Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

Journal of Studies in Entrepreneurship and Sustainable Agricultural Development

Print ISSN: 2476 - 7743
Online ISSN: 2476 - 7735

Iranian Agricultural Extension and Education Association

Energy and functional analysis of tunnel and solar greenhouses (with the emphasis on structural design)

Mohamad Forouzandeh[1]*, Mohamad Ali Karimian[2]

[1,2]Department of Agriculture and Plant Breeding, Agricultural Institute, Research Institute of Zabol, Zabol, Iran,
Email: Mohamad.Forouzandeh@gmail.com

Article Info

Article type:
Research Full Paper

Article history:
Accepted: 24.04.2023
Received: 23.07.2023
Revised: 18.08.2023

Keywords:
Energy saving
Optimization fuel
Solar greenhouse
Tunnel greenhouse

ABSTRACT

The solar greenhouse uses solar energy as the main source of heat and reduces fossil fuel production in off-season crops. In this research, a comprehensive review has been presented about the energy saving and yield aspects of cucumber in solar greenhouse and tunnel greenhouse. In order to evaluate temperature and fuel consumed, were built tunnel and solar greenhouses in research institute of Zabol, Iran. Sampling included comparison of cucumber yield, greenhouse temperature and fuel consumption in two structures. The results showed that 10,247 and 4,017 liters of diesel were consumed in tunnel and solar greenhouse respectively from December to March, which is a 60.7% saving in fuel. The temperature difference between the inside and outside of solar greenhouse in December was more than 10°C and the temperature inside was constant in this time. The inside temperature of both structures was increasing rapidly from 8:00 am, but the tunnel greenhouse inside temperature fluctuations were more from 1:00 pm to 4:00 pm during winter. The yield of the solar greenhouse was 30 kg m-2, which was not different with the tunnel greenhouse. Therefore, according to the temperature changes curves and consumption fuel of two greenhouses, solar greenhouse was more efficient than the tunnel. It is suggested that by using only one heater and a cover, the temperature inside of solar greenhouse is approximately 10°C and 20°C warmer than the tunnel greenhouse and ambient respectively.

Cite this article: Forouzandeh, M., Karimian, M.A. 2023. Energy and functional analysis of tunnel and solar greenhouses (with the emphasis on structural design). *Journal of Studies in Entrepreneurship and Sustainable Agricultural Development*, 10 (3), 81-94.

© The Author(s).
DOI: 10.22069/jead.2023.21295.1716
Publisher: Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

مطالعات کارآفرینی و توسعه پایدار کشاورزی
شاپا چاپی: ۷۷۴۳-۲۴۷۶
شاپا الکترونیکی: ۷۷۳۵-۲۴۷۶

تجزیه و تحلیل انرژی و عملکردی گلخانه‌های تونلی و خورشیدی (با تاکید بر اصول طراحی سازه)

محمد فروزنده[1*]، محمدعلی کریمیان[1]

[1]گروه زراعت و اصلاح نباتات، پژوهشکده کشاورزی، پژوهشگاه زابل، رایانامه: Mohamad.Forouzandeh@gmail.com

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
مقاله کامل علمی- پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۲/۰۱
تاریخ ویرایش: ۱۴۰۲/۰۲/۰۴
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۵/۲۷

واژه‌های کلیدی:
بهینه سازی سوخت
صرفه‌جویی انرژی
گلخانه خورشیدی
گلخانه تونلی

چکیده

گلخانه خورشیدی با استفاده از انرژی خورشید به عنوان منبع اصلی گرما و کاهش تقاضای سوخت فسیلی در تولید محصولات خارج فصل مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این پژوهش بررسی جامعی در مورد طراحی، جنبه‌های انرژی و عملکردی محصول خیار در گلخانه خورشیدی و مقایسه با گلخانه تونلی ارایه شده است. لذا به منظور بررسی دما و مقایسه میزان سوخت مصرفی، در مزرعه تحقیقاتی پژوهشگاه زابل دو سازه گلخانه تونلی و خورشیدی ساخته شد. نمونه‌گیری‌ها شامل مقایسه عملکرد محصول خیار، دمای گلخانه و میزان سوخت مصرفی، در دو سازه بود. نتایج به‌دست آمده نشان داد در گلخانه تونلی ۱۰۲۴۷ لیتر و گلخانه خورشیدی ۴۰۱۷ لیتر گازوئیل در بازه زمانی آذر تا اسفند ماه مصرف گردید که مجموعاً معادل ۶۰/۷ درصد صرفه‌جویی در مصرف سوخت است. اختلاف درجه حرارت بین داخل و خارج گلخانه خورشیدی در آذر ماه بیش از ۱۰ درجه سانتی‌گراد بود و درجه حرارت داخل تقریبا ثابت بود. دمای داخل هر دو سازه از ساعت ۸ صبح به‌سرعت رو به افزایش بود اما نوسانات دمایی در داخل گلخانه تونلی از ساعت ۱۳ لغایت ۱۶ در طول زمستان بیشتر بود. میزان عملکرد محصول گلخانه خورشیدی ۳۰ کیلوگرم در متر مربع بود که از نظر عملکرد تفاوتی با گلخانه تونلی نداشت. بنابراین با توجه به نتایج تغییرات دمایی و مصرف سوخت، گلخانه خورشیدی کارآمدتر بود. پیشنهاد می‌گردد با به‌کارگیری تنها یک عدد مشعل و استفاده از لحاف پوششی، دمای داخل گلخانه خورشیدی به‌ترتیب حدود ۱۰ و ۲۰ درجه سانتی‌گراد گرمتر از گلخانه تونلی و محیط بیرون تامین شود.

استناد: چراغعلی، و.، خمسه، ع.، رادفر، ر. (۱۴۰۲). تدوین الگوی اکوسیستم تجاری‌سازی پژوهش‌های بخش کشاورزی. *مطالعات کارآفرینی و توسعه پایدار کشاورزی*، ۱۰ (۳)،۹۴-۸۱.

DOI: 10.22069/jead.2023.21295.1716

ناشر: دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

© نویسندگان.

مقدمه

با توجه به محدودیت منابع از جمله انرژی و آب، گسترش کشت گلخانه‌ای بی‌شک یکی از مهمترین راه‌حل‌های کاهش مشکلات تولید، افزایش امنیت غذایی و توسعه بخش کشاورزی است (هاشم‌پور و آشتاب، ۱۳۹۸). در همین راستا طی سال‌های گذشته تا به امروز، گسترش شهرک‌های گلخانه‌ای با هدف افزایش بهره‌وری آب کشاورزی (حدود ۵ درصد)، افزایش عملکرد در واحد سطح، افزایش سود و ایجاد اشتغال مولد، روند شتابان و فزاینده‌ای داشته است (مومنی، ۱۴۰۱). میزان تولید محصولات باغبانی کشور در سال ۱۴۰۰ حدود ۲۲/۴ میلیون تن گزارش شده که سهم محصولات گلخانه‌ای، ۱۰/۹ درصد معادل ۲/۴ میلیون تن از مساحت حدود ۷۶۰۰ هکتار بوده است. همچنین توسعه‌ی گلخانه و محیط‌های کنترل‌شده در سطح ۱۵۰ هزار هکتار با استفاده از ظرفیت برنامه هفتم توسعه و تخصیص ۱/۸ میلیارد یورو از منابع صندوق توسعه ملی، برنامه‌ریزی و هدف‌گذاری شده است (آمارنامه کشاورزی، ۱۴۰۱).

پروژه گلخانه خورشیدی اولین بار در سال ۱۹۹۸ از کشور چین، با هدف کاهش تقاضای انرژی و ذخیره تابش خورشیدی در گلخانه‌ها آغاز شد. در این مدل سازه‌ی گلخانه‌ای تامین گرما به‌وسیله‌ی سوخت فسیلی، در موارد خیلی ضروری و تنها به‌صورت مکمل انجام می‌شود (Li-Hong et al., 2010). در این گلخانه، گرما در طول روز در کف و دیوارهای گلخانه ذخیره و در طول شب آزاد می‌شود. محصولاتی مانند سبزیجات، گل‌ها، برخی درختان میوه و حیوانات خانگی، در آن پرورش و درآمد قابل توجهی عاید کشاورزان می‌شود (Li, 2006; Chen et al., 2007). نتایج تحقیقات Sun et al. (2016) نشان داد گلخانه خورشیدی در دمای ۳۰- درجه سانتی‌گراد زمستان توانست دمای محیط و کف گلخانه را به‌ترتیب ۱۳ و ۱۶ درجه سانتی‌گراد کاهش دهد.

در کشور ما سازه‌های گلخانه‌ای، چالش‌های مدیریتی زیادی در زمان تولید ایجاد می‌کنند و به‌طور معمول بهره‌وری نهاده‌ها در آن‌ها پایین است (زارعی، ۱۳۹۶). علاوه بر این یکی از عوامل اصلی محدودکننده، هزینه‌های انرژی است که می‌تواند تا ۵۰ درصد هزینه سالانه گلخانه را شامل شود (Shen et al., 2018). مشکلات مربوط به تامین گرمایش (گرانی کرایه حمل، عملکرد نامناسب سیستم توزیع و نرسیدن به موقع سوخت همزمان با اوج تقاضا) نیز از سوی دیگر باعث بالا رفتن هزینه تولید، عدم صرفه اقتصادی و گاهی ایجاد ضررهای هنگفت مالی و نهایتاً استیصال گلخانه‌داران شده است.

طبق آمار هواشناسی، ایران به‌طور متوسط از ۲۵۰ تا ۲۹۱ روز آفتابی در سال و متوسط تابش ۴/۵ تا ۵/۵ کیلو وات ساعت بر مترمربع در روز برخوردار است که به لحاظ دریافت انرژی خورشیدی در بین نقاط جهان، در بالاترین رده‌ها قرار دارد و این امر بیانگر پتانسیل بسیار بالای انرژی خورشید در کشور است (موسوی بایگی، ۱۳۹۰). لذا استفاده از انرژی تابشی خورشید و گسترش گلخانه‌ی خورشیدی با احتساب میانگین انتقال ۸۰ درصدی نور، معادل ارزش احتراق ۱۰۰ متر مکعب گاز طبیعی است که از اهمیت ویژه‌ای در کاهش تقاضای انرژی و تولید گازهای گلخانه‌ای برخوردار است (بی‌نام، ۱۴۰۲). نتایج نشان می‌دهد که عدم آگاهی مدیران نسبت به مزایای کاربرد انرژی خورشیدی در گلخانه‌ها، فقدان نیاز سنجی آموزشی گلخانه‌داران، و عدم مشارکت محققان، مهم‌ترین موانع موثر در کاربرد انرژی خورشیدی است (علیمرادیان و ابراهیم‌پور، ۱۳۹۲).

نگرانی از تامین انرژی و چالش‌های امنیت انرژی

سبب شده استفاده از گلخانه‌های خورشیدی در اروپا بیشتر از سایر کشورها رایج شود. همچنین سرمایه‌گذاری در پروژه‌های انرژی تجدید پذیر در برخی از کشورهای آسیایی به دلیل سوخت‌های فسیلی ارزان بسیار محدود است (Marucci et al., 2018; Taki et al., 2018). در آسیا نیز علاوه بر چین در کشورهای کره، ژاپن و روسیه گلخانه‌های خورشیدی در حال افزایش هستند (Gao et al., 2010).

بر اساس بررسی‌های انجام گرفته در حال حاضر این سازه، تنها گلخانه خورشیدی احداث شده در کشور می‌باشد و این تحقیق به دنبال پاسخ این سوال است که آیا گلخانه خورشیدی در مقایسه با گلخانه‌ی تونلی، می‌تولند با صرفه‌جویی در هزینه‌ها از جمله سوخت، پلاستیک و تولید محصولات با کیفیت به اقتصاد بهره‌برداران این حوزه کمک کند؟

مبانی نظری و پیشینه تحقیق

با توجه به چالش‌های اساسی در طراحی، ساخت و مدیریت گلخانه‌ها و کاهش بهره‌وری در تولیدات گلخانه‌ای، تاکید بر نکات فنی سازه گلخانه نیز از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. به منظور آماده‌شدن شرایط محیطی مناسب درون گلخانه گزینش نوع سازه، و پوشش در کارایی و بهره‌وری از گلخانه‌ها اهمیت اساسی دارند (زراعی، ۱۳۹۶). از آنجایی که طرح‌های گلخانه‌ای زیادی برای انتخاب وجود دارد، دانستن مزایا و معایب هر نوع و ساختار گلخانه بسیار مهم است.

یک گلخانه خورشیدی شامل کمان، باد بند، پنجره کناری جهت تهویه، دیوار شمالی و سقف پشتی است که در ادامه به تفکیک ذکر می‌شود. مهمترین مزیت این سازه هزینه کم ساخت آن است که می‌توان با اندکی تغییر در ابعاد کمان گلخانه‌ی تونلی و نیز استفاده از مصالح بومی از جمله سنگ، خشت و گل، سازه‌های تونلی موجود را به خورشیدی تبدیل کرد. از طرفی با احداث دیوار در سمت شمال گلخانه خورشیدی مصرف پوشش پلاستیک نیز به نصف کاهش و سبب صرفه‌جویی در هزینه‌های جاری می‌شود.

گلخانه‌های تونلی که به کوانست[1] نیز شناخته شده‌لند با عرض ۹ متر، ارتفاع تا زیر کمان ۳ متر و طول ۶۰ متر ساخته می‌شوند (برزگر و یادگاری، ۱۳۸۹). در آن دیوارهای عمودی حذف و سازه مستقیم به صورت نیم‌دایره به زمین متصل می‌شود. این نوع گلخانه به دلیل ساختار ساده، هزینه‌ی احداث پایین و مدیریت آسان، از پرکاربردترین سازه‌های گلخانه‌ای است. با این حال ناهمگونی جریان هوای داخل سبب شده دما و رطوبت هوا به شدت در این سازه‌ها متغیر باشد. توزیع غیر یکنواخت این متغیرهای اقلیمی باعث تولید کم و کیفیت پایین محصولات و خسارت آفات و بیماری‌ها در این گلخانه می‌شود (Bartzanas et al., 2004).

برای مناطق مختلف آب و هوایی، انواع مختلف گلخانه‌های گاتیک[2] و سیرکولار[3]، دارای سقف‌های کمانی (کامل یا زاویه‌دار) و دیواره‌های عمودی به صورت تک‌دهانه یا چنددهانه در دسترس هستند. در این نوع سازه شیشه و یا ورق‌های پلی‌کربنات جایگزین پلاستیک در دیواره‌ها شده‌اند. گران بودن قیمت سازه، احتمال آسیب دیدن و شکستگی بالا، هزینه نگهداری و تعویض زیاد از معایب آن بیان شده است (Von Elsner et al., 2004).

1. Quonset
2. Gothic
3. Circular

پارامترهای مهم در رشد کمی و کیفی محصولات گلخانه‌ای شامل دما، رطوبت، نور و تهویه نیز بسیار تحت تاثیر سازه گلخانه هستند (مومنی و رحمتی، ۱۳۹۱). در منطقه سیستان مشکل باد و طوفان سبب اتلاف شدید انرژی در سازه‌های نامناسب و غیر استاندارد موجود شده است. بارها شاهد این موضوع بوده‌ایم، گلخانه‌داران منطقه که فصل کشت تابستان را به‌دلیل گرما از دست داده‌اند در زمستان هم از سرما دچار خسارت شده‌اند. این موضوع سبب شده که تولیدات گلخانه‌ای مقرون به صرفه نبوده و سبب عدم علاقه کشاورزان به زیر کشت بردن گلخانه‌ها شده است. در ادامه برخی تحقیقات تجربی مرتبط با انرژی مصرفی در گلخانه‌ها مرور می‌شود.

گلخانه با مصرف گسترده انرژی، بخشی انرژی بر با انتشار قابل توجه گازهای گلخانه‌ای است (Zhang et al., 2022). با توجه به سهم بالای مصرف سوخت‌های فسیلی در تولیدات گلخانه‌ای، استراتژی‌های گلخانه‌ای صرفه‌جویی در مصرف انرژی، جهت دستیابی به توسعه پایدار انرژی اهمیت ویژه‌ای دارد زیرا میزان مصرف سوخت در هر واحد گلخانه، بهره‌دهی اقتصادی آن را نیز مشخص می‌کند. نتایج حاصل از مطالعه تاکی و همکاران (۱۳۹۱) نشان داد سوخت با ۴۷ درصد بیشترین سهم را در بین سایر نهاده‌های مصرفی در گلخانه‌های خیار اصفهان به خود اختصاص داده است. بررسی انرژی مصرفی تولید خیار گلخانه‌ای در جنوب کرمان نیز نشان می‌دهد ۸۵/۱ درصد انرژی فقط صرف گرم کردن گلخانه شده است (مومنی، ۱۳۹۸). در تحقیقی مشابه، گزارش شد مصرف گازوئیل تنها ۱۳/۶ درصد سهم انرژی را در تولیدات گلخانه‌ای ترکیه دارد (Ozkan et al., 2011).

اسفنجاری کناری و همکاران (۱۳۹۴) در بررسی کارایی مصرف انرژی در گلخانه‌های تولید خیار استان تهران گزارش کردند سهم انرژی‌های تجدیدپذیر و تجدیدناپذیر از کل انرژی مصرفی به‌ترتیب ۰/۰۴ و ۰/۹۶ است. افزایش ۱۲ درجه سانتی‌گرادی دمای شبانه بستر و گلخانه در مقایسه با محیط، بوسیله انرژی خورشیدی توسط Lazaar et al. (2014) گزارش شده است.

Kooli et al. (2016) اثر عایق شبانه گلخانه را مطالعه و بیان کردند زمانی‌که دمای محیط ۸ درجه سانتی‌گراد بود دمای گلخانه در ۱۵ درجه سانتی‌گراد حفظ شد. مطالعه Ahmed et al. (2019) گزارش جامعی از تکنیک‌های مختلف صرفه‌جویی در مصرف انرژی از جمله استفاده از پوشش‌های گلخانه‌ای ارائه می‌کند که می‌تواند برای کاهش هزینه‌های گرمایش کارآمد باشد. بیشترین درصد صرفه‌جویی انرژی (۲۳ درصد) مربوط به افزایش پوشش گلخانه، حاصل اقدامات صرفه‌جویی انرژی گلخانه در هلند بود (Elings et al., 2005). استفاده از ظرفیت ذخیره گرمایی دیوار در جهت کاهش نوسانات دما، به‌طور گسترده در مدیریت دمای ساختمان‌های مسکونی، تجاری و گلخانه‌ای کشاورزی استفاده شده است (Zhu et al., 2023).

گلخانه خورشیدی الگویی کارآمد و نوآورانه، متناسب با شرایط و امکانات موجود و نیاز بومی است. بنابراین همسو با افتتاح کلان پروژه انتقال آب با لوله به دشت سیستان که در آینده نزدیک سبب افزایش چشم‌گیر سطح زیر کشت اراضی کشاورزی منطقه خواهد شد، قرار گرفتن اولویت‌دار گلخانه خورشیدی در الگوی کشت، جهت موفقیت درازمدت توسعه پایدار بخش کشاورزی ضروری است.

مراحل ساخت گلخانه: نخستین مرحله برای این که گلخانه حداکثر کارایی را داشته باشد باید قوس کمان به سمت جنوب و دیوار رو به شمال ساخته شود. تا حداکثر استفاده را از نور خورشید در طور روز داشته باشد.

حفر پی: پی اساس هر سازه گلخانه‌ای است زیرا تمام وزن سازه از اسکلت به فونداسیون منتقل می‌شود. برای ساخت فونداسیون باید به‌ترتیب مراحل زیر طی شود:

۱- موقعیت شمال و جنوب محل پی مشخص شود.

۲- حفر ترانشه با عمق ۴۵ سانتی‌متر، پهنای ۶۰ سانتی‌متر و طول ۶۰ متر برای دیوار شمالی (شکل ۱).

۳- موقعیت و محل دیوارهای شرقی و غربی با زاویه ۹۰ درجه از دیوار شمالی ایجاد می‌شود (شکل ۲) (۵۴۰ متر مربع شامل ۶۰ متر طول، ۹ متر عرض (دهلنه)، ۳/۵ متر ارتفاع قوس و ارتفاع دیوارها ۲ متر).

۴- پر کردن ترانشه با بتن مسلح، استفاده از میلگرد آجدار شماره ۱۲ و ملات سیمان (شکل ۳)

نکته: از یک لایه پلاستیک برای جلوگیری از ریزش دیواره‌های ترانشه استفاده شد (شکل ۴).

دیوارچینی: دیوارها روی پی که پهنای ۶۰ سانتی‌متر دارند ساخته شد. جهت احداث دیوار ابتدا دو ردیف کرسی چینی انجام و سپس به‌وسیله ایزوگام عایق گردید (شکل ۵).

به‌طورکلی دیوار در سه لایهٔ عمودی ساخته شد:

۱- یک دیوار خارجی به پهنای ۲۰ سانتی‌متر با آجر سفال مشبک.

۲- یک لایه عایق از جنس پلاستوفوم، به ضخامت ۱۰ سانتی‌متر.

۳- دیوار ذخیره‌ساز گرمای داخلی با پهنای ۲۰ سانتی‌متر که از آجر گری ساخته شد (شکل ۶).

شکل ۱- حفر ترانشه دیوار شمالی

شکل ۲- قرار گرفتن آرماتور در فونداسیون

شکل ۳- پرشدن ترانشه با ملات سیمان

شکل ۴- استفاده از پلاستیک جهت جلوگیری از ریزش

شکل ۵- کرسی چینی و عایق بندی

شکل ۶- به‌ترتیب از راست موقعیت دیوار بیرونی، عایق پلاستوفوم و دیوار داخلی (آجر گری)

در مجموع ضخامت دیوارها ۵۰ سانتی‌متر است. موقعیت درب‌ها مشخص و در حین ساخت نصب شد. لازم به توضیح است که دیوارهای داخلی و خارجی به‌طور همزمان اجرا می‌شوند.

اتصال سازه به دیوار: در بالای دیوار، سازه با استفاده از اتصال دهنده‌ها در طول دیوار به همدیگر کلاف می‌شوند. در پایان کار به فاصله هر ۳ متر روی دیوار صفحات فلزی با ابعاد ۲۵×۲۵ و ضخامت ۱ میلی‌متر جهت اتصال سازه فلزی تعبیه شد (شکل ۷). پس از اتمام کار دیوارها و اسکلت، پوشاندن لایه خارجی دیوار با استفاده از اندود کاه گِل سنتی و برای سطح داخلی پلاستر سیمان استفاده شد (شکل ۸).

شکل ۷ - نصب صفحه روی دیوار جهت اتصال سازه

شکل ۸ - آستر سیمان سیاه دیوار داخلی

نکته: جایگزین‌های متعددی با توجه به مصالح بومی قابل دسترس وجود دارد. دیوارها می‌توانند با خشت خام و یا سنگ ساخته شوند، در این‌صورت عرض پی و دیوارها نیاز به افزایش دارد.

آماده کردن کف گلخانه: به‌منظور تخلیه نخاله‌های ساختمانی کف گلخانه به عمق ۲۰ سانتی‌متر خاک‌برداری گردید. بعد از تکمیل ساخت دیوار و قبل از کشیدن پوشش پلاستیک، سطح زمین با لایه‌ای از

کود دامی پوسیده، خاک زراعی و ماسه بادی پر و جایگزین خاک قبلی گردید تا به سطح نهایی برسد.

دریچه‌های تهویه: برای خنک کردن گلخانه، استفاده از دریچه‌های تنظیم شونده در امتداد طول گلخانه ضروری است. در بهار و تابستان هوا در گلخانه به دمای ۴۵ درجه سانتی‌گراد یا بیشتر می‌رسد. دمای بالای ۳۰ درجه سانتی‌گراد به محصولات آسیب می‌رساند، بنابراین وقتی دمای داخلی به بالای ۳۰ درجه سانتی‌گراد برسد، گلخانه باید خنک شود.

ساخت سازه سقف: سازه گلخانه از لوله‌های فولادی گالوانیزه و مقاوم در مقابل زنگ‌زدگی تشکیل شد و دیوارهای جانبی و شمالی گلخانه به شکلی هستند که از سازه سقف حمایت می‌کنند.

قطعات سازه:

۱- قوس: لوله گالوانیزه سایز ۵ با فاصله ۳ متر.

۲- تعداد کمان‌ها: ۲۱ عدد.

۳- طول کمان‌ها: ۱۵ متر به‌صورت دوبل (شکل ۹).

۴- باد بندها: اتصالات میان‌بند جهت لرزه‌گیری پایه‌ها در طول گلخانه از جنس لوله گالوانیزه سایز ۳.

۵- پنجره‌ها کناری: بازشوی پنجره‌های کناری به‌صورت رول آپ و از جنس لوله گالوانیزه سایز ۳ بود (شکل ۱۰).

۶- مهار پلاستیک: از قفل‌های مخصوص پلاستیک و روش رول آپ استفاده گردید.

۷- سقف پشتی: ۲ متر (شکل ۱۱).

۸- درب ورودی (شکل ۱۲).

نصب عایق شب (لحاف): اتلاف گرما از طریق پلاستیک بالا است و اگر گلخانه شب پوشیده نباشد سرما بر گیاهان تأثیر منفی می‌گذارد. برای جلوگیری از اتلاف گرما بعد از غروب یک عایق (برزنت) روی پلاستیک سقف کشیده و بعد از طلوع خورشید جمع می‌شود (شکل ۱۳ و ۱۴).

تذکر: می‌توان از چشم‌های الکترونیکی در این مکانیسم بهره برد تا همزمان با طلوع و غروب خورشید لحاف به‌صورت خودکار روی سقف کشیده و جمع‌آوری شود.

در امتداد طول گلخانه و در قسمت بالایی سقف، لحاف پوششی به کمک بست به سازه ثابت گردید (شکل ۱۵ و ۱۶). جهت بالا و پایین بردن پوشش لحاف در طرفین، از توان دو عدد موتور الکتریکی با قدرت ۴/۵ اسب بخار و مجهز به سیستم انتقال نیرو (گیربکس) استفاده شد. بدین منظور در کنار دیوارهای شرقی و غربی پایه‌های تلسکوپی برای نصب موتورهای الکتریکی تعبیه و در قسمت انتهایی این پایه‌ها، موتور الکتریکی نصب شد.

شکل ۹- سقف قوسی دوبل

شکل ۱۰- پنجره‌های سمت جنوب به‌صورت رول آپ

شکل ۱۱- سقف پشتی

شکل ۱۲- درب ورودی

شکل ۱۳- قرار گرفتن عایق شب روی پوشش پلاستیک

شکل ۱۴- نمای داخل گلخانه در زمان قرار گرفتن پوشش لحاف

شکل ۱۵- موقعیت قرار گرفتن پایه ستون تلسکوپی

شکل ۱۶- نصب موتور در قسمت انتهای ستون تلسکوپی

آبیاری و تغذیه: در طی فصل رشد آب، کودهای شیمیایی و سایر مواد مورد نیاز گیاه به‌صورت محلول در آب با کارایی ۹۰ درصد توسط لوله‌های سوپر دریپ در اختیار گیاه قرارگرفت. قطره چکان‌ها در کنار بوته گیاه قرار می‌گیرند تا امکان رشد و توسعه علف‌های هرز از بین رود (شکل ۱۷).

شکل ۱۷- سیستم آبیاری

سیستم گرمایشی: جهت تامین گرمای مورد نیاز در محدوده رشد گیاه، از دمنده‌های حرارتی استفاده شد. این نوع سیستم‌های گرمایشی تشکیل شده است از: محفظه‌ای دوجداره که جداره وسط آن‌ها به‌وسیله مشعل گازوئیل سوز (جدول ۱) به شدت گرم شده و دود با لوله خروجی آن به بیرون از گلخانه هدایت می‌شود.

این‌کار باعث گرم شدن جداره بیرونی و هوای اطراف جداره وسط می‌شود که به‌وسیله دمنده‌ای قوی هوای گرم را به‌طور یکنوخت در گلخانه توزیع می‌نماید. خاموش و روشن شدن مشعل بدون دخالت کاربر انجام گرفت. بدین منظور از سنسورهای حرارتی که در ارتفاع بوته نصب و در دامنه دمایی بهینه رشد گیاه تنظیم شده بود استفاده گردید.

جدول ۱- مشخصات فنی مشعل گازوئیل ایران رادیاتور سیستم گرمایشی گلخانه‌ها

نوع مشعل	کد کالا	ظرفیت حرارتی (کیلو کالری در ساعت)	مصرف سوخت (لیتر در ساعت)	الکترو موتور	نوع عملکرد
گازوئیلی	RA2	۱۰۸	۹/۳	۲۲۰ ولت/ ۵۰ هرتز	یک مرحله‌ای

کاشت و برداشت: در تاریخ ۱۵ مهرماه با تراکم ۲ بوته در متر مربع هر دو گلخانه با خیار واریته رافینوس[1] به‌صورت مستقیم کشت گردید. در تاریخ ۲۵ آذر ماه (۷۰ روز) آغاز مرحله برداشت بود. میزان بازدهی در متر مربع بین ۳۰ کیلوگرم در شرایط گلخانه خورشیدی بود که از نظر عملکرد تفاوتی با گلخانه تونلی نداشت. حسب نیاز از قارچ‌کش، و حشره‌کش نیز استفاده گردید که تفاوت معنی‌داری بین دو گلخانه از این منظر نیز وجود نداشت. بستر کشت شامل خاک زراعی+ کود دامی پوسیده و ماسه بادی وکود شیمیایی مصرفی (ازته، فسفره و پتاسه) در هر دو گلخانه یکسان بود. هرس شاخه نیز هنگامی که ارتفاع بوته‌ها به ۷۵ سانتی‌متر رسید صورت پذیرفت.

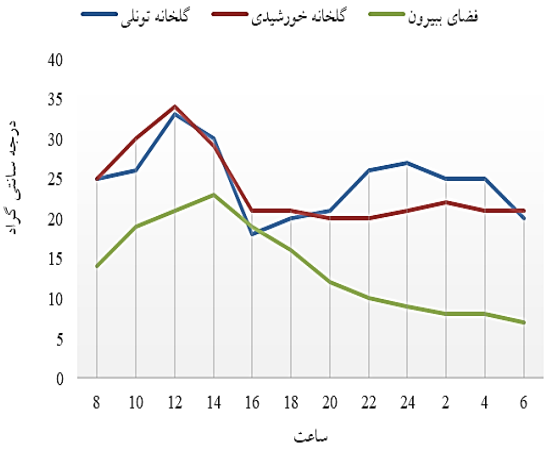
یافته‌های پژوهش

نتایج نشان می‌دهد در آذر ماه روزهای آفتابی و شب‌های خنک حاکم بر منطقه است و از ساعت ۸ صبح تا ۱۳ با افزایش شدت تابش آفتاب و گرم شدن هوا، دمای هر دو نوع گلخانه بالا رفته و در اوج به ۳۳ درجه سانتی‌گراد رسیده است (شکل ۱۸).

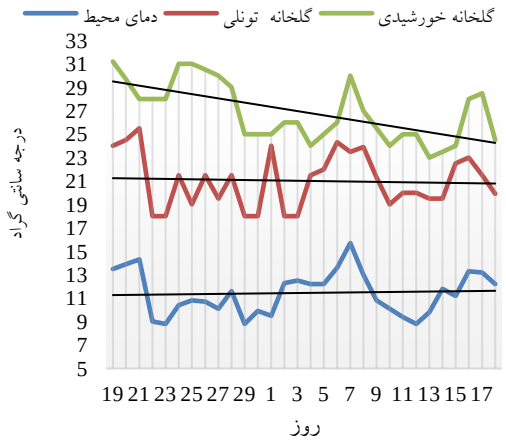
1. Rafinus

از ساعت ۱۳ تا ساعت ۱۶ به علت باز بودن پنجره‌های تهویه هوا، دمای سیر نزولی داشته و در گلخانه خورشیدی به ۲۲ درجه سانتی‌گراد و در گلخانه تونلی به ۱۸ درجه سانتی‌گراد رسیده است (شکل ۱۸). بعد از بسته شدن دریچه‌ها در ساعت ۱۶، هیتر گلخانه تونلی روشن و سبب افزایش دمای داخل گلخانه شد اما در گلخانه خورشیدی پس از بسته شدن دریچه‌ها دمای آن در محدوده بهینه (۲۲ درجه سانتی‌گراد) تا ساعت ۲۴ بدون گرم کردن ثابت بود. در ساعت ۲۴ هیتر به‌صورت اتوماتیک روشن و دما ثابت نگه داشته شد (شکل ۱۸). میانگین تغییرات دمایی در طول فصل کشت داخل و خارج گلخانه خورشیدی و تونلی (شکل ۱۹) نشان می‌دهد در طول یک ماه گلخانه تونلی کاملا با سیستم گرمایشی فعال بوده و دمای آن بالاتر از دمای بهینه بود اما در سازه خورشیدی دما، در محدوده ۲۲ درجه ثابت بوده و به‌مدت ۹ روز از سیستم گرمایشی استفاده گردید که روند دمایی آن هم ثابت و دچار نوسان دمایی نبود.

گلخانه‌های تونلی در طول روز با مشکل گرمای بیش از حد و در شب با سرمای بیش از حد مواجه هستند. این مشکلات بر کیفیت محصول و میزان تولید آن تاثیر می‌گذارد. مهمترین عوامل محیطی که بر رشد و تولید گیاهان گلخانه‌ای تأثیر می‌گذارد نور، دی اکسید کربن، دما و رطوبت است. کمینه دمای مناسب مورد نیاز برای کشت خیار در گلخانه حدود ۱۶–۱۸ و بیشینه دما ۳۰– ۳۲ درجه سانتی‌گراد است. همانطور که در شکل ۱۹ مشاهده می‌شود دمای هوا در طی زمستان (بهمن ماه) مناسب رشد نیست. با توجه به این شکل می‌توان متوجه شد در ۳۰ روز انتخاب شده دمای هوای داخل گلخانه تونلی ۱۰ درجه و گلخانه خورشیدی ۱۶ درجه سانتی‌گراد بیشتر از دمای محیط است. علاوه بر این در گلخانه خورشیدی تغییر دمای بین روز و شب با شیب کمتر و به‌صورت پیوسته و تدریجی در محدوده ایده‌ال رشد اتفاق می‌افتد. در حالیکه در گلخانه تونلی تنها در فاصله بین ۴ ساعت (۱۲ الی ۱۶) شاهد کاهش ۱۴ درجه‌ای (۳۲ به ۱۸) بودیم (شکل ۱۸). نوسانات شدید دمایی سبب کاهش طول دوره برداشت، تغییرات نامطلوب در رشد بوته، توسعه میوه و بد فرمی میوه می‌شود.



شکل ۱۸- میانگین روزانه درجه حرارت محیط، گلخانه خورشیدی و تونلی



شکل ۱۹- تغییرات دمایی فصل کشت در داخل و خارج گلخانه خورشیدی و تونلی

مقایسه کارآیی سوخت: براساس نتایج به‌دست آمده در طول فصل کشت مصرف گازوئیل ماهانه واحدهای گلخانه به شرح جدول ۲ گزارش می‌گردد. لازم به توضیح است خاموش و روشن نمودن سیستم گرمایشی بدون دخللت انسان بود. بدین منظور از سنسورهای حرارتی که در ارتفاع نهایی بوته‌ها نصب شده بود استفاده گردید و دمای بهینه برای رشد گیاهان بین ۱۸ و ۳۲ درجه سانتی‌گراد تعیین گردید.

بر اساس نتایج جدول ۲ گلخانه تونلی ۱۰۲۴۷ لیتر و گلخانه خورشیدی ۴۰۱۷ لیتر گازوئیل در بازه زمانی آذر تا اسفند ماه مصرف شد که مجموعاً معادل ۶۰/۷ درصد صرفه جویی در مصرف سوخت است.

بحث، نتیجه‌گیری و پیشنهادها

مطابق نتایج تحلیلی و تجربی دقیق، عملکرد گلخانه خورشیدی از منظر مصرف گازوئیل، عملکرد محصول و دمای گلخانه ارزیابی شد. گلخانه خورشیدی بر خلاف نوع تونلی، در زمستان می‌تواند تنها با به کارگیری یک عدد مشعل به‌صورت مکمل، گرما را در طول شب تامین و به کمک عایق شب حفظ نماید تا ضمن کاهش مصرف سوخت، تولید محصولات گلخانه‌ای مقرون به‌صرفه گردد. از دیگر مزیت‌های قابل توجه آن، جذب تابش خورشیدی در طول روز و آزاد شدن حرارت در طی شب توسط دیوار شمالی است که به افزایش راندمان بالاتر انرژی در این سازه منجر می‌شود. دیوار شمالی علاوه بر مزیت فوق، مانعی مستحکم در برابر طوفان‌های موسمی است و سبب رسوب ماسه بادی می‌گردد. بدین صورت تجمع ماسه بادی در پشت دیوار، نقش عایق گرما در طی زمستان خواهد داشت. همچنین گلخانه خورشیدی این قابلیت را دارد که در تابستان نیز با ایجاد سایه دیوار شمالی، مانع از گرم شدن شدید گلخانه گردد. این مطالعه روندی را ارزیابی کرد تا محرکی در جهت بهبود سازه‌های گلخانه‌ای کشور باشد. گلخانه‌ای که سرمایه‌گذاری کم، حداقل تاثیر مخرب زیست محیطی و حداکثر منفعت اقتصادی را داشته باشد. بر اساس نتایج و عنایت به چشم انداز آتی منابع محدود آبی سیستان، توسعه و قرار گرفتن گلخانه خورشیدی در الگوی کشت کشاورزی منطقه می‌تواند در راستای اقتصاد مقاومتی با کاهش حدود ۶۱ درصدی مصرف گازوئیل، و تولید ۳۰ کیلوگرم در متر مربع محصول خیار سبب صرفه اقتصادی و افزایش سطح درآمد بهره‌برداران گردد.

پیشنهادها

۱- ابعاد درب گلخانه به نحوی باشد که امکان تردد ماشین آلات کشاورزی از جمله تیلر میسر باشد.

۲- در ابتدای ورودی گلخانه، اتاقک ایزوله تعبیه گردد.

۳- در صورت کاربرد خشت خام برای دیوارها با توجه به ارتفاع ۳ متری گلخانه، ضخامت حداقل ۷۵ سانتی‌متری برای دیوارها جهت تحمل وزن ساز توصیه می‌شود.

۴- برای کارایی بهتر انرژی، توصیه می‌شود هم زمان با غروب آفتاب لحاف پوششی مورد استفاده قرار گیرد.

۵- در صورت کشت همزمان محصولات مختلف (فلفل، گوجه فرنگی و خیار)، بهتر است از سمت دیوار ابتدا خیار سپس گوجه فرنگی و در آخر هم فلفل کشت گردد.

۶- برای لحاف پوششی استفاده از پارچه برزنت سبک و ضد آب توصیه می‌گردد. هنگام برش توجه شود که خط دوخت آن به‌صورت عمود بر زمین باشد.

۷- تجزیه و تحلیل اقتصادی برای حداقل یک دوره سه ساله (بازگشت سرمایه) انجام پذیرد.

۸- در طول فصل رشد، دمای بستر گلخانه در اعماق مختلف اندازه‌گیری شود.

منابع

اسفنجاری کناری، ر.، شعبان‌زاده، م.، جانسوز، پ.، و امیدی، ا. (۱۳۹۴). بررسی کارایی مصرف انرژی در گلخانه‌های تولید خیار استان تهران. مهندسی بیوسیستم ایران (علوم کشاورزی ایران)، ۴۶(۲): ۱۲۵-۱۳۴.

آمارنامه کشاورزی. (۱۴۰۰). جلد سوم گزارش محصولات باغبانی و گلخانه‌ای. تهران: وزارت جهاد کشاورزی، معاونت برنامه‌ریزی و اقتصادی، مرکز فناوری اطلاعات و ارتباطات.

برزگر، ر.، و یادگاری، م. (۱۳۹۸). مدیریت تولید در گلخانه مؤسسه آموزش عالی علمی-کاربردی جهاد کشاورزی، تهران.

بی‌نام ۱۴۰۲، منبع اینترنتی www.energybc.ca/converter.html

تاکی، م.، عجب شیرچی، ی.، عبدی، ر.، و اکبرپور، م. (۱۳۹۱). تجزیه و تحلیل کارایی انرژی محصول خیار گلخانه‌ای به روش تحلیل پوششی داده‌ها مطالعه موردی (شهرستان شهرضا- استان اصفهان)، ماشین‌های کشاورزی. ۲(۱): ۲۸-۳۷.

زارعی، ق. (۱۳۹۶). چالش‌های سازه‌ای گلخانه‌ها در ایران. مجله پژوهش‌های راهبردی در علوم کشاورزی و منابع طبیعی، ۲(۲): ۱۴۹-۱۶۲.

علیمرادیان، پ.، و ابراهیم‌پور، م. (۱۳۹۲). موانع کاربرد انرژی خورشیدی از دیدگاه گلخانه‌داران استان تهران و البرز. مجله پژوهش‌های ترویج و آموزش کشاورزی، ۶(۳): ۷۹-۹۴.

موسوی بایگی، م.، و اشرف، ب. (۱۳۹۰). شناسایی مناطق با کمترین میزان ابرناکی به منظور پهنه‌بندی نواحی پرتابش کشور. نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، ۲۵(۳): ۶۶۵-۶۷۵.

مومنی، د. (۱۴۰۱). بررسی وضعیت موجود سازه و تأسیسات گلخانه‌ها مطالعه موردی: گلخانه‌های استان هرمزگان. سبزیجات گلخانه‌ای، ۱۴-۱۱.

سپاسگزاری

از پژوهشگاه زابل جهت تامین مالی و دفتر پروژه بین‌المللی منارید در ایران برای مشاوره تشکر می‌گردد.

مومنی، داوود. (۱۳۹۸). بررسی شاخص‌های مصرف انرژی در تولید خیار گلخانه‌ای جنوب کرمان. سبزیجات گلخانه‌ای، ۲(۲): ۳۳-۲۷.

مومنی چلکی، د.، و رحمتی، م.ح. (۱۳۹۱). ارزیابی اثرات کنترل دما و رطوبت در تولید خیار گلخانه‌ای در منطقه جیرفت و کهنوج. ماشین‌های کشاورزی، ۲(۱): ۳۸-۴۵.

هاشم‌پور، ر.، و آشتاب، ز. (۱۳۹۸). تحلیل راهبردی بازاریابی محصولات گلخانه‌ای در توسعه کارآفرینی روستایی (مورد مطالعه: دهستان بیگم قلعه). جغرافیا و روابط انسانی، ۱(۴): ۱۶۲-۱۴۸.

Ahamed, M. S., Guo, H., & Tanino, K. (2019). Energy saving techniques for reducing the heating cost of conventional greenhouses. Biosystems Engineering,178: 9-33.

Bartzanas, T. B. T. K. C., Boulard, T., & Kittas, C. (2004). Effect of vent arrangement on windward ventilation of a tunnel greenhouse. Biosystems Engineering, 88(4): 479-490.

Chen, M. S., Ma, S. P., Zhou, P. G., & Li, J.W. (2007). Promoting modern vegetable production by implementation of an exportation policy. China Vegetables, 11: 1–4.

Elings, A., Kempkes, F. L. K., Kaarsemaker, R. C., Ruijs, M. N. A., Van de Braak, N. J., & Dueck, T. A. (2005). The energy balance and energy saving measures in greenhouse Tomato cultivation. Acta Horticulture. 691: 67-74.

Gao, L., Qu, M., Ren, H., Sui, X., Chen, Q., & Zhang, Z. (2010). Structure, Function, Application, and Ecological Benefit of a Single-slope, Energy-efficient Solar Greenhouse in China. Horticulture Technology, 20(3): 626-631.

Kooli, S., Bouadila, S., Lazaar, M., & Farhat, A. (2015). The effect of nocturnal shutter on insulated greenhouse using a solar air heater with latent storage energy. Solar Energy, 115: 217–228.

and optimization of daily average temperature. Energies, 11(65): 2-17.

Sun, S., Zhan, C., and Yang, G. (2016). Research on A New Technology Integrated Low-cost, Near-zero-energy Solar Greenhouse. Procedia Engineering, 145: 188-195.

Taki, M., Rohani, A., & Rahmati-Joneidabad, M. (2018) Solar thermal simulation and applications in greenhouse. Information Processing in Agriculture, 5(1): 83-113.

Von Elsner, B., Briassoulis, D., Waaijenberg, D., Mistriotis, A., Von Zabeltitz, C., Gratraud, J., & Suay-Cortes, R. (2000). Review of structural and functional characteristics of greenhouses in European Union countries, part II: Typical designs. Journal of agricultural engineering research, 75(2): 111-126

Zhang, M., Yan, T., Wang, W., Jia, X., Wang, J., & Klemeš, J. J. (2022). Energy-saving design and control strategy towards modern sustainable greenhouse: A review. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 164: 112602.

Zhu, J., Zhang, X., Hua, W., Ji, J., & Lv, X. (2023). Current status and development of research on phase change materials in agricultural greenhouses: A review. Journal of Energy Storage, 66: 107104.

Lazaar, M., Bouadila, S., Kooli, S., & Farhat, A. (2014). Conditioning of the tunnel greenhouse in the north of Tunisia using a calcium chloride hexahydrate integrated in polypropylene heat exchanger. Applied Thermal Engineering, 68(1–2): 62-68.

Li, J.W. (2006). The reviewing of vegetable production in 2005 in China. China Vegetable, 10: 1–2.

Li-Hong, G.Q., Mei, R., Hua-Zhong, S., Xiao-Lei, C., Qing-Yun & Zhen-Xian, Z. (2010). Structure, Function, Application, and Ecological Benefit of a Single-slope, Energy-efficient Solar Greenhouse in China. Horticulture Technology, 20(3): 626-631.

Marucci, A., Zambon, I., Colantoni, A., & Monarca, D. (2018). A combination of agricultural and energy purposes: Evaluation of a prototype of photovoltaic greenhouse tunnel. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 82: 1178-1186.

Ozkan, B., Ceylan, R. F., & Kizilay, H. (2011). Energy inputs and crop yield relationships in greenhouse winter crop tomato production. Renewable Energy, 36: 3217-3221.

Shen, Y., Wei, R., & Xu, L. (2018). Energy consumption prediction of a greenhouse