

اثر شکل و جهت گلخانه بر میزان دریافت تابش خورشیدی: مطالعه موردی شهرستان تبریز

حسن قاسمی مبتکر^{۱*}، یحیی عجب شیرچی^۱، سید فرامرز رنجبر^۲ و منصور مطلوبی^۳

تاریخ دریافت: ۹۳/۱۰/۱۴ تاریخ پذیرش: ۹۳/۱۲/۱۳

۱- گروه آموزشی مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز

۲- گروه آموزشی مهندسی مکانیک، دانشکده فنی مهندسی مکانیک، دانشگاه تبریز

۳- گروه آموزشی باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز

*مسئول مکاتبه: mr.mobtaker@yahoo.com

چکیده

انرژی خورشیدی یکی از مهم‌ترین و پایدارترین منابع جایگزین برای منابع انرژی‌های تجدیدناپذیر می‌باشد. یکی از مهم‌ترین کاربردهای انرژی خورشیدی استفاده از آن برای گرمایش گلخانه‌ها در فصل سرما می‌باشد. در این مطالعه شش شکل متداول گلخانه شامل: دوطرفه، نیمه‌دوطرفه، خیمه‌ای، یک‌طرفه، تونلی و کوانست از نظر تابش خورشیدی دریافتی برای شرایط اقلیمی شهر تبریز مورد مقایسه قرار گرفتند. این گلخانه‌ها در دو جهت شرقی- غربی و شمالی- جنوبی بررسی شدند و ابعاد آن‌ها یکسان بود. نتایج بررسی‌ها نشان دادند گلخانه یک‌طرفه بیشترین میزان تابش دریافتی و گلخانه کوانست کمترین میزان تابش دریافتی را دارند. در ماه‌های سرد سال، گلخانه یک‌طرفه شرقی- غربی در مقایسه با سایر گلخانه‌ها تابش بیشتری دریافت می‌کند. در ماه‌های گرم سال گلخانه تونلی شمالی- جنوبی بیشترین تابش خورشیدی را دریافت می‌کند. گلخانه یک‌طرفه شرقی- غربی بهترین انتخاب برای شهر تبریز معرفی شد. این شکل در مقایسه با متوسط تابش دریافتی گلخانه‌ها ۸٪ تابش بیشتری دریافت می‌کند و می‌تواند برای پرورش گیاهان در فصل زمستان به کار رود. نتایج همچنین نشان داد در گلخانه یک‌طرفه شرقی- غربی به‌طور متوسط حدود ۶۰٪ تابش دریافتی کل در طول سال از سقف جنوبی جذب می‌شود.

واژه‌های کلیدی: تابش خورشیدی، شکل گلخانه، گلخانه یک‌طرفه

۱- مقدمه

محدودیت منابع فسیلی و پیامدهای حاصل از تغییرات زیست‌محیطی و آب و هوای جهانی، فرصت‌های مناسبی را برای رقابت انرژی خورشیدی با انرژی‌های فسیلی خصوصاً در کشورهایی با پتانسیل بالای تابش، نظیر ایران ایجاد نموده است. یکی از مهم‌ترین کاربردهای انرژی خورشیدی استفاده از آن برای گرمایش گلخانه‌هاست. در سال‌های اخیر استفاده از انواع گلخانه‌ها امکان تولید انواع محصولات کشاورزی و باغی و گل را در تمام طول سال فراهم آورده است. گلخانه به عنوان یک ساختاری است که مناسب‌ترین شرایط محیطی را برای حداکثر رشد و نمو گیاه در زمانی که در محیط آزاد امکان رشد و نمو گیاه وجود ندارد، فراهم می‌آورد (ستی و شارما، ۲۰۰۸). نتایج تحقیقات نشان داده است که هزینه گرمایش گلخانه در حدود ۳۰٪ کل هزینه‌های جاری گلخانه است (سانتاموریس و همکاران، ۱۹۹۴). بنابراین، گلخانه‌های آینده باید بیشترین مقدار جذب، کمترین مقدار تلفات و بیشترین انباشت انرژی را داشته باشند. به عبارت دیگر، باید میزان نفوذپذیری گلخانه‌ها نسبت به طول موج‌های کوتاه افزایش یافته و میزان انتقال طول موج‌های بلند از پوشش گلخانه به حداقل برسد (بوت، ۲۰۰۱).

انرژی نقش مهم و محوری در توسعه و پیشرفت ملت‌ها ایفا می‌کند و ثابت شده است که میزان در دسترس بودن انرژی، به‌عنوان یک عنصر محوری در توسعه هر کشور مطرح است. چالش بهبود میزان کنونی تولید انرژی و توسعه روش‌های جدید تولید انرژی همواره به‌عنوان یک پدیده عمده در سراسر دنیا مطرح بوده است (اجی و همکاران، ۲۰۱۰). دلیل این امر استفاده وسیع از سوخت‌های فسیلی و هسته‌ای برای تولید انرژی در سراسر دنیا می‌باشد که اثرات منفی این منابع بر محیط‌زیست و انسان تأیید شده است. رویکرد جدید انرژی در حال حاضر اساساً در جهت تشویق استفاده از منابع انرژی‌های تجدیدپذیر می‌باشد. انرژی‌های تجدیدپذیر به‌علت فراوانی، کاربرد آسان و نداشتن اثرات زیست‌محیطی از مقبولیت بالایی برخوردار می‌باشند (اجی و همکاران، ۲۰۱۴).

انرژی خورشیدی منحصربه‌فردترین و عظیم‌ترین منبع انرژی تجدیدپذیر در جهان است و منبع اصلی تمامی انرژی‌های موجود در زمین می‌باشد (پودستا و همکاران، ۲۰۰۴). این انرژی پاک، ارزان و بی‌پایان بوده و در بیشتر مناطق کره زمین قابل استحصال می‌باشد.

در مطالعه دیگری که در هند انجام شد، پنج شکل مختلف گلخانه برای حفظ بیشترین گرما در داخل گلخانه بررسی شد. تمام این پنج گلخانه دارای مساحت و ارتفاع یکسان بودند. نتایج نشان دادند گلخانه نیمه دوطرفه در استفاده از انرژی خورشیدی بیشترین بازدهی را داراست. دلیل این امر به خاطر مساحت زیاد پوشش این نوع گلخانه که باعث دریافت بیشتر انرژی تابشی در این ساختار بود (سینگ و تیواری، ۲۰۱۰).

بودیلا و همکاران (۲۰۱۴) برای بهبود جذب تابش خورشیدی در گلخانه، از یک کلکتور خورشیدی در داخل گلخانه استفاده کردند و میزان تابش خورشیدی جذب شده را با یک گلخانه مشابه مقایسه کردند. نتایج نشان دادند میزان تابش اضافی جذب شده در این سیستم قادر به تأمین ۳۰٪ از کل نیاز گرمایی گلخانه در یک روز متوسط در ماه فوریه است. در مطالعه دیگری که در تونس انجام شد، از یک گلخانه خیمه‌ای شکل شرقی- غربی برای خشک کردن فلفل قرمز و انگور استفاده شد. در این مطالعه برای افزایش میزان تابش خورشیدی دریافتی از یک کلکتور صفحه تخت استفاده شد (الخدراوی و همکاران، ۲۰۱۵).

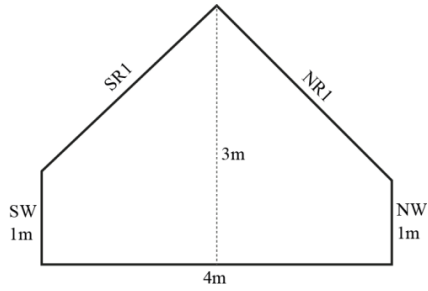
همان‌طور که اشاره شد میزان تابش دریافتی در گلخانه وابسته به شکل و جهت آن و همچنین عرض جغرافیایی و اقلیم منطقه مورد استفاده است. بنابراین هدف این مطالعه بررسی میزان تابش خورشیدی دریافتی در شش نوع گلخانه متداول در شهرستان تبریز می‌باشد.

۲- مواد و روش‌ها

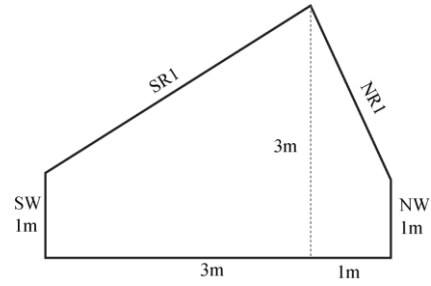
این مطالعه در شهرستان تبریز انجام شد. طول و عرض جغرافیایی و ارتفاع از سطح دریا در این شهر براساس داده‌های اداره کل هواشناسی به ترتیب برابر $38^{\circ}18'$ شرقی، $38^{\circ}10'$ شمالی و 1364 متر می‌باشد. شش نوع گلخانه متداول (شکل ۱) از نظر میزان تابش خورشیدی دریافتی بررسی و با یکدیگر مقایسه شدند. این گلخانه‌ها شامل: دوطرفه، نیمه دوطرفه، یک‌طرفه، خیمه‌ای شکل، کوانست و تونلی می‌باشند. برای ایجاد شرایط مقایسه‌ای بین گلخانه‌ها طول، عرض و ارتفاع اوج تمام گلخانه‌ها یکسان در نظر گرفته شدند. طول، عرض و ارتفاع در هر یک از گلخانه‌ها به ترتیب برابر با شش، چهار و سه متر بود. همچنین این گلخانه‌ها در دو جهت شرقی- غربی و شمالی- جنوبی بررسی شدند. برای محاسبه میزان انرژی دریافتی در صفحات منحنی، این صفحات به صورت تکه‌های صفحات تخت در نظر گرفته شدند. همچنین پوشش شیشه‌ای به ضخامت چهار میلی‌متر برای گلخانه‌ها در نظر گرفته شد.

بخش زیادی از انرژی تابش خورشیدی که به گلخانه وارد می‌شود در بخش‌های مختلف گلخانه نظیر پوشش، گیاهان، هوای داخل و سطح زمین جذب می‌شود. یکی از پارامترهایی که به شدت میزان تابش دریافتی در گلخانه‌ها را تحت تأثیر قرار می‌دهد، شکل گلخانه- هاست. شکل‌های مختلف گلخانه‌ها در عرض‌های جغرافیایی مختلف در سراسر دنیا مورد استفاده قرار گرفته است (تاواریس و همکاران، ۲۰۰۱؛ کورکلو و همکاران، ۲۰۰۳؛ جین، ۲۰۰۵؛ مونکن و همکاران، ۲۰۱۳؛ وانگ و همکاران، ۲۰۱۴؛ جودی و فرهان، ۲۰۱۵). همچنین مطالعات زیادی در زمینه میزان تابش دریافتی در شکل‌های مختلف گلخانه‌ها انجام شده است. در پژوهشی که در کشور ترکیه انجام شد، چهار نوع گلخانه رایج در این کشور بررسی شدند. نتایج نشان داد که ۸۵٪ گلخانه‌ها شرقی- غربی و ۱۵٪ شمالی- جنوبی بودند. نتایج همچنین نشان دادند ساخت گلخانه در جهت شرقی- غربی باعث افزایش کارایی مصرف انرژی خورشیدی می‌شود. (کندیرلی، ۲۰۰۶). کوماری و همکاران (۲۰۰۷) در پژوهشی به بررسی عملکرد سه نوع گلخانه که شکل‌های متفاوتی داشتند، پرداختند. گلخانه‌های مورد بررسی شامل سه گلخانه دوطرفه، نیمه دوطرفه و تونلی تغییر شکل یافته بود. مطالعه در پنج منطقه هند با طول و عرض جغرافیایی متفاوت انجام شد (در عرض‌های جغرافیایی 13° تا 34° شمالی). محاسبات آنها برای یک روز متوسط در زمستان انجام شد. نتایج نشان دادند گلخانه نیمه دوطرفه از نقطه نظر گرمایی مناسب- ترین نوع برای تمام مناطق مورد بررسی است، اما با توجه به شرایط می‌توان برای مناطق مختلف هر یک از گلخانه‌ها را توصیه کرد.

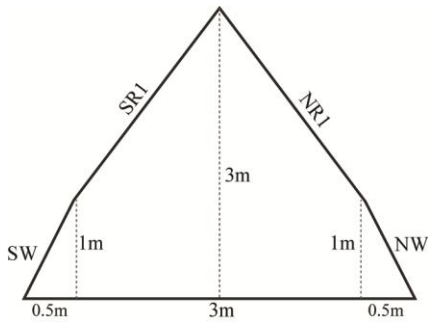
ستی (۲۰۰۹) پنج نوع گلخانه متداول که طول، عرض و ارتفاع آنها همانند بود را در عرض‌های جغرافیایی 10° ، 31° و 50° شمالی در هند انتخاب کرد و میزان تابش خورشیدی قابل دریافت در این گلخانه‌ها را بررسی نمود. هر یک از این گلخانه‌ها در دو جهت غربی- شرقی و شمالی- جنوبی بررسی شدند. برای این منظور کل انرژی تابشی (مستقیم، پخش و بازتاب زمین) بر روی تمام سطوح هر یک از گلخانه‌ها محاسبه شد تا کل انرژی تابشی ورودی به هر یک از آنها محاسبه شود. نتایج نشان دادند که گلخانه نیمه دوطرفه و کوانست به ترتیب بیشترین و کمترین میزان دریافت انرژی تابشی خورشیدی را در تمام ماه‌های سال دارند. گلخانه شرقی- غربی بهترین انتخاب برای تمام فصول سال معرفی شد؛ چرا که در زمستان بیشترین و در تابستان کمترین دریافت تابش خورشیدی را داشت. نتایج همچنین نشان دادند الگوی تابش قابل دسترس برای گلخانه‌های هم‌شکل در عرض‌های جغرافیایی مختلف متفاوت از هم هستند.



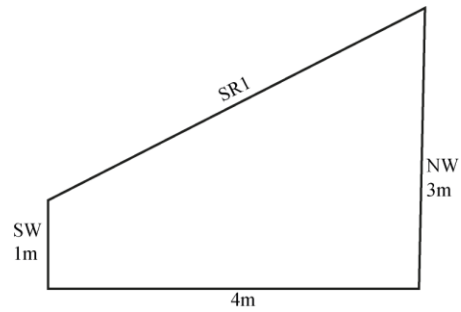
دوطرفه



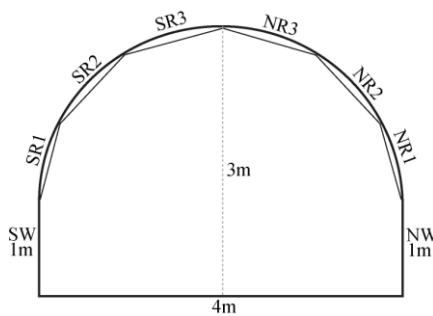
نیمه دوطرفه



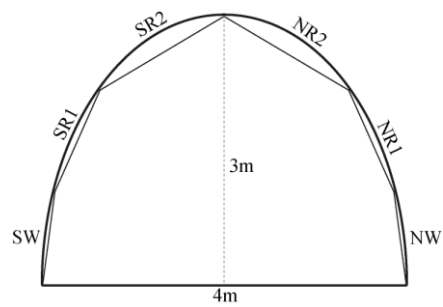
خیمه‌ای



یک طرفه



تونلی



کوانست

SW: دیواره جنوبی SR: سقف جنوبی NW: دیواره شمالی NR: سقف شمالی

شکل ۱- انواع گلخانه‌های مورد بررسی

$$\frac{I_d}{I} = \begin{cases} 1.0 - 0.09k_t & k_t \leq 0.22 \\ 0.9511 - 0.1604k_t + 4.388k_t^2 - 16.638k_t^3 + 12.336k_t^4 & 0.22 \leq k_t \leq 0.80 \\ 0.165 & k_t \geq 0.80 \end{cases} \quad (1)$$

معمولاً ارقام تابش خورشیدی که در دسترس هستند مربوط به سطوح افقی می‌باشند. برای محاسبه نسبت بین تابش مستقیم بر روی

برای تعیین میزان تابش کلی ساعتی بر روی صفحه افقی از داده‌های هواشناسی استفاده شد. در ایستگاه هواشناسی خودکار تبریز داده‌های تابش کل خورشیدی از سال ۲۰۰۸ به فاصله زمانی ۱۰ دقیقه اندازه‌گیری و ثبت می‌شود. داده‌های هواشناسی جمع‌آوری شده و متوسط ساعتی آن در فاصله زمانی بین طلوع و غروب خورشید برای روزهای متوسط هر ماه محاسبه شد. برای محاسبه میزان تابش مستقیم و پخش از تابش کل از رابطه (۱) استفاده شد (اربس و همکاران، ۱۹۸۲؛ دافی و بکمن، ۲۰۱۳):

$$S_t = \sum S_i(t)A_i \quad (۸)$$

هنگامی که تابش خورشیدی به سطح پوشش گلخانه می‌رسد، بخشی از آن منعکس می‌شود، بخشی جذب پوشش می‌شود و بخشی از پوشش عبور می‌کند. برای محاسبه میزان نوری که پس از جذب و انعکاس از پوشش گلخانه عبور می‌کند از قانون فرنل و بویگر استفاده شد. هنگامی که تابش غیرقطبیده خورشید با زاویه برخورد θ_i برابر مقدار متوسط در فاصله زمانی یک ساعته در نظر گرفته شد) از محیط هوا با ضریب شکست n_i ($n_i=1$) به محیط پوشش با ضریب شکست n_r وارد می‌شود؛ می‌توان با استفاده از رابطه (۱۰) زاویه شکست در محیط پوشش را محاسبه نمود (ستی، ۲۰۰۹):

$$\frac{n_i}{n_r} = \frac{\sin\theta_r}{\sin\theta_i} \quad (۱۰)$$

برای پوشش گلخانه در این مطالعه شیشه با ضریب شکست $1/526$ و ضخامت ۴ میلی‌متر در نظر گرفته شد. انتقال نور خورشید غیرقطبیده (τ_r)، با فرض اینکه از ضریب جذب پوشش صرف‌نظر شود، با استفاده از متوسط دو مؤلفه موازی و قائم تابش محاسبه می‌شود. برای این منظور از رابطه (۱۱) استفاده شد (ستی، ۲۰۰۹؛ دافی و بکمن، ۲۰۱۳):

$$\tau_r = \frac{1}{2} \left[\frac{1-r_{\parallel}}{1+r_{\parallel}} + \frac{1-r_{\perp}}{1+r_{\perp}} \right] \quad (۱۱)$$

هر یک از مؤلفه‌های افقی و قائم تابش خورشیدی با استفاده از رابطه‌های (۱۲) و (۱۳) محاسبه شدند (دافی و بکمن، ۲۰۱۳):

$$r_{\parallel} = \frac{\tan^2(\theta_r - \theta_i)}{\tan^2(\theta_r + \theta_i)} \quad (۱۲)$$

$$r_{\perp} = \frac{\sin^2(\theta_r - \theta_i)}{\sin^2(\theta_r + \theta_i)} \quad (۱۳)$$

برای محاسبه میزان جذب تابش خورشیدی در پوشش از قانون بویگر استفاده شد. این قانون براساس این فرضیه که تابش جذب شده در اجسام متناسب با جنس ماده و مسافت طی شده توسط تابش در آن جسم می‌باشد، بنا شده و به‌صورت رابطه (۱۴) بیان می‌شود (ستی، ۲۰۰۹):

$$dI = -IK dx \quad (۱۴)$$

انتگرال‌گیری از معادله بالا در طول مسیر عبوری تابش از پوشش (از صفر تا $L/\cos\theta_r$)، رابطه (۱۵) را نتیجه می‌دهد. زیرنویس a نشان می‌دهد که فقط بخشی از کاهش تابش که در اثر جذب اتفاق می‌افتد در این رابطه در نظر گرفته شده است.

$$\tau_a = \frac{I_{\text{transmitted}}}{I_{\text{incident}}} = \exp\left(\frac{KL}{\cos\theta_r}\right) \quad (۱۵)$$

سطح شیب‌دار و سطح افقی (R_b) از رابطه (۲) استفاده شد (دافی و بکمن، ۲۰۱۳):

$$R_b = \frac{\cos\theta_i}{\cos\theta_z} \quad (۲)$$

که در آن $\cos\theta_i$ و $\cos\theta_z$ به‌ترتیب میزان تابش بر روی سطوح شیب‌دار و افقی را نشان می‌دهند و با استفاده از روابط (۳) و (۴) قابل محاسبه هستند (ستی، ۲۰۰۹):

$$\theta_i = \cos^{-1} [\sin\phi(\sin\delta\cos\beta + \cos\delta\cos\gamma\cos\omega\sin\beta) + \cos\phi(\cos\delta\cos\omega\cos\beta - \sin\delta\cos\gamma\sin\beta) + \cos\delta\sin\gamma\sin\omega\sin\beta] \quad (۳)$$

$$\theta_z = \cos^{-1} [\sin\phi\sin\delta + \cos\phi\cos\delta\cos\omega] \quad (۴)$$

برای محاسبه مقدار متوسط R_b در فاصله زمانی معین، باید از نسبت بین تابش مستقیم بر روی سطح شیب‌دار و سطح افقی در فاصله زمانی مورد نظر انتگرال گرفت. برای این کار از رابطه (۵) استفاده شد (دافی و بکمن، ۲۰۱۳):

$$R_{b,ave} = \frac{\int_{\omega_1}^{\omega_2} \cos\theta_i d\omega}{\int_{\omega_1}^{\omega_2} \cos\theta_z d\omega} \quad (۵)$$

برای محاسبه میزان تابش پخش از حاصل‌ضرب جزء تابش پخش در ضریب دید آن صفحه نسبت به آسمان استفاده شد. همچنین برای محاسبه میزان تابش بازتابش شده از زمین، از حاصل‌ضرب تابش کلی در ضریب بازتابش زمین (ρ) در ضریب دید آن صفحه نسبت به زمین استفاده گردید. ضریب بازتابش زمین برای پوشش‌های مختلف در منابع ذکر شده است (آقاجفی و دهقانی، ۱۳۸۶). در این مطالعه پوشش زمین با استفاده از اطلاعات هواشناسی بلندمدت تعیین شد. ضریب دید صفحه‌ای با شیب β نسبت به آسمان و زمین با استفاده از روابط (۶) و (۷) محاسبه می‌شود (آزاد و همکاران، ۱۳۶۶؛ سینگ و تیواری، ۲۰۱۰):

$$R_d = \frac{1 + \cos\beta}{2} \quad (۶)$$

$$R_r = \frac{1 - \cos\beta}{2} \quad (۷)$$

برای محاسبه کل انرژی ورودی به هر یک از گلخانه‌ها، باید کل تابش خورشیدی (مستقیم، پخش و بازتابش شده از سطح زمین) قابل دسترس در دیواره‌ها و سقف‌های هر یک از گلخانه‌ها محاسبه شود. برای این منظور از روابط (۷) و (۸) استفاده شد (سینگ و تیواری، ۲۰۱۰):

$$S_i(t) = I_b R_{b,ave} + I_d R_d + (I_b + I_d) \rho R_r \quad (۷)$$

شهرستان تبریز جمع‌آوری شد و محاسبات با استفاده از کدنویسی در محیط نرم‌افزار اکسل انجام شد.

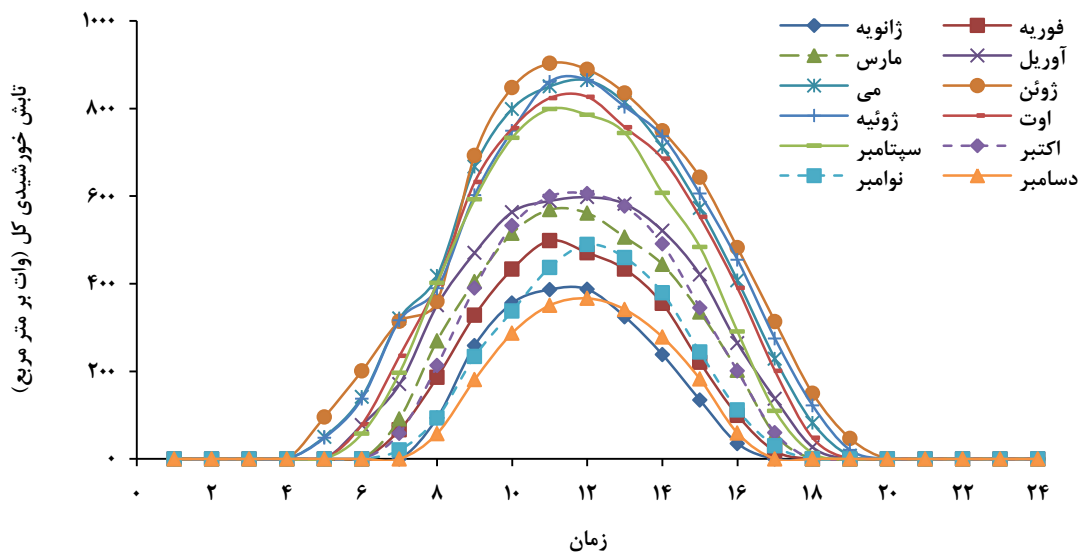
نهایتاً برای محاسبه میزان تابش عبوری کلی که پس از انعکاس و جذب اتفاق می‌افتد از رابطه (۱۶) استفاده شد (ستی، ۲۰۰۹):

$$\tau = \tau_r \tau_a \quad (16)$$

۳- نتایج و بحث

اطلاعات موجود مربوط به شدت تابش که در فواصل زمانی ۱۰ دقیقه اندازه‌گیری شده بود، از ایستگاه هواشناسی شهرستان تبریز جمع‌آوری شده و متوسط ماهانه آنها محاسبه گردید. همچنین شدت تابش برای روزهای متوسط هر ماه به صورت متوسط ساعتی در فاصله زمانی بین طلوع و غروب خورشید محاسبه شد. در شکل (۲) تغییرات ساعتی تابش خورشیدی کل در سطح افقی برای روزهای متوسط هر ماه میلادی نشان داده شده است. روز متوسط هر ماه را روزی گویند که تابش در سطح خارجی جو در آن روز نزدیکترین مقدار به متوسط ماهانه تابش در سطح خارجی جو باشد (آزاد و همکاران، ۱۳۶۶). همان‌طور که از این شکل مشاهده می‌شود بیشترین شدت تابش مربوط به ماه ژوئن (خردادماه) و کمترین شدت تابش مربوط به ماه دسامبر (آذرماه) است.

برای محاسبه میزان تابش پخش و تابش بازتابش شده از زمین عبوری از پوشش باید در دامنه زوایای برخورد از میزان عبور تابش انتگرال گرفت. از آنجایی که توزیع زاویه‌ای این دو جزء تابش نامشخص است، بنابراین روابط بالا در این مورد کاربرد ندارند. یک راه ساده برای محاسبه میزان انتقال جزء پخش، ارائه یک زاویه تابش است که معادل میزان عبور تابش پخش باشد. در بسیاری از کاربردهای خورشیدی نظیر کلکتورها، این زاویه برای تابش پخش شده از جو برابر 60° در نظر گرفته می‌شود. به عبارت دیگر پوشش گلخانه همان میزان از تابش‌های پخش را از خود عبور می‌دهد که تابش مستقیم با زاویه برخورد 60° از پوشش عبور می‌کند. همچنین تابش بازتابش شده از سطح زمین بخش کوچکی از تابش کل را تشکیل می‌دهد و تقریباً می‌توان معادل همان زاویه 60° را برای آن در نظر گرفت (عبدالغنی و همکاران، ۲۰۰۱). داده‌های هواشناسی مورد نیاز از ایستگاه هواشناسی



شکل ۲- تغییرات ساعتی شار تابش خورشیدی کل برای روزهای متوسط هر ماه در شهر تبریز

این شکل دیواره شمالی در مقایسه با دیواره و سقف شمالی دیگر گلخانه‌ها مساحت کمتری داشته و تابش پخش کمتری دریافت می‌کند، اما این کاهش دریافت به اندازه‌ای نیست که تابش کل را تحت تأثیر قرار دهد. سینگ و تیواری (۲۰۱۰) گزارش دادند در شرایط اقلیمی دهلی هند، گلخانه نیمه دوطرفه بیشترین تابش خورشیدی را در ماه‌های سرد سال دریافت می‌کند. آنها همچنین گزارش دادند گلخانه کوانست کمترین تابش را در این شرایط دریافت می‌کند.

دلیل اینکه این شکل گلخانه در ماه‌های گرم سال بیشترین مقدار تابش دریافتی را ندارد این است که در این ماه‌ها خورشید عمودتر می‌تابد و دیواره و سقف جنوبی تابش کمتری دریافت می‌کند. این

در جدول (۱) میزان تابش دریافتی هر یک از گلخانه‌ها در طول سال (در روزهای متوسط هر ماه) در سطح خارجی پوشش گلخانه برحسب مگاژول آورده شده است. این میزان تابش به صورت تئوری و براساس میزان تابش خورشیدی کلی بلندمدت که در ایستگاه هواشناسی خودکار شهرستان بر روی سطح افقی اندازه‌گیری شده، محاسبه و ارائه شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، در ماه‌های سرد سال، گلخانه یک‌طرفه شرقی- غربی در مقایسه با سایر گلخانه‌ها تابش بیشتری دریافت می‌کند. این امر به دلیل مساحت زیاد سقف جنوبی این گلخانه در مقایسه با سایر گلخانه‌هاست که بیشترین تابش مستقیم خورشیدی را دریافت می‌کند. با توجه به شکل (۱) اگر چه در

سقف‌های جنوبی و شمالی گلخانه‌های شرقی- غربی دریافت می‌کند و این دلیل افزایش تابش دریافتی در این نوع گلخانه‌هاست. این نوع گلخانه‌ها مناسب خشک کردن محصولات در فصل گرما و همچنین گلخانه‌های مجهز به آبخوان می‌باشند. مقایسات همچنین نشان دادند که گلخانه‌های خیمه‌ای شکل و کوانست کمترین دریافت تابش را دارند. ستی (2009) طی مطالعه‌ای که در سه منطقه هند انجام داد گزارش کرد که گلخانه نیمه‌دوطرفه و کوانست به ترتیب بیشترین و کمترین میزان تابش دریافتی در تمام ماه‌ها را دارند.

گلخانه می‌تواند برای پرورش گیاهان گلخانه‌ای در فصول سرد سال مناسب باشند. جودی و فرهان (2014) گزارش کردند که زاویه تابش خورشید تأثیر زیادی در میزان تابش دریافتی در دیواره گلخانه دارد، به طوری که در کشور عراق در فصل زمستان که خورشید مایل‌تر می‌تابد میزان تابش خورشیدی دریافتی در دیواره جنوبی برای گرمایش گلخانه کافی است. در ماه‌های گرم سال گلخانه تونلی شمالی- جنوبی بیشترین تابش خورشیدی را دریافت می‌کند. همان‌طور که اشاره شد، در این زمان خورشید عمودتر می‌تابد و سقف‌های شرقی و غربی گلخانه‌های شمالی- جنوبی میزان تابش بیشتری در مقایسه با

جدول 1- میزان تابش دریافتی (MJ) در شکل‌های مختلف گلخانه در طول سال در سطح خارجی پوشش گلخانه

کوانست		تونلی		یک‌طرفه		خیمه‌ای		نیمه‌دوطرفه		دوطرفه		روز ماه میلادی
N-S	E-W	N-S	E-W	N-S	E-W	N-S	E-W	N-S	E-W	N-S*	E-W*	
448	458	468	529	511	539	431	448	482	503	434	479	17 ژانویه
535	531	601	612	605	628	517	516	572	583	558	550	16 فوریه
648	634	741	730	730	743	626	604	691	686	676	654	16 مارس
760	736	865	849	846	843	803	765	809	782	792	772	15 آوریل
1008	970	1137	1107	1134	1109	1044	987	1075	986	1050	976	15 می
1117	1070	1260	1220	1251	1198	1153	1069	1183	1073	1164	1128	11 ژوئن
1000	971	1132	1099	1121	1101	1039	1001	1059	975	1042	1024	17 ژوئیه
927	894	1052	1030	1048	1046	959	918	986	932	964	944	16 اوت
901	848	1026	991	1027	1037	920	833	965	926	939	884	15 سپتامبر
669	665	772	790	750	811	686	682	712	740	699	680	15 اکتبر
487	502	560	577	534	605	498	526	512	559	506	524	14 نوامبر
410	426	477	491	457	501	429	454	435	468	428	446	10 دسامبر

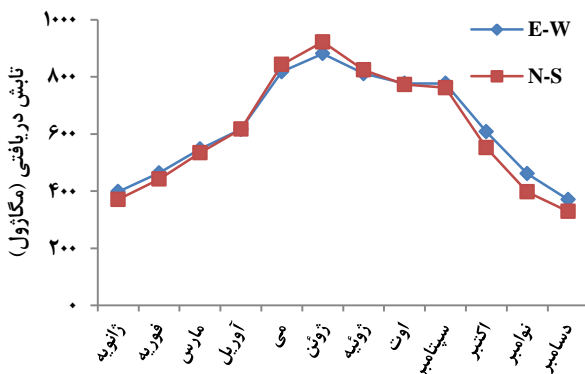
* E-W: شرقی - غربی، N-S: شمالی - جنوبی

شرقی- غربی در مقایسه با متوسط تابش دریافتی 8٪ تابش بیشتری دریافت می‌کند. همچنین گلخانه کوانست شرقی- غربی 7٪ تابش کمتری در مقایسه با متوسط گلخانه‌ها تابش دریافت می‌کند. ستی (2009) مقایسات را براساس گلخانه دوطرفه انجام داد و گزارش کرد در عرض جغرافیایی 50° گلخانه نیمه‌دوطرفه 11/3٪ تابش بیشتر و گلخانه کوانست 11/6٪ تابش کمتری نسبت به گلخانه دوطرفه دریافت می‌کند.

در شکل (3) کل متوسط تابش دریافتی سالیانه گلخانه‌ها بر حسب مگاژول نشان داده شده است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود، گلخانه یک‌طرفه شرقی- غربی و تونلی شمالی- جنوبی بیشترین میزان تابش دریافتی را به خود اختصاص داده‌اند (به ترتیب 847 و 841 مگاژول). همچنین گلخانه‌های کوانست و خیمه‌ای شرقی- غربی کمترین تابش متوسط سالیانه را به خود اختصاص داده‌اند (به ترتیب 725 و 734 مگاژول).

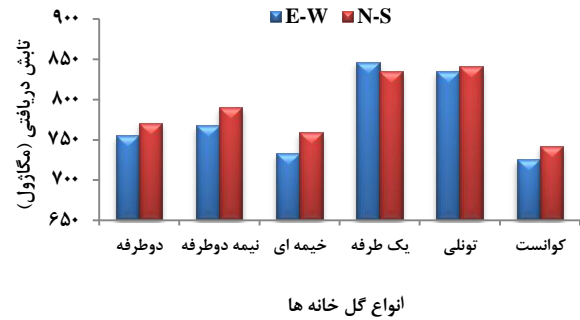
مقدار متوسط تابش دریافتی در گلخانه‌های مورد بررسی برابر با 783 مگاژول می‌باشد. نتایج نشان می‌دهند که گلخانه یک‌طرفه

در شکل (۴) میزان تابش دریافتی گلخانه یک‌طرفه در دو جهت شرقی- غربی و شمالی- جنوبی نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، گلخانه شرقی- غربی از متوسط دریافت بالاتری نسبت به گلخانه شمالی- جنوبی برخوردار است. به‌طور کلی میزان تابش در گلخانه شمالی- جنوبی در تابستان و در گلخانه شرقی- غربی در زمستان بیشتر است. همان‌طور که اشاره شد در تابستان خورشید عمودتر می‌تابد و مقدار تابش بیشتری از دیوار و سقف شرقی و دیواره غربی گلخانه شمالی- جنوبی وارد گلخانه می‌شود که باعث افزایش تابش دریافتی این گلخانه در مقایسه با گلخانه شرقی- غربی می‌شود. در زمستان چون خورشید مایل‌تر می‌تابد، بنابراین میزان تابش دریافتی در گلخانه شرقی- غربی بیشتر است. بنابراین گلخانه یک‌طرفه شرقی- غربی می‌تواند بهترین انتخاب برای شهر تبریز باشد. در مطالعه‌ای که در کشور ترکیه انجام شد، گزارش شد استفاده از گلخانه شرقی- غربی باعث افزایش میزان جذب تابش خورشیدی می‌شود (کندیرلی، ۲۰۰۶). همچنین ستی (۲۰۰۹) در هند گزارش کرد که گلخانه‌های شرقی- غربی در فصل سرما از متوسط تابش خورشیدی دریافتی بالایی در عرض‌های جغرافیایی مختلف در سراسر هند برخوردار هستند.



شکل ۴- میزان تابش دریافتی در گلخانه یک‌طرفه در دو جهت E-W و N-S

نتایج میزان متوسط تابش دریافتی سایر شکل‌های مورد بررسی نیز در جداول (۱) و (۲) آورده شده اند. همان‌طور که مشاهده می‌شود در تمام شکل‌های مورد بررسی نیز روند مشابهی مشاهده شد؛ به‌طوری که گلخانه‌های با جهت شمالی- جنوبی میزان تابش دریافتی در تابستان بیشتر از گلخانه‌های شرقی- غربی است.



شکل ۳- متوسط تابش دریافتی سالیانه گلخانه‌ها بر حسب MJ

در این مطالعه طول، عرض و ارتفاع همه گلخانه‌ها یکسان در نظر گرفته شد. اما با توجه به اینکه شکل‌های گلخانه‌ها متفاوت از هم هستند، پس سطح پوشش گلخانه‌ها متفاوت از هم خواهند بود. بخش عمده‌ای از تابش خورشیدی که به داخل گلخانه می‌رسد، به بیرون تلف می‌شود که این از طریق پوشش گلخانه اتفاق می‌افتد (عبدالغنی و الهلال، ۲۰۱۱). بنابراین باید اثر سطح پوشش به‌نحوی در مقایسه‌ها لحاظ شود. یک راه مناسب برای این کار محاسبه نسبت سطح پوشش (A_c) به سطح زیر کشت گلخانه (A_g) می‌باشد. نتایج مقایسه بین نسبت (A_c/A_g) و تابش دریافتی سالیانه نشان دادند با وجود اینکه در گلخانه یک‌طرفه نسبت (A_c/A_g) بیشتر از متوسط گلخانه‌هاست؛ اما این گلخانه ۸٪ تابش بیشتری دریافت می‌کند. همچنین در گلخانه کوانست نسبت (A_c/A_g) ۶/۱٪ کمتر از متوسط گلخانه‌هاست در حالی که ۷٪ تابش کمتری نسبت به تابش متوسط دریافت می‌کند.

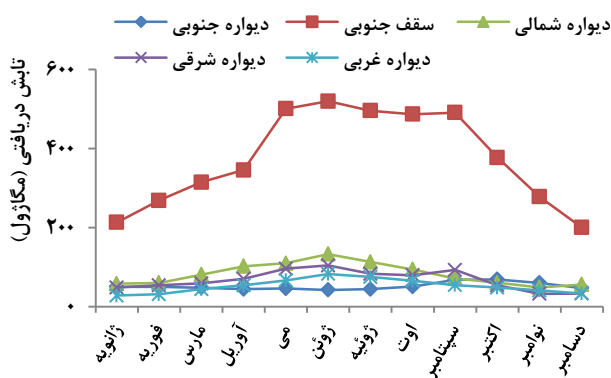
در جدول (۲) میزان تابش دریافتی هر یک از گلخانه‌ها در طول سال در سطح داخلی پوشش گلخانه برحسب مگاژول آورده شده است. این مقدار تابش در واقع میزان تابش قابل استفاده در داخل گلخانه است که پس از محاسبه تلفات مربوط به انعکاس و جذب نور در پوشش محاسبه شده است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود گلخانه یک‌طرفه شرقی- غربی بیشترین دریافت تابش در ماه‌های سرد سال را به خود اختصاص داده است. از آنجایی که هدف اصلی گلخانه پرورش گیاهان در فصل سرماست، این نوع گلخانه می‌تواند بهترین توصیه برای شرایط اقلیمی تبریز باشد.

نتایج همچنین نشان دادند گلخانه یک‌طرفه شرقی- غربی بیشترین (۶۲۷ مگاژول) و کوانست شرقی- غربی کمترین (۵۲۹ مگاژول) میزان تابش متوسط دریافتی را به خود اختصاص داده‌اند. به‌عبارت دیگر گلخانه یک‌طرفه شرقی- غربی در مقایسه با متوسط تابش دریافتی سالیانه گلخانه‌ها ۹٪ تابش قابل استفاده بیشتری دریافت می‌کند. افزایش درصد تفاوت نسبت به تابش دریافتی در سطح خارجی گلخانه بیانگر این موضوع است که در گلخانه یک‌طرفه درصد بیشتری از تابش دریافتی در سطح بیرونی گلخانه از سطح پوشش عبور می‌کند. همچنین گلخانه کوانست شرقی- غربی ۸٪ تابش قابل استفاده کمتری در مقایسه با متوسط گلخانه‌ها دریافت می‌کند.

جدول ۲- میزان تابش دریافتی (MJ) در شکل‌های مختلف گلخانه در طول سال در سطح داخلی پوشش گلخانه

روز ماه میلادی	دوطرفه		نیمه‌دوطرفه		خیمه‌ای		یک‌طرفه		تونلی		کوانست
	N-S*	E-W*	N-S	E-W	N-S	E-W	N-S	E-W	N-S	E-W	
۱۷ ژانویه	۳۰۸	۳۵۵	۳۷۳	۳۵۱	۳۱۴	۳۳۴	۳۷۱	۳۹۸	۳۸۸	۳۳۸	۳۲۵
۱۶ فوریه	۴۰۷	۴۰۷	۴۳۱	۴۱۸	۳۷۸	۳۸۳	۴۴۲	۴۶۴	۴۴۸	۴۳۷	۳۹۱
۱۶ مارس	۴۹۳	۴۷۵	۵۰۵	۵۰۵	۴۴۴	۴۵۸	۵۳۴	۵۴۷	۵۳۱	۵۴۰	۴۷۳
۱۵ آوریل	۵۷۷	۵۵۳	۵۶۹	۵۹۰	۵۴۸	۵۸۶	۶۱۷	۶۱۶	۶۱۳	۶۳۰	۵۵۴
۱۵ می	۷۷۲	۶۴۴	۷۲۴	۷۹۱	۶۹۹	۷۶۸	۸۱۸	۸۱۸	۸۰۲	۸۳۴	۷۴۲
۱۱ ژوئن	۸۵۸	۸۱۵	۷۸۰	۸۷۲	۷۶۱	۸۵۱	۹۲۲	۸۸۱	۸۸۵	۹۲۳	۸۲۴
۱۷ ژوئیه	۷۶۵	۷۳۹	۷۱۶	۷۷۸	۷۱۱	۷۶۳	۸۱۱	۷۷۷	۸۲۴	۸۰۱	۷۳۵
۱۶ اوت	۷۰۹	۶۷۷	۶۸۹	۷۲۵	۶۵۳	۷۰۴	۷۷۳	۷۷۷	۷۴۷	۷۷۲	۶۸۱
۱۵ سپتامبر	۶۹۹	۶۳۴	۶۹۳	۷۱۵	۶۱۶	۶۸۲	۷۷۷	۷۷۷	۷۲۳	۷۵۷	۶۶۷
۱۵ اکتبر	۵۱۳	۵۱۰	۵۵۵	۵۲۳	۵۱۲	۵۰۳	۵۵۲	۵۵۲	۵۸۲	۵۶۵	۴۹۱
۱۴ نوامبر	۳۶۸	۳۹۳	۴۱۹	۳۷۱	۳۹۶	۳۶۱	۳۹۷	۴۶۱	۴۲۶	۴۰۶	۳۵۲
۱۰ دسامبر	۳۱۰	۳۳۱	۳۴۶	۳۱۴	۳۳۷	۳۱۰	۳۷۰	۳۷۰	۳۶۰	۳۴۵	۲۹۶

*E-W: شرقی - غربی، *N-S: شمالی - جنوبی



شکل ۵- میزان تابش دریافتی در دیواره‌ها و سقف گلخانه

۴- نتیجه‌گیری نهایی

این تحقیق به منظور تعیین میزان تابش دریافتی در شکل‌های مختلف گلخانه با توجه به عرض جغرافیایی و اقلیم شهرستان تبریز انجام شد. مهم‌ترین نتایج حاصل از تحقیق را می‌توان به صورت زیر خلاصه نمود:

شکل (۵) میزان تابش دریافتی در هر یک از دیواره‌ها و سقف گلخانه یک‌طرفه را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود بخش عمده تابش دریافتی گلخانه در طول سال از طریق سقف جنوبی اتفاق می‌افتد. نتایج نشان دادند در این نوع گلخانه به‌طور متوسط حدود ۶۰٪ تابش دریافتی کل در طول سال از سقف جنوبی جذب می‌شود. این درصد در ماه‌های اوت و سپتامبر (مردادماه و شهریورماه) بیشترین مقدار (۶۳٪) و در ماه‌های دسامبر و ژانویه (آذر ماه و دی ماه) کمترین مقدار (۵۴٪) بود. نتایج همچنین نشان دادند دیواره شمالی به‌طور متوسط حدود ۱۳٪ کل تابش را دریافت می‌کند. با توجه به مساحت زیاد این دیواره و همچنین با علم به این موضوع که بیشترین تلفات در زمستان از طریق پوشش گلخانه و به‌خصوص دیواره شمالی اتفاق می‌افتد، انجام مطالعات بیشتر در این زمینه لازم به نظر می‌رسد. یک‌طرفه گوپتا و تیواری (۲۰۰۲) گزارش کردند که سقف‌های جنوبی گلخانه کوانست و به‌خصوص سقف بالایی بیشترین تابش خورشیدی را در شرایط آب و هوایی هند دریافت می‌کنند. گوسل و تیواری (۲۰۰۴) از یک گلخانه دوطرفه شمالی- جنوبی در آرژانتین استفاده کردند. آنها گزارش کردند سقف شرقی گلخانه بیشترین میزان تابش جذب تابش خورشیدی را در فصل زمستان دارد.

۳. در گلخانه یک طرفه به طور متوسط حدود ۶۰٪ تابش دریافتی کل در طول سال از سقف جنوبی جذب می شود. همچنین دیواره شمالی علی رغم مساحت زیاد آن بخش کمتری از تابش دریافتی را (۱۳٪) به خود اختصاص داده است.

۴. پیشنهاد می شود تحقیقی در زمینه تعیین میزان تلفات حرارتی انواع گلخانه ها با توجه به شرایط اقلیمی شهرستان تبریز انجام شود تا انتخاب بهترین گلخانه با توجه به میزان تابش دریافتی و تلفات انجام شود.

۱. در ماه های سرد سال گلخانه یک طرفه شرقی- غربی در مقایسه با سایر گلخانه ها تابش بیشتری دریافت می کند. در فصل سرما این گلخانه می تواند مناسب ترین گلخانه برای پرورش گیاهان در شرایط اقلیمی شهرستان تبریز باشد.

۲. در ماه های گرم سال گلخانه تونلی شمالی- جنوبی بیشترین تابش خورشیدی را دریافت می کند. این نوع گلخانه ها مناسب خشک کردن محصولات در فصل گرما و همچنین گلخانه های مجهز به آبخوان می باشد.

علائم و اختصارات

A_i	مساحت هر یک از دیوارها یا سقفها (m^2)	θ_i	زاویه برخورد تابش به پوشش ($^\circ$)
I	شار تابش کل (Wm^{-2})	θ_r	زاویه شکست در محیط پوشش ($^\circ$)
I_b	شار تابش مستقیم (Wm^{-2})	k_t	ضریب وضوح
I_d	شار تابش پخش (Wm^{-2})	n_i, n_r	ضریب شکست هوا و شیشه
K	ضریب کدری پوشش (m^{-1})	β	زاویه شیب صفحه
L	ضخامت پوشش (m)	γ	
R_d	ضریب دید صفحه نسبت به آسمان	δ	زاویه میل خورشید
R_r	ضریب دید صفحه نسبت به زمین	ρ	ضریب بازتابش زمین
$r_{ }$	مؤلفه موازی تابش	τ	ضریب عبور پوشش
r_{\perp}	مؤلفه قائم تابش	Φ	عرض جغرافیایی
$S_i(t)$	شار تابش خورشیدی کل در صفحه شیب دار (Wm^{-2})	Ω	زاویه ساعتی خورشید
S_t	شار تابش خورشیدی کل در پوشش گلخانه (W)		

منابع مورد استفاده

- آزاد، ع.، ح. پناهنده، س. ج. قائم مقامی، ف. گتولا. ۱۳۶۶. انرژی خورشیدی. انتشارات دانشگاه تهران.
- آقانجفی، س.، ع. ر. دهقانی. ۱۳۸۶. انتقال حرارت تابشی خورشیدی و کاربرد آن در ساختمان. انتشارات خانیان.
- Abdel-Ghany, A. M. and I. M. Al-Helal. 2011. **Solar Energy Utilization by a Greenhouse: General Relations**. Renewable Energy. 36(1): 189–196.
- Abdel-Ghany, A. M., T. Kozai, N. Y. Abdel-Shafi, I. S. Taha and A. S. Huzayyin. 2001. **Dynamic Simulation Modeling of Heat and Water Vapor Transfer in a Fluid-Roof Greenhouse**. Journal of Agricultural Meteorology. 57 (4): 169–182.
- Ajayi, O. O., R. O. Fagbenl, J. Katende, J. O. Okeniyi and O. A. Omotosho. 2010. **Wind Energy Potential for Power Generation of a Local Site in Gusau, Nigeria**. International Journal of Energy for a Clean Environment. 11 (1–4): 99–116.
- Ajayi, O. O., O. D. Ohijeagbon, C. E. Nwadialo and O. Olasope. 2014. **New Model to Estimate Daily Global Solar Radiation Over Nigeria**. Sustainable Energy Technologies and Assessments. 5: 28–36.
- Bot, G.P.A. 2001. **Developments in Indoor Sustainable Plant Production with Emphasis on Energy Saving**. Computers and Electronics in Agriculture. 30(1–3): 151–165.
- Bouadila, S., S. Kooli, S. Skouri, M. Lazaar and A. Farhat. 2014. **Improvement of The Greenhouse Climate Using a Solar Air Heater with Latent Storage Energy**. Energy. 64: 663–672.

- Duffie, J. A. and W. A. Beckman. 2013. **Solar Engineering of Thermal Processes**, Fourth Edition. John Wiley & Son, New Jersey.
- ELkhadraoui, A., S. Kooli, I. Hamdi, and A. Farhat. 2015. **Experimental Investigation and Economic Evaluation of a New Mixed-Mode Solar Greenhouse Dryer for Drying of Red Pepper and Grape**. *Renewable Energy*. 77: 1–8.
- Erbs, D. G., S. A. Klein and J. A. Duffie. 1982. **Estimation of the Diffuse Radiation Fraction for Hourly, Daily and Monthly-Average Global Radiation**. *Solar Energy*. 28(4): 293–302.
- Ghosal, M. K. and G. N. Tiwari. 2004. **Mathematical Modeling for Greenhouse Heating by Using Thermal Curtain and Geothermal Energy**. *Solar Energy*. 76(5): 603–613.
- Gupta, A. and G. N. Tiwari. 2002. **Computer Model and its Validation for Prediction of Storage Effect of Water Mass in a Greenhouse: a Transient Analysis**. *Energy Conversion and Management*. 43(18): 2625–2640.
- Jain, D. 2005. **Modeling the Performance of Greenhouse with Packed Bed Thermal Storage on Crop Drying Application**. *Journal of Food Engineering*. 71(2): 170–178.
- Joudi, K. A. and A. A. Farhan. 2014. **Greenhouse Heating by Solar air Heaters on the Roof**. *Renewable Energy*. 72: 406–414.
- Joudi, K. A. and A. A. Farhan. 2015. **A Dynamic Model and an Experimental Study for the Internal air and Soil Temperatures in an Innovative Greenhouse**. *Energy Conversion and Management*. 91: 76–82.
- Kendirli, B. 2006. **Structural Analysis of Greenhouses: a Case Study in Turkey**. *Building and Environment*. 41(7): 864–71.
- Kumari, N., G. N. Tiwari and M. S. Sodha. 2007. **Performance Evaluation of Greenhouse having Passive or Active Heating in Different Climatic Zones of India**. *Agricultural Engineering International: CIGR Journal*. IX: 1–19.
- Kurklu, A., S. Bilgin and B. Ozkan. 2003. **A study on the Solar Energy Storing Rock-Bed to Heat a Polyethylene Tunnel Type Greenhouse**. *Renewable Energy*. 28(5): 683–697.
- Mongkon, S. S. Thepa, P. Namprakai and N. Pratinthong. 2013. **Cooling Performance and Condensation Evaluation of Horizontal Earth Tube System for the Tropical Greenhouse**. *Energy and Buildings*. 66: 104–111.
- Podesta, G., P. L. Nunez, C. A. Villanueva and M. A. Skansi. 2004. **Estimating Daily Solar Radiation in the Argentine Pampas**. *Agricultural and Forest Meteorology*. 123 (1–2): 41–53.
- Santamouris, M., A. Argiriou and M. Vallindras. 1994. **Design and Operation of a Low Energy Consumption Passive Solar Agricultural Greenhouse**. *Solar Energy*. 52(5): 371–378.
- Sethi, V. P. 2009. **On the Selection of Shape and Orientation of a Greenhouse: Thermal Modeling and Experimental Validation**. *Solar Energy*. 83: 21–38.
- Sethi, V. P. and S. K. Sharma. 2008. **Survey and Evaluation of Heating Technologies for Worldwide Agricultural Greenhouse Applications**. *Solar Energy*. 82 (9): 832–859.
- Singh, R. D. and G. N. Tiwari. 2010. **Energy Conservation in the Greenhouse System: A Steady State Analysis**. *Energy*. 35(6): 2367–2373.
- Tavares, C., A. Goncalves, P. Castro, D. Loureiro and A. Joyce. 2001. **Modeling an Agriculture Production Greenhouse**. *Renewable Energy*. 22: 15–20.
- Wang, J., S. Li, S. Guo, Ch. Ma, J. Wang and S. Jin. 2014. **Simulation and Optimization of Solar Greenhouses in Northern Jiangsu Province of China**. *Energy and Buildings*. 78: 143–152.

Effect of Shape and Orientation of Greenhouse on Received Solar Radiation: A Case Study of Tabriz City

H. Ghasemi Mobtaker^{1*}, Y. Ajabshirchi¹, S. F. Ranjbar² and M. Matloobi³

Received: 4 Jun 2015

Accepted: 3 Mar 2015

¹Department of Biosystems Engineering, Faculty of Agriculture, University of Tabriz

²Department of Mechanical Engineering, Faculty of Mechanical Engineering, University of Tabriz

³Department of Horticultural Science, Faculty of Agriculture, University of Tabriz

*Corresponding author: mr.mobtaker@yahoo.com

Abstract

Solar energy is the most important source of renewable energies. Using solar energy in greenhouse heating during the cold season could be of great importance. In this study, six most commonly used shapes of greenhouses including: even span, uneven span, vinery, single span, arch and quonset types were selected for comparison from received solar radiation point of view for Tabriz city climate condition. These greenhouses were investigated for both east–west and north–south orientations, built all in the same dimensions. Results showed that the single span greenhouse received the maximum and quonset one received the minimum solar radiation. The single span greenhouse in east–west orientation received more radiation as compared to other greenhouses during the winter months. In summer months north–south orientation of an arch shape greenhouse received the most solar radiation. The single span greenhouse in east–west orientation appeared to be the best year-round greenhouse productions in Tabriz region. This shape received 8% more radiation as compared to an average amount of a normal greenhouse and can be used for crop production in winter. Results also showed that in the single span greenhouse oriented in east–west direction, about 60% of the incoming radiation was intercepted by the southern faced greenhouse roof.

Keywords: Greenhouse shapes, Single span, Solar radiation