ٦ مترمربع جمع‌کننده و ۵۰۰ لیتر حجم مخزن، انتخاب و در کنار یک واحد گلخانه‌ی تولید خیار، برای گرمایش هوای درون گلخانه به کمک ٤ عدد رادیاتور آلومینیومی ۱۰ پره، نصب گردید. در ادامه با استفاده از آزمون t جفت شده، نتایج بدست آمده در این گلخانه با نوع مرسوم در منطقه که دارای بخاری گازوئیلی بود مقایسه گردید. نتایج نشان داد که از منظر میزان کربن دی‌اکسید، متوسط دما و رطوبت نسبی اختلاف معنی‌داری میان دو گلخانه 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 که گلخانه گازوئیلی از میانگین بالاتری برخوردار بود. با کنترل کمینه دما، متوسط دما، محتوای کلروفیل و بیشینه رطوبت نسبی در گلخانه‌ی مجهز به سامانه گرمایش خورشیدی و کمینه دما و محتوای کلروفیل، در گلخانه‌ی مجهز به سامانه گرمایش گازوئیلی، فتوسنتز را بهبود و عملکرد را افزایش داد.

کلمات کلیدی:
آمار هواشناسی، تابش خورشید، دما، رطوبت نسبی، گرمایش گلخانه.

*نویسنده مسئول

بررسی فنی کاربرد سامانه خورشیدی صفحه تخت برای گرمایش گلخانه‌ها در جنوب استان کرمان

مقدمه

بر اساس ترازنامه انرژی دنیا، مصرف تمام منابع انرژی شامل سوخت‌های فسیلی مایع، گاز طبیعی و زغال‌سنگ تا سال ۲۰۳۰ میلادی افزایش خواهد یافت. بنابراین باید توجه بیشتری را به افزایش بهره‌وری در مصرف سوخت و مطالعه در مورد منابع انرژی جایگزین معطوف داشت [12]. امروزه فناوری‌های موجود در کشت گلخانه‌ای، اجازه تولید هر نوع محصول را در هر نقطه‌ای از جهان می‌دهد [16].

مقدار مصرف انرژی در گلخانه‌های منطقه جیرفت در قیاس با گلخانه‌های سایر استان‌ها، بسیار کم‌تر است. ولی سهم سیستم گرمایشی در گلخانه‌های منطقه حدود ۸۵ درصد از کل انرژی مصرفی است که تمام آن از طریق سوخت‌های فسیلی تأمین می‌گردد [4]. با توجه به مزیت‌های کشت‌های گلخانه‌ای، افزایش پنج برابری سطح گلخانه‌ها نسبت به سطح موجود پیش‌بینی شده است. به دلیل وابستگی زیاد این کشت‌ها به انرژی‌های فسیلی، توسعه آن سبب افزایش مصرف انرژی فسیلی و به دنبال آن آلاینده‌های محیط‌زیستی خواهد شد [7].

اگر توسعه گلخانه‌ها با شتاب فعلی در کشور صورت گیرد، در سال‌های آتی، سبب افزایش مصرف انرژی‌های فسیلی و آلاینده‌های زیست‌محیطی خواهد شد [4].

یکی از مهم‌ترین منابع انرژی‌های تجدیدپذیر، انرژی خورشیدی می‌باشد که استفاده از آن در بسیاری از کشورهای جهان رو به فزونی است. کشور ایران در بین مدارهای ۲۵ تا ۴۰ درجه عرض شمالی، از لحاظ دریافت انرژی خورشیدی، وضعیت مناسبی دارد. متوسط تابش انرژی خورشیدی در ایران بین ۱۸۰۰ تا ۲۰۰۰ کیلووات ساعت بر مترمربع در سال تخمین زده شده است که بالاتر از میزان متوسط جهانی است. یکی از محاسن کشت‌های گلخانه‌ای، پتانسیل بالای استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر مانند انرژی خورشیدی، سامانه‌های زمین گرمایی، سامانه‌های ذخیره گرما و غیره در آن است [6]، [8]. برای جایگزینی انرژی خورشیدی با مصرف انرژی‌های فسیلی، باید تحلیل درستی در زمینه بررسی پتانسیل استفاده از آن در گلخانه‌ها وجود داشته باشد [1].

یک سامانه خورشیدی در آلمان طراحی گردید که در هنگام روز، بخشی از انرژی خورشیدی وارد شده در داخل گلخانه را جمع‌آوری کرده و در شب هنگام با به‌گردش درآوردن آب توسط لوله‌های باریک پلاستیکی گلخانه را گرم می‌نمود [17].

از سال ۱۹۸۳ سیستم‌های گرمایش خورشیدی غیرفعال، که در آن از تیوب‌های پر شده با آب استفاده شده است، فرم نهایی خود را پیدا کردند. یک تیوب پلی‌اتیلن، به محیط ۱ متر و ضخامت ۰/۱۲۵ میلی‌متر که تقریباً ۳۵ درصد کل فضای گلخانه را دربرگیرد، می‌تواند مطلوب باشد. نتایج نشان داد که هر چه میزان تیوب‌های قرار گرفته در گلخانه بیشتر باشد، تولید نیز افزایش می‌یابد، ولیکن در عمل، پوشش بیش از ۳۵ درصد کف گلخانه مقدور نیست. همچنین در شرایط نامناسب آب و هوایی مثل شدت تابش خورشیدی پایین و دمای کم، تیوب‌های بزرگ‌تر بهترند. در مقابل آن در شرایط شدت تابش خورشیدی زیاد و دمای کم هوا، بازده تیوب‌های باریک بالاتر است. راندمان این سیستم‌ها به اندازه تابش خورشیدی در دسترس، میزان ذخیره‌سازی انرژی در تیوب‌های پلاستیکی در شروع سیکل و شرایط آب و هوایی بستگی دارد [20].

برای گرمایش گلخانه با استفاده از انرژی خورشیدی، گلخانه خاصی ساخته و دیواره شمالی آن به عنوان ذخیره کننده انرژی تابشی استفاده شد. در داخل گلخانه نیز از شبکه‌های زمین به هوا به عنوان تبادل کننده‌های

حرارت استفاده گردید. این شبکه‌ها در عمق زمین قرار می‌گرفتند. به کمک این سامانه حدود ۳۵٪ در مصرف انرژی‌های فسیلی در گلخانه صرفه‌جویی می‌شود [24].

سیستمی متشکل از جمع‌کننده تابشی، تانک ذخیره آب گرم، تبادل‌کننده‌ی حرارتی و فن برای افزایش دمای گلخانه در هنگام شب پیشنهاد گردید. نتایج نشان داد که دما در گلخانه‌های مجهز به این سیستم نسبت به گلخانه‌های فاقد این سیستم به طور معنی‌داری بالاتر است [19].

مهم‌ترین مانع برای توسعه استفاده از سیستم آبگرمکن خورشیدی، سرمایه‌بر بودن اولیه این سیستم است که بر روی انتخاب مشتریان تأثیر منفی می‌گذارد [30].

یکی از عوامل مهم در مطالعات مربوط به سامانه‌های خورشیدی، میزان تابش خورشیدی رسیده به زمین است. برای این منظور با استفاده از داده‌های ساعات آفتابی مناطق مختلف، میزان تابش ماهانه و همچنین میانگین سالانه تابش خورشید بر سطح افقی و شیب‌دار تخمین زده می‌شود [9]. زاویه شیب بهینه یک جمع‌کننده خورشیدی، در طول سال، متغیراست. مقدار این زاویه در تابستان حداقل و در زمستان حداکثر می‌باشد [13]. شیب متوسط فصلی یک جمع‌کننده‌ی خورشیدی، با پیدا کردن مقدار متوسط زاویه شیب برای هر فصل محاسبه می‌شود و به کمک آن می‌توان شیب جمع‌کننده را چهار بار در سال تغییر داد [14]. تنظیم ماهانه زاویه بهینه شیب جمع‌کننده، سبب به حداکثر رسیدن انرژی خورشیدی جمع‌آوری شده می‌گردد [14]، [15]، [26]. گزینه دیگر نصب دو جمع‌کننده، یکی رو به شرق، برای استفاده در صبح، و دیگری رو به غرب، برای استفاده در بعدازظهر، است [21]. یک مدل ریاضی برای برآورد تابش خورشیدی بر روی یک سطح شیب‌دار، که زاویه بهینه شیب جمع‌کننده خورشیدی و جهت‌گیری آن (زاویه سمت سطح) در یک دوره زمانی خاص در طول یک روز روشن را تعیین می‌کند، در برخی از شهرهای بزرگ ایران، پیشنهاد شده است [23].

نتایج تحقیق در مورد زاویه تمایل بهینه جمع‌کننده خورشیدی در کشور برونئی با استفاده از مدل ریاضی، در حالت تنظیم ماهیانه زاویه تمایل (۱۲ بار در سال) نشان داد که مقدار انرژی تابشی به‌دست آمده در حالت تنظیم ماهانه‌ی زوایای جمع‌کننده نسبت به وقتی که جمع‌کننده در شرایط افقی قرار می‌گیرد، ۳۰ درصد بیشتر خواهد بود [25].

تانگ و تونگ زاویه تمایل بهینه جمع‌کننده خورشیدی را برای زمستان ۱۸ درجه بیش‌تر و در تابستان، ۲۵ درجه کم‌تر از عرض جغرافیایی، محاسبه نمودند. قیاس دو آبگرمکن خورشیدی شبیه با زوایای تمایل ۲۲ و ٤٦ درجه نشان داد که راندمان هر دو آبگرمکن بالاست، ولی میزان انرژی دریافتی در طول روز متفاوت است. آبگرمکن دارای زاویه تمایل ۲۲ درجه برای بعدازظهر و آبگرمکن دارای زاویه تمایل ٤٦ درجه برای صبح، دارای بهترین شرایط جذب نور خورشید هستند [27].

نتایج یک مطالعه روی زاویه بهینه‌ی نصب جمع‌کننده‌های خورشیدی در شهر تهران نشان داد که بهترین زاویه تمایل سالیانه جمع‌کننده‌ها برای این شهر، ۳۰ درجه برای فصل تابستان و ۵۰ درجه برای فصل زمستان است [10].

عملکرد سامانه‌ی گرمایش خورشیدی مجهز به عدسی فرسنل خطی مورد بررسی قرار گرفت. ارزیابی عملکرد این سامانه در پنج زاویه سمت، پنج شیب عدسی و شش سطح دبی آب عبوری از لوله جاذب انجام شد. نتایج گویای این موضوع است که عملکرد بهینه‌ی این سامانه در دبی ۳۰۰ میلی‌لیتر بر دقیقه، در وضعیت جنوبی است و شیب عدسی باید به صورت ماهانه تنظیم گردد [5].

دما نقش زیادی در تعداد گل و انشعابات گل‌آذین دارد. قابلیت جوانه‌زنی دانه گرده و رشد لوله گرده طی فرآیند تلقیح، از طریق دماهای بحرانی بیشتر از ۳۷/۵ درجه و کمتر از ۵ درجه سلسیوس محدود می‌گردد [2].

میزان آسیمیلاسیون خالص کربن دی‌اکسید در دمای ۱۵ درجه با دمای ۲۵ درجه سلسیوس تفاوت معنی‌داری ندارد، ولی با افزایش دما به ۳۵ درجه سلسیوس این میزان به‌طور معنی‌داری کاهش می‌یابد [28]. همچنین دمای بالاتر از دمای بهینه سبب افزایش ریزش میوه‌ها می‌گردد که کاهش عملکرد را به دنبال خواهد داشت [29].

میان صفت تعداد خوشه گل و تعداد میوه گوجه‌فرنگی در شرایط اقلیمی گلخانه‌های سنتی همبستگی مثبت و معنی‌داری وجود دارد. پس افزایش دما در مرحله گل‌آغازی موجب کاهش تعداد خوشه گل و در نتیجه میوه می‌شود [3].

هرچه شدت نور بیشتر و دما کمتر باشد تعداد گل‌ها می‌تولند تا ۲۰ درصد افزایش یابد که با عملکرد همبستگی مثبت و معنی‌داری دارد. افزایش دما و کاهش شدت نور در گلخانه‌های سنتی موجب تجزیه کلروفیل می‌گردد [3].

هدف از انجام این پژوهش بررسی کاربرد سامانه‌ی گرمایش خورشیدی صفحه تخت، برای گرمایش هوای داخل گلخانه، از لحاظ فنی و مقایسه آن با سامانه‌ی گرمایشی مرسوم (بخاری گازوئیلی) در گلخانه‌های جنوب استان کرمان است.

مواد و روش‌ها

محاسبه میزان تابش خورشیدی

در ارتباط با سامانه‌های خورشیدی، اولین گام، تعیین میزان تابش خورشیدی در دسترس است. برای برآورد میزان تابش خورشیدی بر روی سطح افقی، از روابط زیر استفاده گردید[9]، [20] .

$$\frac{\bar{H}}{\bar{H}_0} = a + b\left(\frac{\bar{n}}{\bar{N}}\right) \qquad (1)$$

در رابطه‌ی بالا، $\frac{\bar{H}}{\bar{H}_0}$ نسبت متوسط صافی آسمان در یک ماه، $\bar{H}$ میانگین ماهانه‌ی تابش روزانه‌ی کل، $\overline{H_0}$ میزان تابش اندازه‌گیری شده در خارج از جو، n ساعات آفتابی اندازه‌گیری شده، N ساعات آفتابی بالقوه نجومی در روز مورد مطالعه و a و b ثابت‌های وابسته به مکان می‌باشند. برای محاسبه‌ی این پارامترها از روابط ۲ تا ۹ استفاده شد [16]:

$$H_O = \frac{24}{\pi} G_{SC}\left(1 + 0.033\cos\frac{360}{365}n\right)\left(\cos\varphi\cos\delta\sin\omega_s + \frac{\pi\omega_s}{180}\sin\varphi\sin\delta\right) \qquad (2)$$

در رابطه ۲: ثابت خورشیدی G_{sc}، انرژی دریافتی از خورشید در واحد زمان، است که در این پژوهش مقدار آن ۱۳۶۷ وات بر مترمربع[1] در نظر گرفته شد. φ عرض جغرافیایی منطقه، δ زاویه تمایل خورشید نسبت به استوا بر حسب درجه ($-23.45 \leq \delta \leq 23.45$)، که مقدار آن از معادله تقریبی کوپر محاسبه گردید (رابطه ۳). ω_s زاویه ساعت خورشیدی نیز بر حسب درجه می‌باشد که مقدار آن از رابطه (٤) بدست آمد:

$$\delta = 23.45 \sin\left[\frac{360(n+284)}{365}\right] \quad (3)$$

$$\omega_s = \cos^{-1}[-\tan\delta \tan\varphi] \quad (4)$$

$\bar{n}$ میانگین ماهیانه‌ی بیشینه ساعات آفتابی (طول روز) و $\bar{N}$ بیانگر میانگین ماهیانه‌ی ساعات آفتابی روزانه است که از رابطه‌ی (٥) محاسبه گردید:

$$\bar{N} = \frac{2}{15}\omega_s \quad (5)$$

محاسبه میزان متوسط ماهانه‌ی تابش روزانه بر روی سطح شیب‌دار، با شیب ثابت، در منطقه به کمک روابط زیر انجام شد [16]:

$$\bar{H}_T = \bar{H}\left(1 - \frac{\bar{H}_d}{\bar{H}}\right)\bar{R}_b + \bar{H}_d\left(\frac{1+\cos\beta}{2}\right) + \bar{H}_0\rho_0\left(\frac{1-\cos\beta}{2}\right) \quad (6)$$

$$\frac{\bar{H}_d}{\bar{H}} = 1 - 1.15\left(\frac{\bar{H}}{\bar{H}_0}\right) \quad (7)$$

$$\bar{R}_b = \frac{\cos(\emptyset-\beta)\cos\delta\cos\acute{\omega}_s + \frac{\pi}{180}\acute{\omega}_s\sin(\emptyset-\beta)\sin\delta}{\cos\emptyset\cos\delta\sin\acute{\omega}_s + \frac{\pi}{180}\omega_s\sin\emptyset\sin\delta} \quad (8)$$

$$\acute{\omega}_s = min\begin{cases}\cos^{-1}(-\tan\delta\tan\emptyset)\\ \cos^{-1}(-\tan\delta\tan(\emptyset-\beta))\end{cases} \quad (9)$$

که در آن‌ها:

[1] **این مقدار توسط مرکز تابش جهانی (WRC)، با عدم اطمینان یک درصد، بیان شده است.**

$\overline{H_T}$: **متوسط ماهانه‌ی تابش روزانه بر روی یک سطح شیب‌دار با شیب ثابت در یک نقطه‌ی مشخص از سطح زمین بر حسب مگاژول بر مترمربع**

$\overline{H}$: **متوسط ماهانه‌ی تابش روزانه بر روی یک صفحه افقی در یک نقطه مشخص از سطح زمین بر حسب مگاژول بر مترمربع**

$\overline{H_0}$: **متوسط ماهانه‌ی تابش روزانه بر روی یک صفحه‌ی افقی در خارج از جو برحسب مگاژول بر مترمربع**

$\overline{H_d}$: **متوسط ماهانه‌ی تابش پخش شده‌ی روزانه بر روی یک صفحه‌ی افقی در یک نقطه‌ی مشخص از سطح زمین برحسب مگاژول بر مترمربع**

$\overline{R_b}$: **نسبت متوسط ماهانه‌ی تابش مستقیم روزانه بر روی یک سطح شیب‌دار به متوسط ماهانه‌ی تابش مستقیم روزانه بر روی سطح افقی**

β: **زاویه‌ی شیب صفحه بر حسب درجه**

ρ: **ضریب بازتابش از زمین است که مقدار آن در ماه‌های مختلف سال از ۰/۲ تا ۰/۷ متفاوت است.**

a و b: **ضرایب ثابت هستند که تابع شرایط اقلیمی محل و طول و عرض جغرافیایی بوده و پس از مشابه‌سازی نقاط هم شرایط با محل مورد نظر از جداول مرجع انتخاب می‌شود.**

ω_s: **زاویه‌ی ساعت طلوع و غروب خورشیدی برای یک صفحه‌ی شیب‌دار بر حسب درجه**

محاسبه نیاز حرارتی گلخانه

برای محاسبه تلفات انرژی گلخانه، از استاندارد انجمن ملی گلخانه‌سازان آمریکا[2] استفاده شد. طبق این استاندارد، مقدار انرژی لازم برای گرم نگه داشتن گلخانه به‌کمک رابطه‌ی (۱۰) محاسبه می‌گردد:

$$L = L_{cover} + L_{frame} + L_{wind} \quad (10)$$

L: **تلفات کل (کیلوکالری بر ساعت).**

L_{cover}: **تلفات پوشش (کیلوکالری بر ساعت).**

L_{frame}: **تلفات سازه (کیلوکالری بر ساعت).**

L_{wind}: **تلفات باد (کیلوکالری بر ساعت).**

که هر یک از این تلفات به صورت زیر محاسبه می‌گردند:

$$L_{cover} = U \cdot A \cdot (T_{inside} - T_{outside}) \quad (11)$$

[2] - National Greenhouse Manufacturing Association

U: ضریب انتقال حرارت پوشش (کیلوکالری بر ساعت مترمربع درجه سلسیوس)

A: مساحت پوشش (مترمربع)

T_{inside}: دمای داخل گلخانه (درجه سلسیوس)

$T_{outside}$: کمینه دمای خارج گلخانه (درجه سلسیوس)

$$L_{frame} = C \cdot L_{cover} \quad (12)$$

$$L_{wind} = 0.018 F_{wind} \cdot N \cdot V \cdot (T_{inside} - T_{outside}) \quad (13)$$

F_{wind}: ضریب سرعت باد (کیلوکالری بر مترمربع درجه سلسیوس)

N: تعداد دفعات تبادل هوای داخل گلخانه (بر ساعت)

V: حجم گلخانه (متر مکعب)

هر چه سرعت وزش باد در محل احداث گلخانه بیشتر باشد، تلفات حرارتی گلخانه بیشتر می‌شود. به همین دلیل در مکان‌هایی که سرعت باد از ۲٤ کیلومتر بر ساعت بیش‌تر باشد، مقدار تلفات به‌دست آمده با توجه به ضریب باد، بیشتر از حالت عادی خواهد بود.

بررسی فنی سامانه گرمایش خورشیدی

پس از تعیین نیاز گرمایشی گلخانه، ظرفیت و ابعاد سامانه گرمایش خورشیدی، از نوع صفحه تخت، مشخص و در کنار گلخانه خیار واقع در مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی جنوب استان کرمان نصب شد. تنظیمات زوایای جمع‌کننده در طول فصول پاییز و زمستان به صورت دوره‌ای انجام شد. گلخانه نیز از نوع دوقلو با سازه‌ی قوسی و پوشش پلی‌اتیلن تک لایه با طول، عرض و ارتفاع، به ترتیب، ٤٠، ١١ و ٤/٥ متر بود که در این پژوهش به دو بخش تقسیم گردید. در یک بخش، سامانه گرمایش خورشیدی و در دیگری، سامانه گرمایش متداول منطقه (گازوییلی) قرار داده شد. برای حذف اثر تیمارها بر هم، دهانه‌ها به‌وسیله‌ی پلاستیک با ایجاد لایه مرزی به طول ١٦ متر، چهار دهانه‌ی ٤ متری، فاصله داده شدند.

با توجه به بحث‌های زیست‌محیطی و ضرورت کاهش نیاز به سوخت‌های فسیلی، بار تأمین شده از ناحیه جمع‌کننده خورشیدی صفحه تخت ۱۰۰ درصد انتخاب شد. انرژی حاصل از جمع‌کننده خورشیدی صفحه تخت حدود ۷۷۰ تا ۸۸۰ کیلووات ساعت بر مترمربع است. با توجه به هدف‌گذاری این پروژه برای تأمین بار در فصل سرما، سطح جمع کننده‌ی خورشیدی مورد نیاز ٦ مترمربع محاسبه گردید (شکل ۱):

سطح جمع کننده خورشیدی $= {}^{4620}/_{770} = 6$

میزان آب گرم مورد نیاز جهت ثابت نگه‌داشتن دمای گلخانه در حد بهینه، با فرض اینکه ظرفیت گرمایی ویژه آب ٤١٨٧ ژول بر کیلوگرم درجه سلسیوس و انرژی گرمایی مورد نیاز گلخانه ٤٢ کیلووات در روز باشد، به صورت زیر محاسبه شد:

$$Q = mc\Delta T \qquad (14)$$

که Q **انرژی گرمایی مورد نیاز بر حسب کیلووات،** m **جرم آب بر حسب کیلوگرم،** c **ظرفیت گرمایی ویژه آب بر حسب ژول بر کیلوگرم درجه سلسیوس و** ΔT **اختلاف دمای بین آب گرم سیستم و کم‌ترین دمای خارج گلخانه بر حسب درجه سلسیوس است.**

$$42 = m \times 4187(75 - 4) \rightarrow \mathrm{m} = 500$$

بنابراین یک مخزن ۵۰۰ لیتری برای ذخیره آب گرم مورد نیاز مد نظر قرار گرفت. یک سیستم کمکی برقی، دو المنت برقی ۲۰۰۰ وات، برای موارد اضطرار که سامانه خورشیدی قادر به تأمین بخشی یا تمام انرژی گرمایی مورد نیاز گلخانه نیست، در نظر گرفته شد. برای توزیع گرما در سطح گلخانه از ٤ رادیاتور ۱۰ پره آلومینیومی استفاده گردید.

اطلاعات مربوط به تغییرات دما و رطوبت نسبی در هر تیمار، در بازه زمانی ۷۲ روزه آزمایش، با استفاده از دیتالاگر[3]، در هر ساعت، ثبت گردید. علاوه بر آن، فواصل برداشت، عملکرد در هر چین، عملکرد کل، شاخص کلروفیل[4] و سطح کربن دی‌اکسید، با استفاده از دیتالاگر[5]، نیز در هر تیمار اندازه‌گیری و ثبت شدند. تیمارها شامل دو سیستم گرمایشی (سامانه گرمایش خورشیدی و گازوییلی) بودند که برای مقایسه میانگین‌ها از آزمون t جفت شده استفاده شد. نمونه‌برداری‌های مربوط به عملکرد و شاخص کلروفیل در هر چین در ۱۲ تکرار، یک کرت ۱۰۰×٤٠ سانتی‌مترمربعی، انجام شد. مقایسه میانگین‌ها توسط نرم‌افزار SPSS انجام و مورد بررسی و تحلیل قرار گرفت.

[3] EXTECH RHT20 Datalogger

[4] - با استفاده از دستگاه اسپکتوفتومتر مدل Nova Spect

[5] MIC-98132S Datalogger

تحلیل نتایج

برای دستیابی به حداکثر راندمان جمع‌کننده خورشیدی صفحه تخت در منطقه مورد مطالعه، بایستی زاویه تمایل عمودی در تابستان ۱۰ و در زمستان ٤٠ درجه تنظیم گردد.

بر اساس نیاز گرمایشی گلخانه و درصد تأمین گرما توسط جمع‌کننده خورشیدی، ابعاد جمع کننده سامانه خورشیدی ٦ مترمربع و ظرفیت مخزن ذخیره آب آن ٥٠٠ لیتر بدست آمد. برای توزیع گرما در فضای گلخانه نیز از ٤ رادیاتور ۱۰ پره‌ی آلومینیومی استفاده شد.

بررسی داده‌های حاصل از اندازه‌گیری میزان عملکرد محصول و کلروفیل، در ۱۳ چین، نشان داد که در گلخانه مرسوم رشد رویشی بوته‌ها بهتر بوده و در نتیجه شاخص کلروفیل و عملکرد میوه وضعیت بهتری داشته است. اختلاف بین دو گلخانه از نظر محتوای کلروفیل و عملکرد، به ترتیب در سطح یک و پنج درصد معنی‌دار بود. متوسط عملکرد در چین در گلخلنه مجهز به سامانه گرمایش خورشیدی ٤٠/٤٦ کیلوگرم و در گلخلنه مرسوم ٥٠/٢٤ کیلوگرم و عملکرد کل دو گلخانه، به ترتیب، ٤/٤ و ٥/٤ کیلوگرم بر مترمربع بود. از نظر میزان کلروفیل نیز بوته‌های گلخانه مرسوم بهتر بودند. بالاتر بودن شاخص کلروفیل در گلخانه مرسوم به‌سبب بهبود فتوسنتز و افزایش عملکرد حاصل شده بود.

نتایج مقایسه سامانه گرمایش خورشیدی با سامانه گرمایشی مرسوم در جدول ۱ آمده است. نتایج آزمون t جفت شده در دو گلخانه نشان داد که با وجود بالاتر بودن میزان کربن دی‌اکسید در گلخانه مجهز به سامانه گرمایش خورشیدی، تفاوت معنی‌داری از نظر متوسط این شاخص، در بازه زمانی ۷۲ روزه از آذرماه تا بهمن‌ماه، وجود نداشت. دلیل بالاتر بودن میزان کربن دی‌اکسید در گلخانه مجهز به سامانه خورشیدی، کوچک‌تر بودن بوته‌ها و کم بودن میزان فتوسنتز به عنوان مصرف کننده کربن دی‌اکسید بود. همچنین متوسط دما و رطوبت نسبی گلخانه مجهز به سامانه گرمایش خورشیدی نیز تفاوت معنی‌داری با گلخانه مرسوم نداشت. مجموع عملکرد در ۱۳ چین انجام شده در این بازه، از مساحت ٤٠ مترمربعی، برای گلخانه مجهز به سامانه گرمایش خورشیدی ٥٢٦ کیلوگرم و برای گلخانه مجهز به سامانه گرمایشی مرسوم ٦٥٣/١ کیلوگرم بود.

ضرایب همبستگی نشان داد که در گلخانه‌ی مجهز به سامانه گرمایش خورشیدی، عملکرد میوه با کمینه دما (٠/٧٤)، متوسط دما (٠/٦١) و محتوای کلروفیل (٠/٩٤) همبستگی مثبت و معنی‌دار و با بیشینه رطوبت نسبی همبستگی منفی و معنی‌دار (٠/٣٥) داشت. این نتایج بدان معناست که با کنترل این چهار عامل، در گلخانه، می‌توان شرایط فتوسنتزی بهتری برای گیاه فراهم کرد و به عملکرد بالاتری دست یافت (جدول ۲).

در گلخلنه‌ی گازوئیلی، دو شاخص کمینه دمای گلخلنه (٠/٣٠) و محتوای کلروفیل (٠/٩٢) همبستگی مثبت و معنی‌داری با عملکرد بوته داشته و سایر پارامترهای جوی تأثیری بر تولید محصول در این گلخانه نداشتند (جدول ۳).

نتایج حاصل از مطالعات شکاری و همکاران، ۱۳۸۵، فرزانه و همکاران، ۱۳۹۰، تنگبای و همکاران، ۲۰۱۰ و یانگ و همکاران ۲۰۱۰ که نشان دهنده همبستگی میان شرایط اقلیمی گلخانه با عملکرد و اجزای عملکرد محصولات گلخانه‌ای است با نتایج مطالعه حاضر انطباق دارد.

جدول ۱- نتایج آزمون t جفت شده مقایسه سامانه گرمایش خورشیدی با سامانه گرمایشی مرسوم

متغیر	درجه آزادی	میانگین	t	سطح معنی‌داری	اختلاف میانگین‌ها
سطح کربن دی‌اکسید در گلخانه خورشیدی	71	438.28	1.26	0.21ns	2.80
سطح کربن دی‌اکسید در گلخانه با سامانه گرمایش گازوییلی		435.47			
متوسط دمای گلخانه با سامانه گرمایش خورشیدی	71	19.93	0.76	0.44ns	0.15
متوسط دمای گلخانه با سامانه گرمایش گازوییلی		19.78			
متوسط رطوبت نسبی گلخانه با سامانه گرمایش خورشیدی	71	68.38	1.10	0.27ns	0.79
متوسط رطوبت نسبی گلخانه با سامانه گرمایش گازوییلی		69.17			
متوسط عملکرد هر چین گلخانه با سامانه گرمایش خورشیدی	12	40.46	2.34	0.04*	9.78
متوسط عملکرد هر چین گلخانه با سامانه گرمایش گازوئیلی		50.24			
شاخص کلروفیل در گلخانه با سامانه گرمایش خورشیدی	12	2.11	4.00	0.001**	0.29
شاخص کلروفیل در گلخانه با سامانه گرمایش گازوییلی		2.41			

**، * و ns به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد و غیر معنی‌دار

جدول ۲- ضرایب همبستگی بین صفات اندازه‌گیری شده در گلخانه مجهز به سیستم گرمایش خورشیدی

	کمینه درجه حرارت	بیشینه درجه حرارت	میانگین درجه حرارت	کمینه رطوبت نسبی	بیشینه رطوبت نسبی	میانگین رطوبت نسبی	سطح کربن دی-اکسید	عملکرد	شاخص کلروفیل
کمینه درجه حرارت	۱/۰۰								
بیشینه درجه حرارت	۰/۱۶	۱/۰۰							
میانگین درجه حرارت	۰/۷۳۶**	۰/۶۸۰**	۱/۰۰						
کمینه رطوبت نسبی	-۰/۰۶	-۰/۸۴۳**	-۰/۴۹ *	۱/۰۰					
بیشنه رطوبت نسبی	-۰/۲۹ *	-۰/۳۱ *	-۰/۴۵ *	۰/۵۸۸*	۱/۰۰				
میانگین رطوبت نسبی	-۰/۱۸	-۰/۷۰۷**	-۰/۵۵ **	۰/۹۳۲**	۰/۸۲۹**	۱/۰۰			
سطح کربن دی‌اکسید	-۰/۲۴ *	-۰/۰۸	-۰/۲۸ *	-۰/۰۷	۰/۱۲	۰/۰۳	۱/۰۰		
عملکرد	۰/۷۴۰**	۰/۰۱	۰/۶۱**	-۰/۰۶	-۰/۳۵ *	-۰/۲۰	۰/۰۸	۱/۰۰	
شاخص کلروفیل	۰/۶۸۵**	-۰/۰۹	۰/۵۰	۰/۰۹	-۰/۲۵ *	-۰/۰۵	۰/۱۵	۰/۹۴۶**	۱/۰۰

** و * به ترتیب معنی دار در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد

جدول ۳- ضرایب همبستگی بین صفات اندازه‌گیری شده در گلخانه مجهز به سیستم گرمایش گازوئیلی

	کمینه درجه حرارت	بیشینه درجه حرارت	میانگین درجه حرارت	کمینه رطوبت نسبی	بیشینه رطوبت نسبی	میانگین رطوبت نسبی	سطح کربن دی-اکسید	عملکرد	شاخص کلروفیل
کمینه درجه حرارت	۱/۰۰								
بیشینه درجه حرارت	۰/۲۳ *	۱/۰۰							
میانگین درجه حرارت	۰/۷۵۱**	۰/۶۱۸*	۱/۰۰						
کمینه رطوبت نسبی	۰/۰۴	-۰/۸۵۶**	-۰/۴۵ *	۱/۰۰					
بیشنه رطوبت نسبی	-۰/۱۰	-۰/۵۰ **	-۰/۵۱ **	۰/۴۶ *	۱/۰۰				
میانگین رطوبت نسبی	۰/۰۶	-۰/۸۷۲**	-۰/۴۸ *	۰/۹۷۷**	۰/۵۴ **	۱/۰۰			
سطح کربن دی‌اکسید	-۰/۲۹ *	-۰/۳۱*	-۰/۲۹ *	-۰/۰۲	۰/۵۹۴**	۰/۰۶	۱/۰۰		
عملکرد	۰/۳۰ *	-۰/۱۳	۰/۱۸	۰/۰۵	-۰/۰۸	۰/۰۵	۰/۱۰	۱/۰۰	
شاخص کلروفیل	۰/۱۵	-۰/۲۲	۰/۰۵	۰/۰۸	-۰/۰۱	۰/۰۹	۰/۲۲	۰/۹۱۷**	۱/۰۰

** و * به ترتیب معنی دار در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد

بنابراین استفاده از سامانه خورشیدی برای گرمایش گلخانه‌های منطقه از نظر فنی توجیه‌پذیر است، که با نتایج حاصل از پژوهش‌های عبداللطیف و محمد، ۲۰۱۰، مؤمنی و منذر، ۱۳۸۹، شاه‌حسینی و تقی‌پور، ۱۳۹۳، قبادپور و همکاران، ۱۳۹۵ و جعفریان و همکاران، ۱۳۹۵ که بر امکان کاربرد آبگرمکن‌های خورشیدی در گرمایش گلخانه تأکید نمودند، مطابقت دارد.

نتیجه‌گیری

نتایج این تحقیق نشان داد که، در زمستان، بهترین زاویه تمایل عمودی جمع‌کننده خورشیدی صفحه تخت در جنوب استان کرمان ٤٠ درجه است.

نتایج در دو گلخانه مجهز به سامانه گرمایش خورشیدی و بخاری گازوییلی نشان داد که تفاوت معنی‌داری از نظر متوسط کربن دی‌اکسید، دما و رطوبت نسبی میان دو گلخانه وجود ندارد ولی با توجه به رشد رویشی مناسب‌تر بوته‌ها در گلخانه مرسوم و بهتر بودن شاخص کلروفیل، عملکرد محصول بالاتر بود.

ضرایب همبستگی نشان داد که در گلخانه‌ی مجهز به سامانه گرمایش خورشیدی، با کنترل چهار عامل کمینه دما، متوسط دما، محتوای کلروفیل و بیشینه رطوبت نسبی و در گلخانه‌ی مجهز به سامانه گرمایش گازوئیلی، با مدیریت دو شاخص کمینه دما و محتوای کلروفیل می‌توان فتوسنتز را بهبود و عملکرد را افزایش داد.

منابع

۱. شاه‌حسینی، س.، و تقی‌پور، ح. ۱۳۹۳. بررسی و تحلیل اقتصادی استفاده از انرژی خورشیدی در گلخانه‌های استان گلستان. اولین کنفرانس ملی جایگاه مدیریت و حسابداری در دنیای نوین کسب و کار، اقتصاد و فرهنگ، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علی‌آباد کتول، ۲۹ مردادماه.

۲. شکاری، ف.، مسیحا، س.، و اسماعیل‌پور، ب. ۱۳۸۵. فیزیولوژی سبزی‌ها. جلد اول (ترجمه)، انتشارات دانشگاه زنجان.

۳. فرزانه، ا.، نعمتی، س‌ح.، و وحدتی، ن. ۱۳۹۰. تأثیر برخی پارامترهای هواشناختی (دما و نور) بر شاخص‌های عملکرد و صفات کمی و کیفی چهار رقم گوجه‌فرنگی. نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، ۲۵(۳)، ٦٨٨-٦٩٧.

۴. مؤمنی، د. ۱۳۹۸. بررسی شاخص‌های مصرف انرژی در تولید خیار گلخانه‌ای جنوب کرمان. مجله ترویجی سبزیجات گلخانه‌ای، ۲(۲)، ۳۳-۲۷.

۵. مؤمنی، د.، بناکار، ا.، قبادیان، ب.، و مینایی، س. ۱۳۹٤، عملکرد سامانه‌ی گرمایش خورشیدی مجهز به عدسی فرسنل خطی، مجله تحقیقات سامانه‌ها و مکانیزاسیون کشاورزی، ١٦ (٦٥)، ١٩-٣٠.

۶. مؤمنی، د.، و رحمتی، م.ه. ۱۳۹۱. ارزیابی اثرات کنترل دما و رطوبت بر تولید خیار گلخانه‌ای در منطقه جیرفت و کهنوج. نشریه ماشین‌های کشاورزی، ۲(۱)، ۳۸-٤٥.

۷. مؤمنی، د.، رضوانی، م.ا.، و زارعی، ق. ۱۳۹۹. راهنمای جامع مدیریت مصرف انرژی گرمایشی در گلخانه ها. نشر آموزش کشاورزی، ص ۸.

۸. مؤمنی، د. و المنذر، س. ۱۳۸۹. استفاده از انرژی‌های نو در گلخانه‌ها، مطالعه موردی: کاربرد سیستم زمین گرمایی در گلخانه‌های تونس. پنجمین همایش ملّی ایده‌های نو در کشاورز ی دانشگاه آزاد اسلامی اصفهان. ۲۷و۲۸بهمن‌ماه.

۹. ندرلو، ل.، و دهلقی، ل. ۱۳۹۵، برآورد پتانسیل انرژی خورشیدی بر روی سطح افق و شیب‌دار در استان کرمانشاه، نهمین کنگره ملی مهندسی ماشین‌های کشاورزی (مکانیک بیوسیستم) و مکانیزاسیون، مشهد، ۹ و ۱۰ شهریورماه.

10. Ali, H. (1987). Solar Energy Availability at Tehran: Performance of Different Types of Solar Collectors. *Energy Conversion and Management, 27*: 39-44.

11. Angstrom, A. (1924). Solar and terrestrial radiation, QJ Roy. *Meteorol. Soc., 50*, 121–126.

12. Anon. (2020). *World energy outlook*.
13. Bakirci, K. (2012a). Correlations for optimum tilt angles of solar collectors: a case study in Erzurum, Turkey. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects, 34*(11), 983-993.
14. Bakirci, K. (2012b). General models for optimum tilt angles of solar panels: Turkey case study. *Renewable and Sustainable Energy Reviews, 16*(8), 6149-6159.
15. Benghanem, M. (2011). Optimization of tilt angle for solar panel: Case study for Madinah, Saudi Arabia. *Applied Energy, 88*(4), 1427-1433.
16. Castilla, N. (2013). Greenhouse technology and management. *Cabi*.
17. Damrath, J. (1978). Greenhouse heating with sun energy. Acta Hort. 76: 181-184.
18. Duffie, J.A., and Beckman, W.A. (1992). Solar Engineering of Thermal Processes. *New York: Wiley*.
19. Elbatawi, I., Mohri, K., Namba, K. and Filipovic, D. (1998). Utilization of solar energy for heating a greenhouse at nighttime. *Actual tasks on agricultural engineering, Proceedings 26th International Symposium on Agricultural Engineering, Opatija, Croatia,* 3-6 February 1998, 117-124.
20. Grafiadellis, I., & Traka-mavrona, E. (2011). Heating greenhouse with solar energy: new trends and developments. *International Symposium on Advanced Technologies and Management towards Sustainable Greenhouse Ecosystems.* Greece.
21. - Handoyo, E., Ichsani, D., & Prabowo. (2013). International Conference on Sustainable Energy Engineering and Application, *Energy Procedia 32* (2013) 166 – 175.
22. Prescott, J. A. (1940). Evaporation from a water surface in relation to solar radiation. Trans. *Roy. Soc. S. Aust., 46*, 114-118.
23. Safdarian, F., & Nazari, M. E. (2015, September). Optimal tilt angle and orientation for solar collectors in Iran. *In 2015 IEEE 10th International Symposium on Diagnostics for Electrical Machines, Power Electronics and Drives (SDEMPED)* (pp. 494-500). IEEE.
24. Santamouris, M., Argiriou, A. & Vallindras, M. (1994). Design and operation of a low energy consumption passive solar agricultural greenhouse. *Solar Energy, 52*(5), 371-378.
25. Sheiker, P. (2009). Optimum Tilt Angle and Orientation for Solar Collector in Brunei. *Energy Conversion and Management, 50*: 2439-2448.
26. Soulayman, S., & Sabbagh, W. (2015). Optimum Tilt Angle at Tropical Region. *International Journal of Renewable Energy Development, 4*(1).
27. Tang R., Y. Yang and W. Gao. (2011). Comparative Studies on Thermal Performance of Water-in-glass Evacuated Tube Solar Water Heaters with Different Collector Tilt-angles. *Solar Energy, 85*: 1381-1389.
28. Thongbai, P., Kozai, T., & Ohyama, K. (2010). CO2 and air circulation effects on photosynthesis and transpiration of tomato seedlings. *Scientia Horticulturae*, *126*(3), 338-344.
29. Yang, W. H., Zhu, X. C., Deng, S. C., Wang, H. C., Hu, G. B., Wu, H., & Huang, X. M. (2010). Developmental problems in over-winter off-season longan fruit. I: Effect of temperatures. *Scientia horticulturae*, *126*(3), 351-358.
30. Yousefi, H., Roumi, S., Tabasi, S., & Hamlehdar, M. (2018). Economic and air pollution effects of city council legislations on renewable energy utilisation in Tehran. *International Journal of Ambient Energy, 39*(6), 626-631.

The Technical study of the application of flat panel solar system for heating greenhouses in the south of Kerman province

Moein MokhtariSataiy *[1], Houshang Bahrami [1], MohammadJavad SheikhDavoodi[1], Davood Momeni[2] and Mohsen Soleymani[1]

.1. Biosystems Engineering Department, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran
2. Agricultural Engineering Research Department, Isfahan Agricultural and Natural Resources Research .and Education Center, AREEO, Isfahan, Iran

Abstract

In this study, the application of solar system for heating a greenhouse of twin type with arched structure and single layer polyethylene coating was investigated. For this purpose, initially, the heating needs of the greenhouse were determined. Then, according to the obtained results, a flat-panel solar water heater with a collector of 6 square meters and a tank volume of 500 liters was selected and installed next to a greenhouse cucumber production unit to heat the air inside the greenhouse with 4 10-blade aluminum radiators. Then, using paired t-test, the results obtained in this greenhouse were compared with the conventional type in the area that had a diesel heater. The results showed that in terms of carbon dioxide, average temperature and relative humidity, there was no significant difference between the two greenhouses, but in terms of chlorophyll index and crop yield, there was a significant difference between the two greenhouses, at a probability level of one and five percent, respectively. Diesel had a higher average. By controlling the minimum temperature, average temperature, chlorophyll content and maximum relative humidity in the greenhouse equipped with solar heating system and the minimum temperature and chlorophyll content in the greenhouse equipped with gasoline heating system, it improved photosynthesis and increased yield.

Key words: Greenhouse heating, Meteorological statistics, Relative humidity, Sunlight, Temperature.

*Corresponding author
E-mail: moein.mokhtari@gmail.com