

ارزیابی فنی کاربرد آبگرمکن خورشیدی صفحه تخت در گرمایش گلخانه‌ها در جنوب استان کرمان

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۸/۱۸

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۷/۳۰

معین مختاری‌ستائی^{۱*}، هوشنگ بهرامی^۲، محمدجواد شیخ‌داوودی^۲، داود مؤمنی^۳ و محسن سلیمانی^۲

۱- بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی جنوب استان کرمان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، جیرفت، ایران

۲- گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم و مکانیزاسیون، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران

۳- بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اصفهان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اصفهان، ایران

*مسئول مکاتبه: moein.mokhtari@gmail.com

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 شش مترمربع جمع‌کننده و ۵۰۰ لیتر حجم مخزن، انتخاب و در کنار یک واحد گلخانه‌ای تولید خیار، برای گرمایش هوای درون گلخانه به کمک چهار 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 گازی 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 گازی از میانگین بالاتری برخوردار بود. همچنین مدیریت چهار عامل کمینه دما، متوسط دما، محتوای کلروفیل و بیشینه رطوبت نسبی در گلخانه مجهز به آبگرمکن خورشیدی و کنترل دو عامل کمینه دما و محتوای کلروفیل، در گلخانه مجهز به بخاری گازی، می‌تواند منجر به بهبود فتوسنتز و افزایش عملکرد شود.

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

Technical Evaluation of the Use of Flat Panel Solar Water Heaters in Greenhouse Heating in the South of Kerman Province

Moein Mokhtari Sataiy^{1*}, Houshang Bahrami², Mohammad Javad Sheikh Davoodi², Davood Momeni³ and Mohsen Soleymani²

Received: 22 Oct 2021

Accepted: 9 Nov 2021

1- Department of Agricultural Engineering Research, South of Kerman Province Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Jiroft, Iran

2- Department of Biosystems Mechanic Engineering and Mechanization, Faculty of Agriculture, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran

3- Department of Agricultural Engineering Research, Isfahan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Isfahan, Iran

*Corresponding Author: moein.mokhtari@gmail.com

Abstract

In this study, the application of a 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 the greenhouse cucumber production unit to heat the air inside the greenhouse with 4 unit of 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 1 and 5 percent, respectively. Diesel had a higher average in these factors. Also, managing the four factors of minimum temperature, average temperature, chlorophyll content and maximum relative humidity in the greenhouse equipped with solar water heater and controlling the two factors of minimum temperature and chlorophyll content in the greenhouse equipped with diesel heater can improve photosynthesis and increase yield.

Keywords: Greenhouse heating, Meteorological statistics, Relative humidity, Sunlight, Temperature

How to cite:

MokhtariSataiy M., Bahrami, H., SheikhDavoodi, M. J., Momeni, D., and Soleymani, M., 2021. *Technical Evaluation of the Use of Flat Panel Solar Water Heaters in Greenhouse Heating in the South of Kerman Province*. Journal of Agricultural Mechanization 6 (3): 49-58.

۱- مقدمه

ترازنامه انرژی نشان می‌دهد، افزایش چشمگیری در مصرف تمام منابع انرژی دنیا شامل سوخت‌های فسیلی مایع، گاز طبیعی و زغال سنگ تا سال ۲۰۳۰ میلادی اتفاق خواهد افتاد. بنابراین، توجه بیشتر به افزایش بهره‌وری در مصرف سوخت و مطالعه در مورد منابع انرژی جایگزین اجتناب‌ناپذیر است (Anon, 2020). امروزه فناوری‌های موجود در کشت گلخانه‌ای، اجازه تولید هر نوع محصول را در هر نقطه‌ای از جهان می‌دهد (Castilla, 2013).

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 (Momeni, 2019). 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 (Momeni et al, 2020).

اگر توسعه گلخانه‌ها با شتاب فعلی در کشور صورت گیرد، در سال‌های آتی، سبب افزایش مصرف انرژی‌های فسیلی و آلاینده‌های زیست‌محیطی خواهد شد (Momeni, 2019).

یکی از مهم‌ترین منابع انرژی‌های تجدیدپذیر، انرژی خورشیدی است 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 (Momeni & Rahmati, 2012; Al-Munther, 2010). برای جایگزینی انرژی خورشیدی با مصرف انرژی‌های فسیلی، باید تحلیل درستی در زمینه بررسی پتانسیل استفاده از آن در گلخانه‌ها وجود داشته باشد (Shah Hosseini & Taghipour, 2014).

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 (Damrath, 1978).

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 ۱/۲۵ 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 مقدر 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 (Graziadellis & Traka-mavrona, 2011).

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 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 (Santamouris et al., 1994). سیستمی متشکل از جمع‌کننده تابشی، تانک ذخیره آب گرم، تبادل کننده 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 (Elbatawi et al., 1998).

مهم‌ترین مانع برای توسعه استفاده از سیستم آبگرمکن خورشیدی، سرمایه‌بر بودن اولیه این سیستم است که بر روی انتخاب مشتریان تأثیر منفی می‌گذارد (Yousefi et al., 2018).

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 (Naderloo & Dehlaqi, 2014). زاویه شیب بهینه یک جمع‌کننده خورشیدی، در طول سال، متغیر است. مقدار این زاویه در تابستان حداقل و در زمستان حداکثر است (Bakirci, 2012a). شیب متوسط فصلی یک جمع‌کننده 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 (Bakirci, 2012b). تنظیم ماهانه زاویه بهینه شیب جمع‌کننده، سبب به حداکثر رسیدن انرژی خورشیدی جمع‌آوری شده می‌گردد (Benghanem, 2011; Bakirci, 2012b; Soulayman & Sabbagh, 2015). گزینه دیگر نصب دو جمع‌کننده، یکی رو به شرق، برای استفاده در صبح، و دیگری رو به غرب، برای استفاده در بعدازظهر است (Handoyo et al., 2013). (Safdarian & Nazari, 2015). یک مدل ریاضی برای برآورد تابش خورشیدی بر روی یک سطح شیب‌دار، که زاویه بهینه شیب جمع‌کننده خورشیدی و جهت‌گیری آن (زاویه

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. هرچه شدت نور بیشتر و دما کمتر باشد تعداد گل‌ها می‌تواند 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 (Farzaneh et al., 2011). هدف از انجام این پژوهش ارزیابی آبگرمکن خورشیدی صفحه تخت، برای گرمایش هوای داخل گلخانه، از لحاظ فنی و مقایسه آن با سامانه‌ی گرمایشی مرسوم (بخاری گازوئیلی) در گلخانه‌ی خیار واقع در جیرفت است.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- محاسبه میزان تابش خورشیدی

در 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 (Graziadellis & Traka, 2011; Angstrom, Naderloo & Dehlaqi, 2016; mavrona, 2011; Prescott, 1940; 1924).

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

در رابطه بالا، $\frac{\bar{H}}{\bar{H}_0}$ نسبت متوسط صافی آسمان در یک ماه، $\bar{H}$ میانگین ماهانه تابش روزانه کل، $\bar{H}_0$ 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 محاسبه این پارامترها از روابط ۲ تا ۹ استفاده شد (Duffie & Beckman, 1992).

$$H_0 = \frac{24}{\pi} G_{sc} \left(1 + 0.033 \cos \frac{360}{365} n \right) \left(\cos \varphi \cos \delta \sin \omega_s + \frac{\pi \omega_s}{180} \sin \varphi \sin \delta \right) \quad (2)$$

در رابطه ۲: ثابت خورشیدی G_{sc} ، انرژی دریافتی از خورشید در واحد زمان، است که در این پژوهش مقدار آن ۱۳۶۷ وات بر متر مربع^۱ 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

سمت سطح) در یک دوره زمانی خاص در طول یک روز روشن را تعیین می‌کند، در برخی از شهرهای بزرگ ایران، پیشنهاد شده است. 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 ماهانه زوایای جمع‌کننده نسبت به وقتی که جمع‌کننده در شرایط افقی قرار می‌گیرد، ۳۰ درصد بیشتر خواهد بود (Sheiker, 2009).

Tang et al. (2011) 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 ۴۶ 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 ۴۶ درجه برای صبح، دارای بهترین شرایط جذب نور خورشید است.

نتایج یک مطالعه روی زاویه بهینه 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 (Ali, 1978). تعیین زاویه شیب مطلوب برای جمع‌کننده خورشیدی در پونا نشان داد که زاویه مطلوب شیب، تابش ماهانه خورشیدی، در ماه‌های زمستان افزایش و در مقابل، زاویه مناسب برای ماه‌های تابستان کاهش می‌یابد (Girnar & Gadhe, 2019). نتایج حاصل از استفاده از یک مخزن ذخیره و یک جمع‌کننده خورشیدی در دیواره جنوبی برای تأمین نیاز گرمایی یک گلخانه در جنوب ایتالیا نشان داد که به ازای هر متر مربع از سطح گلخانه به ۰/۱۵ متر مربع جمع‌کننده خورشیدی و ۰/۱۲ متر مکعب مخزن ذخیره آب نیاز است (Vox et al., 2010). ذخیره انرژی خورشیدی برای گرمایش گلخانه‌ها در دنیپرو اکراین نشان داد که اگر حجم ذخیره‌کننده ۴ متر مکعب و سطح آن ۲ متر مربع باشد، می‌توان دمای گلخانه را در محدوده ۱۴ تا ۲۶ درجه سلسیوس حفظ نمود که برای رشد گیاهان گلخانه‌ای مطلوب است (Savytskyi et al., 2020). 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 (Shekari et al., 2006).

میزان آسمیلاسیون 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 (Thongbai et al., 2010). همچنین دمای بالاتر از دمای بهینه سبب افزایش ریزش میوه‌ها می‌گردد که کاهش عملکرد را به دنبال خواهد داشت (Yang et al., 2010).

^۱ این مقدار توسط مرکز تابش جهانی (WRC)، با عدم اطمینان یک درصد، بیان شده است.

$\overline{H_d}$: متوسط ماهانه تابش شده روزانه بر روی یک صفحه افقی در یک نقطه مشخص از سطح زمین بر حسب مگاژول بر مترمربع

$\overline{R_b}$: نسبت متوسط ماهانه تابش مستقیم روزانه بر روی یک سطح شیب‌دار به متوسط ماهانه 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 : زاویه ساعت طلوع و غروب خورشیدی برای یک صفحه شیب‌دار بر حسب درجه

۲-۲- محاسبه نیاز حرارتی گلخانه

برای محاسبه تلفات انرژی گلخانه، از استاندارد انجمن ملی گلخانه‌سازان آمریکا^۱ استفاده شد. طبق این استاندارد، مقدار انرژی لازم برای گرم نگه داشتن گلخانه به کمک رابطه (۱۰) محاسبه می‌گردد:

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

L : تلفات پوشش (کیلوکالری بر ساعت)

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

L_{frame} : تلفات پوشش (کیلوکالری بر ساعت)

L_{wind} : تلفات پوشش (کیلوکالری بر ساعت)

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

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

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

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

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 ۲۴ کیلومتر بر ساعت بیش‌تر باشد، مقدار تلفات به‌دست آمده با توجه به ضریب باد، بیشتر از حالت عادی خواهد بود.

خورشیدی نیز بر حسب درجه است که مقدار آن از رابطه (۴) بدست آمد:

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

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

$\overline{n}$: میانگین ماهیانه بیشینه ساعات آفتابی (طول روز) و $\overline{N}$: بیانگر میانگین ماهیانه ساعات آفتابی روزانه است که از رابطه (۵) محاسبه گردید:

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

محاسبه میزان متوسط ماهانه تابش روزانه بر روی سطح شیب‌دار، با شیب ثابت، در منطقه به کمک روابط زیر انجام شد (Duffie & Beckman, 1992):

$$\overline{H_T} = \overline{H} \left(1 - \frac{\overline{H_d}}{\overline{H}} \right) \overline{R_b} + \overline{H_d} \left(\frac{1 + \cos \beta}{2} \right) + \overline{H_0} \rho_0 \left(\frac{1 - \cos \beta}{2} \right) \quad (6)$$

$$\frac{\overline{H_d}}{\overline{H}} = 1 - 1.15 \left(\frac{\overline{H}}{\overline{H_0}} \right) \quad (7)$$

$$\overline{R_b} = \frac{\cos(\phi - \beta) \cos \delta \cos \omega_s + \frac{\pi}{180} \omega_s \sin(\phi - \beta) \sin \delta}{\cos \phi \cos \delta \sin \omega_s + \frac{\pi}{180} \omega_s \sin \phi \sin \delta} \quad (8)$$

$$\omega_s = \min \left\{ \cos^{-1}(-\tan \delta \tan \phi), \cos^{-1}(-\tan \delta \tan(\phi - \beta)) \right\} \quad (9)$$

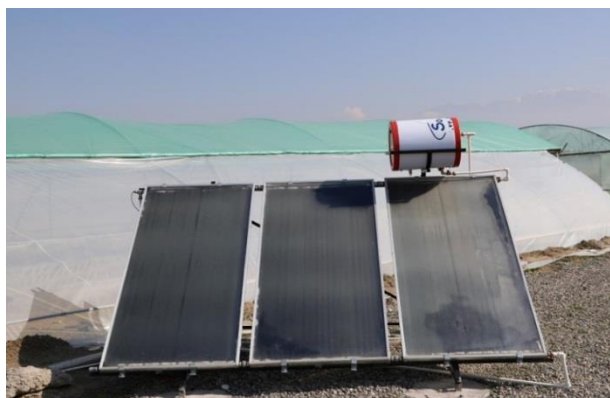
که در آن‌ها:

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

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

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

¹National Greenhouse Manufacturing Association



شکل ۲- جمع کننده های خورشیدی مورد استفاده

Fig 2. Used solar collectors

میزان آب گرم مورد نیاز جهت ثابت نگه داشتن دمای گلخانه در حد بهینه، با فرض اینکه ظرفیت گرمایی ویژه آب ۴۱۸۷ ژول بر کیلوگرم درجه سلسیوس و انرژی گرمایی مورد نیاز گلخانه ۴۲ کیلووات در روز باشد، به صورت زیر محاسبه شد:

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

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.

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

بنابراین یک مخزن ۵۰۰ لیتری برای ذخیره آب گرم مورد نیاز مد نظر قرار گرفت (شکل ۳). 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 ۴ رادیاتور ۱۰ پره آلومینیومی استفاده گردید.



شکل ۳- مخزن ذخیره آب گرم

Fig 3. Hot water storage tank

۳-۲- 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 جمع کننده در طول فصول پاییز و زمستان به صورت دوره ای انجام شد. گلخانه نیز از نوع دوقلو با سازه قوسی و پوشش پلی اتیلن تک لایه با طول، عرض و ارتفاع، به ترتیب، ۴۰، ۱۱ و ۴/۵ متر بود که در این پژوهش به دو بخش تقسیم گردید. در یک بخش، سامانه گرمایش خورشیدی و در دیگری، سامانه گرمایش متداول منطقه (گازویلی) قرار داده شد. برای حذف اثر تیمارها بر هم، دهانه ها به وسیله پلاستیک با ایجاد لایه مرزی به طول ۱۶ متر، چهار دهانه ۴ متری، فاصله داده شدند (شکل ۱).



شکل ۱- ناحیه مرزی میان دو بخش گلخانه

Fig 1. The border area between the two parts of the greenhouse

با توجه به بحث های زیست محیطی و ضرورت کاهش نیاز به سوخت های فسیلی، بار تأمین شده از ناحیه جمع کننده خورشیدی صفحه تخت ۱۰۰ درصد انتخاب شد. انرژی حاصل از جمع کننده خورشیدی صفحه تخت حدود ۷۷۰ تا ۸۸۰ کیلووات ساعت بر مترمربع است. با توجه به هدف گذاری این پروژه برای تأمین بار در فصل سرما، سطح جمع کننده خورشیدی مورد نیاز ۶ مترمربع محاسبه گردید (شکل ۲):

$$6 = 4620 / 770 = \text{سطح جمع کننده خورشیدی}$$

گلخانه دارای سامانه گرمایش خورشیدی (۸۲/۲۲ درصد) بود. این در حالی است که تفاوت معنی داری از نظر آماری میان متوسط رطوبت نسبی در دو گلخانه، طی بازه زمانی ۷۲ روزه از آذرماه تا بهمن ماه، مشاهده نشد. مجموع عملکرد در ۱۳ چین انجام شده در این بازه، از مساحت ۴۰ مترمربعی، برای گلخانه مجهز به سامانه گرمایش خورشیدی ۵۲۶ کیلوگرم و برای گلخانه مجهز به سامانه گرمایش مرسوم ۶۵۳/۱ کیلوگرم بود.

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 معنی دار بود. متوسط عملکرد در چین در گلخانه مجهز به سامانه گرمایش خورشیدی ۴۰/۴۶ کیلوگرم و در گلخانه مرسوم ۵۰/۲۴ کیلوگرم و عملکرد کل دو گلخانه، به ترتیب، ۴/۴ و ۵/۴ کیلوگرم بر مترمربع بود. از نظر میزان کلروفیل نیز بوته‌های گلخانه مرسوم بهتر بودند. بالاتر بودن شاخص کلروفیل در گلخانه مرسوم به سبب بهبود فتوسنتز و افزایش عملکرد حاصل شد (جدول ۲).

ضرایب همبستگی نشان داد که در گلخانه مجهز به سامانه گرمایش خورشیدی، عملکرد میوه با کمینه دما (۰/۷۴)، متوسط دما (۰/۶۱) و محتوای کلروفیل (۰/۹۴) همبستگی مثبت و معنی دار و با بیشینه رطوبت نسبی همبستگی منفی و معنی دار (۰/۳۵) 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 ۳). جدول ۴ نیز نشان می‌دهد که در گلخانه مجهز به بخاری گازی، دو شاخص کمینه دمای گلخانه (۰/۳۰) و محتوای کلروفیل (۰/۹۲) همبستگی مثبت و معنی داری با عملکرد بوته داشته و سایر پارامترهای جوی تأثیری بر تولید محصول در این گلخانه نداشتند، که با نتایج حاصل از مطالعات (Shekari et al., 2006)، (Farzaneh et al., 2011)، (Thongbai et al., 2010) و (Yang et al., 2010)، که نشان دهنده همبستگی میان شرایط اقلیمی گلخانه با عملکرد و اجزای عملکرد محصولات گلخانه‌ای است، تطابق دارد. بنابراین، با توجه به انطباق نتایج حاصل از این پژوهش با نتایج حاصل از پژوهش‌های (Vox et al., 2010)، (Savitsky et al., 2020)، (Momeni & Al-Munther, 2010) و (Shah Hosseini & Taghipour, 2014) که بر امکان کاربرد آبگرمکن‌های خورشیدی در گرمایش گلخانه‌ها تأکید نموده‌اند، می‌توان گفت که استفاده از سامانه آبگرمکن خورشیدی، برای گرمایش گلخانه در منطقه جنوب استان کرمان، از نظر فنی توجیه‌پذیر است.

اطلاعات مربوط به تغییرات دما و رطوبت نسبی در هر تیمار، در بازه زمانی ۷۲ روزه آزمایش، با استفاده از دیتالاگر^۱، در هر ساعت، ثبت گردید. علاوه بر آن، فواصل برداشت، عملکرد در هر چین، عملکرد کل، شاخص کلروفیل^۲ و سطح کربن دی‌اکسید، با استفاده از دیتالاگر^۳، نیز در هر تیمار اندازه‌گیری و ثبت شدند. تیمارها شامل دو سیستم گرمایشی (سامانه گرمایش خورشیدی و گازیلی) 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 ۴۰×۱۰۰ سانتی متر مربعی، انجام شد. مقایسه میانگین‌ها توسط نرم‌افزار SPSS انجام و مورد بررسی و تحلیل قرار گرفت.

۳- نتایج و بحث

برای دستیابی به حداکثر راندمان جمع‌کننده خورشیدی صفحه تخت در منطقه مورد مطالعه، بایستی زاویه تمایل عمودی در تابستان ۱۰ و در زمستان ۴۰ درجه تنظیم گردد.

بر اساس نیاز گرمایشی گلخانه و درصد تأمین گرما توسط جمع‌کننده خورشیدی، ابعاد جمع‌کننده سامانه خورشیدی ۶ مترمربع و ظرفیت مخزن ذخیره آب آن ۵۰۰ لیتر بدست آمد. برای توزیع گرما در فضای گلخانه نیز از ۴ رادیاتور ۱۰ پره آلومینیومی استفاده شد.

نتایج مقایسه سامانه گرمایش خورشیدی با سامانه گرمایشی مرسوم، از نظر شاخص‌های اقلیمی، در جدول ۱ آمده است. نتایج آزمون t جفت شده در دو گلخانه مجهز به سامانه گرمایش خورشیدی و گازیلی نشان داد که با وجود بالاتر بودن میزان کربن دی‌اکسید در گلخانه خورشیدی تفاوت معنی داری از نظر متوسط CO₂، در دو گلخانه، در بازه زمانی ۷۲ روزه از آذرماه تا بهمن ماه، وجود نداشت. کمینه و متوسط دمای گلخانه خورشیدی نیز تفاوت معنی داری با گلخانه گازیلی نداشت. این در حالی است که از نظر بیشینه دما، اختلاف معنی داری در سطح یک درصد بین دو گلخانه وجود داشت و گلخانه گازیلی دمای بالاتری را در مقایسه با گلخانه خورشیدی نشان داد به طوری که بیشینه دما به ترتیب در گلخانه مجهز به سامانه گرمایش خورشیدی و گلخانه مجهز به سامانه گرمایش گازیلی ۳۴/۹۳ و ۳۶/۳۵ درجه سلسیوس بود. از نظر کمینه و بیشینه رطوبت نسبی، تفاوت معنی داری، در سطح یک درصد، بین دو گلخانه مشاهده گردید. کمینه رطوبت نسبی به ترتیب در گلخانه خورشیدی و گلخانه مجهز به بخاری گازیلی ۴۵/۷۷ و ۲۷/۶۷ درصد بود. در مورد بیشینه رطوبت نسبی، نتیجه، عکس کمینه رطوبت نسبی رخ داده به طوری که بیشینه رطوبت نسبی در گلخانه گازیلی (۹۰/۳۹ درصد) و در

¹ EXTECH RHT20 Datalogger

³ MIC-98132S Datalogger

^۲ با استفاده از دستگاه اسپکتوفتومتر مدل Nova Spect

جدول ۱- نتایج آزمون t جفت شده مقایسه سامانه گرمایش خورشیدی با سامانه گرمایشی مرسوم از نظر شاخص‌های اقلیمی

Table 1. Pair t-test results comparing solar heating system with conventional heating system in terms of climatic factors

متغیر Variable	درجه آزادی df	میانگین Average	t	سطح معنی‌داری Significance level	اختلاف میانگین‌ها Mean differences
سطح کربن دی‌اکسید در گلخانه با سامانه گرمایش خورشیدی Co ₂ level in greenhouse equipped with solar heating system	71	438.28 435.47	1.26	0.21 ^{ns}	2.80
سطح کربن دی‌اکسید در گلخانه با سامانه گرمایش گازویی Co ₂ level in greenhouse equipped with conventional heating system					
متوسط دمای گلخانه با سامانه گرمایش خورشیدی Mean temperature in greenhouse equipped with solar heating system	71	19.93 19.78	0.76	0.44 ^{ns}	0.15
متوسط دمای گلخانه با سامانه گرمایش گازویی Mean temperature in greenhouse equipped with conventional heating system					
متوسط رطوبت نسبی گلخانه با سامانه گرمایش خورشیدی Mean relative humidity of the greenhouse equipped with solar heating system	71	68.38 69.17	1.10	0.27 ^{ns}	0.79
متوسط رطوبت نسبی گلخانه با سامانه گرمایش گازویی Mean relative humidity of the greenhouse equipped with conventional heating system					
بیشینه دمای گلخانه با سامانه گرمایش خورشیدی Maximum temperature in greenhouse equipped with solar heating system	71	34.93 36.35	4.07	0.001 ^{**}	1.42
بیشینه دمای گلخانه با سامانه گرمایش گازویی Maximum temperature in greenhouse equipped with conventional heating system					
بیشینه رطوبت نسبی گلخانه با سامانه گرمایش خورشیدی Maximum relative humidity of the greenhouse equipped with solar heating system	71	82.22 90.39	9.71	0.001 ^{**}	8.17
بیشینه رطوبت نسبی گلخانه با سامانه گرمایش گازویی Maximum relative humidity of the greenhouse equipped with conventional heating system					
کمینه دمای گلخانه با سامانه گرمایش خورشیدی Minimum temperature in greenhouse equipped with solar heating system	71	12.442 12.449	0.02	0.98 ^{ns}	0.0069
کمینه دمای گلخانه با سامانه گرمایش گازویی Minimum temperature in greenhouse equipped with conventional heating system					
کمینه رطوبت نسبی گلخانه با سامانه گرمایش خورشیدی Minimum relative humidity of the greenhouse equipped with solar heating system	71	45.77 27.67	16.07	0.001 ^{**}	18.10
کمینه رطوبت نسبی گلخانه با سامانه گرمایش گازویی Minimum relative humidity of the greenhouse equipped with conventional heating system					

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

*، ** and ns are significant at ۱% and ۵% probability levels and non-significant, respectively

جدول ۲- نتایج آزمون t جفت شده مربوط به تأثیر سامانه گرمایش خورشیدی و گازوئیلی بر متوسط عملکرد و محتوای کلروفیل

Table 2. Pair t-test results related to the effect of solar and diesel heating systems on average yield and chlorophyll content

متغیر Variable	درجه آزادی df	میانگین Average	t	سطح معنی داری Significance level	اختلاف میانگین ها Mean differences
متوسط عملکرد هر چین گلخانه با سامانه گرمایش خورشیدی Mean yield of greenhouse with solar heating system	12	40.46	2.34	0.04*	9.78
متوسط عملکرد هر چین گلخانه با سامانه گرمایش گازوئیلی Mean yield of greenhouse with conventional heating system		50.24			
شاخص کلروفیل در گلخانه با سامانه گرمایش خورشیدی Chlorophyll index in greenhouse equipped with solar heating system	12	2.11	4.00	0.001**	0.29
شاخص کلروفیل در گلخانه با سامانه گرمایش گازوئیلی Chlorophyll index in greenhouse equipped with conventional heating system		2.41			

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

*, ** and ns are significant at ۱% and ۵% probability levels and non-significant, respectively

جدول ۳- ضرایب همبستگی بین صفات اندازه گیری شده در گلخانه مجهز به آبگرمکن خورشیدی

Table 3. Correlation coefficients between the measured traits in a greenhouse equipped with a solar heater

شاخص کلروفیل Chlorophyll index	عملکرد Average yield	سطح کربن دی اکسید Co ₂ level	میانگین رطوبت نسبی Mean relative humidity	بیشینه رطوبت نسبی Maximum relative humidity	کمینه رطوبت نسبی Minimum relative humidity	میانگین درجه حرارت Mean temperature	بیشینه درجه حرارت Maximum temperature	کمینه درجه حرارت Minimum temperature
								کمینه درجه حرارت Minimum temperature
							1.00	
								بیشینه درجه حرارت Maximum temperature
							1.00	0.16
								میانگین درجه حرارت Mean temperature
						1.00	0.680**	.736**
								کمینه رطوبت نسبی Minimum relative humidity
					1.00	-0.49 *	-0.843**	-0.05
								بیشینه رطوبت نسبی Maximum relative humidity
				1.00	.588*	-0.45 *	-0.31 *	-0.29 *
								میانگین رطوبت نسبی Mean relative humidity
			1.00	.829**	.932**	-0.55 **	-0.707**	-0.18
								سطح کربن دی اکسید Co ₂ level
		1.00	0.03	0.12	-0.07	-0.28 *	-0.08	-0.24 *
								عملکرد Average yield
	1.00	0.08	-0.20	-0.35 *	-0.06	0.61**	0.01	0.740**
								شاخص کلروفیل Chlorophyll index
1.00	0.946**	0.15	-0.05	-0.25 *	0.09	0.50	-0.09	0.685**

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

*, ** and ns are significant at ۱% and ۵% probability levels and non-significant, respectively

جدول ۴- ضرایب همبستگی بین صفات اندازه‌گیری شده در گلخانه مجهز به بخاری گازوئیلی

Table 4. Correlation coefficients between the measured traits in a greenhouse equipped with a Diesel heater

شاخص کلروفیل Chlorophyll index	عملکرد Average yield	سطح کربن دی- اکسید CO ₂ level	میانگین رطوبت نسبی Mean relative humidity	بیشینه رطوبت نسبی Maximum relative humidity	کمینه رطوبت نسبی Minimum relative humidity	میانگین درجه حرارت Mean temperature	بیشینه درجه حرارت Maximum temperature	کمینه درجه حرارت Minimum temperature
								کمینه درجه حرارت Minimum temperature
								1.00
							1.00	بیشینه درجه حرارت Maximum temperature
							0.618*	0.23 *
						1.00	0.751**	میانگین درجه حرارت Mean temperature
					1.00	-0.45 *	-0.856**	کمینه رطوبت نسبی Minimum relative humidity
				1.00	0.46 *	-0.51 **	-0.50 **	بیشینه رطوبت نسبی Maximum relative humidity
			1.00	0.54 **	0.977**	-0.48 *	-0.872**	میانگین رطوبت نسبی Mean relative humidity
		1.00	0.06	0.594**	-0.02	-0.29 *	-0.31*	سطح کربن دی اکسید CO ₂ level
	1.00	0.10	0.05	-0.08	0.05	0.18	-0.13	عملکرد Average yield
1.00	0.917**	0.22	0.09	-0.01	0.08	0.05	-0.22	شاخص کلروفیل Chlorophyll index

***, ** و ns به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد و غیر معنی‌دار
*, ** and ns are significant at ۱% and ۵% probability levels and non-significant, respectively

۴- نتیجه‌گیری نهایی

نتایج این تحقیق نشان داد که، در زمستان، بهترین زاویه تمایل عمودی جمع‌کننده خورشیدی صفحه تخت در جنوب استان کرمان ۴۰ درجه است. نتایج در دو گلخانه مجهز به سامانه گرمایش خورشیدی و بخاری گازوئیلی 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 گلخانه مجهز به سامانه گرمایش خورشیدی، با کنترل چهار عامل کمینه دما، متوسط دما، محتوای کلروفیل و بیشینه رطوبت نسبی و در گلخانه مجهز به سامانه گرمایش گازوئیلی، با مدیریت دو شاخص کمینه دما و محتوای کلروفیل می‌توان فتوسنتز را بهبود و عملکرد را افزایش داد.

۵- منابع

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

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

Anon. (2020). *World energy outlook* <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2020>.

- 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.
- Bakirci, K. (2012b). *General models for optimum tilt angles of solar panels: Turkey case study*. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 16(8), 6149-6159.
- Benghanem, M. (2011). *Optimization of tilt angle for solar panel: Case study for Madinah, Saudi Arabia*. Applied Energy, 88(4), 1427-1433.
- Castilla, N. (2013). *Greenhouse technology and management*. Cabi.
- Damrath, J. (1978). *Greenhouse heating with sun energy*. Acta Hort. 76: 181-184.
- Duffie, J.A. and Beckman, W.A. (1992). *Solar Engineering of Thermal Processes*. New York: Wiley.
- 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.
- Farzaneh, A., Nemati, S.H. and Vahdati, N. (2011). *The effect of some meteorological parameters (temperature and light) on yield indices and quantitative and qualitative traits of four tomato cultivars*. Journal of Water and Soil (Agricultural Science and Technology), 25(3), 697-688. (In Persian).
- Girnar, J. and Gadhe, P. (2019). *Optimum Tilt Angle for Solar Panel in Pune*. International Journal for Research in Engineering Application & Management. 5(2), 182-185.
- Grafiadellis, I. and 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.
- Handoyo, E., Ichsan, D. and Prabowo. (2013). *The Optimal Tilt Angle of a Solar Collector*. Energy Procedia 32, 166 – 175.
- Momeni, D. (2019). *Investigation of energy consumption indicators in the production of greenhouse cucumbers in southern Kerman*. Extension Journal of Greenhouse Vegetable, 2 (2), 27-33. (In Persian).
- Momeni, D. and Al-Munther, S. (2010). *Use of New Energy in Greenhouses, Case Study: Application of Geothermal System in Tunisian Greenhouses*. Fifth National Conference on New Ideas in Agriculture, Islamic Azad University of Isfahan. 27 and 28 February. (In Persian).
- Momeni, D. and Rahmati, M.H. (2012). *Evaluation of the effects of temperature and humidity control on greenhouse cucumber production in Jiroft and Kahnooj regions*. Journal of Agricultural Machinery, 2(1), 45-38. (In Persian).
- Momeni, D., Rezvani, M.A. and Zarei, Q. (2020). *Comprehensive guide to heating energy consumption management in greenhouses*. Agricultural Education Publication, P.8. (In Persian).
- Naderloo, L. and Dehlaqi, L. (2016). *Estimation of solar energy potential on the horizon and sloping surface in Kermanshah province*, 9th National Congress of Agricultural Machinery Engineering (Biosystem Mechanics) and Mechanization, Mashhad, 9 and 10 September. (In Persian).
- Prescott, J. A. (1940). *Evaporation from a water surface in relation to solar radiation*. Trans. Roy. Soc. S. Aust., 46, 114-118.
- Safdarian, F. and Nazari, M. E. (2015). *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.
- Santamouris, M., Argiriou, A. and Vallindras, M. (1994). *Design and operation of a low energy consumption passive solar agricultural greenhouse*. Solar Energy, 52(5), 371-378.
- Savytskyi, M., Danishevskyy, V. and Bordun, M. (2020). *Accumulation of solar energy to heat greenhouses*. In IOP Conference Series: Materials Science and Engineering (Vol. 985, No. 1, p. 012013). IOP Publishing.
- Shah Hosseini, S. and Taghipour, H. (2014). *Economic study and analysis of solar energy use in greenhouses in Golestan province*. The First National Conference on the Position of Management and Accounting in the New World of Business, Economics and Culture, Islamic Azad University, Aliabad Katoul Branch, 29 August. (In Persian).
- Sheiker, P. (2009). *Optimum Tilt Angle and Orientation for Solar Collector in Brunei*. Energy Conversion and Management, 50: 2439-2448.
- Shekari, F., Masiha, S. and Esmailpour, B. (2006). *Physiology of vegetables*. Volume One (Translation), Zanjan University Press. (In Persian).
- Soulayman, S. and Sabbagh, W. (2015). *Optimum Tilt Angle at Tropical Region*. International Journal of Renewable Energy Development, 4(1).
- Tang R., Yang, Y. and Gao, W. (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.
- Thongbai, P., Kozai, T. and Ohyama, K. (2010). *CO₂ and air circulation effects on photosynthesis and transpiration of tomato seedlings*. Scientia Horticulturae, 126(3), 338-344.
- Vox, G., Teitel, M., Pardossi, A., Minuto, A., Tinivella, F. and Schettini, E. (2010). *Sustainable greenhouse system*. NOVA science publisher Inc. Chapter 1. ISBN: 978-1-60876-269-9.
- Yang, W. H., Zhu, X. C., Deng, S. C., Wang, H. C., Hu, G. B., Wu, H. and Huang, X. M. (2010). *Developmental problems in over-winter off-season longan fruit. I: Effect of temperatures*. Scientia horticulturae, 126(3), 351-358.
- Yousefi, H., Roumi, S., Tabasi, S. and 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.

