طراحی و ساخت سیستم ذخیره حرارت به منظور کاهش مصرف انرژی فسیلی درگلخانه

داود مؤمنی[۱]، احمد بناکار[*۲]، برات قبادیان[۳]، سعید مینایی[۳]

۱- دانشجوی دکترای گروه مکانیک ماشین‌های کشاورزی و محقق بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی جیرفت
۲- استادیار گروه مکانیک ماشین‌های کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، ah_banakar@modares.ac.ir
۳- دانشیار گروه مکانیک ماشین‌های کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس

چکیده

کشت‌های گلخانه‌ای به دلیل ماهیت تولید خارج از فصل یکی از پرمصرف‌ترین بخش‌های مصرف کننده انرژی در بخش کشاورزی هستند که منبع عمده تأمین کننده انرژی آن‌ها، سوخت‌های فسیلی هستند. با توجه به معایب مصرف سوخت‌های فسیلی و قوانین بازدارنده مصرف آن در سال‌های آینده، بایستی مطالعه در خصوص جایگزینی درصدی از آن با انرژی خورشیدی به صورت تدریجی صورت گیرد. از طرف دیگر یکی از معایب انرژی خورشیدی نبود آن در کل شبانه روز و ساعات ابری است. لذا استفاده از سیستم-های ذخیره کننده انرژی در طی روزهای آفتابی یکی از راه کارهاست. در این تحقیق نیاز گرمایشی شبانه یک واحد گلخانه خیار محاسبه شده و سیستم ذخیره حرارت برای تأمین گرمای مورد نیاز داخل گلخانه طراحی و ساخته شده است. به منظور ذخیره بیشینه گرمای جمع آوری شده توسط متمرکزکننده در طول روز، از مواد تغییر فازدهنده در داخل مخزن ذخیره حرارت، استفاده شده است. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد با انتخاب حجم مناسب مخزن و عایق بندی آن، می‌توان انرژی خورشیدی موجود در طول روز را ذخیره کرده و در شب به جای قسمتی از سوخت‌های فسیلی مصرف نمود.

واژه‌های کلیدی: انرژی خورشیدی، سیستم ذخیره حرارت، گلخانه، مواد تغییر فاز دهنده.

مقدمه

محدودیت آب و خاک و ازدیاد جمعیت، توجّه دانشمندان را به این نکته معطوف ساخت تا کمبود غذا را با افزایش محصول در واحد سطح جبران کنند. یکی از این تکنیک‌ها بهره برداری از گلخانه‌ها است. در سه دهه اخیر یک توسعه سریع در کشت‌های گلخانه‌ای در کشورهای مدیترانه‌ای صورت گرفته است که اکثر آن‌ها دارای سازه‌های ساده‌ای هستند که پوشش پلاستیکی دارند. این تکنیک عمری کمتر از سه دهه در ایران دارد. محصولاتی مانند خیار، گوجه فرنگی، فلفل، طالبی، توت فرنگی، کدو، بادمجان، برخی سبزیجات و انواع گل‌های زینتی در گلخانه‌های ایران کشت می‌گردند. در این گلخانه‌های پلاستیکی در طی شب‌های سرد،

تغییرات زیادی در دمای هوای داخل گلخانه متناسب با تغییرات شرایط هوای بیرون اتفاق می‌افتد. در این شرایط در طول شب کمینه دما معمولا به کمتر از حد مطلوب و در طول روز نیز بیشینه دما بالاتر از سطح مطلوب می‌رسد. اگر چه در بیشتر محصولات کشاورزی نشان داده‌است که سازگاری خوبی با تغییرات روزانه دما دارند و دمای شبانه پایین با افزایش دمای زیاد در روز جبران می‌شود؛ ولی به طور گسترده ثابت شده است که دمای شبانه کمتر از ۱۲درجه سلسیوس اثرات سوء بر عملکرد و کیفیت اغلب محصولات کشاورزی دارند (حسندخت، ۱۳۸۴). برای بهبود شرایط کنترلی دما در گلخانه، راه‌حل‌های متعددی پیشنهاد شده است؛ راه‌حل‌هایی مانند لایه‌های دوبل، پوشش‌های گرمایی، استفاده از فیلم‌های پلاستیکی گرمایی، استفاده از مالچ‌های پلاستیکی در مراحل اولیه رشد، سیستم‌های ذخیره انرژی و ... (anonymous, 2007). یکی از این مباحث، سیستم‌های ذخیره انرژی است که به ویژه در زمان استفاده از منابع انرژی غیریکنواخت و غیردائمی مانند انرژی خورشیدی کاربرد دارد. انرژی خورشیدی با وجود محاسنی مانند پاک بودن و گستردگی در سراسر دنیا، محدودیت‌هایی نیز دارد. مواردی مانند دائمی نبودن، فشرده نبودن، نیاز به تکنولوژی خاص داشتن، گران بودن و ... از جمله این محدودیت‌ها هستند. از جمله این ایرادات، دائمی نبودن است که این موضوع، استفاده از سیستم ذخیره انرژی را ضروری می‌کند. در این تحقیق نیاز گرمایشی شبانه یک واحد گلخانه خیار محاسبه شده و سیستم ذخیره حرارت برای تأمین گرمای مورد نیاز داخل گلخانه طراحی و ساخته شده است. به منظور ذخیره بیشینه گرمای جمع آوری شده توسط متمرکزکننده در طول روز، از مواد تغییر فازدهنده در داخل مخزن ذخیره حرارت، استفاده شده است. استفاده از این مواد در ذخیره سازی انرژی و بهره‌گیری از محاسن آن مورد توجه تعداد زیادی از محققان قرار گرفته است (Sharma *et al.*, 2009). در این سامانه‌ها زمانی که خورشید می‌تابد مواد تغییر فازدهنده شارژ می‌شوند و زمانی که خورشید در دسترس نیست این مواد انرژی گرمایی را که دریافت کرده‌اند به آب پس می‌دهند که باعث دیرتر سرد شدن آب داخل مخزن ذخیره و در نتیجه کاهش مصرف انرژی می‌شود. نتایج تحقیقات محقّقان در دنیا نشان می‌دهد بین مدّت ماندگاری آبِ گرم شده در طولِ یک شبانه روز برای دو حالتِ استفاده از مواد تغییر فازدهنده و بدون استفاده از آن، اختلاف وجود دارد. (Chaurasia, 2000 and Sharma *et al.*, 2003). نتایج آزمایشی در ژاپن در یک گلخانه با مساحت ۷,۲ متر مربع نشان داد با استفاده از مواد تغییر فازدهنده دمای گلخانه ۸ درجه سلسیوس بالاتر از حالت طبیعی بود (Takakura and Nishira, 1981). مطالعات صورت گرفته روی مصرف انرژی در گلخانه‌های استان تهران نشان می‌دهد که بیش از ۹۰٪ هزینه‌های تولید در گلخانه‌ها به هزینه گرمایش در گلخانه اختصاص دارد (شرافتی، ۱۳۸۸). لذا با توجه به پیش بینی توسعه گلخانه‌ها در پایان برنامه پنجم توسعه که سهم استان تهران ۷۰۰۰ هکتار در نظر گرفته شده، ضروری است که به مرور درصدی از سوخت مصرفی را با استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر جایگزین کرد. با وجود این که استفاده از این سامانه هزینه‌های ثابت را افزایش می‌دهد ولی با کاهش هزینه سوخت، سرمایه‌گذاری جاری کاهش می‌یابد و پیش بینی می‌شود در مدّت پنج سال بازگشت سرمایه صورت گیرد. این درحالیست که در کشور ما اگر مراحل بعدی هدفمندی یارانه‌ها انجام شود و قیمت سوخت افزایش یابد، بازگشت سرمایه در مدّت کوتاه‌تری اتفاق می‌افتد.

مواد و روش‌ها

در این تحقیق نیاز گرمایشی شبانه یک واحد گلخانه خیار در دانشکده کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس محاسبه شده و سیستم ذخیره حرارت برای تأمین گرمای مورد نیاز داخل آن طراحی و ساخته شده است. به منظور ذخیره بیشینه گرمای جمع آوری شده توسط متمرکزکننده در طول روز، از مواد تغییر فازدهنده در داخل مخزن ذخیره حرارت، استفاده شده است.

محاسبه نیاز گرمایی گلخانه: در این تحقیق در ابتدا بر اساس استاندارد NGMA نیاز حرارتی داخل یک واحد گلخانه خیار به صورت ساعتی و برای کل دوره رشد با فرمول۱ محاسبه شد. در جدول۱ اطّلاعات جغرافیایی محلِ انجام تحقیق و در جدول۲ میزانِ نیازِ حرارتی محاسبه شده برای یک شب از کلِ دورهٔ رشد به صورت نمونه آورده شده است.

$$L = L_{cover} + L_{frame} + L_{wind} \qquad (۱)$$

L = تلفات کل (kcal/h)
L_{cover} = تلفات پوشش (kcal/h)
L_{frame} = تلفات سازه (kcal/h)
L_{wind} = تلفات باد (kcal/h)

جدول ۱ – اطّلاعات جغرافیایی محل انجام تحقیق

عرض جغرافیایی	35° 44′
طول جغرافیایی	51° 10′
ارتفاع از سطح دریا	1305.2 m
کمینه دما	-12.2 °C
بیشینه سرعت باد	90 $km.h^{-1}$
فاکتور سرعت باد	1.16 $kcal.m^{-3}.°C$

برای محاسبه میزان تلفات حرارتی مخزن ذخیره حرارت در شب از فرمول۲ استفاده شد (خلجی و همکاران، ۱۳۸۹، Duffie and Beckham, 2005).

$$T^{+}_{s} = T_s + \triangle t / (m C_p)_s [Q_u - L_s - (UA)_s (T_s - T_0)] \qquad (۲)$$

T^{+}_{s}, T_s = دماهای مخزن در یک ساعت متوالی (سلسیوس)
$\triangle t$ = بازه زمانی (ساعت)
m = جرم آب (کیلوگرم)
C_p = ظرفیت گرمایی آب (کیلوکالری بر کیلوگرم درجه سلسیوس)

Q_u = آهنگ اضافه نمودن انرژی توسط متمرکزکننده (کیلوکالری بر ساعت)

L_s = آهنگ برداشت انرژی توسط مصرف کننده (کیلوکالری بر ساعت)

U = ضریب هدایت مخزن (کیلوکالری بر مترمربع درجه سلسیوس ساعت)

A = سطح خارجی مخزن (مترمربع)

T_s-T_0= اختلاف دمای محیط و داخل مخزن ذخیره آب (درجه سلسیوس)

معادلات مربوط به عایق مخزن: به منظور کاهش افت انرژی، بایستی دیواره مخزن ذخیره عایق‌بندی گردد. برای محاسبهٔ ضخامت بهینه عایق از فرمول‌های۳،۴،۵،۶،۷ استفاده شد (فعال و همکاران، ۱۳۹۲).

$$R_{cond} = \frac{1}{2\pi k}\ln\left(\frac{r_o}{r_i}\right) \quad (۳)$$

R_{cond} = مقاومت حرارتی هدایتی عایق (m.°C/W)

k= ضریب هدایت حرارتی عایق (W/m.°C)

r_o و r_i = شعاع خارجی و داخلی عایق (m)

مقاومت حرارت انتقالی سیال در بیرون سیلندر عایق بندی شده توسط رابطه۴ بدست می‌آید.

$$R_{conv} = \frac{1}{2\pi r_o h} \quad (۴)$$

R_{conv}= مقاومت حرارتی بین سطح خارجی مخزن و هوای محیط (m.°C/W)

h = ضریب انتقال گرما ($W/m^2.°C$)

بنابراین مجموع مقاومت‌های حرارتی بین سطح خارجی لوله و سیال محیط R_t برابر است با:

$$\mathbf{R_t = R_{cond} + R_{conv} = \frac{1}{2\pi k}\ln\left(\frac{r_o}{r_i}\right) + \frac{1}{2\pi r_o h}} \quad (۵)$$

مقدار R_t زمانی کمینه می شود که $\frac{dR_t}{dr_o} = 0$ باشد، در این حالت انتقال حرارتی از لوله به محیط بیشینه است.

$$\frac{dR_t}{dr_o} = \frac{1}{2\pi k}\times\frac{1}{r_o} - \frac{1}{2\pi {r_o}^2 h} = 0 \quad \rightarrow \quad r_o = \frac{k}{h} \quad (۶)$$

در شعاع r_o=r_c حرارت تلف شده از لوله بیشینه خواهد شد، بنابراین r_c را شعاع بحرانی می‌نامند. بنابراین می بایست شعاع بحرانی کوچک نگه داشته شود تا با کاربرد لایه عایق افت انرژی حرارتی کمتر گردد، این کار با انتخاب عایق با ضریب هدایت حرارتی کوچک‌تر امکان پذیر می‌باشد. بنابراین هنگامی که از عایق استفاده شده باشد تلفات حرارتی از مخزن با استفاده از رابطه ۸ محاسبه می‌شود.

$$r_C = \frac{k}{h} \quad (۷)$$

$$q = \frac{(T_i - T_\infty)\times L}{R_{cond_m} + R_{cond_a} + R_{conv}} \quad (۸)$$

q= گرمای تلف شده از مخزن عایق شده (W)

L= ارتفاع مخزن (m)

R_{cond_m} = مقاومت حرارتی هدایتی مخزن ($m.°C/W$)

R_{cond_a} = مقاومت حرارتی هدایتی عایق ($m.°C/W$)

R_{conv} = مقاومت حرارتی جابه‌جایی عایق با هوای محیط ($m.°C/W$)

ضریب انتقال حرارت داخلی مخزن: به منظور تحلیل توان حرارتی تلف شده از مخزن با محیط، با توجه به این که معادلات انتقال حرارت برای جریان های مغشوش و آرام متفاوت می‌باشد، ابتدا باید مشخص کرد که جریان داخل مخزن از چه نوعی است. سپس با استفاده از معادلات مناسب میزان تلفات حرارتی آن را محاسبه کرد. برای تشخیص جریان آرام از جریان مغشوش در مخزن، عدد رینولدز از رابطه۹ محاسبه شد. برای جریان های آرام $R_e < 2000$ و برای جریان های مغشوش $R_e > 4000$ می‌باشد.

$$R_e = \frac{D.V}{\nu} \quad (۹)$$

R_e = عدد رینولدز

D = قطر داخلی لوله (m)

V = سرعت مایع درون لوله (m/s)

ν = گرانروی سینماتیکی مایع (m^2/s)

مقدار V در رابطه ۹ از رابطه ۱۰ محاسبه می‌شود.

$$V = \frac{Q}{A} \quad (۱۰)$$

Q = دبی سیال (m^3/s)

A = سطح مقطع (m^2)

روابط مربوط به محاسبه تلفات حرارتی در جریان های آرام: در جریان های آرام عدد نوسلت با استفاده از رابطه ۱۱ محاسبه می-شود.

$$Nu = 3.66 + \frac{0.06 \left(\frac{d}{L}\right) \times R_e \times Pr}{1+0.04\left[\left(\frac{d}{L}\right) \times R_e \times Pr\right]^{\frac{2}{3}}} \quad (۱۱)$$

با داشتن عدد نوسلت مقدار ضریب انتقال حرارت داخلی از رابطه ۱۲ محاسبه گردید.

$$h_i = Nu \frac{k_c}{d} \quad (۱۲)$$

h_i = ضریب انتقال حرارت داخلی مخزن $W/m^2\ °C$

k = ضریب هدایت حرارتی مخزن $W/m\ °C$

d = قطر مخزن m

ضریب انتقال حرارت خارجی مخزن: ضریب انتقال حرارت خارجی مخزن در جریان آرام از فرمول زیر بدست می‌آید.

$$h_o = 1.42(\frac{\Delta T}{d})^{\frac{1}{4}} \quad (۱۳)$$

مقادیر مقاومت حرارتی جداره R_s و مقاومت همرفتی سطح خارجی R_o و داخلی R_i به ترتیب از روابط زیر محاسبه شدند (خوشگفتار، ۱۳۷۴):

$$R_s = \frac{\ln\frac{r_o}{r_i}}{2\pi kL} \quad (۱۴)$$

$$R_o = \frac{1}{h_o A_o} \quad (۱۵)$$

$$R_i = \frac{1}{h_i A_i} \quad (۱۶)$$

با بدست آوردن مقاومت های حرارتی داخلی، جداره و خارجی ضریب کلی انتقال حرارت و تلفات حرارتی مخزن با محیط به ترتیب از روابط ۱۷ و ۱۸ محاسبه شدند.

$$U = \frac{1}{A\sum R} = \frac{1}{A\times(R_i+R_s+R_o)} \quad (۱۷)$$

$$q = \frac{\Delta T}{\sum R} = UA\Delta T \quad (۱۸)$$

U = ضریب کلی انتقال حرارت $W/m^{2}°C$

A = میانگین مساحت سطح داخلی و خارجی مخزن

q = تلفات حرارتی مخزن W

ΔT = اختلاف درجه حرارت سیال داخل مخزن با محیط °C

روابط مربوط به مواد تغییر فازدهنده: با توجه به این که در داخل مخزن دارای مواد تغییر فازدهنده، انتقال حرارت به دو صورت محسوس و نهان اتفاق می‌افتد، به ترتیب از روابط ۱۹ و ۲۰ برای محاسبه میزان انتقال انرژی گرمایی استفاده شد.

$$Q = mC_p(T_F - T_i) \quad (۱۹)$$

$$Q = m[C_{sp}(T_m - T_i) + \Delta h_m + C_{lp}(T_f - T_m)] \quad (۲۰)$$

C_{sp}= میانگین ظرفیت گرمایی ویژه بین دمای اوّلیه و ذوب (J/kg.°C)

Δh_m =گرمای ذوب بر واحد جرم (J/kg)

C_{lp} = میانگین ظرفیت گرمایی ویژه بین دمای ذوب و نهایی (J/kg.°C)

همچنین دمای تعادل از اختلاط دو سیال با هم از رابطه ۲۱ محاسبه می‌شود.

$$m_1 \times c_1(\theta_1 - \theta) = m_2 \times c_2(\theta - \theta_2) \quad (۲۱)$$

θ = دمای تعادل °C

m_1 ، m_2 = جرم سیال اوّل و دوّم kg

θ_1 ، θ_2 = دمای سیال اوّل و دوّم °C

c_1 و c_2 = ظرفیت گرمایی ویژه سیال اوّل و دوّم J/kg °C

نتایج

با استفاده از فرمول ۱ میزان نیاز حرارتی شبانه گلخانه در دانشکده کشاورزی از ساعت ۱۸ تا ۷ صبح برای کل دوره رشد محاسبه شد. به منظور جلوگیری از حجیم شدن گزارش، تنها نتایج مربوط به سردترین شب زمستانی، در جدول ۲ گزارش گردید. با محاسبه بیشینه گرمایِ موردِ نیاز در سردترین شب زمستانی، میزان آب مورد نیاز برای گرم کردن گلخانه در طول شب بدست آمد. اطّلاعات بلندمدت هواشناسی منطقهٔ چیتگر نشان می‌دهد دما در سردترین شب زمستان به ۱۲٫۲- درجه سلسیوس می‌رسد که برای گرم نگهداشتن گلخانه در دمای ۱۵ درجه سلسیوس حدود ۵۰۰۰ کیلوکالری بر ساعت گرما نیاز است که با در نظر گرفتن دماهای مختلف برای آبِ گرم شده توسطِ متمرکزکننده، حجم تقریبی آب بدست آمد (جدول۳).

جدول۲- میزان نیاز حرارتی شبانه محاسبه شده در گلخانه در یک شب زمستانی.

ساعت	کمینه دما (سلسیوس)	تلفات پوشش (Kcal)	تلفات سازه (Kcal)	تلفات باد (Kcal)	مجموع تلفات (Kcal)	مجموع تلفات (Kj)
۱۸ -۱۹	۴	۱۷۰۰	۱۸۷	۱۸۰	۲۰۶۷	۸۶۵۴
۱۹ -۲۰	۲	۲۰۰۰	۲۲۰	۲۱۱	۲۴۳۱	۱۰۱۷۸
۲۰ -۲۱	۰	۲۳۰۶	۲۵۴	۲۴۳	۲۸۰۳	۱۱۷۳۶
۲۱ -۲۲	-۲	۲۶۱۳	۲۸۷	۲۷۴	۳۱۷۴	۱۳۲۸۹
۲۲ -۲۳	-۴	۲۹۲۱	۳۲۱	۳۰۵	۳۵۴۷	۱۴۸۵۱
۲۳ -۲۴	-۶	۳۲۲۸	۳۵۵	۳۳۷	۳۹۲۰	۱۶۴۱۲
۰-۱	-۸	۳۵۳۶	۳۸۹	۳۷۳	۴۲۹۸	۱۷۹۹۵
۱-۲	-۱۰	۳۸۴۳	۴۲۳	۴۰۴	۴۶۷۰	۱۹۵۵۲
۲-۳	-۱۲	۴۱۵۰	۴۵۷	۴۳۶	۵۰۴۳	۲۱۱۱۴

۳–۴	–۱۲	۴۱۵۰	۴۵۷	۴۳۶	۵۰۴۳	۲۱۱۱۴
۴–۵	–۱۲	۴۱۵۰	۴۵۷	۴۳۶	۵۰۴۳	۲۱۱۱۴
۵ –۶	–۱۲	۴۱۵۰	۴۵۷	۴۳۶	۵۰۴۳	۲۱۱۱۴
۶–۷	–۶	۳۲۲۸	۳۵۵	۳۳۷	۳۹۲۰	۱۶۴۱۲

جدول ۳– حجم تقریبی آب مورد نیاز در هر ساعت برای گرم کردن شبانه گلخانه.

حجم تقریبی آب مورد نیاز در هر ساعت برای گرم کردن شبانه گلخانه (لیتر)	دمای آب گرم شده توسط لنز فرسنل خطی (سلسیوس)
۲۰۰	۴۰
۱۶۵	۴۵
۱۴۵	۵۰
۱۲۵	۵۵
۱۱۵	۶۰
۱۰۰	۶۵
۹۰	۷۰
۸۵	۷۵
۸۰	۸۰

محاسبه مقاومت هدایتی داخلی مخزن: با توجه به این که مخزن استوانه‌ای می‌باشد، آن را یک لوله بزرگ فرض کرده و عدد رینولدز در آن با استفاده از روابط ۹ و ۱۰ محاسبه شد.

$$V = \frac{\mathrm{Q}}{\mathrm{A}} = \frac{0.0}{0.385} \div 60 = \ .83 \times 1^{\ -5}\ {}^{\mathrm{m}}/_{\mathrm{s}}$$

$$R_e = \frac{\mathrm{D.V}}{v} = \frac{0.7 \times 4.83 \times 10^{-5}}{4.1 \times 10^{-7}} = 82.5$$

با توجه به این که جریان داخل مخزن به صورت آرام است از معادلات مربوط به جریان آرام برای محاسبه تلفات حرارتی استفاده گردید. چون مقدار تلفات حرارتی به دمای مخزن ارتباط دارد مقادیر این تلفات حرارتی از مخزن برای دماهای مختلف مخزن محاسبه گردید و نتیجه محاسبات در جدول ۳ گزارش گردید. با استفاده از رابطه ۱۱ مقدار عدد نوسلت که بیانگر ضریب انتقال گرمای همرفت به هدایتی است نیز محاسبه شد.

$$Nu = 3.66 + \frac{0.0668(\frac{\mathrm{d}}{\mathrm{L}}) \times \mathrm{R_e} \times \mathrm{Pr}}{1+0.04\left[(\frac{\mathrm{d}}{\mathrm{L}}) \times \mathrm{R_e} \times \mathrm{Pr}\right]^{\frac{2}{3}}} = 3.66 + \frac{0.066\ \ (\frac{0.7}{1.0}) \times 82.5 \times \mathrm{Pr}}{1+0/04\left[(\frac{0.7}{1.0}) \times 82.5 \times \mathrm{Pr}\right]^{\frac{2}{3}}}$$

با داشتن عدد نوسلت مقدار ضریب انتقال حرارت داخلی از رابطه ۱۲ بدست آمد.

$$h_i = N \quad \frac{k_c}{d} = \frac{Nu \times k_c}{0.7}$$

در نهایت مقدار مقاومت هدایت داخلی از رابطه ۱۶ محاسبه شد.

$$R_i = \frac{1}{h_i A_i}$$

جدول٤- تلفات گرمایی محاسبه شده مخزن در دماهای مختلف.

تلفات مخزن W	U	R_s	R_o	h_o	R_i	h_i	k_c	Nu	Pr	دمای آب مخزن Ċ	F
۲۳,۰۱	۲,۵۹	۰,۰۲	۰,۶۹	۳,۳۹	۰,۲۸	۹,۲۶۱	۰,۶۳	۱۰,۲۹	۴,۵۳	۳۷,۷۸	۱۰۰
۲۹,۵	۲,۶۷	۰,۰۲	۰,۶۵	۳,۵۸	۰,۲۹	۸,۹۶	۰,۶۳۷	۹,۸۵	۴,۰۴	۴۳,۳۳	۱۱۰
۳٦,۱	۲,۷۳	۰,۰۲	۰,۶۲	۳,۷۵	۰,۲۹۸	۸,۷۲	۰,۶۴۴	۹,۴۸	۳,۶۴	۴۸,۸۹	۱۲۰
٤۲,٦	۲,۷۷	۰,۰۲	۰,۶۰	۳,۸۹	۰,۳۰۷	۸,۴۷	۰,۶۴۹	۹,۱۴	۳,۳	۵۴,۴۴	۱۳۰
٤۹,۱	۲,۸۰	۰,۰۲	۰,۵۸	۴,۰۲	۰,۳۱۵	۸,۲۵	۰,۶۵۴	۸,۸۳	۳,۰۱	۶۰	۱۴۰
٥٦	۲,۸۴	۰,۰۲	۰,۵۶	۴,۱۴	۰,۳۲۴	۸,۰۲	۰,۶۵۹	۸,۵۲	۲,۷۳	۶۵,۵۵	۱۵۰
٦۲,٤	۲,۸۵	۰,۰۲	۰,۵۵	۴,۲۵	۰,۳۳	۷,۸۸	۰,۶۶۵	۸,۲۹	۲,۵۳	۷۱,۱۱	۱۶۰
٦۹,۳	۲,۸۸	۰,۰۲	۰,۵۳	۴,۳۵	۰,۳۳۹	۷,۶۷	۰,۶۶۸	۸,۰۴	۲,۳۳	۷۶,۶۷	۱۷۰
۷٦,۱	۲,۹۰	۰,۰۲	۰,۵۲	۴,۴۵	۰,۳۴۵	۷,۵۳	۰,۶۷۳	۷,۸۳	۲,۱۶	۸۲,۲۲	۱۸۰

محاسبه ضخامت عایق مخزن: با توجه به این که مخزن دارای سطح منحنی شکل می‌باشد بنابراین شعاع بحرانی عایق محاسبه شده و سپس محاسبات مربوط به عایق لحاظ گردید. با توجه به ویژگی‌های خوب عایق الاستومریک، این عایق به عنوان عایق مخزن استفاده شد که دارای ضریب هدایت حرارتی بیرونی ۱ در دمای ۲۰ درجه سلسیوس و ضریب انتقال حرارت برابر $w/m^o C$ ۰/۰۳۴ می‌باشد.

$$r_C = \frac{k}{h} = \frac{0.034}{0.7} = 0.04 \quad m$$

با توجه به این که مقدار شعاع بحرانی بسیار کمتر از مقدار شعاع مخزن می‌باشد بنابراین افزودن هر مقدار عایق به مخزن باعث کاهش تلفات حرارتی می‌شود. در این تحقیق از عایقی با ضخامت ۲ سانتی‌متر استفاده گردید.

محاسبات مربوط به مواد تغییر فاز دهنده : با توجه به نیاز حرارتی گلخانه (جدول۲)، برای تأمین حرارت در ده ساعت شبانه حدود ۱۰۰۰ لیتر آب ۶۵ درجه سلسیوس نیاز است (جدول۳)، ولی شدت تابش در زمستان توان تأمین این مقدار آب را ندارد. از طرف دیگر نگهداری دمای مخزن با این دما به مدت ده ساعت امکان پذیر نیست. محاسبات تئوری نشان می‌دهد در طول روزهای زمستان که شدت تابش و مدّت آن کم است در حدود ۲۵۰ لیتر آب با دمای ۶۵ درجه سلسیوس تولید خواهد شد. پس برای تأمین حرارت مورد نیاز گلخانه و کاهش سرعت سرد شدن آب مخزن از مواد تغییر فاز دهنده داخل مخزن استفاده شد. بدین منظور از

پارافین گرانوله جامد با دمای ذوب ۶۵ درجه سلسیوس و گرمای نهان ذوب ۲۰۰kJ/kg استفاده شد. مقدار پارافین لازم با استفاده از روابط ۱۹ و ۲۰ در حدود ۱۵ کیلوگرم بدست آمد که داخل لوله‌های مسی ریخته شده و پس از بستن سر و ته آن‌ها داخل مخزن جای‌گذاری گردید. مخزن نیز با استفاده از عایق الاستومریک عایق بندی شده و به منظور کاهش تلفات حرارتی، در سمت جنوبی داخل گلخانه قرارداده شد. برای محاسبه میزان تلفات حرارتی مخزن ذخیره حرارت در شب نیز از فرمول ۲ استفاده شد و با فرض دماهای مختلف برای مخزن آب‌گرم، دمای مخزن به صورت ساعتی برای کل دوره رشد محاسبه شد که به منظور جلوگیری از حجیم شدن مقاله، تنها نتایج بدست آمده برای یک شب زمستانی در جدول ۵ آورده شده است.

جدول ۵– دمای محاسبه شده مخزن ذخیره آب گرم در یک شب زمستانی.

ساعت	کمینه دما	T^+	T^+	T^+	T^+	T^+
	(سلسیوس)					
۱۸–۱۹	۴	۶۰	۶۵	۷۰	۷۵	۸۰
۱۹–۲۰	۲	۵۸٫۳	۶۳٫۳	۶۸٫۳	۷۳٫۳	۷۸٫۹
۲۰–۲۱	۰	۵۶٫۳	۶۱٫۳	۶۶٫۳	۷۱٫۳	۷۶٫۹
۲۱–۲۲	−۲	۵۴	۵۹	۶۴	۶۹	۷۴٫۶
۲۲–۲۳	−۴	۵۱٫۴	۵۶٫۴	۶۱٫۴	۶۶٫۴	۷۲
۲۳–۲۴	−۶	۴۸٫۴	۵۳٫۱	۵۸٫۴	۶۳٫۴	۶۹
۰–۱	−۸	۴۵٫۱	۴۹٫۸	۵۵٫۱	۶۰٫۱	۶۵٫۷
۱–۲	−۱۰	۴۱٫۵	۴۶٫۲	۵۱٫۵	۵۶٫۵	۶۲٫۱
۲–۳	−۱۲	۳۷٫۶	۴۲٫۳	۴۷٫۶	۵۲٫۶	۵۸٫۲
۳–۴	−۱۲	۳۳٫۴	۳۸٫۱	۴۳٫۴	۴۸٫۴	۵۴
۴–۵	−۱۲	۲۹٫۲	۳۳٫۹	۳۹٫۲	۴۴٫۲	۴۹٫۸
۵–۶	−۱۲	۲۵	۲۹٫۷	۳۵	۴۰	۴۵٫۶
۶–۷	−۶	۲۱٫۷	۲۶٫۴	۳۱٫۷	۳۵٫۸	۴۱٫۶

نتیجه‌گیری کلی

همان گونه که در جدول ۴ دیده می‌شود می‌توان با انتخاب حجم مناسب مخزن و عایق بندی آن، انرژی خورشیدی را در طول روز با استفاده از سیستم‌های خورشیدی ذخیره کرده و در شب به جای مصرف سوخت‌های فسیلی استفاده نمود.

منابع

۱- حسندخت، م. ۱۳۸۴. مدیریت گلخانه (تکنولوژی تولید محصولات گلخانه‌ای). انتشارات مرز دانش. ۳۲۰ص.

۲- خوش گفتار، م. ر. ۱۳۷۴. مقدمه‌ای بر طرّاحی ترموهیدرولیکی مبدل‌های حرارتی. انتشارات جهاد دانشگاهی، چاپ اوّل.

۳- خلجی‌اسدی، م.، ترابیان اصفهانی، ف. و ریاحی، ا. ۱۳۸۹. مهندسی فرایندهای حرارتی خورشیدی. انتشارات دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات.

۴- شرافتی، ک. ۱۳۸۸. بررسی شاخص‌های مصرف انرژی تولید خیار در گلخانه‌های تهران. گزارش نهایی پروژه تحقیقاتی موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی.

۵- فعال، س.، توکلی هشجین، ت. و قبادیان. ب. ۱۳۹۲. طراحی، ساخت و ارزیابی مخزن ذخیره گرمای سامانه تولید همزمان قدرت و حرارت (MCHP)، در مقیاس میکرو. پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس.

4-Anonymous. 2007 International training workshop on protected agriculture. Department of international cooperation. Ministry of Science and Technology. China.

5- Anonymous. 2013. National greenhouse manufacturers' association standard for heat loss in greenhouse structure.

6- Chaurasia, P. 2000. Phase change material in solar water heater storage system. Proceedings of the 8th international conference on thermal energy storage.

7- Duffie, J. and Beckham, W.A. 2005. Solar engineering of thermal processes. John Wiley & Sons Inc. ISBN: 139780471-698678.

8- Sharma, A., Pradhan, N., and Kumar, B. 2003. Performance evaluation of a solar water heater having built in latent heat storage unit, IEA, ECESIA Annex 17. Advanced thermal energy storage through phase change materials and chemical reactions—feasibility studies and demonstration projects. 4th workshop, Indore, India. March 21-24.

9- Sharma, A., Tyagi, V. V., Chen, C. R., and Buddhi, D. 2009. Review on thermal energy storage with phase change materials and applications. Renewable and Sustainable Energy Reviews.

10- 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).

Design and Manufacturing of a Thermal Storage System for Reduction of Fossil Fuel Consumption in Greenhouse

Davood Momeni[1] Ahmad banakar[2*] Barat Ghobadian[3] and Saeed Minaei[3]

1- PhD Student, Department of Mechanics of Agricultural Machinery, Tarbiat Modares University, Tehran & Researcher of Agriculture Research Center, Jiroft
2- Assistant Professor, Department of Mechanics of Agricultural Machinery, Tarbiat Modares University, Tehran, ah_banakar@modares.ac.ir
3- Associate Professor, Department of Mechanics of Agricultural Machinery, Tarbiat Modares University, Tehran

Abstract

Greenhouse culture is one of the high energy consumption in agriculture sector that uses fossil fuels. Due to disadvantages of fossil fuel consumption and preventing laws and protocols, it must be replaced by solar energy gradually. On the other hand one of the disadvantages of solar energy is periodical source in cloudy day and night. Therefore thermal storage systems must be used. In this research night thermal requirement of a cucumber greenhouse was calculated. Then thermal storage system was designed and manufactured. For maximizing the storage of thermal energy, phase change materials (PCM) were used. The results showed that with selective optimum tank volume and good insulation, the solar energy can be saved along day and used as a part of fossil fuel in night.

Keywords: Greenhouse, Phase change materials (PCM), Solar energy, Thermal storage system.