Archive of SID

مجله مهندسی مکانیک مدرس، مهر 1395، دوره 16، شماره 13، ویژه‌نامه مجموعه مقالات کنفرانس، ص‌ص 113-118

مجموعه مقالات دومین کنفرانس بین‌المللی تهویه‌مطبوع و تاسیسات حرارتی و برودتی
بیرجند، دانشگاه بیرجند، 6 و 7 مهر 1395

مهندسی مکانیک مدرس
mme.modares.ac.ir

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

احمد علی‌پور[1*]، رضا نصیری[2]

1- کارشناسی ارشد، مهندسی مکانیک، دانشگاه صنعتی جندی شاپور، دزفول
2- کارشناسی ارشد، مهندسی مکانیک، شرکت ملی حفاری ایران
* اهواز، صندوق پستی 6155853591 ، norouzi.ahmad@jsu.ac.ir

چکیده

به منظور گرمایش گلخانه‌ها 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 آن‌ها در فصل‌های سرد سال موضوع بسیار مهمی است. منقطع بودن این منبع انرژی، ضرورت استفاده از سیستم‌های ذخیره انرژی را ایجاب می‌کند. 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 گلخانه‌ای 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 55ºC 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 به‌صورت گرمای محسوس و هم گرمای نهان ذخیره نموده و سپس شب هنگام این انرژی صرف گرمایش خاک بستر گلخانه شده است. به‌منظور بررسی میزان تاثیر استفاده از این روش ذخیره‌سازی انرژی، تغییرات دمایی خاک بستر گلخانه مورد ارزیابی قرار گرفته است. نتایج به دست آمده نشان داد که برای همه لایه‌های خاک بستر گلخانه، حدود 10 درجه سانتی‌گراد افزایش برای کمینه دمای شبانه و متوسط دمای شبانه حاصل شده است.

کلید واژگان: انرژی خورشیدی، گرمایش گلخانه، سیستم‌های 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 Nasiri[2]

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 55ºC) 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 ºC 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

1- مقدمه

در طی دو دهه‌ی اخیر استفاده از گلخانه‌های 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 روش‌هایی، 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 می‌توان با مجهز کردن گلخانه به یک سیستم ذخیره انرژی حرارتی[1] مناسب تامین کرد. سیستم‌های 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 به‌دلیل معایبی از جمله عدم تامین پایدار، نوسانات شدید قیمت و مشکلات زیست محیطی سبب روی آوردن محققان به سوی انرژی‌های تجدیدپذیر و پایدار از جمله انرژی خورشیدی شده است که امروزه در سیستم‌های ذخیره انرژی حرارتی مورد استفاده در گلخانه‌ها از جایگاه ویژه‌ای برخوردار است.

از مرسوم‌ترین سیستم‌های گرمایشی نوین به‌کار رفته در گلخانه‌ها می‌توان

[1]Thermal Energy Storage System(TESS)

برای ارجاع به این مقاله از عبارت ذیل استفاده نمایید:
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)

www.SID.ir

Archive of SID

به ذخیره‌سازی به کمک مخازن آب[1]، ذخیره‌سازی با بستر سنگی[2] و ذخیره‌سازی به کمک مواد تغییرفاز دهنده[3] اشاره کرد. به جز موارد ذکر شده فوق، استفاده از عایق متحرک[4] و ذخیره‌سازی با دیوار شمالی[5] از جمله روش-های نوین ذخیره انرژی به‌منظور افزایش دمای گلخانه می‌باشند. به‌منظور سرمایش گلخانه نیز از روش‌هایی مانند تهویه استفاده می‌شود. در سیستم-های ترکیبی، گرمایش گلخانه در زمستان و سرمایش آن در تابستان مدنظر قرار می‌گیرد. سیستم مبدل حرارتی بین زمین و هوا[6] (EAHES) یکی از کارآمدترین سیستم‌های ترکیبی بوده که گرمایش گلخانه در زمستان و سرمایش آن در تابستان را فراهم می‌آورد [1].

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

تحقیقات گسترده‌ای در زمینه استفاده از مواد تغییر فاز دهنده به منظور ذخیره انرژی در گلخانه‌ها انجام شده است. در مطالعه‌ای که توسط تاکاکورا[7] و نیشینا[8] انجام گرفت از مواد تغییر فاز دهنده برای ذخیره انرژی در گلخانه‌ای با سطح $7.2m^2$ استفاده گردید. در این تحقیق از کلرید کلسیم شش آبه با دمای ذوب $29.4^{o}C$ و گرمای نهان $170.1kj/kg$ 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 سانتی گراد رسیده بود دمای داخل گلخانه به $8^{\circ}c$ رسید [3].

هوانگ[9] 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]. بیل[10] و بولارد[11] در یک مطالعه‌ی تجربی از کلرید کلسیم شش آبه با دمای ذوب $21^{\circ}c$ در گلخانه‌ای با مساحت $176m^2$ استفاده کردند.. با استفاده از این روش 40% از بار گرمایشی موردنیاز گلخانه تامین گردید. همچنین هنگامی که دمای محیط در ماههای فوریه و مارس به ترتیب $3.8^{\circ}c$ و $6.6^{\circ}c$ بوده، دماهای $10.9^{\circ}c$ و $13.5^{\circ}c$ 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

حسین[12] و ایدین[13] 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 ($Cacl_2.6H_2O$) مورد استفاده قرار گرفتند. نتایج به‌دست 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 4-3 ساعت تامین کرد. این سیستم اختلاف دمای 9-6 درجه سانتی‌گرادی بین هوای داخل گلخانه و محیط فراهم آورده است [5].

بروگ[14] و همکارانش در مراکش استفاده از مواد تغییر فاز دهنده در دیوار شمالی گلخانه را مورد بررسی قرار دادند. با توجه به این‌که 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 می‌شود، یک دیوار شمالی حاوی مواد تغییرفاز 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 می‌رسید. در این مطالعه یک افزایش 12-6 درجه سانتی گرادی برای هوای داخل گلخانه در طی شب حاصل گردید [6]. سالوا[15] و همکارانش به بررسی تاثیر به‌کارگیری 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 می‌شد. نتایج به‌دست 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 $5^{0}c$ از گلخانه سنتی بیشتر بود[7]. ماریم[16] 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 سانتی گراد 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 سانتی گراد کاهش داده و شب‌ها یک افزایش $4^{0}c$ را فراهم آورد [8].

در آزمایشاتی که تاکنون انجام گرفته، مقدار ماده تغییر فاز دهنده به‌کار 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 شده‌ای که در آن‌ها 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

[12] Huseyin
[13] Aydin
[14] Berroug
[15] Salwa
[16] Mariem

www.SID.ir

Archive of SID

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 به‌کار رفته است.

2- معادله‌های ذخیره انرژی

2-1- 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]:

$$Q = \int_{T_i}^{T_f} mC_P dT = mC_{ap}(T_f - T_i) \quad (1)$$

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:

$$Q = \int_{T_i}^{T_m} mC_p dT + ma_m \Delta h_m + \int_{T_m}^{T_f} mC_p dT \quad (2)$$

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

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.

3-1- گلخانه و مبدل‌های حرارتی

در این تحقیق با توجه به این‌که گرمایش گلخانه مد نظر بوده، از میان شکل-های 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 موردنیاز گلخانه به ارتفاع 30 سانتی‌متر خاک‌برداری شد. پس از خاک‌برداری بستر گلخانه، کف گلخانه با یونولیت به ضخامت 5 سانتی‌متر عایق شد. پس از استقرار اسکلت فلزی، پوشش پلاستیکی گلخانه روی آن کشیده شد. در ادامه روی یونولیت به ارتفاع 5 سانتی‌متر 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 به‌طوری‌که 6 خط لوله در امتداد طولی گلخانه قرار گرفت. سپس روی لوله مسی خاک ریخته به‌طوری که در نهایت این لوله‌ها در ارتفاع 20 سانتی‌متری زیر سطح گلخانه قرار گرفتند (شکل3). قطر لوله مسی سه هشتم اینچ بوده، ضخامت آن 0.63 میلی‌متر 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 (شکل4).

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 ان 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 رایزر[1] و هدر[2] به ترتیب 10 و 16 میلی‌متر 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 0.91 ×1.91 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 میلی‌متر بوده و دارای قطر 42 سانتی‌متر و ارتفاع 85 سانتی‌متر است. حجم مخزن 141 لیتر است. هنگام استفاده از مخزن جداره خارجی آن به‌طور کامل با پشم شیشه به ضخامت 5 سانتی‌متر عایق‌بندی شده است. برای بهره‌گیری از مواد تغییر فاز

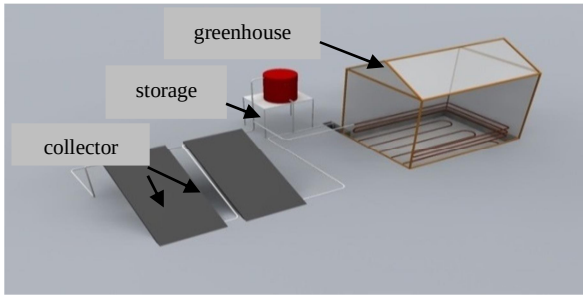

Fig. 1 The schematic view of greenhouse and heating system

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

[1] Raiser
[2] Header

www.SID.ir

Archive of SID

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

در سیستم‌های ذخیره انرژی با گرمای نهان، از انرژی جذب شده و آزاد شده در حین فرآیند تغییر فاز استفاده می‌شود. در این پروژه از پارافین واکس با دمای ذوب 55 درجه سانتی‌گراد استفاده شده که خواص ترموفیزیکی آن در "جدول1" ارائه شده است.

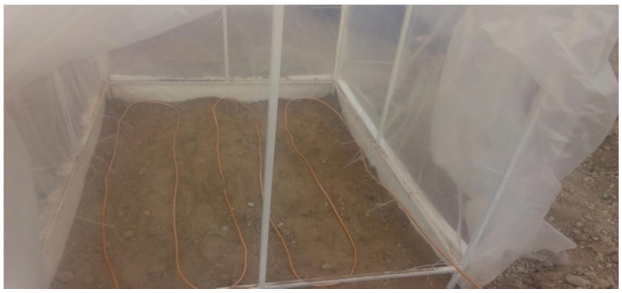

Fig. 3 Heat exchanger in greenhouse bed

شکل3 مبدل حرارتی در بستر گلخانه

Fig. 4 A view of inside the greenhouse

شکل4 نمایی از داخل گلخانه

3-4- ماده تغییر فاز دهنده

جدول 1 خواص ترمو فیزیکی 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 $\frac{1}{℃}$	ضریب انبساط گرمایی مایع
$1.29 * 10^{-7}$	ضریب پخش حرارتی α

3-5- الکتروپمپ سیرکولاتور آب

با توجه به این‌که 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، ماکزیموم هد 4 متر و دبی 40-5 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 موردنیاز آزمایش استفاده شده است. این حسگرها کالیبره شده کارخانه بوده و محدوده دمایی 55- تا 125+ درجه سانتی‌گراد را با دقت 0.1 درجه سانتی‌گراد اندازه‌گیری می‌کنند. 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 لایه‌های خاک مورد بررسی قرار می‌گیرند. در زمان داده برداری مدار ذخیره انرژی از ساعت 7:45 صبح و مدار گرمایش گلخانه از ساعت 7:45 شب فعال شده‌اند. به منظور بررسی تاثیر سیستم گرمایشی طراحی شده از 4 سنسور دمایی در لایه‌های 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 شده‌اند، به‌عنوان مثال ساعت 13 روی این نمودارها معادل ساعت 1 شب است.

در "شکل 6" تغیرات دمایی مخزن حاوی محفظه‌های 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 می‌شود. چنانچه مشاهده می‌شود 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.

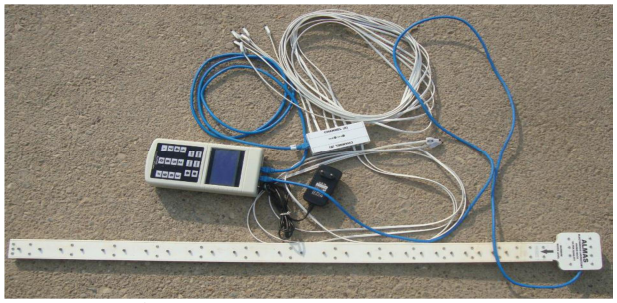

Fig. 5 A view of data logger

شکل 5 نمایی از داده بردار

www.SID.ir

Archive of SID

در "شکل 8" تغییرات دمایی ارتفاعات مختلف خاک بستر گلخانه، بدون سیستم گرمایشی مشاهده می‌شود. در این حالت تغییرات دمایی کاملا سیر نزولی داشته و در طی شب تقریبا 10ºC کاهش دما در همه ارتفاعات مشاهده می‌شود. "شکل 9" مربوط به حالت با سیستم گرمایشی است. تقریبا 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 1ºC 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.

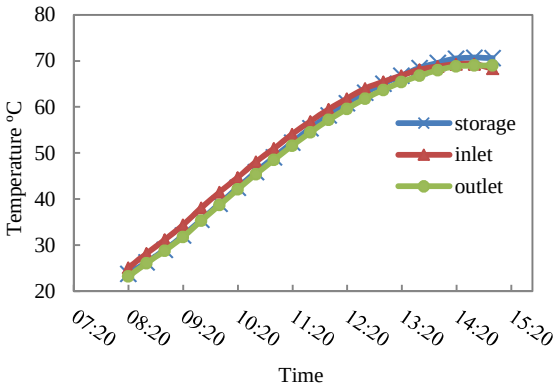

Fig. 6 Temperature variation of storage and its inlet and outlet during energy storage

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

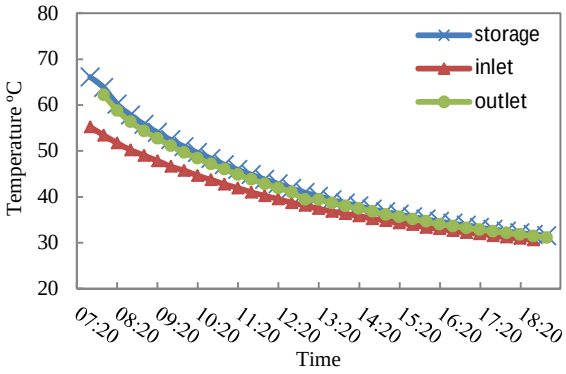

Fig. 7 Temperature variation of storage and its inlet and outlet during energy recycle

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

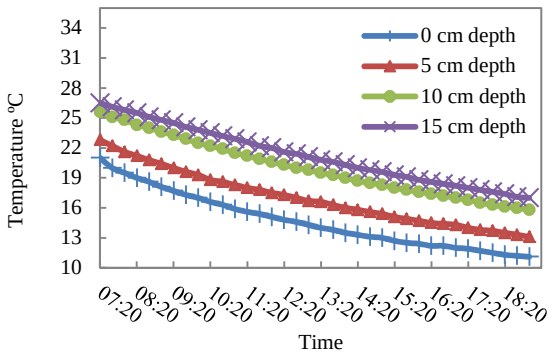

Fig. 8 Temperature variation of soil without heating system

شکل 8 تغییرات دمایی خاک گلخانه بدون سیستم گرمایشی

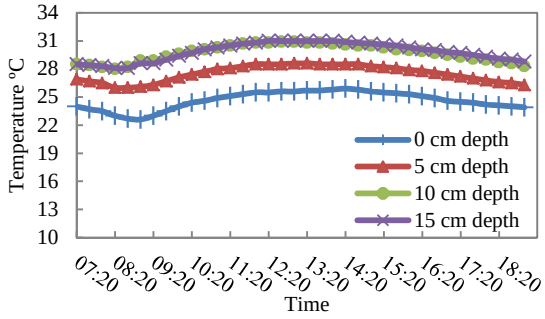

Fig. 9 Temperature variation of soil with heating system

شکل 9 تغییرات دمایی خاک گلخانه با سیستم گرمایشی

5- نتیجه‌گیری

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 علایم

a	ضریب جرم ماده
C	گرمای ویژه $(Jkg^{-1}k^{-1})$
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.

www.SID.ir

Archive of SID

[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.
[6] Berroug, F. , Lakhal, 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.

www.SID.ir