Archive of SID

آنالیز حرارتی گلخانه خورشیدی

عطاالله محمودپور[۱]، محسن دهقان منشادی[۲]

دانشگاه آزاد اسلامی واحد فیروزکوه

چکیده

محیط طبیعی و باز ممکن است برای رشد یک محصول مناسب نباشد، پارامترهایی مانند دمای هوا، رطوبت نسبی، دمای خاک، میزان رطوبت خاک، میزان تابش، نوع پوشش گلخانه و ... روی رشد گیاه تاثیر می‌گذارد. گلخانه مانند یک اقلیم کوچک می‌باشد که پارامترها توسط پوشش پلاستیکی که سازه را می‌پوشاند کنترل می‌گردد. پوشش گلخانه تنها مکانیزمی است که طول موجهای مفید طیف نور را برای فعالیتهای فتوسنتزی عبور می‌دهد. تمام گلخانه‌ها انرژی خورشید را جذب می‌کنند اما گلخانه‌های خورشیدی به گونه‌ای طراحی می‌شوند که علاوه بر جذب انرژی خورشید در طول روزهای آفتابی، مقداری از گرما را برای استفاده در شب و یا روزهای ابری در خود ذخیره می‌کنند. در آنالیز حرارتی یک گلخانه باید مقدار تابش جذب شده و تلفات حرارتی مشخص گردد. با توجه به اینکه استفاده از دیوار ترومب در گلخانه‌های خورشیدی متداول می‌باشد در این مقاله ابتدا دیوار ترومب از لحاظ حرارتی مورد آنالیز قرار می‌گیرد و سپس یک گلخانه خورشیدی با دیوار ترومب بررسی می‌گردد. می‌توان نتیجه گرفت که با وارد کردن راهکارهای جدید عایقکاری، ذخیره‌سازی انرژی گرمایی در مواد و استفاده از مصالح مناسب می‌توان گلخانه‌های متداول را به یک سطح مطلوب و مناسب رساند و به کمک انرژی خورشید، مصرف سوختهای فسیلی را به طور چشمگیری کاهش داد.

کلمات کلیدی: گلخانه خورشیدی، دیوار ترومب، آنالیز حرارتی، گرمایش

[۱] کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک و عضو هیات علمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد فیروزکوه

[۲] کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک و مدرس دانشگاه آزاد اسلامی واحد فیروزکوه

www.SID.ir

Archive of SID

۱- مقدمه

با پیشرفت علم، راههای تولید غذا هر روز وارد مرحله جدیدی می‌شود به گونه‌ای که با حذف روشهای سنتی و تلفیق تکنولوژیهای مدرن با نیازهای نوین بشر، امروزه انواع و اقسام گیاهان مصرفی را می‌توان تولید کرد در حالیکه امکان وقوع چنین تحولی در گذشته فقط در قالب رویایی دست‌نیافتنی محصور می‌ماند، مثلا تا چند دهه پیش، تولید محصولی مانند توت‌فرنگی در زمستان غیرممکن به نظر می‌رسید اما امروزه به سادگی و تقریبا در هر شرایط آب و هوایی می‌توان با استفاده از سیستمهای نوین کشت گلخانه‌ای آن را تولید کرد. بنابراین سیستم کاشت محصولات گیاهی از کشت وسیع(extensive) به کشت متراکم و محدود (intensive) تغییر یافت، یکی از روشهای کشت متراکم، استفاده از گلخانه‌ها می‌باشد که دارای شرایط مناسب‌تری برای تولید محصولات نسبت به شرایط طبیعی می‌باشند. در عین حال شرایط گلخانه اغلب برای آفات نیز مناسب بوده و در نتیجه باعث بروز خسارت بیشتر آفات در مقایسه با شرایط مزرعه می‌گردد. بنابراین لزوم مبارزه و کنترل آفات در گلخانه‌ها با اهمیت‌تر از مزارع می‌باشد [۱].

محیط طبیعی و باز ممکن است برای رشد یک محصول مناسب نباشد، پارامترهایی مانند دما، رطوبت نسبی، دمای خاک و میزان رطوبت خاک روی رشد گیاه تاثیر می‌گذارد. گلخانه مانند یک اقلیم کوچک می‌باشد که پارامترها توسط پوشش پلاستیکی که سازه را می‌پوشاند کنترل می‌گردد. پوشش گلخانه تنها مکانیزمی است که طول موجهای مفید طیف نور را برای فعالیتهای فتوسنتزی عبور می‌دهد و علاوه بر آن حرکت هوا و باد را کنترل می‌کند که باعث رشد مناسب گیاهان و جلوگیری از بروز بیماری در گیاهان می‌گردد [۲].

بکارگیری ساده فن‌آوری‌های نوین جهت استفاده از انرژی خورشیدی، به عنوان یک منبع مفید، سالم و بی‌خطر انرژی برای گرم کردن گلخانه‌های کشاورزی، علاوه بر کاهش قابل توجه مشکلات گلخانه‌داران و مسئولین ذیربط در رابطه با سوخت، گامی مهم در صرفه‌جویی مصرف سوخت‌های فسیلی کشور و حفظ ذخایر آنها برای آیندگان و جلوگیری از آلودگی هوا و محیط زیست خواهد بود. به طور کلی سیستمهای گرمایش خورشیدی به دو دسته فعال و غیر فعال طبقه‌بندی می‌گردند تفاوت این سیستمها در نحوه جریان سیال مشخص می‌گردد. در سیستمهای فعال جریان سیال توسط وسایلی مانند پمپ، فن و ... تامین می‌گردد ولی در سیستمهای غیرفعال جریان سیال و انتقال حرارت به صورت کاملا طبیعی صورت می‌گیرد.

تمام گلخانه‌ها انرژی خورشید را جذب می‌کنند اما گلخانه‌های خورشیدی به گونه‌ای طراحی می‌شوند که علاوه بر جذب انرژی خورشیدی در طول روزهای آفتابی، مقداری از گرما را برای استفاده در شب و یا روزهای ابری در خود ذخیره می‌کنند. این گلخانه‌ها می‌توانند به صورت مستقل (Free Standing) و یا به صورت الحاقی (Attached) در ترکیب با ساختمان عمل کنند که علاوه بر ایجاد فضایی برای پرورش گیاهان با ایجاد گرمای اضافی و انتقال آن به اتاقهای مجاور، محیط مطلوبی را برای کاربرهای ساختمان در مواقع فصول گرم و سرد ایجاد می‌نمایند [۳].

گلخانه‌های خورشیدی به دو دسته تقسیم می‌گردند. دسته اول گلخانه‌های استفاده کننده از نور خورشید که در این نوع گلخانه با استفاده از زاویه قرارگیری مناسب با حداکثر استفاده از نور خورشید بدون نیاز به انرژی اضافه، اقدام به تامین انرژی مورد نیاز خود می‌کنند و دسته دوم گلخانه‌های خورشیدی با استفاده از انرژی خورشید که در این نوع از گلخانه‌ها با استفاده از سلولهای خورشیدی و آبگرمکنهای خورشیدی انرژی مورد نیاز خود را تامین می‌کنند.

به طور کلی گلخانه‌های خورشیدی با پنج ویژگی کلی از گلخانه‌های مرسوم متمایز می‌گردند [۴].

www.SID.ir

Archive of SID

- جهت گلخانه و شیب پوشش‌های شفاف آن برای دریافت حداکثر گرمای خورشیدی در طول زمستان
- استفاده از مواد ذخیره کننده برای حفظ کردن گرمای خورشیدی
- داشتن عایق‌بندی قوی در قسمتهایی که تابش مستقیم خورشید ناچیز بوده و یا وجود ندارد
- روش‌های مناسب نصب پوشش‌های شفاف به منظور به حداقل رساندن پرت حرارتی
- تکیه بر تهویه طبیعی برای خنک کردن گلخانه در تابستان

گونه‌های متداول گلخانه خورشیدی دارای کشیدگی در راستای محور شرقی- غربی می‌باشد دیواره‌های جنوبی که دیواره اصلی و دریافت کننده میزان بهینه انرژی خورشیدی می‌باشد دارای سطحی براق است در حالیکه دیواره شمالی معمولا دارای سطحی است که تماما از عایق پوشیده شده تا بدین گونه از هدر رفتن گرمای دریافتی جلوگیری کند. در برخی از گلخانه‌ها به جای عایق کردن دیوار شمالی و همچنین کف از مصالح جاذب حرارت در آنها مانند سنگ و آب برای جذب و توزیع حرارت استفاده می‌کنند اما نصب عایقهای حرارتی بالاخص بر روی دیواره‌ها به شدت بر کاهش میزان اتلاف گرما تاثیر می‌گذارد [۵].

۲- دیوار ترومب

در این سیستم، جرم حرارتی تقریبا پشت پوشش ضلع جنوبی قرار داده می‌شود. دریچه‌هایی در بالا و پایین دیوار ترومپ وجود دارند که به گرما اجازه جریان یافتن از این دیوار و پوشش به داخل محیط را می‌دهند. شبها وقتی که دریچه‌ها بسته شوند تابش حرارت از دیوار، فضای محیط را گرم می‌نماید. این دیوار تکنیکی برای گرفتن گرمای خورشید بوده و توسط مهندس فرانسوی فلیکس ترومب ساخته شد. مطالعات تجربی زیادی روی دیوار ترومب کامپوزیتی توسط zalweski و دیگران [۶] انجام شده است نتایج نشان می‌دهد که این نوع دیوار در بازه‌های زمانی سرد دارای تلفات حرارتی زیاد و در روزهای آفتابی در زمستان دارای تلفات حرارتی نسبی کمتری می‌باشد و انتقال حرارت قابل قبولی در تابستان ندارد. بازده حرارتی دیوارهای متعددی از جنس مختلف (مانند خاک کوبیده شده، آجر و خشت) و با ضخامتهای مختلف (۰ تا ۰,۰۵، ۰,۱۲ و ۰,۲۴ متر) توسط Duansheng و دیگران [۷] مورد بررسی قرار گرفت. نتایج بررسیها نشان می‌دهد که دیوار می‌تواند در طول روز به عنوان یک جسم گرماگیر تلقی گردد و در طول شب زمانیکه دما کاهش می‌یابد به عنوان یک جسم گرماده عمل کند و پیشنهاد گردید که ساختار یک دیوار ترومب ایده‌آل باید دارای شرایط زیر باشد.

- مواد لایه داخلی آن از جنس مواد دارای توانایی جذب و نگهداری حرارتی بالایی باشند.
- مواد لایه خارجی آن باید دارای ضریب هدایت پائین و توانایی گرمادهی بالایی باشند.

بازده حرارتی برای یک دیوار ترومب با ضخامت ۳۵ میلی‌متر با اندازه‌گیری تغییرات دمای گذرا با استفاده از روش تفاضل محدود (Finite Difference) توسط khalifa محاسبه گردید [۸]. بازده دیوار به پارامترهای مختلفی مانند ضخامت دیوار و نوع محیطی که برای جذب حرارت در نظر گرفته شده است بستگی دارد. بر اساس تحقیقی که توسط Fan and Li [۹] انجام شده است ضخامت بهینه برای دیوار بر اساس گرمایش غیرفعال در ساختمانها برای مواد مختلف به صورت زیر به دست آمده است.

- آجر: ۳۷ سانتی‌متر - دیوارهای بتنی کوتاه: ۴۰-۳۵ سانتی‌متر - دیوارهای بتنی بلند: ۴۵- ۴۰ سانتی‌متر

با توجه به اینکه استفاده از دیوار ترومب در گلخانه‌های خورشیدی متداول می‌باشد در این مقاله ابتدا دیوار ترومب از لحاظ حرارتی مورد آنالیز قرار می‌گیرد و سپس یک گلخانه خورشیدی با دیوار ترومب بررسی می‌گردد.

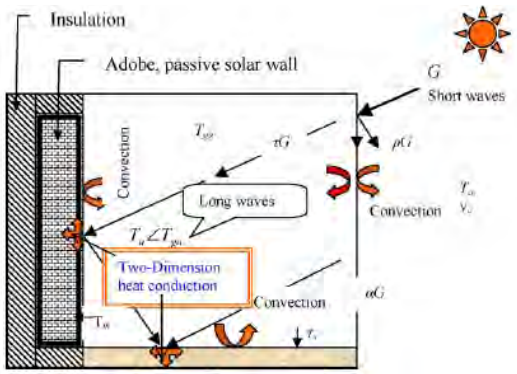
www.SID.ir

Archive of SID

۳- آنالیز حرارتی دیوار ترومب

شکل ۱ مکانیزم انتقال حرارت در گلخانه را که شامل یک دیوار ترومب می‌باشد نشان می‌دهد. بخشی از تابش خورشید (G) توسط پوشش گلخانه جذب می‌گردد (αG) که باعث افزایش دمای آن می‌شود، بخشی دیگر نیز توسط پوشش گلخانه منعکس می‌گردد (ρG) و بخش سوم آن عبور داده می‌شود (τG)، از تجربیات و محاسبات انجام شده بر اساس پوششهای فعلی ضریب عبور پوشش گلخانه بین ۰,۸۵ تا ۰,۹۵ می‌باشد [۱۰]. چنانچه ضریب عبور پوشش گلخانه را ۰,۹۳ در نظر بگیریم خواهیم داشت.

$$\tau G = 0.93 G(\frac{w}{m^2}) \qquad (۱)$$



شکل ۱: مکانیزم انتقال حرارت از یک گلخانه با گرمایش غیرفعال شامل دیوار ترومب

بخشی از تابش عبور داده شده توسط خاک گلخانه جذب می‌گردد ($\tau \alpha_{soil} G$) به طوریکه α_{soil} ضریب جذب خاک می‌باشد، بخشی از تابش عبور داده شده توسط پوشش به فضای گلخانه منعکس می‌گردد ($\tau \rho_{soil} G$) که باعث گرم شدن فضای گلخانه می‌گردد. ضریب بازتاب خاکهای شنی در حدود ۰,۲ تا ۰,۳۵ می‌باشد [۱۰]، بنابراین

$$\tau \rho_{soil} G(\frac{w}{m^2}) = 0.93 \rho_{soil} G(\frac{w}{m^2}) \qquad (۱)$$

بخشی از تابش عبور داده شده به داخل گلخانه ($\tau \alpha_{wall} G$) و همینطور بخشی از تابش منعکس شده از خاک ($\tau \rho_{soil} \alpha_{wall} G$) توسط دیوار ترومب جذب می‌گردد که باعث تغییر دمای دیوار و گرم شدن آن می‌گردد. بنابراین

$$Q_{wall} = \sum \tau \alpha_{wall} G + \sum \tau \rho_{soil} \alpha_{wall} G \qquad (۲)$$

در اینجا از بخشی از تابش که از گلخانه به بیرون عبور داده می‌شود و یا به محیط خارج منعکس می‌گردد به دلیل کوچکی مقدار صرفنظر می‌کنیم. ضریب بازتاب خاک خاکستری در محدوده ۰,۱۵ تا ۰,۲۵ می‌باشد [۱۰]. مقدار گرمایی که توسط معادله فوق به دست می‌آید توسط انتقال حرارت جابجایی دوبعدی و غیریکنواخت باعث افزایش دما و ذخیره شدن حرارت در دیوار جاذب می‌گردد. ارزیابی دیوار خورشیدی به عنوان جاذب حرارت و بازده آن بر اساس معادله بقای انرژی و معادلات انتقال حرارت می‌باشد. برای تحلیل دیوار، فرضیات زیر را انجام می‌دهیم.

- خواص فیزیکی خاک در طول بررسی ثابت می‌ماند و لایه‌های خاک گلخانه همگن می‌باشد.
- توزیع حرارت در خاک گلخانه به صورت متقارن می‌باشد.

www.SID.ir

Archive of SID

ادمیتانس حرارتی که توسط پارامتر a مشخص می‌گردد به صورت توانایی جذب و نگهداری گرما در ابتدای چرخه و بازپس دادن آن به محیط در انتهای چرخه تعریف می‌گردد که توسط رابطه زیر نشان داده می‌شود [۱۱].

$$a = \frac{\Delta Q}{\Delta T_{wall}} \qquad (۳)$$

در رابطه فوق a، ادمیتانس حرارتی ($w m^{-2} {}^{\circ}C^{-1}$)، ΔQ گرمای ذخیره شده بر واحد سطح دیوار ($\frac{w}{m^2}$) و ΔT_{wall} مقدار اختلاف دما در طول فرایند جذب می‌باشد برای دیوار ضخیم ادمیتانس حرارتی از رابطه زیر قابل محاسبه است [۱۱].

$$a = \frac{\Delta Q}{\Delta T_{wall}} = \sqrt{\frac{2\pi k \rho c_p}{t}} \qquad (۴)$$

بطوریکه t, c_p, ρ, k به ترتیب ضریب انتقال حرارت رسانایی مواد دیوار ترومب ($\frac{w}{m\,{}^{\circ}C}$)، چگالی ($\frac{kg}{m^3}$)، گرمای ویژه ($\frac{J}{kg\,{}^{\circ}C}$) و زمان آزاد کردن حرارت (hr) می‌باشد. با توجه با مشخصات فیزیکی دیوار ترومب ضخامت بهینه‌ای وجود دارد که از رابطه زیر قابل محاسبه می‌باشد [۱۱].

$$L = 1.18\sqrt{\frac{t\,k}{\pi\,\rho\,c_p}} \qquad (۵)$$

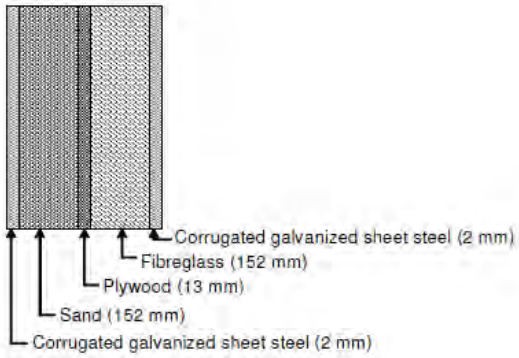
از رابطه ۴ خواهیم داشت.

$$t = (2\pi\,k\,\rho\,c_p)\left(\frac{\Delta T_{wall}}{\Delta Q}\right)^2 \qquad (۶)$$

با جایگذاری رابطه ۶ در رابطه ۵ خواهیم داشت [۱۱ و ۱۲].

$$L = 1.67\,k\,\frac{\Delta T_{wall}}{\Delta Q} \qquad (۷)$$

انرژی خورشید یک انرژی ارزان قیمت برای گرمایش گلخانه می‌باشد در کشور چین انرژی مورد نیاز برای رشد گیاهان در تعداد زیادی از گلخانه‌ها کاملا از طریق انرژی خورشید تامین می‌گردد. ساختار یک دیوار ترومب که در یک گلخانه خورشیدی در کشور چین مورد استفاده قرار گرفته است در شکل زیر نشان داده شده است.



شکل ۲: ساختار یک دیوار ترومب مورد استفاده در یک گلخانه خورشیدی در کشور چین [۱۳]

www.SID.ir

Archive of SID

۴- بالانس انرژی در یک گلخانه خورشیدی

بخشی از انرژی خورشیدی وارد شده به گلخانه از طریق انتقال حرارت هدایتی از سطوح و بخشی دیگر بواسطه انتقال حرارت جابجایی ناشی از تهویه محیط (نفوذ هوا) و بخشی دیگر از محیط گلخانه به بیرون منتقل می‌گردد و مابقی در گلخانه ذخیره می‌گردد. قابل ذکر است که در اینجا از تبدیل گرمای محسوس به نهان در گیاهان صرفنظر گردیده است بنابراین [۱۴، ۱۵ و ۱۶]

$$Q_{in} = Q_{cd} + Q_{cv} + Q_{st} + Q_p \qquad (۸)$$

در رابطه فوق Q_{in} میزان تابش دریافت شده توسط گلخانه، Q_{cd} انتقال حرارت هدایتی توسط سطوح گلخانه، Q_{cv} انتقال حرارت از طریق تهویه محیط گلخانه، Q_{st} حرارت ذخیره شده در محیط گلخانه و Q_p تلفات حرارتی محیطی گلخانه می‌باشند.

چنانچه G انرژی خورشیدی تابیده شده به سطح گلخانه باشد میزان تابش دریافت شده توسط گلخانه از رابطه زیر به دست می‌آید.

$$Q_{in} = \tau G \qquad (۹)$$

بطوریکه τ ضریب عبور سطح شفاف و G میزان تابش خورشید می‌باشد.

تلفات حرارتی از روش هدایت از سطوح گلخانه شامل دیوار شمالی، دو دیوار انتهایی، سقف شمالی و پوشش پلاستیکی و یا شیشه‌ای (پرده روکش در شب) می‌باشد.

$$Q_{cd} = \frac{A}{R}\Delta T \qquad (۱۰)$$

در رابطه فوق R مقاومت حرارتی کل ($\frac{m^2\,^\circ C}{w}$)، A سطح مقطع کل سطوح (m^2) و ΔT اختلاف درجه حرارت بین هوای داخل و خارج می‌باشند [۱۴، ۱۵ و ۱۶].

مقاومت حرارتی کل گلخانه از رابطه زیر قابل محاسبه می‌باشد.

$$\frac{A}{R} = \frac{A_{nw}}{R_{nw}} + \frac{A_c}{R_c} + \frac{A_r}{R_r} + \frac{A_{sw}}{R_{sw}} \qquad (۱۱)$$

در رابطه فوق A_{sw}, A_r, A_c, A_{nw} مساحت دیوار شمالی، پوشش پلاستیکی، سقف و دیوار انتهایی و R_{sw}, R_r, R_c, R_{nw} مقاومتهای حرارتی دیوار شمالی، پوشش پلاستیکی، سقف و دیوار انتهایی می‌باشند [۱۴، ۱۵ و ۱۶].

جدول ۱ تعدادی از مصالح مورد استفاده در دیوارها و مقاومت حرارتی آنها را نشان می‌دهد [۱۷، ۱۸ و ۱۹].

جدول ۱: مصالح مورد استفاده در دیوار گلخانه‌ها و مقادیر مقاومت حرارتی آنها

مصالح مورد استفاده در دیوار	مقاومت حرارتی ($\frac{m^2\,^\circ C}{w}$)	مصالح مورد استفاده در دیوار	مقاومت حرارتی ($\frac{m^2\,^\circ C}{w}$)
فایبرگلاس (۲,۵ سانتی‌متر)	۰,۷	شیشه یک لایه	۰,۱۶
فایبرگلاس (۹-۷,۵ سانتی‌متر)	۱,۹۴	بتن ریخته شده (۱۵ سانتی‌متر)	۰,۲۲
فایبرگلاس (۱۶,۵-۱۳ سانتی‌متر)	۳,۳۵	پلی‌اتیلن و یا ورقهای (فیلم) دیگر، تک لایه	۰,۱۵

www.SID.ir

Archive of SID

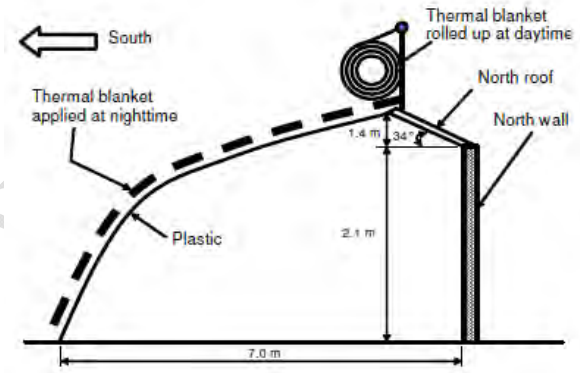
پلی استایرن (۲,۵ سانتی‌متر)	۰,۶۴-۰,۸۸	ورق پلی‌اتیلن دو لایه روی شیشه	۰,۳۵
پلی یورتان منبسط شده (۲,۵ سانتی‌متر)	۱,۱	پلی‌اتیلن و یا ورقهای (فیلم) دیگر، دو لایه جدا	۰,۲۵
ورمیکولیت (۲,۵ سانتی‌متر)	۰,۳۹	پنجره فایبرگلاس تقویت شده	۰,۱۵
بلوک بتنی (۲۰ سانتی‌متر)	۰,۳۵	ورق دو لایه اکریلیکی و یا پلی‌کربنات	۰,۳۵
پلی وود (۱,۲ سانتی‌متر)	۰,۲۵	گلخانه با پرده‌های حرارتی نازک	۰,۲۵-۰,۵۹
شیشه دو لایه با $\frac{1}{4}$ اینچ فاصله	۰,۳۵	ترکیب بلوک بتنی یا پلی وود با فوم اورتان ۲,۵ سانتی‌متری و یا با پلی استایرن ۲,۵ سانتی‌متری	۰,۸۸

به طور موردی مساحتها و مقاومتهای حرارتی مقاطع یک گلخانه خورشیدی موجود در کشور چین در جدول زیر لیست گردیده است [۱۳].

جدول ۲: بخشهای مختلف یک گلخانه خورشیدی احداث شده در چین و مقاومت حرارتی آنها

بخش	مساحت	مقاومت حرارتی ($\frac{m^2\,^\circ C}{W}$)
دیوار شمالی	۶۳	۳,۵۹
دیوارهای انتهایی	۵۵,۳	۳,۶۴
پلاستیک بدون پرده	۲۳۵,۶	۰,۱۴
پلاستیک با پرده	۲۳۵,۶	۱,۳۵

شماتیک این گلخانه در شکل ۳ نشان داده شده است [۱۳].



شکل ۳: شماتیک یک گلخانه خورشیدی نمونه با طول ۳۰ متر در کشور چین

مقدار تلفات حرارتی از طریق تهویه از رابطه زیر قابل محاسبه می‌باشد [۲۰].

$$Q_{cv} = N V \rho c_p (T_{in} - T_a) / 3600 \qquad (۱۲)$$

در رابطه فوق N تعداد دفعات تعویض هوا، V حجم گلخانه (m^3)، ρ چگالی هوا ($\approx 1.2 \frac{kg}{m^3}$)، c_p ظرفیت گرمای ویژه هوا ($\approx 1.005 \frac{Kj}{Kg\,^\circ C}$)، T_{in} دمای هوای داخل گلخانه ($^\circ C$) و T_a دمای هوای بیرون ($^\circ C$) می‌باشند.

www.SID.ir

Archive of SID

مقادیر N برای ساختارهای مختلف گلخانه در جدول زیر نشان داده شده است [۲۰].

جدول ۳: تعداد دفعات تعویض هوا برای گلخانه‌های مختلف

ساختار سیستم گلخانه	تعداد دفعات تعویض هوا
ساختار جدید، شیشه یا فایبرگلاس	۰,۷۵ تا ۱
ساختار جدید، پلاستیک دو لایه	۰,۵ تا ۱
ساختار قدیمی، با تعمیرات و نگهداری خوب	۱ تا ۲
ساختار قدیمی، با شرایط ضعیف	۲ تا ۴

حرارت در گلخانه عمدتا در دیوار شمالی و خاک گلخانه ذخیره می‌گردد و توسط روابط زیر مشخص می‌گردد.

$$Q_{st} = Q_{wall} + Q_{soil} \quad (۱۳)$$

$$Q_{wall} = c_{wall}\ \rho_{wall}\ V_{wall}\ \Delta T_{wall} \quad (۱۴)$$

$$Q_{soil} = c_{soil}\ \rho_{soil}\ V_{soil}\ \Delta T_{soil} \quad (۱۵)$$

در روابط فوق Q_{soil}, Q_{wall} حرارت ذخیره شده در دیوار شمالی و خاک گلخانه (w)، c_{soil}, c_{wall} ظرفیت گرمای ویژه دیوار شمالی و خاک گلخانه ($\frac{j}{kg\ ^\circ C}$)، ρ_{soil}, ρ_{wall} چگالی دیوار شمالی و خاک گلخانه ($\frac{kg}{m^3}$)، V_{soil}, V_{wall}: حجم دیوار شمالی و خاک گلخانه (m^3) و $\Delta T_{soil}, \Delta T_{wall}$ نرخ تغییر درجه حرارت در دیوار شمالی و خاک گلخانه ($\frac{^\circ C}{s}$) می‌باشند [۱۴، ۱۵ و ۱۶].

مقداری از گرما از طریق پیرامون گلخانه به زمین و یا زیر زمین و کنار گلخانه نیز منتقل می‌شود مقدار این اتلاف گرما از رابطه زیر قابل محاسبه می‌باشد.

$$Q_p = P\ Per\ (T_{in} - T_a) \quad (۱۶)$$

در رابطه فوق P ضریب انتقال حرارت محیطی ($\frac{W}{m\ ^\circ C}$)، Per محیط پیرامون گلخانه (m)، T_{in} دمای هوای داخل گلخانه و T_a دمای هوای بیرون گلخانه می‌باشند، مقادیر ضریب انتقال حرارت محیطی با توجه به ساختار گلخانه در جدول زیر آمده است [۱۴، ۱۵ و ۱۶].

جدول ۴: مقادیر ضریب انتقال حرارت محیطی

وضعیت محیط گلخانه	ضریب انتقال حرارت محیطی ($\frac{W}{m\ ^\circ C}$)
عایق نشده	۱,۳۸
عایق شده	۰,۶۹

۵- نتیجه‌گیری

انرژی خورشید که از مدتها پیش توجه اکثر دانشمندان را به خود جلب کرده بود، امروزه تبدیل به عاملی در جهت توسعه اقتصادی و افزایش بهره‌وری شده است. از اینرو، این منبع غنی و تمام ناشدنی تنها فاکتوری از انرژی

www.SID.ir

Archive of SID

است که ۱۰۰ درصد با محیط زیست همخوانی دارد و غیر از هزینه اولیه هیچگونه مبلغی را از تولید کننده نمی‌گیرد تمام گلخانه‌ها، انرژی خورشید را جذب می‌کنند اما گلخانه‌های خورشیدی به گونه‌ای طراحی می‌شوند که علاوه بر جذب انرژی خورشید در طول روزهای آفتابی، مقداری از گرما را برای استفاده در شب و یا روزهای ابری در خود ذخیره می‌کنند. با توجه به اینکه در چین تعداد زیادی گلخانه خورشیدی وجود دارد در این مقاله شماتیکی از گلخانه‌های خورشیدی متداول در چین ارائه گردید و دیوار ترومب به عنوان یک روش برای ذخیره‌سازی انرژی خورشید در محیط گلخانه بررسی گردید و در نهایت گلخانه خورشیدی از لحاظ حرارتی مورد بررسی قرار گرفت. می‌توان نتیجه گرفت که با وارد کردن راهکارهای جدید عایقکاری، ذخیره‌سازی انرژی گرمایی در مواد و استفاده از مصالح مناسب می‌توان گلخانه‌های متداول را به یک سطح مطلوب و مناسب رساند و به کمک انرژی خورشید، مصرف سوختهای فسیلی را به طور چشمگیری کاهش داد.

تشکر و قدردانی

نویسندگان مقاله برخود لازم می‌دانند که از دانشگاه آزاد اسلامی واحد فیروزکوه و معاونت پژوهشی آن واحد به واسطه حمایتهای بی‌دریغ، تشکر و قدردانی نمایند.

فهرست علائم

مساحت (m^2)	A	ضریب عبور	τ
ادمیتانس حرارتی ($wm^{-2\circ}C^{-1}$)	a	**زیرنویس‌ها**	
گرمای ویژه در فشار ثابت ($\frac{Kj}{Kg\,K}$)	c_p	هوا	*a*
تابش خورشید تابیده شده به گلخانه ($\frac{w}{m^2}$)	G	پوشش پلاستیکی یا پرده	*c*
ضریب انتقال حرارت رسانایی ($\frac{w}{m^\circ C}$)	k	انتقال حرارت هدایتی	*cd*
طول بهینه (m)	L	انتقال حرارت به واسطه تهویه	*cv*
دفعات تعویض هوا	N	داخلی	*in*
ضریب انتقال حرارتی محیطی ($\frac{W}{m^\circ C}$)	P	دیوار شمالی	*nw*
محیط (m)	Per	محیطی	*p*
انتقال حرارت ($\frac{w}{m^2}$)	Q	سقف	*r*
مقاومت حرارتی ($\frac{m^2\,^\circ C}{w}$)	R	خاک گلخانه	*soil*
دما ($^\circ C, K$)	T	حرارت ذخیره شده	*st*
زمان (s, hr)	t	دیوار جنوبی	*sw*
علائم یونانی		خاک گلخانه	*s*

www.SID.ir

Archive of SID

چگالی ($\frac{kg}{m^3}$)	ρ	دیوار	*wall*

مراجع

[۱]- محمد جواد ارده، مهران غزوی، ۱۳۸۹، "مبانی کنترل بیولوژیک در محصولات گلخانه‌ای"، موسسه تحقیقات گیاه پزشکی کشور

[2]- Cooper PI, Fuller RJ, 1983, "A transient model of the interaction between crop, environment and greenhouse structure for predicting crop yield and energy consumption". *J. Agric. Eng. Res.*; (28), pp. 401–17.

[۳]- برنژاد، ژاله،۱۳۸۷، "تجزیه و تحلیل و طراحی گلخانه آفتابی بر اساس عناصر اقلیمی معماری سنتی ایران"، رساله دکتری معماری، دانشگاه آزاد واحد علوم تحقیقات

[4]- Illinois Solar Energy Association. 2002. "Solar Greenhouse. ISEA Fact Sheet #9". Accessed at: <http://www.iseanetwork.org/fact_sheets/09_solar_greenhouse/>

[5]- Alward, Ron, and Andy Shapiro, 1981. "Low-Cost Passive Solar Greenhouses. National Center for Appropriate Technology", Butte, MT. 173 p. Accessed at: http://attra.ncat.org/attra-pub/solar-gh.html

[6]- L. Zalewski, M. Chantant, S. Lassue, B. Duthoit. 1997. "Experimental thermal study of a solar wall of composite type". *Energy and Building*, (25), pp. 7–18.

[7]- C. Duansheng, L. Buzhou, N. Hemin, Z. Haishan, Z. Jiangou, T Quan, 1991. "Technology of the energy-saving sunlight greenhouse in China", *The Proceeding of International Symposium on Applied Technology of Greenhouse*. pp. 41–49.

[8]- A.N. Khalifa. 1998. "A study on a passive heated single-zone building using a thermal storage wall". *Renewable Energy*, (14) pp. 29–34.

[9]- X. Fang, Y. Li. 2000. "Numerical simulation and sensitivity analysis of lattice passive solar heating walls", *Solar Energy*. (69) pp. 55–66.

[10]- W. Brutsaert. 1982. "*Evaporation into the Atmosphere*", Reidel D. Publishing Co., Dordrecht, Holland, 300p.

[11]- A.T.H. Taha. 2003, "Simulation Model of Energy Fluxes in Passive Solar Greenhouses with a Concrete North-wall", Ph.D., Thesis. Institut fur Techniik in Gratenbau and Landwirtschaft, Unversitat Hanover, Germany. p. 132.

[12]- J.D. Balcomb. 1979. "*Passive solar energy system for buildings*". Solar Energy Handbook. (1) pp. 16–27.

[14]- Balcomb, J. D., J. C. Hedstrom, and R. D. McFarland. 1977. "Thermal Storage Walls for Passive Solar Heating Evaluation". *Solar Age*, August. pp. 20-23

[15]- "*Handbook of Fundamentals*". 1977. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, New York, N.Y.

[16]- Marzia, E.,; Baker, M. S.; Wessling, F. C. 1978. "Predicting the Performance of Passive Solar Heated Buildings". *Sunworld*, (2), May. pp. 42-45

[13]- Beshada, E, Q. Zhang, and R. Boris. 2006. "Winter performance of a solar energy greenhouse in southern Manitoba". *Canadian Biosystems Engineering*. (48): pp. 1-8.

[17]- Environment Canada. 1990. Hourly Solar Radiation, Station Number 5023222, Winnipeg, Manitoba, Canada. Ottawa:ON: Environment Canada.

[18]- FAO. 1987. "Greenhouse Heating with Solar Energy". Italian Commission for Nuclear and Alternative Energy Sources.Rome, Italy: FAO Regional Office for Europe.

[19]- FAO. 1994. "Integrated energy systems in China-The cold northeastern region experience". http://www.fao.org/docrep/T4470E/t4470e00.htm#Contents (2005/05/13).

[20]- Hellickson, Mylo A.Walker, John N. 1983. "*Ventilation of Agricultural Structures*". St. Joseph - Mich : American Society of agricultural engineers, 372 p.

www.SID.ir