



مطالعه تجربی گرادیان دمایی خاک بستر یک گلخانه خورشیدی تحت تاثیر تغییرات دمایی مخزنی حاوی ماده تغییر فاز دهنده به عنوان سیستم ذخیره انرژی حرارتی

احمد علی پور^{1*}، رضا نصیری²

1- کارشناسی ارشد، مهندسی مکانیک، دانشگاه صنعتی جندی شاپور، دزفول

2- کارشناسی ارشد، مهندسی مکانیک، شرکت ملی حفاری ایران

* احوال، صندوق پستی 6155853591، norouzi.ahmad@jsu.ac.ir

چکیده

به منظور گرمایش گلخانه ها با توجه به این که اکثر منابع انرژی دارای معایبی از جمله هزینه زیاد و مشکلات زیست محیطی هستند، استفاده از انرژی خورشیدی برای گرمایش آن ها در فصل های سرد سال موضوع بسیار مهمی است. منقطع بودن این منبع انرژی، ضرورت استفاده از سیستم های ذخیره انرژی را ایجاب می کند. در این مقاله به بررسی تجربی استفاده از ماده تغییر فاز دهنده در سیستم گرمایشی یک گلخانه خورشیدی آزمایشی که در دزفول ساخته شده و تاثیر آن روی تغییرات دمایی خاک بستر گلخانه پرداخته شده است. پس از ساخت گلخانه ای به مساحت 3 متر مربع، این گلخانه به یک سیستم گرمایشی شامل یک مخزن آب حاوی 18 کیلوگرم پارافین واکس به عنوان ماده تغییر فاز دهنده با دمای ذوب 55°C و گرمای نهان ذوب 190 kJ/kg، تجهیز شده است. پارافین واکس به کمک انرژی جذب شده توسط دو عدد کلکتور صفحه تخت به دمای ذوب رسیده و انرژی در دسترس روزانه را هم به صورت گرمای محسوس و هم گرمای نهان ذخیره نموده و سپس شب هنگام این انرژی صرف گرمایش خاک بستر گلخانه شده است. به منظور بررسی میزان تاثیر استفاده از این روش ذخیره سازی انرژی، تغییرات دمایی خاک بستر گلخانه مورد ارزیابی قرار گرفته است. نتایج به دست آمده نشان داد که برای همه لایه های خاک بستر گلخانه، حدود 10 درجه سانتی گراد افزایش برای کمینه دمای شبانه و متوسط دمای شبانه حاصل شده است.

کلید واژگان: انرژی خورشیدی، گرمایش گلخانه، سیستم های ذخیره انرژی، ماده تغییر فاز دهنده، تغییرات دمایی

Experimental investigation of temperature gradient in a greenhouse bed soil containing phase change material

Ahmad Alipoor^{*1}, Reza Nasiri²

1-Department of Mechanical Engineering, Jundi-Shapur University, Dezful, Iran

2- National Iranian Drilling Company, Ahvaz, Iran

* P.O.B. 6155853591, Ahvaz, Iran, norouzi.ahmad@jsu.ac.ir

ABSTRACT

Most of energy sources have some disadvantages such as environmental problems and being expensive, so using solar energy for greenhouse heating in cold seasons is a very important issue. Solar energy is a periodic source, so using of energy storage systems is inevitable. In this paper, phase change materials was used in heating system of a solar greenhouse built in Dezful and its influence on temperature gradient of bed soil is experimentally investigated. A model greenhouse with a ground area of 3 m² was coupled with a heating system consisting of a water tank contained 18 kg paraffin wax (latent heat 190 kJ/kg and melting point 55°C) as phase change material. During the daytime, temperature of the paraffin wax reaches to melting point, with energy of solar radiation absorbed by tow collectors, and daily available energy stored as thermal energy (sensible heat and latent heat). This stored energy is released during the night to heat bed soil of greenhouse. Temperature gradient of soil were evaluated to figure out thermal performance of this energy storage system. Results of this study indicates that about 10 °C increase in minimum nighttime temperature and average temperature of soil in different depths was achieved.

Keywords: Solar energy, Greenhouse heating, Energy storage systems, Phase change materials, Temperature gradient

انرژی حرارتی¹ مناسب تامین کرد. سیستم های ذخیره انرژی حرارتی متناسب

با نوع نیاز گلخانه وظیفه سرمایش و یا گرمایش آن را برعهده دارند. از طرفی غیرقابل اعتماد بودن اکثر منابع انرژی به دلیل معایبی از جمله عدم تامین پایدار، نوسانات شدید قیمت و مشکلات زیست محیطی سبب روی آوردن محققان به سوی انرژی های تجدیدپذیر و پایدار از جمله انرژی خورشیدی شده است که امروزه در سیستم های ذخیره انرژی حرارتی مورد استفاده در گلخانه ها از جایگاه ویژه ای برخوردار است.

از مرسوم ترین سیستم های گرمایشی نوین به کار رفته در گلخانه ها می توان

1- مقدمه

در طی دو دهه ای اخیر استفاده از گلخانه های کشاورزی رشد قابل توجهی پیدا کرده است. نخستین هدف یک گلخانه این است که محصول بیشتری خارج از فصل تولید فراهم آورد. برای نائل شدن به این هدف باید با به کارگیری روش هایی، عوامل محیطی مناسب رشد گیاه (دما، رطوبت نسبی و نور) را تحت کنترل درآورد. کارایی یک گلخانه علاوه بر دما و رطوبت نسبی به پارامترهای دیگری از جمله اندازه گلخانه، نوع پوشش، روش ذخیره انرژی، دمای مطلوب گلخانه، موقعیت مکانی و شرایط محیط پیرامونی وابسته است. شرایط دمایی بهینه را می توان با مجهز کردن گلخانه به یک سیستم ذخیره

¹Thermal Energy Storage System (TESS)

Please cite this article using:

A. Alipoor, R. Nasiri, Experimental investigation of temperature gradient in a greenhouse bed soil containing phase change material, *Modares Mechanical Engineering, Proceedings of the Second International Conference on Air-Conditioning, Heating and Cooling Installations*, Vol. 16, No. 13, pp. 113-118, 2016 (in Persian) (فارسی)

برای ارجاع به این مقاله از عبارت ذیل استفاده نمایید:

حسین¹² و ایدین¹³ در آزمایشی در ترکیه کارایی حرارتی یک واحد ذخیره حرارت شامل مواد تغییر فاز دهنده را مورد بررسی قرار دادند. واحد ذخیره انرژی شامل ده عدد کلکتور هوا گرمکن خورشیدی بوده که برای گرمایش هوای گلخانه و ذخیره انرژی در مخزن حاوی مواد تغییر فاز دهنده ($\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) مورد استفاده قرار گرفتند. نتایج به دست آمده از این تحقیق نشان داد که سیستم گرمایشی شامل کلکتورهای هوا گرمکن و ماده تغییر فاز دهنده 23-18٪ نیاز کل روزانه انرژی حرارتی گلخانه را برای 3-4 ساعت تامین کرد. این سیستم اختلاف دمای 9-6 درجه سانتیگرادی بین هوای داخل گلخانه و محیط فراهم آورده است [5].

بروگ¹⁴ و همکارانش در مراکش استفاده از مواد تغییر فاز دهنده در دیوار شمالی گلخانه را مورد بررسی قرار دادند. با توجه به این که برای گلخانه های با راستای غرب به شرق در طی فصل زمستان بیشینه تشعشع خورشیدی روی دیوار شمالی گلخانه افتاده و کسری از این تشعشع خورشیدی از گلخانه خارج می شود، یک دیوار شمالی حاوی مواد تغییر فاز دهنده به منظور جذب و بازتاب تشعشعات خورشیدی در این طرح پیشنهاد گردید. در طی روز تشعشعات برخوردی به دیوار شمالی، ذخیره حرارتی آن را بالا برده و این انرژی از طریق انتقال حرارت جابجایی و تشعشع به گلخانه می رسد. در این مطالعه یک افزایش 12-6 درجه سانتیگرادی برای هوای داخل گلخانه در طی شب حاصل گردید [6]. سالوا¹⁵ و همکارانش به بررسی تاثیر به کارگیری مواد تغییر فاز دهنده روی دما و رطوبت گلخانه پرداخته و عملکرد حرارتی یک هواگرمکن خورشیدی جدید (شامل بستری از کپسول های کروی حاوی مواد تغییر فاز دهنده) را مورد ارزیابی قرار دادند. گرمای مازاد نیاز روزانه گلخانه در بستر حاوی مواد تغییر فاز دهنده ذخیره شده و شب هنگام استخراج می شد. نتایج به دست آمده از این طرح نشان داد که گرمای باز گرفته شده از کلکتور در طی شب 31٪ نیاز گرمایشی کل گلخانه را فراهم آورده است. هم چنین یک کاهش 20-10٪ در رطوبت نسبی حاصل گردید. دمای شبانه داخل گلخانه مجهز به سیستم گرمایشی به طور متوسط حدود 5°C از گلخانه سنتی بیشتر بود [7]. ماریم¹⁶ و همکارانش به ارزیابی یک واحد ذخیره انرژی نهان در یک گلخانه تونلی پرداختند. در این تحقیق واحد ذخیره انرژی نهان از یک مبدل حرارتی پلی پروپیلنی که با ماده تغییر فاز دهنده پر شده ساخته شد. کلرید کلسیم شش آبه با دمای ذوب 29-26 درجه سانتیگراد و گرمای نهان ذوب 190.8 kJ/kg به عنوان ماده تغییر فاز دهنده مورد استفاده قرار گرفت. این سیستم ذخیره انرژی نهان، دمای داخل گلخانه را در طی روز 5 تا 8 درجه سانتیگراد کاهش داده و شبها یک افزایش 4°C را فراهم آورد [8].

در آزمایشاتی که تاکنون انجام گرفته، مقدار ماده تغییر فاز دهنده به کار رفته برای هر متر مربع از سطح گلخانه متفاوت بوده و دارای مقادیر کمینه 4.84 کیلوگرم بر مترمربع و بیشینه 83.3 کیلوگرم بر مترمربع است. در تمامی مطالعات انجام شده ای که در آن ها از کلکتورهای خورشیدی استفاده شده، تنها کلکتورهای هوا گرمکن مورد استفاده قرار گرفته و کمتر به گرادیان دمایی خاک بستر گلخانه پرداخته شده است. در این پژوهش از هوا به عنوان سیال ناقل حرارت استفاده شده و تغییرات دمایی خاک بستر گلخانه بررسی شده است. هدف از انجام این پژوهش بررسی میزان کارایی یک سیستم

به ذخیره سازی به کمک مخازن آب¹، ذخیره سازی با بستر سنگی² و ذخیره سازی به کمک مواد تغییر فاز دهنده³ اشاره کرد. به جز موارد ذکر شده فوق، استفاده از عایق متحرک⁴ و ذخیره سازی با دیوار شمالی⁵ از جمله روش های نوین ذخیره انرژی به منظور افزایش دمای گلخانه می باشند. به منظور سرمایش گلخانه نیز از روش هایی مانند تهویه استفاده می شود. در سیستم های ترکیبی، گرمایش گلخانه در زمستان و سرمایش آن در تابستان مدنظر قرار می گیرد. سیستم مبدل حرارتی بین زمین و هوا⁶ (EAHES) یکی از کارآمدترین سیستم های ترکیبی بوده که گرمایش گلخانه در زمستان و سرمایش آن در تابستان را فراهم می آورد [1].

استفاده از مواد تغییر فاز دهنده از کارآمدترین روش های ذخیره انرژی حرارتی است. به کمک ذخیره انرژی حرارتی با استفاده از روش گرمای نهان می توان انرژی حرارتی را با چگالی بسیار بالا ذخیره کرد. مواد تغییر فاز دهنده می توانند در طی فرایند تغییر فاز (جامد به مایع) مقدار زیادی انرژی را در طی یک چرخه ذخیره حرارت، ذخیره نمایند. در فرایند مصرف انرژی، معمولاً یک سیال عامل (آب یا هوا) حرارت را از مخزن ذخیره انرژی به محیط موردنظر انتقال داده و باعث تغییر فاز مواد تغییر فاز دهنده به حالت جامد می شود. فراوانی مواد تغییر فاز دهنده با دماهای ذوب و انجماد مختلف در یک بازه دمایی وسیع، آن ها را برای کاربردهای مختلف مناسب ساخته است. برای کاربردهای مربوط به ذخیره انرژی حرارتی در گلخانه ها، مواد تغییر فاز دهنده با دمای ذوب 15 تا 65 درجه سانتیگراد حائز اهمیت هستند [2].

تحقیقات گسترده ای در زمینه استفاده از مواد تغییر فاز دهنده به منظور ذخیره انرژی در گلخانه ها انجام شده است. در مطالعه ای که توسط تاکاکورا⁷ و نیشینا⁸ انجام گرفت از مواد تغییر فاز دهنده برای ذخیره انرژی در گلخانه ای با سطح 7.2m² استفاده گردید. در این تحقیق از کلرید کلسیم شش آبه با دمای ذوب 29.4°C و گرمای نهان 170.1 kJ/kg استفاده شد. سه نوع واحد ذخیره انرژی متفاوت ساخته شده و مورد بررسی قرار گرفتند و برای کارآمدترین واحد ذخیره انرژی از میان سه سیستم طراحی شده، در حالی که دمای محیط خارج گلخانه به 0.6- درجه سانتیگراد رسیده بود دمای داخل گلخانه به 8°C رسید [3].

هوانگ⁹ و همکارانش در مرکز تحقیقات کشاورزی کارولینای شمالی برای ذخیره انرژی در یک گلخانه کوچک خورشیدی از کلسیم کلرید شش آبه با دمای ذوب 27.22 درجه سانتیگراد به عنوان ماده تغییر فاز دهنده استفاده کردند. نتیجه این تحقیق نشان داد که مواد تغییر فاز دهنده ظرفیت ذخیره انرژی بسیار بیشتری نسبت به سیستم ذخیره انرژی با بستر سنگی دارند [4]. بیل¹⁰ و بولارد¹¹ در یک مطالعه تجربی از کلرید کلسیم شش آبه با دمای ذوب 21°C در گلخانه ای با مساحت 176m² استفاده کردند. با استفاده از این روش 40٪ از بار گرمایشی مورد نیاز گلخانه تامین گردید. همچنین هنگامی که دمای محیط در ماههای فوریه و مارس به ترتیب 3.8°C و 6.6°C بوده، دماهای 10.9°C و 13.5°C درون گلخانه حاصل شد [4].

1 Water storage

2 Rock bed storage

3 Phase change materials

4 Movable insulation

5 North wall

6 Earth to air heat exchanger system

7 Takakura

8 Nishina

9 Huang

10 Baile

11 Boulard

12 Huseyin

13 Aydin

14 Berroug

15 Salwa

16 Mariem

سانتی متری زیر سطح گلخانه قرار گرفتند (شکل 3). قطر لوله مسی سه هشتم اینچ بوده، ضخامت آن 0.63 میلی متر و طول کلی آن 12 متر است. پس از تعبیه مبدل حرارتی، داخل گلخانه سه ردیف گیاه خیار (یکی از محصولات رایج گلخانه‌ای در فصل زمستان) کاشته شد (شکل 4).

2-3- کلکتورها

کلکتور یکی از اجزای اصلی سیستم گرمایشی بوده که عملکرد آن در سیستم، گردآوری انرژی تشعشعات خورشیدی طی روز است. کلکتورهای مورد استفاده از نوع کلکتورهای دو منظوره بوده که قابلیت گرمایش همزمان هوا و آب را دارند. در این تحقیق دو کلکتور خورشیدی به صورت سری به همدیگر متصل شدند. در "شکل 2" تصویر کلکتور شماره 1 مشاهده می‌شود که مشخصات آن در ادامه آورده شده است: پوشش کلکتور از جنس شیشه و دارای ضخامت 6 mm است، ضخامت عایق زیرین 4cm و ضخامت عایق در کناره‌های کلکتور 2cm است، صفحه جاذب از جنس آلومینیوم با ضخامت 1mm و دارای مساحت در معرض تابش 1.71m^2 است، جنس لوله‌های داخل کلکتور از مس و قطر لوله‌های رایزر¹ و هدر² به ترتیب 10 و 16 میلی متر است، تعداد لوله‌های رایزر 7 عدد است. مشخصات کلکتور شماره 2 نیز بدین شرح است: پوشش کلکتور از جنس شیشه بوده و دارای ضخامت 6mm است، ضخامت عایق زیرین و عایق در کناره‌ها 4.5cm، جنس صفحه جاذب از آلومینیوم با ضخامت 1mm و ابعاد 1.91×0.91 متر، قطر لوله‌های رایزر 10mm و تعداد آن‌ها 12 عدد است.

3-3- مخزن آب به همراه محفظه‌های حاوی مواد تغییر فاز دهنده

مخزن مورد استفاده از فولاد گالوانیزه با ضخامت 1.25 میلی متر بوده و دارای قطر 42 سانتی متر و ارتفاع 85 سانتی متر است. حجم مخزن 141 لیتر است. هنگام استفاده از مخزن جداره خارجی آن به‌طور کامل با پشم شیشه به ضخامت 5 سانتی متر عایق بندی شده است. برای بهره‌گیری از مواد تغییر فاز

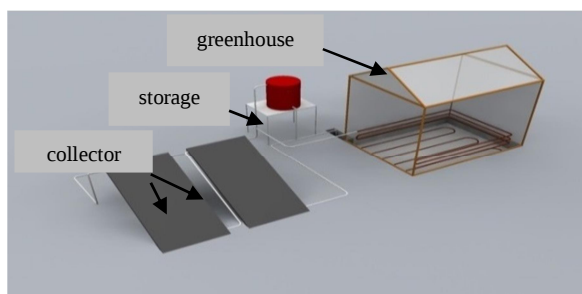


Fig. 1 The schematic view of greenhouse and heating system

شکل 1. نمای شماتیکی از گلخانه و سیستم گرمایشی



Fig. 2 Real view of greenhouse and heating system

شکل 2. نمای واقعی از سیستم خورشیدی

ذخیره انرژی برای گلخانه است که در این سیستم از کلکتور آب گرمکن استفاده شده و ماده تغییر فاز دهنده به عنوان محیط ذخیره انرژی به کار رفته است.

2- معادله‌های ذخیره انرژی

1-2- گرمای محسوس

در ذخیره گرمای محسوس، انرژی حرارتی با افزایش دمای یک جامد یا مایع ذخیره می‌شود. حرارت ذخیره شده وابسته به ظرفیت گرمایی محیط ذخیره‌ی انرژی، تغییرات دما و جرم ماده ذخیره کننده است. گرمای ذخیره شده از معادله زیر محاسبه می‌شود [2]:

$$Q = \int_{T_i}^{T_f} m C_p dT = m C_{ap} (T_f - T_i) \quad (1)$$

2-2- گرمای نهان

در سیستم‌های ذخیره انرژی با گرمای نهان، از انرژی جذب شده در حین فرآیند تغییر فاز استفاده می‌شود. حرارت ذخیره شده در ماده از معادله زیر محاسبه می‌شود:

$$Q = \int_{T_i}^{T_m} m C_p dT + m a_m \Delta h_m + \int_{T_m}^{T_f} m C_p dT \quad (2)$$

$$= m [C_{sp} (T_m - T_i) + a_m \Delta h_m + C_{lp} (T_f - T_m)] \quad (3)$$

3- نحوه انجام آزمایش‌ها

در "شکل 1" نمای شماتیکی از گلخانه و سیستم گرمایشی طراحی شده، نشان داده شده است و همچنین در "شکل 2" نمای واقعی این سیستم خورشیدی ارائه شده است. این سیستم خورشیدی از اجزای زیر تشکیل شده است:

گلخانه و مبدل‌های حرارتی تعبیه شده در آن، کلکتورهای خورشیدی، مخزن آب به همراه محفظه‌های حاوی ماده تغییر فاز دهنده، ماده تغییر فاز دهنده، داده بردار دما.

1-3- گلخانه و مبدل‌های حرارتی

در این تحقیق با توجه به این که گرمایش گلخانه مد نظر بوده، از میان شکل‌های رایج گلخانه‌های تک واحدی، نوع دهانه مساوی از طرفین انتخاب شده است که سقف آن از دو طرف دارای شیب یکسان است و از نظر میزان جذب تشعشع جزء انواعی است که حداکثر مقدار جذب را داراست. جنس اسکلت گلخانه به منظور استحکام مناسب از فلز انتخاب شد، مساحت گلخانه ساخته شده 3 متر مربع بوده و ارتفاع دیواره‌های کناری 1.5 متر و ارتفاع در مرکز 1.9 متر است. محل استقرار گلخانه، سایت خورشیدی دانشگاه صنعتی جندی شاپور دزفول بوده و به منظور بیشینه بودن مجموع تشعشع رسیده به گلخانه امتداد طولی آن در راستای شرق به غرب قرار گرفت. برای آماده‌سازی بستر گلخانه ابتدا سطح مورد نیاز گلخانه به ارتفاع 30 سانتی متر خاک برداری شد. پس از خاک برداری بستر گلخانه، کف گلخانه با یونولیت به ضخامت 5 سانتی متر عایق شد. پس از استقرار اسکلت فلزی، پوشش پلاستیکی گلخانه روی آن کشیده شد. در ادامه روی یونولیت به ارتفاع 5 سانتی متر خاک ریخته شده و سپس لوله مسی (به عنوان مبدل حرارتی) در کف گلخانه تعبیه شد. فاصله خطوط لوله مسی در کف گلخانه از یکدیگر 20 سانتی متر بوده به‌طوری که 6 خط لوله در امتداد طولی گلخانه قرار گرفت. سپس روی لوله مسی خاک ریخته به‌طوری که در نهایت این لوله‌ها در ارتفاع 20

¹ Raiser

² Header

3-5- الکتروپمپ سیرکولاتور آب

با توجه به این که سیستم مدارهای ذخیره و بازیافت انرژی از نوع سیستم جابجایی اجباری بوده، برای به جریان انداختن آب یک الکتروپمپ بعد از خروجی مخزن ذخیره و قبل از ورودی کلکتور و گلخانه استفاده شده است. این الکتروپمپ ساخت شرکت پمپیران بوده و دارای توان 46 وات، ماکزیمم هد 4 متر و دبی 5-40 لیتر بر دقیقه است.

3-6- داده بردار دما

در این پژوهش از یک داده بردار دما (دیتالاگر) دیجیتال مجهز به حسگر DS18B20 برای اندازه گیری دماهای مورد نیاز آزمایش استفاده شده است. این حسگرها کالبره شده کارخانه بوده و محدوده دمایی 55- تا 125+ درجه سانتیگراد را با دقت 0.1 درجه سانتیگراد اندازه گیری می کنند. نمایی از دیتالاگر و متعلقات آن در "شکل 5" نشان داده شده است.

4- نتایج و بحث

در این بخش به بررسی تاثیر استفاده از مواد تغییر فاز دهنده در گلخانه و میزان کارایی سیستم گرمایشی طراحی شده پرداخته شده و گرادیان دمایی لایه های خاک مورد بررسی قرار می گیرند. در زمان داده برداری مدار ذخیره انرژی از ساعت 7:45 صبح و مدار گرمایش گلخانه از ساعت 7:45 شب فعال شده اند. به منظور بررسی تاثیر سیستم گرمایشی طراحی شده از 4 سنسور دمایی در لایه های مختلف خاک، 1 سنسور در ورودی مخزن، 1 سنسور در خروجی مخزن و 14 سنسور در ارتفاعات مختلف مخزن استفاده شده است. نمودارهای شبانه به صورت 12 ساعته و از ساعت 7 شب تا 7 صبح رسم شده اند، به عنوان مثال ساعت 13 روی این نمودارها معادل ساعت 1 شب است.

در "شکل 6" تغییرات دمایی مخزن حاوی محفظه های ماده تغییر فاز دهنده هنگام ذخیره انرژی آورده شده است. مدار ذخیره انرژی از ساعت 7:45 صبح فعال شده است. در ساعات ابتدایی ذخیره انرژی به صورت محسوس بوده و نرخ افزایش دما بیشتر است و بعد از ساعت 11:20 ظهر و رسیدن دمای مخزن به دمای ذوب ماده تغییر فاز دهنده، ذخیره انرژی نهان آغاز شده و نرخ افزایش دما کمتر شده است. در ساعت 15 دمای مخزن به حداکثر مقدار خود رسیده و مدار ذخیره انرژی قطع شده است. در "شکل 7" نمودار مربوط به بازیافت انرژی از مخزن در شب مشاهده می شود. چنانچه مشاهده می شود در ساعات ابتدایی اختلاف دمای مخزن و آب برگشتی به آن بسیار زیاد است. در ساعات ابتدایی به علت اختلاف دمای زیاد مخزن و گلخانه نرخ انتقال حرارت نسبت به ساعات انتهایی بیشتر بوده و دمای مخزن با سرعت بیشتری کاهش پیدا کرده است.

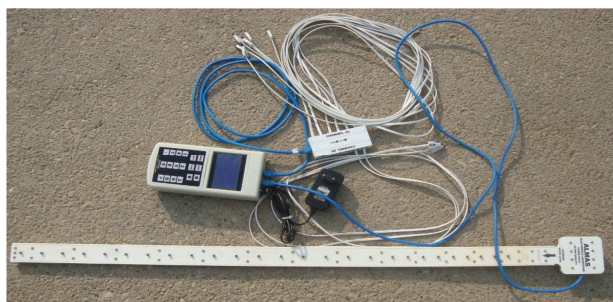


Fig. 5 A view of data logger

شکل 5 نمایی از داده بردار

دهنده در آزمایش صورت گرفته نیاز به محفظه هایی است که این مواد درون آن ها قرار گیرند. این محفظه ها با توجه به شرایط محیط پیرامونی باید در برابر خوردگی و حرارت مقاوم بوده و به منظور عملکرد بهتر در سیستم گرمایشی طراحی شده از ضریب هدایت حرارتی مناسبی برخوردار باشند. از این رو محفظه های استوانه ای از جنس آلومینیوم با ارتفاع 13 سانتی متر و قطر 5 سانتی متر انتخاب شده و پارافین واکس به عنوان ماده تغییر فاز دهنده درون آنها ریخته شد. مقدار کل پارافین واکس به کار رفته در سیستم 18kg است که داخل 98 محفظه آلومینیومی قرار گرفته است. هر کدام از محفظه ها تقریباً با 180 میلی لیتر پارافین واکس پر شده است. این محفظه ها درون یک شبکه طراحی شده متناسب با ابعاد مخزن قرار داده شدند.

در سیستم های ذخیره انرژی با گرمای نهان، از انرژی جذب شده و آزاد شده در حین فرآیند تغییر فاز استفاده می شود. در این پروژه از پارافین واکس با دمای ذوب 55 درجه سانتیگراد استفاده شده که خواص ترموفیزیکی آن در "جدول 1" ارائه شده است.



Fig. 3 Heat exchanger in greenhouse bed

شکل 3 مبدل حرارتی در بستر گلخانه



Fig. 4 A view of inside the greenhouse

شکل 4 نمایی از داخل گلخانه

3-4- ماده تغییر فاز دهنده

جدول 1 خواص ترموفیزیکی پارافین واکس استفاده شده

Table 1 Thermophysical properties of paraffin wax that used

مقادیر	خواص
0.22 w/m k	ضریب هدایت حرارتی (مایع یا جامد) k
790 kg/m ³	چگالی (مایع یا جامد) ρ
2.15 kJ/kg k	گرمای ویژه (مایع یا جامد) C_p
190 kJ/kg	گرمای نهان ذوب λ
55 °C	دمای ذوب
0.001 $\frac{1}{^\circ\text{C}}$	ضریب انبساط گرمایی مایع
1.29×10^{-7}	ضریب پخش حرارتی α

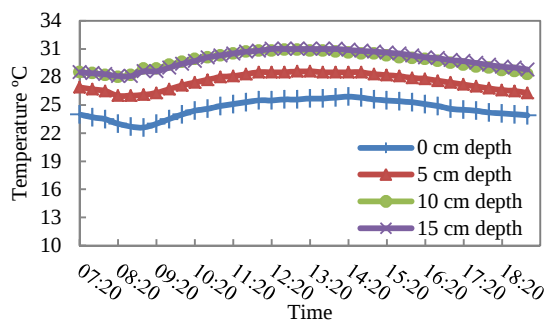


Fig. 9 Temperature variation of soil with heating system

شکل 9 تغییرات دمایی خاک گلخانه با سیستم گرمایشی

5- نتیجه گیری

با توجه به وجود انتقال حرارت جابجایی دمای سطح خاک از لایه‌های دیگر خاک کمتر بوده و یک گرادیان دمایی از لایه‌های پایین‌تر به لایه‌های بالایی مشاهده می‌شود. به کمک سیستم گرمایشی طراحی شده و با تزریق انرژی ذخیره شده درون مواد تغییر فاز دهنده به لایه‌های پایینی خاک، کاهش دمای ناشی از انتقال حرارت جابجایی از خاک به محیط گلخانه جبران شده است. برای همه لایه‌های خاک بستر گلخانه، حدود 10 درجه سانتی‌گراد افزایش برای کمینه دمای شبانه و متوسط دمای شبانه حاصل شده است.

6- فهرست علائم

a	ضریب جرم ماده
C	گرمای ویژه ($\text{Jkg}^{-1}\text{K}^{-1}$)
m	جرم ماده (kg)
Q	حرارت ذخیره شده (J)
T	دما (K)
Δh	گرمای ذوب (Jkg^{-1})

بالانویس‌ها

* شرایط مرجع

زیرنویس‌ها

a	مقدار متوسط
f	مقدار نهایی
i	مقدار اولیه
l	مایع
m	جرم
p	فشار
s	جامد

7- تقدیر و تشکر

از شرکت ملی نفت ایران و شرکت ملی حفاری ایران و دانشگاه صنعتی جندی شاپور دزفول به دلیل حمایت‌های مالی و معنوی شان از این پژوهش کمال تقدیر و تشکر می‌گردد.

8- مراجع

- [1] Sethi, V.P. Sharma, S.K, Survey and evaluation of heating technologies for worldwide agricultural greenhouse application. *Solar energy* 82 : 832-859.2008.
- [2] Sharma, A. V.V. Tyagi, C.R. Chen, D. Buddhi, Review on thermal energy storage with phase change materials and applications. *Renewable and sustainable energy reviews*. 13 : 318-345.

در "شکل 8" تغییرات دمایی ارتفاعات مختلف خاک بستر گلخانه، بدون سیستم گرمایشی مشاهده می‌شود. در این حالت تغییرات دمایی کاملاً سیر نزولی داشته و در طی شب تقریباً 10°C کاهش دما در همه ارتفاعات مشاهده می‌شود. "شکل 9" مربوط به حالت با سیستم گرمایشی است. تقریباً تا ساعت 1 شب با تزریق انرژی ذخیره شده، در همه لایه‌ها سیر افزایش دما مشاهده شده و سپس روند نزولی دماها آغاز شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود در این حالت مقدار کاهش دما در شب برای لایه‌های مختلف خاک حداکثر 1°C است. در این حالت با کاهش نوسانات دمایی در شبانه‌روز، تنش‌های حرارتی وارده به ریشه گیاه کاهش می‌یابد و همچنین با انتقال این انرژی به فضای داخل گلخانه بخشی از نیاز گرمایشی محیط گلخانه نیز تامین می‌شود.

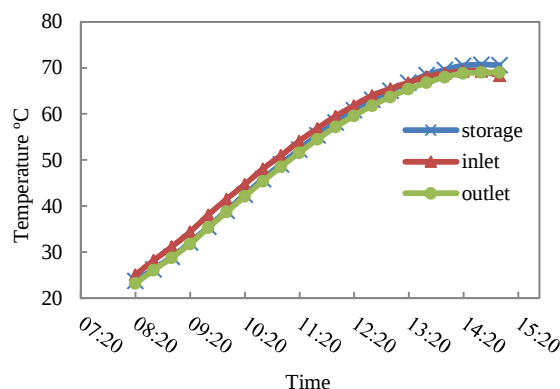


Fig. 6 Temperature variation of storage and its inlet and outlet during energy storage

شکل 6 تغییرات دمایی مخزن و ورودی و خروجی آن هنگام ذخیره انرژی

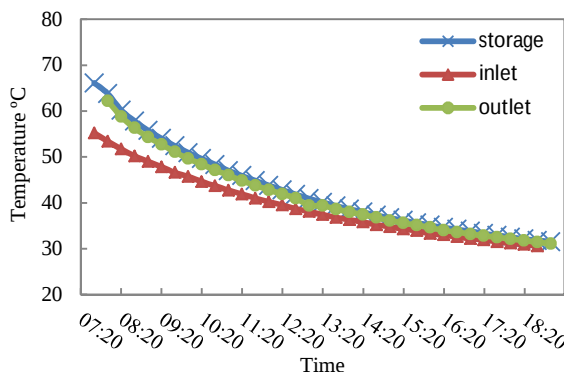


Fig. 7 Temperature variation of storage and its inlet and outlet during energy recycle

شکل 7 تغییرات دمایی مخزن و ورودی و خروجی آن هنگام بازیافت انرژی

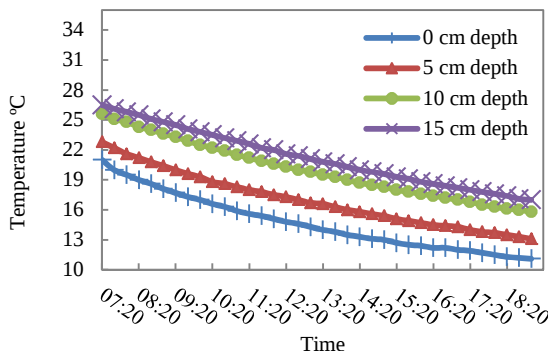


Fig. 8 Temperature variation of soil without heating system

شکل 8 تغییرات دمایی خاک گلخانه بدون سیستم گرمایشی

- [6] Berroug, F. , Lakhel, E.K. , El Omari, M. , Faraji, M. , El Qarani, H. Thermal performance of a greenhouse with a phase change material north wall. *Energy and Building*, 43 : 3027-3035. 2011.
- [7] Salwa, B., Sami, K.,Safa, S.,Mariem, L.,Abdelhamid,F., Improvement of the greenhouse climate using a solar air heater with latent storage energy. *Energy*, 64 : 663-672. 2014.
- [8] Mariem, L., Salwa, B., Sami, K., Abdelhamid, F., Conditioning of the tunnel greenhouse in the north of the Tunisia using a calcium chloride hexahydrate integrated in polypropylene heat exchanger. *Applied Thermal Engineering*, 68 : 62-68. 2014.
- [3] Takakura, T. and Nishina, H. , 1981. A solar greenhouse with phase change energy storage and a microcomputer control system. *Acta Hort. (energy in protected cultivation)*, 115 : 583-590.2009.
- [4] Huang, B. K., Toksoy, M. and Cengel, Y., Transient response of latent heat storage in greenhouse solar system. *Solar energy*, 37(4), 279-292. 1986.
- [5] Huseyin, B., Aydin, D., Performance analysis of a latent heat storage system with phase change material for new designed solar collector in greenhouse heating. *Solar Energy*. 83: 2109-2119. 2009.