

مطالعه تاثیر استفاده از بازتابنده اشعه نزدیک به مادون قرمز و گردآورنده خورشیدی بر گرمایش گلخانه و ممانعت از ورود پرندگان و حشرات

بهروز میرزایی ضیاپور
امیر هشترویدی اصل*

استاد گروه مهندسی مکانیک، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران
دانشجوی دکتری مهندسی مکانیک، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

چکیده

در گلخانه‌های خورشیدی و برای دفع گرمای غیرضروری از روش تهویه طبیعی و بازکردن دریچه‌های گلخانه استفاده می‌شود. چنین فرآیندی باعث ورود آفات به گلخانه و خسارت‌های جانبی می‌گردد. در کار پیش‌رو نوع جدیدی از گلخانه‌های خورشیدی شبیه‌سازی و ارایه شده‌است که با استفاده از پوششی مخصوص برروی سقف گلخانه، از ورود اشعه نزدیک مادون قرمز به داخل گلخانه جلوگیری می‌کند تا مانع گرم شدن غیرضروری گلخانه در فصول گرم سال شده و در نتیجه نیاز به بازکردن دریچه‌ها و مشکل ورود آفات مرتفع شود. در این کار پوشش مورد استفاده برروی سقف استوانه‌ای گلخانه طیف نزدیک مادون قرمز از نور خورشید را بازمی‌تاباند و انرژی بازتابی در گردآورنده‌ی واقع در خط کانونی سقف متمرکز می‌شود. گردآورنده کانونی حاوی آب و ماده تغییرفاز دهنده است که ذخیره حرارت به میزان بالا و در فضایی کم را ممکن می‌سازد. مقادیر بهینه برای کم‌ترین شعاع گردآورنده در مقابل بیش‌ترین حجم ماده تغییرفازدهنده و با-توجه به انرژی دریافتی در یک روز تابستانی محاسبه شده‌است. مطالعات عددی برروی این طرح در سه هندسه صورت گرفته و نتایج به صورت کانتورهای دما و سرعت ارایه شده‌است. همچنین مقدار انرژی ذخیره‌شده در هر سه هندسه و در چهار فصل سال محاسبه و با انرژی لازم برای گرمایش گلخانه مقایسه شده‌است. نتایج نشان می‌دهد که با استفاده از این سامانه انرژی ذخیره‌شده تکافوی گرمای لازم برای گرمایش گلخانه را در طول سال می‌کند در عین‌حال که راهکاری برای مقابله با نفوذ آفات به‌شمار می‌آید.

واژه‌های کلیدی: گلخانه‌های خورشیدی، بازتابنده اشعه نزدیک زیر قرمز NIR، مواد تغییرفاز دهنده PCM، گردآورنده حرارتی، گرمایش گلخانه.

Studying Effects of Using NIR Reflector and Heat Collector in the Solar Greenhouses on the Greenhouse Heating and Blocking Pests Way into Greenhouse

B. MirzayiZiapour
A. HashtroudiAsl

Department of Mechanical Engineering, University of mohagheghardabili, Ardabil, Iran
Department of Mechanical Engineering, University of mohagheghardabili, Ardabil, Iran

Abstract

In the solar greenhouses, natural ventilation is used to repel the unnecessary heat by opening the windows. This regular action is led to enter diverse of pest and insects to the greenhouse and consequence production damages. In the presented work, a novel case of solar greenhouses is simulated and represented. This design uses a special cover on the roof that reflects NIR and avoids greenhouse warming too much, in the hot seasons. With no more heat, the ventilation needs get less and the pests damages will be prevented. In this work, NIR reflected by the cover placed on the circular roof of the greenhouse is focused in the collector equipped in the focal line of the roof. The collector contains water and PCM that makes it possible to store huge amount of energy in a limited space. Considering energy received in a typical summer day, the optimum quantities for minimum collector radius versus maximum PCM volume is computed. Numerical investigation on this design is performed in three different geometries and results are reported as temperature contours and stream functions. In addition, energy stored in every three cases is calculated and compared with greenhouse heating load. The results shows that annual greenhouse heating load can be provided by energy stored in this system and prevents the bothersome insects at the same time.

Keywords: Solar Greenhouses, NIR Reflectors, Phase Change Materials (PCM), Heat Collector, Greenhouse Heating.

از پوشش بر روی سقف شفاف گلخانه‌ها امکان‌پذیر است [۱]. در محدوده این موضوع چندین پوشش که منجر به اصلاحات طیفی نور خورشید می‌شوند، در مطالعات مختلفی گزارش شده‌اند [۲]. در این کار تاکید اصلی بر مواد مسدودکننده اشعه نزدیک مادون قرمز خواهد بود. اشعه نزدیک مادون قرمز به صورت جزیی توسط گیاهان جذب می‌شود و جذب عمده آن توسط اجزای ساختاری گلخانه اتفاق می‌افتد. لذا این اشعه باعث افزایش دمای گلخانه می‌شود. گرمایش گلخانه با انرژی نور خورشید در طول ماه‌های سرد مطلوب ولی در طول ماه‌های گرم سال عاملی نامطلوب است چرا که باعث می‌شود دمای هوای داخل گلخانه بیش از حد گرم و منجر به کاهش تولید محصول شود. از طرفی با گرم شدن بیش از حد فضای گلخانه، تهویه هوا به روش‌های معمول مانند باز کردن دریچه‌های هوا صورت می‌گیرد. چنین روندی در فصول گرم

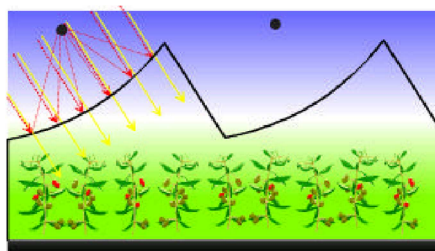
۱- مقدمه

کل تابش خورشیدی که وارد فضای داخلی گلخانه می‌شود به سه دسته قابل تقسیم است: اشعه فرابنفش^۱، اشعه فعال برای فوتوسنتز^۲ و اشعه نزدیک مادون قرمز. از طیف‌های مطرح شده تنها طیف فعال برای فوتوسنتز توسط گیاهان گلخانه جذب می‌شود. پس می‌توان با اعمال نوعی از اصلاحات طیفی بر روی نور خورشید فقط به چنین گستره‌ای از انرژی کلی خورشیدی اجازه ورود به فضای گلخانه را داد و از ورود طیف‌های دیگر غیرموثر جلوگیری کرد. این هدف با اعمال نوع خاصی

¹Ultra Violet, UV

²Photosynthesis Active Radiation, PAR

سال باعث می شود حشرات آفت زرا وارد فضای گلخانه شده و تولید محصولات باکیفیت با مشکل مواجه گردد [۱]. استفاده از پوشش های پیش گفته می تواند باعث کاهش دمای فضای داخلی گلخانه شود و بار گرمایی ناشی از تابش دوباره از سطوح گرم داخل گلخانه را نیز کم کند. به این طریق ظرفیت خنک کاری گلخانه هم کاهش می یابد و از ورود حشرات مزاحم نیز پیش گیری می گردد. اشعه نزدیک مادون قرمز منعکس شده را می توان با یک متمرکز ساز خورشیدی کنترل کرد. یک پوشش گلخانه ای مجهز به منعکس کننده اشعه نزدیک مادون قرمز (با گذردهی بالا برای اشعه فعال برای فوتوسنتز) به همراه یک سیستم خنک کاری خورشیدی توسط سانوولد و همکاران [۶-۲] توسعه داده و مطالعه شد. مطالعات ایشان نشان داد که دو ماده فیلمی شکل با پوشش های چندلایه ای، خصوصیات عبوردهی و انعکاسی مفیدی دارند. جنس یکی از این دو ماده از فلز و دیگری دی الکتریک است. فیلم چندلایه ی فلزی برای تمام بازه طیفی اشعه نزدیک مادون قرمز (nm ۲۵۰۰ - ۹۰۰) انعکاس خوبی نشان داده است و در حدود ۵۰ درصد از شار انرژی خورشیدی را در طیف اشعه نزدیک مادون قرمز باز می تاباند [۲]. طبق مطالعات ایشان اگر سقف گلخانه به صورت سهموی و یا دایروی ساخته شود و پوشش بازتابنده اشعه نزدیک مادون قرمز بر روی آن نصب گردد، می توان نور بازتابی را در نقطه کانونی سطح منحنی متمرکز و توسط انواع مختلف گردآورنده دریافت کرد. در مورد شکل بازتابنده نیز، استفاده از بازتابنده دایروی در مقابل شکل بیضوی ترجیح داده می شود چرا که در بازتابنده های دایروی مکانیزم دنبال کننده نور خورشید در طول روز تنها برای گردآورنده مورد نیاز است و می توان بازتابنده را در جای خود ثابت نگاه داشت. در حالی که در بازتابنده های بیضوی برای هردوی بازتابنده و گردآورنده نیاز به مکانیزم های دنبال کننده وجود دارد [۲]. در شکل ۱ مساله ی مطرح شده یعنی گلخانه ای با یک بازتابنده استوانه ای مجهز به مسدود کننده اشعه نزدیک مادون قرمز و گردآورنده ی در خط کانونی نشان داده شده است [۱].



شکل ۱- شمایی از گلخانه با مسدود کننده اشعه نزدیک مادون قرمز، با آینه ای استوانه ای و گردآورنده ی در خط کانونی [۱]

از گردآورنده نصب شده در نقطه کانونی می توان برای ذخیره انرژی مورد نیاز در زمان های سرد روز و کل طول شب استفاده نمود. در چنین گردآورنده های حرارتی و در داخل لوله گردآورنده، سیالی مانند آب، به عنوان ذخیره ساز به کار می رود. از آن جایی که میزان حرارت ورودی می تواند منجر به دماهای بسیار بالا شود و پدیده هایی مانند جوشش و تبخیر را در لوله به وجود آورد، برای ممانعت از این روند، مواد تغییر فاز دهنده برای ذخیره بهتر انرژی به کار می روند. با استفاده از این مواد می توان کنترل دمایی خوبی در محدوده ی دمای ذوب این مواد در داخل لوله اعمال کرد. همچنین با استفاده از مواد تغییر فاز دهنده

می توان انرژی را برای مدت های طولانی تر ذخیره نمود. در کارهای علمی صورت گرفته و بر اساس مطالعات نظری و تجربی، روش های بسیاری برای ارتقای کارایی انتقال گرما از طریق اشباع سازی فلزات متخلخل با مواد تغییر فاز دهنده ارائه شده اند. کار شینا و ایناگاکي^۱ [۷]. در این زمره است. مطالعات عدیده ای نیز در مورد کپسول های حاوی ماده تغییر فاز دهنده انجام شده اند. در این طیف از مطالعات که به صورت عملی نیز صورت گرفته اند، مواد تغییر فاز دهنده داخل کپسول هایی تزریق و به همین صورت استفاده می شوند. جنس این کپسول ها فلزی یا پلاستیکی است [۸]. لین [۹ و ۱۰]. بالغ بر ۲۰۰ نوع ماده ذخیره ساز گرما از طریق تغییر فاز را شناسایی کرد که در دمای ۱۰ الی ۹۰ درجه سلسیوس ذوب می شوند و برای ذخیره انرژی مورد استفاده قرار می گیرند. ایتونی و همکاران [۱۱]. نیز به صورت تجربی هر دو عملکرد ذوب و انجماد برای واکس پارافین را که در پوسته های کروی محبوس بودند، مطالعه نمودند. در این مطالعه سیال عامل هوا در نظر گرفته شده بود.

در کار پیش رو گلخانه به همراه پوشش دایروی و مجهز به بازتابنده اشعه نزدیک مادون قرمز به همراه گردآورنده حرارتی واقع در محور کانونی در نظر گرفته شد. برای کاهش تلفات از گردآورنده، پوششی بیضوی شکل در فضای بالای بازتابنده و گردآورنده قرار گرفت و کل سیستم در چهار فصل سال مورد تحلیل عددی واقع شد. برای هر یک از فصول، داده های مربوط به مقدار تابش در یک روز از آن فصل از کار گریجیخته و همکاران [۱۲]. استخراج شده اند. مقدار گرمای قابل ذخیره در گردآورنده و بار گرمایشی لازم برای نگاه داشتن دمای گلخانه در حدی معین به روش تحلیلی مورد محاسبه قرار گرفته و تحلیل سرعت و دمای داخل گلخانه به طریقه عددی بررسی شده و نتایج به صورت کانتورهای دما و خطوط جریان در بازه زمانی معینی از روز برای هر چهار فصل سال ارائه و تحلیل شده اند. در شبیه سازی سیستم مقداری واکس پارافین به عنوان ماده تغییر فاز دهنده درون لوله گردآورنده حرارتی استفاده شد. برای تعیین مقدار بهینه قطر لوله و نیز ماده تغییر فاز دهنده مورد استفاده داخل لوله حاوی آب، موازنه انرژی بین گرمای ورودی از طریق انرژی خورشیدی و مقدار ذخیره شده توسط سیستم لوله - ماده تغییر فاز دهنده انجام و نتایج حاصل ارائه شده است. این محاسبات برای هر چهار فصل صورت گرفته و مقدار مرتبط با فصل تابستان به عنوان مبنا لحاظ گردیده است. برای بررسی تاثیر تعداد گردآورنده های مورد استفاده و نیز ابعاد گلخانه های مورد بررسی بر روی میزان تلفات، مقدار بار گرمایشی و نیز حرارت ذخیره شده قابل دسترسی، سه نوع هندسه با تعداد گردآورنده های یک، دو و سه عدد، شبیه سازی شده و تمامی بررسی های پیش گفته بر روی هر سه و در هر چهار روز فصلی به تفصیل انجام گرفت و نتایج در نمودارهای مرتبط ارائه شد. در قسمت پایانی تاثیر تغییرات در جنس دیوارها و همچنین ضریب جابجایی طبیعی داخل گلخانه بر روی میزان تلفات و بار گرمایشی گلخانه در هر سه هندسه مورد بحث، مطالعه شده و از این رهگذر شرایط ویژه ای به دست آمده است که در آن می توان با این

¹ Shiina & Inagaki

جدول ۱- خصوصیات مواد و مصالح مورد استفاده در کار پیش رو؛
(الف) مواد معمول، (ب) واکس پارافین به عنوان ماده تغییرفازدهنده

[۱۴]

الف

$\mu \text{ (kg/ms)} \times 10^5$	مواد	$\rho \text{ (kg/m}^3\text{)}$	$c_p \text{ (J/kgK)}$	$k \text{ (W/mK)}$	$\mu \text{ (kg/ms)} \times 10^5$
۱/۷۸۹۴	هوا	ایده آل	۱۰۰۶/۴۳	۰/۰۴۲	۱/۷۸۹۴
۱/۰۰۳	آب	۹۹۸/۲	۴۱۸۲	۰/۶	۱/۰۰۳
-	عایق	۳۵۰	۱۵۹۰	۰/۰۴	-
-	شیشه	۲۵۰۰	۷۵۰	۱	-
-	خاک	۱۸۰۰	۱۲۰۰	۲	-

ب

مواد	ρ	c_p	K	$h \cdot l \text{ (J/kg)}$	$T_{\text{melt}} \text{ (}^\circ\text{C)}$
واکس پارافین	۸۶۰	۲۵۰۰	۰/۲۷	۱۸۸۰۰۰	۵۳

در تعیین مقدار بهینه قطر لوله در مقایسه با مقدار حجم ماده تغییرفازدهنده داخل لوله گردآورنده، موازنه انرژی طبق روابط (۱) و (۲) است.

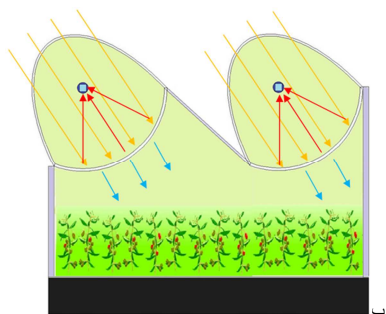
$$Q_{\text{in}} = Q_{\text{store}} \quad (۱)$$

$$(0.5 G \times A_{\text{in,pipe}} \times t) = \rho_w V_w c_{p_w} (T_{\text{melt}} - T_i) + \rho_{pa} V_{pa} c_{p_{pa}} (T_{\text{melt}} - T_i) + \rho_{pa} V_{pa} h_{L_{pa}} \quad (۲)$$

مساحت سطح ورودی انرژی طبق رابطه (۳) می باشد:

$$A_{\text{in,pipe}} = \frac{11\pi}{18} r l \quad (۳)$$

که ضریب ثابت در طرف سمت راست معادله، نشانگر زاویه ۱۱۰ درجه‌ای برای کمان دایروی سقف گلخانه است. همچنین ضریب ۰/۵ در معادله ۲ سهم انرژی بازتابی از کل انرژی نور خورشید است [۲].



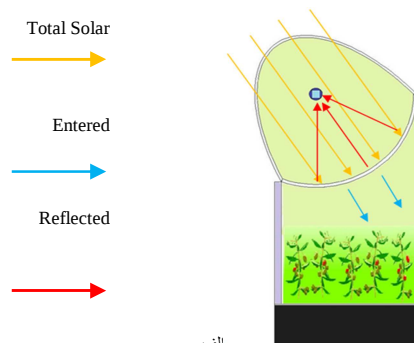
سیستم کل انرژی مورد نیاز گلخانه در فصول مختلف را تامین نمود و استفاده از گرمایش بیرونی را منتفی ساخت.

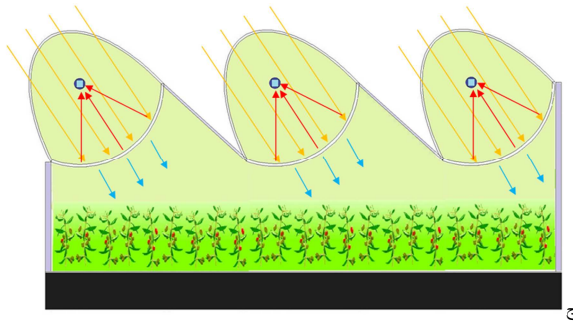
۲- هندسه و روابط موجود

سه مدل هندسی که برای شبیه‌سازی یک سیستم گلخانه‌ای مورد استفاده قرار گرفته در شکل ۲ آمده است. در قسمت زیرین گلخانه، خاک زراعی شبیه‌سازی شده است. دیواره‌های گلخانه با ضخامت معینی از جنس عایق سیمانی ساخته شده‌اند. سقف گلخانه شیشه‌ای و به صورت کمانی دایروی لحاظ شده است و پوشش بازتابنده اشعه نزدیک مادون قرمز بر روی آن نصب شده که باعث می‌گردد کسر قابل توجهی از انرژی خورشیدی بازتاب شود. در محور کانونی لوله‌ای با قطر معین قرار داده و درون آن مواد تغییرفازدهنده شبیه‌سازی شده است. قطر لوله و نیز مقدار ماده تغییرفازدهنده با بهینه‌سازی ابعاد لوله در مقایسه با مقدار این ماده تعیین گشته است. فضای بالای بازتابنده همراه با لوله‌ی گردآورنده با پوشش شیشه‌ای دیگری به شکل بیضی پوشانده شده که فضای بسته‌ای جهت کاستن تلفات از لوله اطراف گردآورنده ایجاد می‌کند.

در داخل سیستم، هوای موجود تحت اثر شرایط حرارتی به طریق جابجایی طبیعی گرم خواهد شد. لوله گردآورنده، شامل آب و ماده تغییرفازدهنده از قسمت زیرین و در سطحی متناظر با سطح بازتابنده، تحت انرژی حاصل از بازتاب کسر اشعه نزدیک مادون قرمز از انرژی خورشیدی گرم می‌شود. هوای داخل محفظه بالای پوشش نیز تحت اثر دفع حرارت جابجایی طبیعی از قسمت بالایی لوله گردآورنده گرم‌تر خواهد شد. کف زمین گلخانه (قسمت رویی خاک) با استفاده از گرمای ذخیره‌شده در گردآورنده در دمای ثابت ۲۲ درجه سلسیوس (مناسب برای گرمایش قسمت‌های ریشه گیاه) نگاه داشته می‌شود [۱۳].

سطوح خارجی در معرض شرایط هوای بیرونی قرار دارد. با توجه به منبع [۱۴] ضریب جابجایی میانگین هوای بیرون در طول روز ۱۵ و برای ساعات شبانه ۲۵ وات بر مترمربع کلویل لحاظ شده و خصوصیات ترمودینامیکی مواد و مصالح به کاررفته طبق جدول ۱ اعمال شده است. برای توزیع دمایی هوای بیرون داده‌های تجربی [۱۲] و برای فضای داخلی گلخانه معادلات جابجایی طبیعی طبق منابع [۱۶ و ۱۵] استفاده شده است.

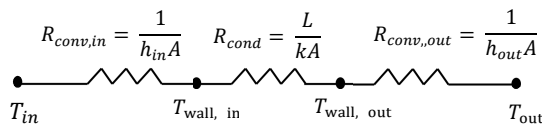




شکل ۲- طرحواره گلخانه‌های شبیه‌سازی شده در کار حاضر با بازتابنده اشعه نزدیک مادون قرمز و لوله گردآورنده در خط کانونی؛ حاوی آب و ماده تغییر فاز دهنده

(الف) هندسه تک‌گردآورنده، (ب) هندسه دوگردآورنده، (ج) هندسه سه‌گردآورنده

روزهای تابستانی، در طول روز نیز به علت این‌که در برخی ساعات دمای هوای بیرون در دمایی پایین‌تر از دمای مبنای گلخانه است، نیاز به گرمایش گلخانه همچنان وجود خواهد داشت. در روزهای منتخب برای هر چهار فصل که در این کار مورد استفاده قرار گرفت، بار گرمایشی کل شامل هر دو بخش روزانه و شبانه و برای هر سه هندسه مذکور محاسبه شده و نیاز سیستم به گرمای لازم برای برقراری دمای داخل گلخانه در مقدار معین ۱۹ درجه سلسیوس [۱۳] در طول شبانه روز به دست آمد. در دفع حرارت از دیواره‌های گلخانه سه مقاومت گرمایی طبق شکل ۴ در نظر گرفته شد؛ مقاومت مرتبط با انتقال حرارت جابجایی طبیعی در داخل گلخانه بعلاوه انتقال گرمای رسانشی از دیواره‌های عایق‌کاری شده و هم چنین انتقال گرمای جابجایی اجباری در هوای بیرون؛ که میانگین ضریب جابجایی هوای بیرون در ساعات روز و شب، متفاوت از هم لحاظ گشت. برای داده‌های تجربی در دسترس، میانگین دمای هوای بیرون مرتبط با هر فصل در نظر گرفته شد [۱۲]. البته مقاومت انتقال گرمای تابشی نیز بین دیواره‌های گلخانه و فضای بیرون برقرار بوده که به صورت موازی با مقاومت جابجایی هوای بیرون قرار می‌گیرد. محاسبات نشان می‌دهد که با توجه به ضریب تابشی پایین دیواره‌های سیمانی، مقاومت تابشی بالا بوده و در حالت موازی با مقاومت جابجایی بیرونی، مقاومت معادل بسیار نزدیک به مقاومت جابجایی است. لذا از اثر مقاومت موازی تابشی صرف نظر می‌گردد. محاسبات مرتبط در ادامه خواهد آمد.

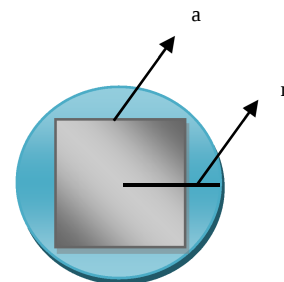


شکل ۴- مقاومت‌های گرمایی در تلفات حرارتی فضای گلخانه

۳- روش حل عددی و اعتبارسنجی

در این کار از نرم افزار Fluent نسخه ۶.۳.۲۶ برای شبیه‌سازی فرآیند داخل گلخانه استفاده شده است که برای گسسته‌سازی معادلات از روش حجم کنترل استفاده می‌شود. معادلات به صورت ناپایا در نظر گرفته و حل شده‌اند. هوای درون گلخانه و داخل محفظه به عنوان گاز کامل لحاظ شده و معادلات بر اساس چگالی به یکدیگر کوپل شده‌اند. در شبکه‌بندی اغلب از المان‌های چهارضلعی و به صورت محدودی از

برای آسانی محاسبات، حجم مربوط به واکس پارافین به صورت کپسولی مکعبی شکل با سطح مقطع مربعی به طول ضلع a ، محیط در داخل لوله به شعاع r طبق شکل ۳ در نظر گرفته شد.



شکل ۳- نمایی از سطح مقطع لوله گردآورنده حاوی آب و کپسول واکس پارافین به شکل مربعی در میان

لذا برای حجم واکس پارافین و حجم آب داخل لوله طبق روابط (۴) و (۵) خواهیم داشت:

$$V_{pa} = a^2 l \quad (۴)$$

$$V_w = (\pi r^2 - a^2) l \quad (۵)$$

به این ترتیب که مقدار خالص انرژی ورودی به لوله از کمان ۱۱۰ درجه‌ای پایین آن، در طول ساعات روز و وجود تابش خورشید، با انرژی موردنیاز برای افزایش دمای آب و واکس پارافین تا دمای ذوب پارافین بعلاوه انرژی لازم با ذوب کامل پارافین برابر باشد. این حد بهینه برای این در نظر گرفته شد تا دمای آب درون لوله و واکس پارافین از حد معینی افزایش نیابد و انرژی موجود در دمای معقولی ذخیره گردد. از طرفی دیگر، چنین بهینه‌سازی‌ای باعث می‌شود از افزایش غیرعادی و غیرضروری قطر لوله اجتناب شود؛ با توجه به این‌که افزایش قطر لوله می‌تواند منجر به پیدایش آثاری مانند اثر سایه بر روی بازتابنده شده و کارایی سیستم را کاهش دهد. در مسایل مرتبط با گلخانه‌های خورشیدی، ساعات شب به علت سردتر بودن نسبت به ساعات روز و عدم دسترسی به گرمای خورشیدی، زمان هدف برای برآورد بار گرمایشی محسوب می‌شوند. با این حال در طول سال و به استثنای

۴- بحث و تحلیل نتایج

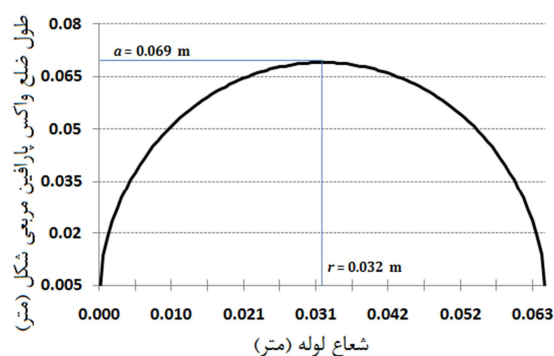
در ابتدای محاسبات بنا بر معادله‌ای که پیش‌تر برای بالانس انرژی (معادله ۱ و ۲) ارایه شد، محاسبات بهینه‌سازی برای یافتن شعاع لوله در مقایسه با مقدار ماده تغییرفازدهنده استفاده شده در داخل لوله در روز تابستانی صورت گرفت. روز تابستانی به این علت به عنوان مبنای تعیین مقادیر بهینه لحاظ می‌شود که بیش‌ترین تابش سال در روزهای تابستانی رخ می‌دهد و ذخیره انرژی در بیشینه حد خود خواهد بود. لذا ابعاد پیش‌بینی شده برای لوله بزرگ‌ترین ابعاد ممکن بوده و برای دیگر فصول با تابش کمتر نیز با اطمینان قابل استفاده است و نگرانی از وقوع تبخیر در داخل آن وجود نخواهد داشت. در این محاسبات و با در نظر گرفتن شکل ۳ ضریب بی‌بعد k به عنوان نسبت شعاع لوله به طول ضلع کپسول واکس پارافین مربعی شکل تعریف شد:

$$k = \frac{r}{a} \quad (6)$$

با جاگذاری مقادیر از جدول ۱ در معادله موازنه انرژی (معادله ۲) معادله‌ای دومتغیره شامل r ، a به صورت زیر حاصل شد:

$$27.97 r = 432.78 r^2 + 94.87 a^2 \quad (7)$$

با رسم نمودار این تابع دومتغیره که در شکل ۶ آورده شده‌است می‌توان دید که محدوده شعاع لوله گردآورنده تا ۰/۰۶۴ متر یعنی ۶/۴ سانتی‌متر خواهد بود و همچنین بیشینه مقدار برای طول ضلع مربع ماده تغییرفازدهنده، ۶/۹ سانتی‌متر به ازای ۳/۲ سانتی‌متر شعاع لوله خواهد بود.



شکل ۶- نمودار تغییرات طول ضلع مربع واکس پارافین نسبت به شعاع گردآورنده

از طرفی با توجه به شکل ۳، طبیعتاً قطر مربع حاوی واکس باید کوچک‌تر مساوی قطر لوله باشد. پس:

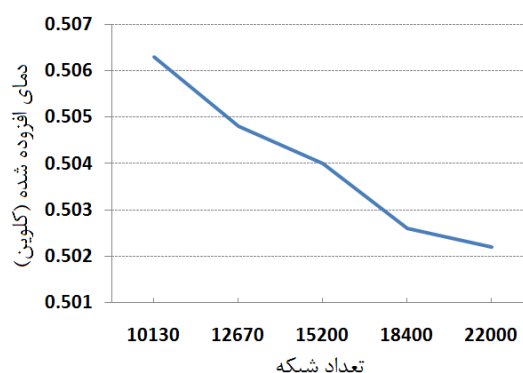
$$a \frac{\sqrt{2}}{2} \leq r \quad (8)$$

و با توجه به تعریف ضریب بی‌بعد k ، به‌دست می‌آید:

$$k \geq \frac{\sqrt{2}}{2} = 0.707 \quad (9)$$

در شکل ۷ نمودار تغییرات ضریب k نسبت به شعاع لوله آورده شده‌است و محدوده مقادیر بیشتر از ۰/۷۰۷ برای ضریب k مشخص

المان‌های سه‌ضلعی استفاده شده‌است. در نواحی دارای گرادیان‌های بالای سرعت و دما مانند مرزها شبکه‌بندی ریز شده‌است تا دقت محاسبات افزایش یابد. برای بررسی استقلال از شبکه، در هندسه‌ی تک‌گردآورنده، ۵ شبکه‌بندی با تراکم‌های متفاوت به شرح: ۱۰۱۳۰، ۱۲۶۷۰، ۱۵۲۰۰، ۱۸۴۰۰ و ۲۲۰۰۰ شبکه در نظر گرفته‌شد و برای شرایط معینی دمای میانگین داخل لوله به همراه ماده تغییرفازدهنده مورد بررسی قرار گرفت. معیار استقلال از شبکه در این فرآیند دمای افزوده شده به میانگین دمای داخل لوله لحاظ گشت. نتایج نشان می‌دهد برای تراکم‌های شبکه‌ای بیش‌تر از ۱۸۴۰۰ شبکه تغییرات محاسبات به کم‌تر از ۰/۲ درصد می‌رسد. نمودار این محاسبات در شکل ۵ نشان داده شده‌است.



شکل ۵- مقادیر دمای افزوده شده به ترکیب لوله و ماده تغییرفازدهنده در شبکه‌های مختلف

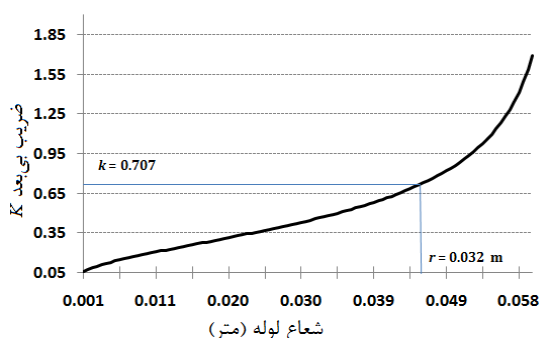
بدین ترتیب برای تمامی محاسبات هندسه تک‌گردآورنده از شبکه ۱۸۴۰۰ عددی استفاده شد. برای دو هندسه دیگر توزیع شبکه‌ها متناسب با چنین تعداد شبکه‌ای بسط داده شد. شرایط مرزی برای حل عددی این مساله به صورت جابجایی اجباری در دیواره‌های خارجی و بیرون پوشش شیشه‌ای و جابجایی طبیعی در داخل گلخانه در نظر گرفته شده‌است. دمای سطح خاک دما ثابت و عمق موجود در زیر زمین و نیز دیواره‌های چاله‌ی گلخانه نیز آدیاباتیک لحاظ شده‌است.

برای بررسی صحت شبیه‌سازی، کار پیش‌رو با کار وال دیویس و جونز [۱۷] مقایسه شده‌است. در آن کار نتایج شبیه‌سازی برای جابجایی طبیعی در یک محفظه گزارش شده‌است. در کار حاضر و با کد مورد استفاده، مطالعه‌ی [۱۷] شبیه‌سازی و نتایج حاصل برای عدد نوسلت میانگین در مقادیر مختلف عدد رایلی در جدول ۲ گزارش و با نتایج کار فوق مقایسه شده‌است. آن‌گونه که دیده می‌شود نتایج کد این کار در تطابقت قابل قبولی با کار مرجع است.

جدول ۲- مقایسه نتایج کار [۱۷] با کار پیش‌رو در اعداد رایلی مختلف

Ra $= 10^6$	Ra $= 10^5$	Ra $= 10^4$	Ra $= 10^3$	$\overline{Nu}$
۸/۸۰۰	۴/۵۱۹	۲/۲۴۳	۱/۱۱۸	مطالعه [۱۷]
۹/۰۱۱	۴/۵۸۰	۲/۲۷۹	۱/۱۳۹	کار حاضر

شده است. همان گونه که در شکل ۷ دیده می شود، برای این که مقادیر ضریب k در محدوده بیشتر از حد 0.707 قرار گیرد، لازم است که برای شعاع لوله مقادیری بیشتر از 0.045 متر اختیار گردد. با جمع مطالب بالا و نیز در نظر گرفتن شکل ۶ و شکل ۷، محدوده مجاز برای شعاع لوله مقادیری مابین 0.045 و 0.064 سانتی متر خواهد بود. با توجه به ابعاد گلخانه شبیه سازی شده، اندازه های بزرگ شعاع لوله علاوه بر مشکلات ساخت و هزینه با مانع دیگری به نام اثر سایه لوله بر روی گردآورنده مواجه است به طوری که لوله های بزرگ تر با ایجاد سایه بر روی گردآورنده بر فرآیند جذب گرما تاثیر نامطلوب برجای می گذارند.



شکل ۷- نمودار تغییرات ضریب k نسبت به شعاع لوله؛ تعیین محدوده مجاز برای مقادیر شعاع

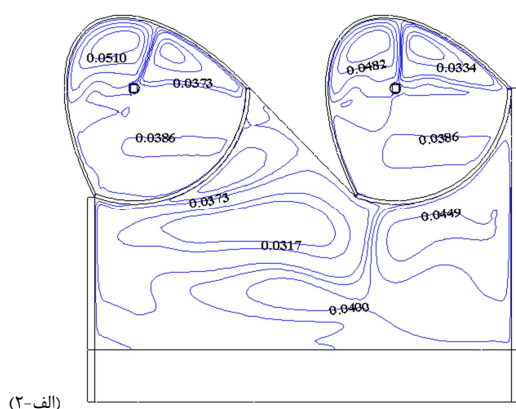
طبق شکل ۶، با استفاده از مقادیر بیشتر ماده تغییرافزدهنده می توان لوله های کوچکتری را به کار بست. لذا استفاده از لوله هایی متناسب و کوچکتر با پارافین بیشتر توصیه می شود. با در نظر گرفتن این مهم، مقدار شعاع لوله در این محدوده 5 سانتی متر انتخاب شده و با توجه به روابط (۶) و (۷)، مقادیر ضریب k و a متناظر به ترتیب برابر خواهد بود با 0.87 و 0.057 سانتی متر لذا حجم واکس پارافین مورد

استفاده در واحد طول گردآورنده برابر با حجم مکعبی به طول واحد و برابر با $3/25$ لیتر خواهد بود.

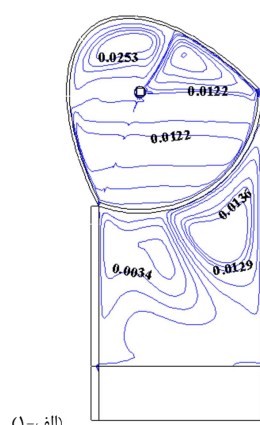
با انتخاب مقدار شعاع و حجم پارافین، کل سیستم گلخانه به همراه محفظه و گردآورنده در چهار روز متفاوت از چهار فصل سال و در سه هندسه مختلف مورد تحلیل عددی واقع شد. مقادیر ورودی در این تحلیل از داده های تجربی یکی از ایستگاه های سنجش تابش خورشیدی به دست آمده اند [۱۲]. توزیع دمایی داخل گلخانه و نیز خطوط جریان هوا داخل محفظه حاوی گردآورنده برای هر سه هندسه و در یک زمان معین برای یک روز تابستانی در شکل های (۹) (الف) و (۹) (ب) ارایه شده اند. آن گونه که مشخص است، با گرم شدن آب و پارافین داخل لوله، هوای داخل محفظه، از حرارت دفع شده در سمت دیگر لوله، در نقطه ای مقابل سطح گیرنده حرارت، به طریقه جابجایی طبیعی گرم می شود. وجود محفظه بسته اطراف گردآورنده باعث می گردد هوای داخل آن به عنوان مقاومت حرارتی در مقابل دفع حرارت لوله به هوای بیرون عمل کرده و عملاً اتلافات حرارتی از لوله گردآورنده بسیار کم شود [۱۴].

طبق آن چه در شکل ۸ دیده می شود، در داخل گلخانه چرخش های مرتبط با جابجایی طبیعی قابل تشخیص است و در داخل محفظه بالایی نیز به دلیل دفع گرما به طریق جابجایی طبیعی مسیر حرکت هوا به وضوح نمایش داده شده اند.

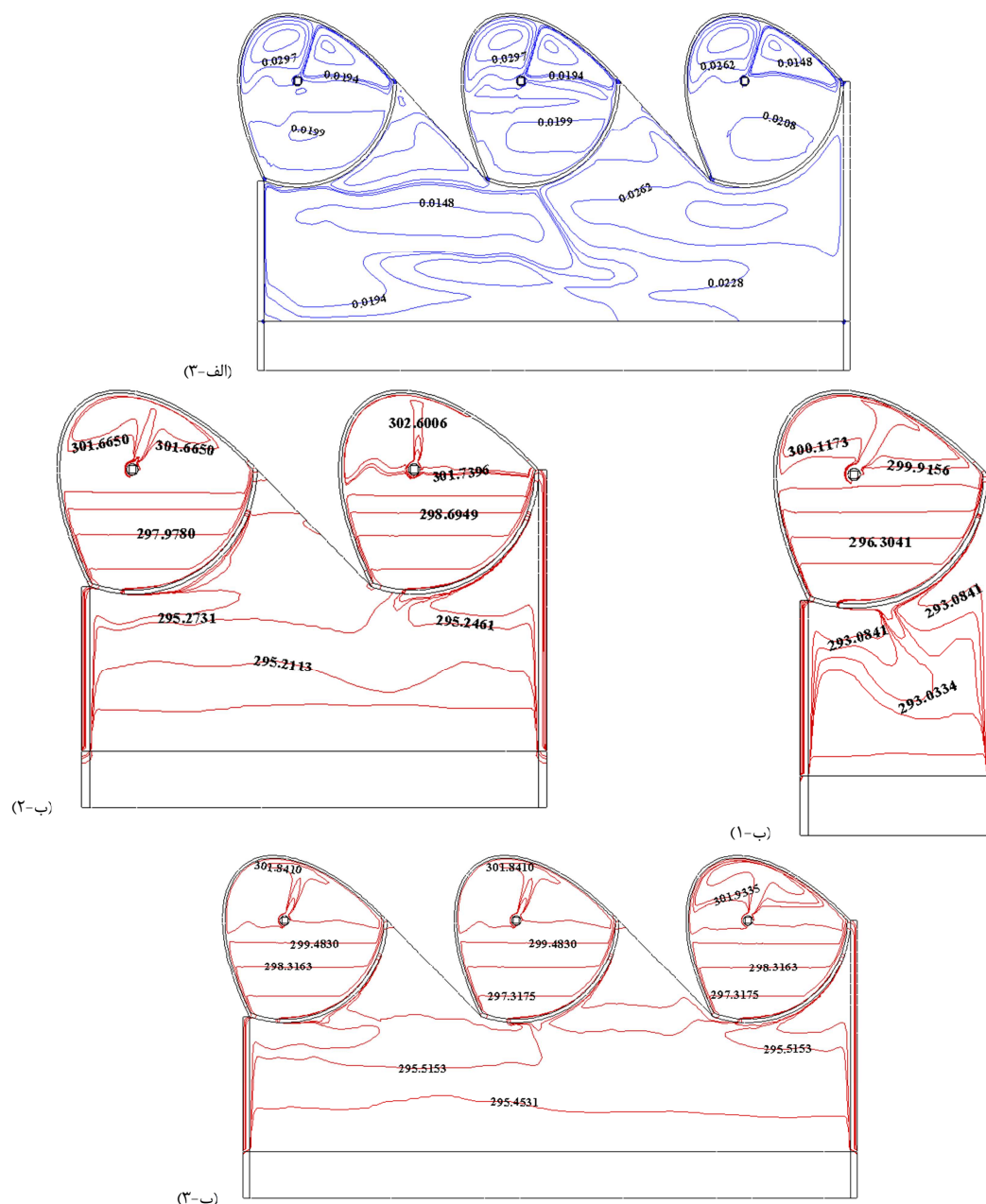
در کانتورهای دمایی اثر گرمایشی جابجایی طبیعی را به خصوص در داخل محفظه می توان دید. خطوط جریان در این سه هندسه نشان می دهد که دفع حرارتی به طریقه جابجایی در محفظه رخ می دهد و گرم شدن آرام محفظه بالایی از دفع بیش از حد حرارت از محفظه گلخانه نیز ممانعت می کند. در بین چهار روز منتخب از چهار فصل سال که داده های آن مورد استفاده قرار گرفته است، در روزهای بهاری، پاییزی و زمستانی در ساعاتی از روز نیز دمای هوای بیرون پایین تر از دمای مبنای گلخانه (در این کار طبق کار [۱۳] 19 درجه سلسیوس در نظر گرفته شده است) می باشد؛



(الف-۲)



(الف-۱)

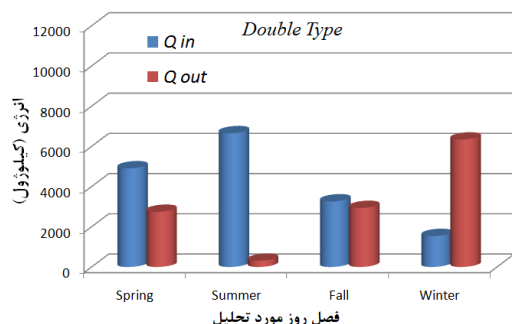


شکل ۸- کانتورهای دما و سرعت گلخانه خورشیدی در ساعت ۱۲ روز
(الف) خطوط جریان بر حسب کیلوگرم بر ثانیه kg/s برای هندسه‌های (۱) تک‌گردآورنده، (۲) دوگردآورنده، (۳) سه‌گردآورنده
(ب) خطوط دما ثابت بر حسب کلونین k برای هندسه‌های (۱) تک‌گردآورنده، (۲) دوگردآورنده، (۳) سه‌گردآورنده

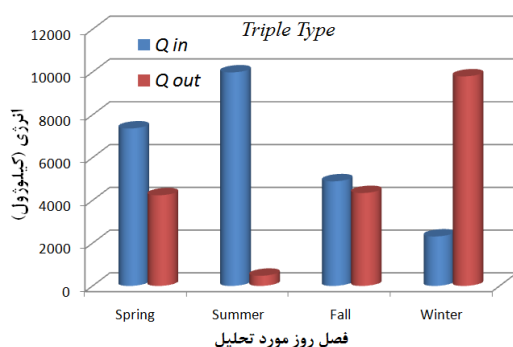
جدول ۳- داده‌های مقاومت حرارتی در

$$h_i = 0.5 \frac{W}{m^2 K} \text{ و } h_{out, Day} = 15 \frac{W}{m^2 K}, \quad h_{out, Night} = 25 \frac{W}{m^2 K}, \quad k = 0.04 \frac{W}{m K}, \quad \epsilon = 0.1, \quad L = 0.1 m$$

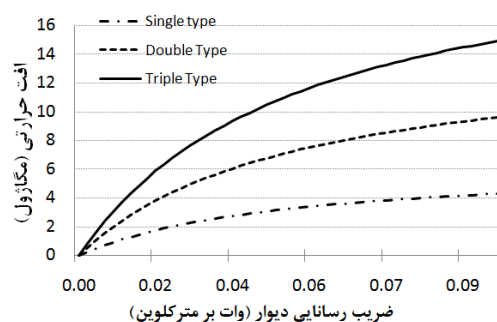
$R_{wall} (K/W)$	$R_{in} (K/W)$	$R_{out, Night} (K/W)$	$R_{out, Day} (K/W)$	$R_{rad} (K/W)$	
۰/۰۷۷۰	۰/۱۶۷۵	۰/۰۰۲۷	۰/۰۰۴۵	۰/۱۲۴۸	هندسه تک‌گردآورنده
۰/۰۳۵۹	۰/۰۷۸۲	۰/۰۰۱۲	۰/۰۰۲۰	۰/۰۵۴۷	هندسه دو گردآورنده
۰/۰۲۳۵	۰/۰۵۱۰	۰/۰۰۰۸	۰/۰۰۱۳	۰/۰۳۵۰	هندسه سه گردآورنده



شکل ۱۰- مقایسه بین انرژی ورودی به گردآورنده با بار حرارتی گلخانه در هندسه دوگردآورنده



شکل ۱۱- مقایسه بین انرژی ورودی به گردآورنده با بار حرارتی گلخانه در هندسه سه گردآورنده



شکل ۱۲- تغییرات تلفات حرارتی کل هر سه هندسه نسبت به

تغییرات میزان رسانایی گرمایی دیوار در

$$h_i = 0.5 \frac{W}{m^2K}, h_{out,Day} = 15 \frac{W}{m^2K}, h_{out,Night} = 25 \frac{W}{m^2K}, L = 0.1m$$

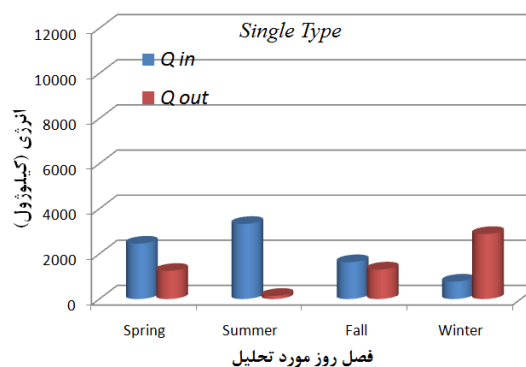
می توان برای مصارف جاری دیگری هم چون گرمایش کف گلخانه و یا آب گرم سرویس های بهداشتی مستقر نیز بهره برد. این گزاره می تواند در مطالعات آتی مورد تحلیل و بررسی قرار گیرد. با این حال در قسمت های بعدی مطالعه اشاره خواهد شد که با تغییراتی در عایق به کار رفته در دیواره ی گلخانه، مشکل تامین گرمایش زمستانی را نیز می توان برطرف نمود.

در انتها با توجه به مباحث اقتصادی در طراحی و ساخت چنین گلخانه ای، تاثیرپذیری اتلافات از نوع عایق به کار رفته در آن مورد تحلیل و بررسی قرار می گیرد.

در نمودار شکل ۱۲ تغییرات تلفات حرارتی کل نسبت به تغییرات میزان رسانایی گرمایی دیوار آورده شده است. تمامی متغیرهای پیشین ثابت بوده و تنها تغییرات رسانایی رسانایی بررسی می گردد. در شکل

چنین بازه های زمانی شناسایی شد و با استفاده از شبیه سازی مقاومت های گرمایی برای هر سه هندسه ی مورد بحث که مقادیر آن ها در جدول ۳ آمده اند، دفع گرما در این ساعات محاسبه گشت و نتایج مورد بررسی قرار گرفت. همان طور که پیشتر نیز اشاره شد، مقاومت تابشی نیز در دیواره بیرونی گلخانه وجود خواهد داشت که با مقاومت جابجایی بیرونی موازی می باشد. مقادیر این مقاومت نیز در جدول ۳ برای هر سه هندسه آمده است. البته محاسبات حالت موازی نشان می دهد اثر آن بر تغییر مقدار مقاومت جابجایی بیرونی ناچیز است لذا از اعمال آن در محاسبات صرف نظر شده است.

بدیهی است که منبع حرارتی برای برای تثبیت دمای گلخانه در مقادیر مناسب برای رشد گیاهان، مورد نیاز است. از طرفی مقدار حرارتی که در این سیستم قابل ذخیره سازی است، در هر چهار روز آنا لیز و محاسبه شده است. هر دوی این نتایج یعنی بار گرمایشی گلخانه و گرمای ذخیره شده در آب و ماده تغییر فزاینده برای روزهای منتخب و در سه هندسه مختلف در نمودارهای سه شکل ۹، ۱۰ و ۱۱ گردآوری و ارائه شده است. داده های هر سه شکل نشان می دهد که استفاده از این سیستم ذخیره ساز، منبع بسیار خوبی از انرژی را برای تامین بار گرمایشی گلخانه در اختیار قرار می دهد.



شکل ۹- مقایسه بین انرژی ورودی به گردآورنده با بار حرارتی گلخانه در هندسه تک گردآورنده

همان طور که از شکل های ۱۱ - ۹ برمی آید، در هر سه هندسه و برای هر سه فصل بهار، تابستان و پاییز، انرژی ذخیره شده برای تامین بار گرمایشی گلخانه کافی است. در فصل بهار مقدار قابل توجهی انرژی مازاد در دسترس است. در فصل تابستان برای هر سه هندسه بار گرمایشی بسیار کم است و مازاد انرژی ذخیره شده به مقدار زیاد وجود دارد. با این حال نمودارهای ۱۱ - ۹ نشان می دهد در فصل زمستان و برای هر سه هندسه، با اعمال بازتابنده اشعه نزدیک مادون قرمز، انرژی ذخیره شده برای تامین بار گرمایشی گلخانه ناکافی است. برای برطرف کردن این مشکل استفاده از یک بستر ذخیره ساز کارا به نظر می رسد. این بستر می تواند در مکانی مناسب نسبت به گلخانه قرار داده شده و انرژی مازاد هر فصل را ذخیره نماید و در روزهای سرد سال برای تامین گرمایش گلخانه مورد استفاده قرار گیرد. از این انرژی ذخیره شده

گرمای ویژه در فشار ثابت، kJ/kgK	c_p
شار انرژی خورشیدی، W/m^2	G
ضریب انتقال گرمای جابجایی، W/m^2K	h
گرمای ویژه ذوب، kJ/kg	h_f
ضریب انتقال گرمای رسانایی W/mK	k
نسبت شعاع لوله به طول ضلع مربع PCM	k
ضخامت دیوار، m	L
طول لوله گردآورنده، m	l
مگاژول	MJ
تابش نزدیک مادون قرمز، Near Infrared Radiation	NIR
نانومتر	nm
عدد نوسلت میانگین	$\overline{Nu}$
تابش فعال برای فوتوسنتز Photosynthesis Active Radiation	PAR
ماده تغییر فاز دهنده، Phase Change Material	PCM
انرژی گرمایی، J	Q
مقاومت گرمایی، K/W	R
شعاع لوله گردآورنده، m	R
عدد بی بعد رایلی	Ra
دما، °C	T
زمان، s	T
تابش فرابنفش، Ultra Violet	UV
حجم، m^3	V

علائم یونانی

ρ چگالی، kg/m^3
μ لزجت، Pa s

زیر نویس

I اولیه
In ورودی
in, night داخلی در شب
in, pipe ورودی به لوله
Melt ذوب
Out خروجی، دفعی
out, night بیرونی در شب
Pa واکس پارافین
Store ذخیره شده
W آب
Wall دیواره گلخانه

۷-مراجع

- [1] Mavrogianopoulos G. N., Greenhouses. Athens Stamoulis, Athens, 2001.
- [2] Sonneveld P. J., Swinkels G. L. A. M., Bot G. P. A., and Flamand G., Feasibility study for combining cooling and high grade energy production in a solar greenhouse. *Biosystems Engineering*, Vol. 105, pp. 51-58, 2010.
- [3] Sonneveld P. J., Swinkels G. L. A. M., Campen J., Van Tuijl B. A. J., Janssen H. J. J., and Bot G. P. A., Performance

۱۲ دیده می شود که در هر سه هندسه و در ضرایب رسانایی کمتر از 0.03 وات بر مترکلون وابستگی تلفات حرارتی به تغییرات رسانایی گرمایی شدید بوده ولی در مقادیری بیش از 0.03 روند افزایش در تلفات، کندتر می شود.

نکته قابل توجه این که با رجوع به نمودار زمستانی حرارت ذخیره شده در هر یک از شکل های ۱۱ - ۹ و مقایسه با نمودار اتلافات در شکل ۱۲ دیده می شود که برای مقادیر ضریب رسانایی کمتر از 0.06 وات بر مترکلون، انرژی ذخیره شده در گردآورنده با میزان تلفات حرارتی زمستانی از گلخانه برابر می شود. یعنی می توان با استفاده از عایق هایی با رسانایی گرمایی در حدود 0.06 وات بر مترکلون در دیواره گلخانه کل نیاز گرمایشی آن را تامین نمود. بدین ترتیب در کنار خنک کاری کم هزینه تر و نیز ممانعت از ورود آفات و حشرات، با بکارگیری عایقی مناسب، گرمایش گلخانه در تمام فصول سال بی نیاز از سوخت فسیلی خواهد بود.

۵-نتیجه گیری و جمع بندی

در این کار سیستم جدیدی از گلخانه های خورشیدی ارایه شده است که پوشش واقع بر روی سقف مانع از ورود اشعه نزدیک مادون قرمز به درون گلخانه می شود و انرژی آن را بازمی تاباند. بدین طریق گلخانه در فصول گرم سال بیش از حد گرم نمی شود لذا نیازی به باز کردن دریچه های گلخانه نیست و از ورود آفات و حشرات به گلخانه ممانعت می شود. برای گردآورنده واقع در خط کانونی سقف دایروی، محاسبات بهینه سازی انجام شد و نتایج نشان داد با انتخاب شعاع لوله گردآورنده به اندازه ۵ سانتی متر و مقدار واکس پارافین به عنوان ماده تغییر فاز دهنده در واحد طول لوله به اندازه $3/25$ لیتر می توان ذخیره سازی انرژی را در کم ترین فضای ممکن محقق ساخت.

محاسبات عددی برای سه هندسه مختلف با تعداد گردآورنده های متفاوت انجام گرفت و نتایج به صورت کانتورهای دما و توابع جریان گزارش شد. داده های حاصل، نمایان گر خطوط جریان جابجایی طبیعی در فضای گلخانه است و کانتورهای دما گرم شدن تدریجی آن را نشان می دهد. با محاسبه انرژی ذخیره شده در هر سه هندسه دیده می شود که این انرژی برای هندسه تک گردآورنده در فصول بهار، تابستان، پاییز و زمستان به ترتیب $2/45$ ، $3/33$ ، $1/63$ و $0/77$ مگاژول می باشد. این مقادیر برای هندسه دو گردآورنده $4/91$ ، $6/66$ ، $3/26$ و $1/54$ مگاژول و برای هندسه سه گردآورنده $7/36$ ، $9/98$ ، $4/89$ و $1/54$ مگاژول گزارش شده است. مقایسه این مقادیر با بار گرمایشی در تمامی فصول و برای هندسه های مختلف نشان می دهد انرژی ذخیره شده برای گرمایش گلخانه در کل سال به جز فصل زمستان کفایت می کند. مطالعات تکمیلی نشان داد با انتخاب عایقی به رسانایی گرمایی 0.06 وات بر مترکلون، سیستم می تواند گرمایش گلخانه در کل سال را بر عهده بگیرد و گلخانه از استفاده از سوخت فسیلی برای گرمایش گلخانه بی نیاز شود در عین حال که راه ورود آفات به داخل گلخانه نیز محدود می گردد.

۶-نمادها

A	مساحت، m^2
---	--------------

- results of a solar greenhouse combining electrical and thermal energy production. *Biosystems Engineering*, Vol. 106, pp. 48–57, 2010.
- [4] Sonneveld P. J., Swinkels G. L. A. M., Kempkes F., Campen J., and Bot G. P. A., Greenhouse with an Integrated NIR Filter and a solar cooling system. *Acta Horticulturae*, Vol. 719, pp. 123–130, 2006.
- [5] Sonneveld P. J., Holterman H. J., Swinkels G. L. A. M., Van Tuijl B. A. J., and Bot G. P. A., Solar energy delivering greenhouse with an integrated NIR filter. *Acta Horticulturae*, Vol. 801, pp. 703–710, 2008.
- [6] Sonneveld P. J., Swinkels G. L. A. M., and Bot G. P. A., Design of a solar greenhouse with energy delivery by the conversion of near infrared radiation — Part 1 optics and PV-cells. *Acta Horticulturae*, Vol. 807, pp. 47–53, 2009.
- [7] Shiina Y., and Inagaki T., Study on the efficiency of effective thermal conductivities on melting characteristics of latent heat storage capsules. *Int. J. Heat Mass Transfer*, Vol. 48, pp. 373–383, 2005.
- [8] Mehling H., and Cabeza L. F., *Heat and cold storage with PCM: an up to date introduction into basics and applications, Illustrated Edition*. Springer, 2008.
- [9] Lane G. A., Encapsulation of heat of fusion storage materials. *Proceedings of 2nd southeastern conference on application of solar energy*, Newyork, 1976.
- [10] Lane G. A., Low temperature heat storage with phase change materials. *Int. J. Ambient Energy*, Vol. 1, pp. 155–168, 1980.
- [11] Ettouney H., El-Dessouky H., and Al-Ali A., Heat transfer during phase change of paraffin wax stored in spherical shells. *ASME J. Solar Energy Engineering*, Vol. 127, pp. 357–365, 2005.
- [12] Grigianti M., Mottes F., Zardi D., and de Francheschi M., Experimental solar radiation measurements and their effectiveness in setting up a real- sky irradiance model. *Renewable Energy*, Vol. 36, pp. 1–8, 2011.
- [13] Banaeian N., Omid M., and Ahmadi H., Energy and Economic Analysis of Greenhouse Strawberry Production in Tehran Province of Iran. *Energy Conversion and Management*, Vol. 52, pp. 1020 – 1025, 2011.
- [14] Incropera F. P., and DeWitt D. P., *Introduction to Heat Transfer*. John Wiley & Sons, Inc., New York, 2006.
- [15] Elsherbiny S. M., and Ragab E. H., Laminar natural convection in inclined rectangular cavities with a localiaed heat source. *Alexandria Engineering Journal*, Vol. 52, pp. 249–257, 2013.
- [16] Oliveski R. D. C., Macagnan M. H., and Copetti J. B., Review Entropy generation and natural convection in rectangular cavities. *Applied Thermal Engineering*, Vol. 29, pp. 1417–1425, 2009.
- [17] Val Davis G. D., and Jones I. P., Natural convection in a square cavity: a comparison exercise. *Int. J. Numeical Methods for Fluids*, Vol. 3, PP. 227–248, 1993.