بررسی تجربی اثر پوشش شیشه‌ای دوجداره بر عملکرد حرارتی اجاق خورشیدی دوتابشی

مریم محمدزاده،محمد مقیمان،زهرا بیجاری

دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشگاه فردوسی مشهد، m.mohammadzadeh1@yahoo.com

استاد گروه مکانیک، دانشگاه فردوسی مشهد، moghiman@um.ac.ir

دانشجوی کارشناسی دانشگاه فردوسی مشهد،ghazal_bijari@yahoo.com

Archive of SID

چکیده

متاسفانه امروزه یکی از بحرانهای روز جهان، مسئله آلودگی محیط زیست درپی استفاده بی‌رویه از سوخت‌های فسیلی در کشورهای درحال توسعه از جمله ایران می‌باشد که علاوه بر معضلات ناشی از آن، مسئله بحران انرژی را نیز به‌دنبال دارد. بنابراین بکارگیری انرژی‌های نو مخصوصا انرژی خورشیدی در تجهیزات پخت‌وپز امری ضروری محسوب می‌شود. در همین راستا تحقیقات در زمینه اجاق‌های خورشیدی اخیرا باشدت بیشتری دنبال می‌شود و از طرفی ایران با توجه به تعداد روزهای آفتابی نسبتاً بالا و مناطق کمتر برخوردار، پتانسیل خوبی برای بهره‌مندی از اجاق‌های خورشیدی دارد. هدف از این تحقیق، افزایش عملکرد حرارتی یک اجاق خورشیدی دوتابشی با مطالعه تجربی بر روی پوشش شیشه‌ای محفظه اجاق می‌باشد، به همین منظور، در محل پارک علم و فن‌آوری خراسان رضوی با طول و عرض جغرافیایی، ۵۴ و ۳۷ درجه، دو اجاق خورشیدی دوتابشی که در یکی از آنها شیشه معمولی و در دیگری شیشه دوجداره نصب شده است، مورد بررسی قرار گرفته‌اند. نتایج نشان داد که متوسط دمای آب و توان حرارتی اجاق دوتابشی با شیشه دوجداره بترتیب به میزان ۳/۹ ٪، ۱۱/۷ ٪ بیشتر از اجاق دوتابشی با شیشه معمولی می‌باشد و زمان به جوش رسیدن آب به میزان ۱۰/۵ ٪ کاهش یافته است و در آزمایشی دیگر اثر شفافیت پوشش شیشه‌ای مورد بررسی قرار گرفت که نتایج نشان داد در اجاق دوتابشی با پوشش شیشه‌ای شفاف بدون ناخالصی، متوسط دمای آب به میزان ۲/۱ ٪ بیشتر و زمان به جوش رسیدن آب به میزان ۶/۸ ٪ کاهش پیدا می‌کند.

واژه های کلیدی: اجاق خورشیدی دوتابشی، پوشش شیشه‌ای، انرژی خورشیدی، عملکرد حرارتی

www.SID.ir

مقدمه

خوشبختانه ایران از منظر جغرافیایی در موقعیتی قرار گرفته است که قابلیت دسترسی به تابش فراوان خورشیدی در بیشتر مناطق آن فراهم است، این موضوع مخصوصا امروزه با بحران‌های موجود، محققان را به تحقیق در زمینه بکارگیری و توسعه تجهیزات خورشیدی جذب کرده است. اهمیت این مسئله در مناطق روستایی و کمتر برخوردار که به علت عدم دسترسی به منابع سوختی، انرژی مورد نیاز خود را مخصوصا در فرایند پخت‌وپز، از طریق سوزاندن چوب درختان تامین می‌کنند، پررنگ‌تر است. در یک تعریف کلی، اجاق‌های خورشیدی مبدل‌های حرارتی هستند تا انرژی خورشیدی را به منظور فرایند پخت بکار گیرند و می‌توان آنها را بطور کلی یا ترکیبی جایگزین روش‌های مرسوم تامین انرژی قرار داد [۱]. همچنین به منظور برخی دیگر از فرایندها نظیر پاستوریزه و استریلزه کردن مورد استفاده قرار می‌گیرند [۲]. اما در تعریف تخصصی‌تر، یک اجاق خورشیدی وسیله‌ای است که گرمای خورشید را از طریق تمرکز پرتوهای آن بر روی یک سطح یا حبس آنها در یک فضای گلخانه‌ای مهار می‌کند و از آن برای امر پخت‌وپز استفاده می‌نماید [۳]. اجاق‌های خورشیدی به سه دسته عمده جعبه‌ای، متمرکزکننده و غیرمستقیم (با واسطه) تقسیم می‌شوند که در میان مدل‌های مختلف، مدل جعبه‌ای از جهت سادگی، حمل و نقل آسان، پرکاربردترین آنها می‌باشد [۴].

ساسر (Saussure) با قراردادن ۵ جعبه شیشه‌ای درون همدیگر و استقرار آن بر روی نوار باریک سیاه از جنس چوب در معرض تابش خورشید، اولین اجاق خورشیدی شناخته شده‌ای که قابل قیاس با اجاق‌های جعبه‌ای امروزی می‌باشد را مطرح کرد [۵]. در ادامه استفاده از آینه مقعر در اجاق متمرکزکننده که پرتوهای خورشید را در کانون خود متمرکز می کند، دماهای بالاتری نسبت به اجاق‌های جعبه‌ای ایجاد می‌کرد، اما طراحی سطوح صیقلی منحنی‌وار برای متمرکز کردن نور خورشید در یک ناحیه کوچک کمی پیچیده است از دیگر معایب آن توزیع غیریکنواخت حرارت بعلت تمرکز پرتوهای خورشید در یک نقطه است. از آنجاییکه محل استقرار اجاق‌های خورشیدی متناسب با انتظارات نیست در اجاق‌های غیرمستقیم، بکارگیری کلکتورهای خورشیدی یا لوله‌های گرمایی از طریق سیال عامل، منجر به انتقال حرارت به محل مورد استفاده شد [۶]. اشوارزر (Schwarzer) روش آزمایشگاهی به منظور محاسبه پارامترهای موثر بر عملکرد حرارتی ارائه کرد و همچنین روش ساده‌ای بر اساس معادلات تعادل انرژی به منظور طراحی اجاق‌های خورشیدی پیشنهاد داد [۷]. میل (Mill) اجاق متمرکزکننده مجهز به عدسی فرزنل تنظیم شونده و یک آینه تنظیمی فصلی به همراه کلکتور لوله خلاء ارائه داد که در واقع ذخیره حرارتی را فراهم می‌کند تا اجازه دهد که اجاق بطور دائمی در فضای داخلی ساختمان قرار داشته باشد [۸]. در سال ۲۰۰۲ آمر (Amer) در مقایسه صورت گرفته بین اجاق دوتابشی و اجاق جعبه‌ای ساده نشان داد که در اجاق دوتابشی زمان به جوش آمدن آب ۳۷ ٪ نسبت به اجاق جعبه‌ای ساده کاهش پیدا کرده است [۹]. .همچنین در راستای بهبود عملکرد حرارتی اجاق‌های خورشیدی، تحقیقاتی بر روی بهینه‌سازی اجزاء اجاق از جمله ظرف پخت و یا صفحه جاذب صورت گرفت که در ادامه به آنها اشاره شده است. در سال ۲۰۰۳ رائو (Rao) نشان داد که کف ظرف وقتی بر کف محفظه قرار می‌گیرد بدلیل اینکه هوا گرم نمی‌تواند در فاصله بین کف ظرف و سطح محفظه چرخش داشته باشد، انتقال حرارت به ظرف کمی کاهش می‌یابد [۱۰]. در سال ۲۰۰۵ در ادامه بررسی‌های رائو، بکارگیری یک حفره حلقوی در مرکز ظرف به علت افزایش سطح

Archive of SID

www.SID.ir

حرارتی و گردش هوای داخل محفظه، بهبود انتقال حرارت جابجایی داخل محفظه و توزیع یکنواخت تر دما را به همراه خواهد داشت و در مقایسه با یک ظرف معمولی زمان جوش آب ۲۰ تا ۲۵ دقیقه کاهش پیدا می‌کند [۱۱]. در سال ۲۰۰۷ مقایسه‌ای بین یک ظرف ساده و یک ظرف مجهز به فین صورت گرفت، نتایج برای یک اجاق خورشیدی دوتابشی، نشان داد که ۱۴ ٪ زمان جوش آب در ظرف مجهز به فین کاهش پیدا کرد [۱۲]. در سال ۲۰۱۰ یک اصلاح جزیی در صفحه جاذب یک اجاق خورشیدی جعبه ای از طریق نصب فین‌های ساده بر روی آن ۷ ٪ دمای داخل آن را افزایش داده و زمان جوش آب را نیز ۱۲ ٪ کاهش داده است [۱۳]. متاسفانه در میان تحقیقات صورت گرفته بر روی اجاق‌های خورشیدی در زمینه اجاق دوتابشی، اطلاعات کمی موجود می‌باشد، به همین علت در این تحقیق جهت بکارگیری تمامی پتانسیل موجود، اجاق دوتابشی که مزایا هر دو مدل جعبه‌ای و متمرکزکننده را بطور همزمان دارا می‌باشد معرفی و مورد مطالعه تجربی به منظور افزایش عملکرد حرارتی قرار گرفته است، در همین راستا با توجه به اهمیت جلوگیری از اتلاف حرارت در سیستم‌های خورشیدی، از آنجاییکه پوشش شیشه فوقانی یکی از اجزاءای است که در اتلافات حرارتی اجاق نقش مهمی دارد، با بکارگیری شیشه دوجداره به جای شیشه تک‌جداره سعی در کاهش اتلافات و در نتیجه افزایش توان حرارتی اجاق و کاهش زمان جوش آب شده است و همچنین از طرفی دیگر استفاده از شیشه شفاف بدون ناخالصی نیز در بهبود عملکرد حرارتی اجاق تاثیرگذار بوده است.

مشخصات اجاق خورشیدی دوتابشی

اجاق دوتابشی در واقع ترکیبی از یک اجاق جعبه‌ای و یک اجاق متمرکزکننده می‌باشد و در شکل۱ اجاق‌های دوتابشی که در این پژوهش مورد بررسی قرار گرفته‌اند را می توان مشاهده نمود.

شکل۱ – اجاق‌های دوتابشی

Archive of SID

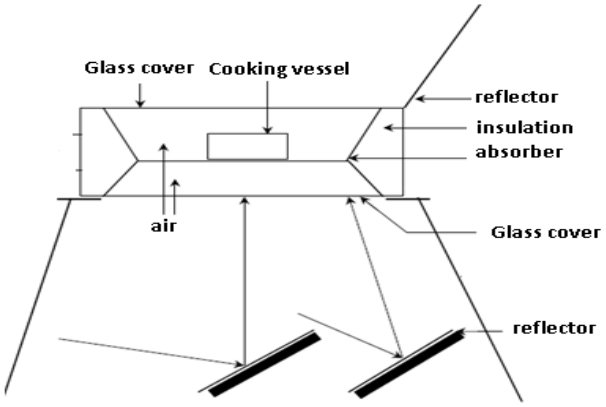
www.SID.ir

همانطور که در شکل۱ مشاهده می شود در ساختار یک اجاق دوتابشی، بطور کلی دو گروه منعکس‌کننده بکار گرفته شده است، یک گروه، شامل ۳منعکس‌کننده تخت که نقش تقویت‌کننده تشعشع خورشید را بر عهده دارند و یکی از آنها بطور میانی با ابعاد هندسی ۵۰×۵۰ سانتی‌متر و دو منعکس‌کننده دیگر بصورت جانبی با ابعاد هندسی ۵۰ ×۳۰ سانتی‌متر بر روی محفظه با زاویه مناسب نصب گردیده‌اند که درواقع آنها تابش خورشیدی را دریافت و به سمت محفظه هدایت می‌کنند تا در نهایت تشعشع منعکس شده به همراه تابشی که مستقیما از پوشش شیشه‌ای بالا عبور می‌کند توسط سمت رویین صفحه جاذب که در واقع مستطیلی از جنس فولاد سیاه با ابعاد هندسی ۴۵×۲۵ سانتی‌متر و با فاصله ۷ سانتی‌متر از کف محفظه قرارگرفته است و ظرف آب که در وسط صفحه گذاشته شده است، جذب شود از طرفی گروه دیگر شامل ۹ متمرکزکننده تخت با ابعاد هندسی ۲۰ × ۱۰ سانتی‌متر که در زیر محفظه با چیدمان سهموی، بر روی پروفیل سهمی قرار گرفته‌اند که درواقع آنها تابش دریافتی را به سمت زیرین صفحه جاذب، متمرکز می‌کنند تا از این طریق صفحه جاذب بر خلاف سایر اجاق‌های مرسوم هم از بالا و هم از پایین دریافت‌کننده تشعشع خورشیدی باشد و بعبارت دیگر صفحه جاذب از دو جهت در معرض تابش قرارگرفته است که این موضوع برتری اجاق دوتابشی را نسبت به سایر اجاق‌های مرسوم که تنها دریافت‌کننده تابش خورشیدی از بالا (مدل جعبه‌ای) و یا پایین (مدل متمرکزکننده) نشان می‌دهد. لازم به ذکر که سرتاسر دیوار داخلی محفظه به منظور انعکاس بیشتر تابش به سمت ظرف، توسط فویل آلومینیومی با ضخامت ۰/۱ میلی‌متر پوشانده شده است.

معادلات حاکم

تعادل انرژی هر جزء اجاق که در شکل۲ نشان داده شده است و از تشعشع خورشید، انرژی جذب می‌کند برابر است با جمع انرژی ذخیره شده ناشی از ظرفیت گرمایی مواد بکار رفته در ساخت اجزاء و حرارت اتلافی کل و انرژی مفید جزء[۹]:

$$q_{stored} = q_{absorbed} - q_{useful} - q_{loss} \qquad (۱)$$



شکل۲ – اجزاء اجاق دوتابشی[۹]

Archive of SID

در ادامه معادلات تعادل انرژی برای شیشه فوقانی ارائه گردیده است [۹].

(۲)

$$m_g c_g \frac{dT_g}{dt} = \alpha_g q_s + q_{v,al-g} - q_{v,g-amb} - q_{r,g-sky}$$

در رابطه۲، m_g جرم شیشه برحسب کیلوگرم، C_g حرارت مخصوص بر حسب (KJ/kgk)، T_g دمای شیشه، α_g ضریب جذب تابش، q_s انرژی ذخیره شده، $q_{v,a1-g}$ نرخ انتقال حرارت جابجایی بین هوای داخل محفظه با شیشه، $q_{v,g-amb}$ نرخ انتقال حرارت جابجایی بین شیشه و هوای بیرون، $q_{r,g-sky}$ نرخ انتقال حرارت تشعشع شیشه با فضای اطراف است [۹].

(۳)

$$q_s = A_g I_T + F_{ref-p} A_{ref} I_{T,ref}$$

در رابطه۳، A_g مساحت شیشه (m^2)، I_T تابش خورشیدی بر صفحه شیب دار (m/w^2)، F_{ref-p} ضریب دید منعکس کننده – صفحه جاذب، A_{ref} مساحت منعکس کننده (m^2)، $I_{T,ref}$ تابش خورشیدی منعکس کننده بر صفحه شیب دار (m/w^2) است[۹].

(۴)

$$q_{v,al-g} = h_{al-g} A_g (T_{al} - T_g)$$

در رابطه۴، h_{a1-g} ضریب جابجایی هوای داخل، T_{a1} دمای هوای داخل است [۹].

(۵)

$$q_{v,g-amb} = h_{g-amb} A_g (T_g - T_{amb})$$

در رابطه۵، h_{g-amb} ضریب جابجایی هوای بیرون، T_{amb} دمای هوای محیط است [۹].

(۶)

$$q_{r,g-sky} = \sigma \varepsilon_g A_g (T_g^4 - T_{sky}^4)$$

در رابطه۶، σ ثابت استفان بولتزمن و برابر ($w/m^2.k^4$) ۵/۶۷× ۱۰$^{-۸}$ است [۹].

(۷)

$$T_{sky} = T_{amb} - 6$$

شرایط و روش آزمایش

به منظور ایجاد شرایط استاندارد و مناسب در طول آزمایش دو اجاق خورشیدی دوتابشی در کنار همدیگر در موقعیت مکانی یکسان، بصورت موازی، مشابه و همزمان در معرض تشعشع خورشید قرار گرفته‌اند و به منظور دریافت بیشترین تابش خورشیدی، منعکس‌کننده‌های تخت تقویت‌کننده و چیدمان سهموی سیستم‌ها به طور مستمر، به صورت دستی تنظیم شدند،

Archive of SID

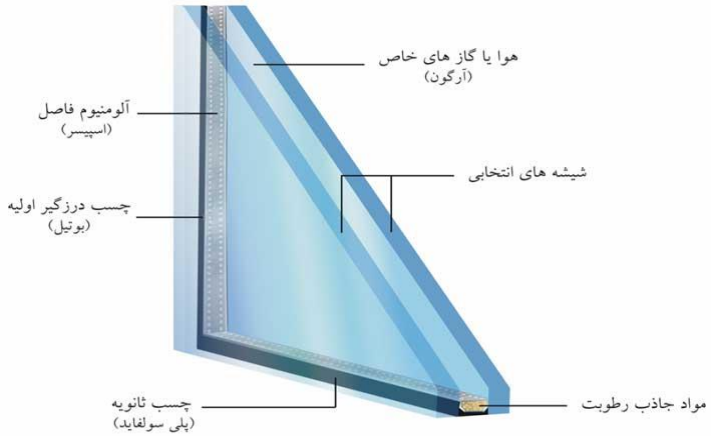
www.SID.ir

از طرفی با در نظر گرفتن حرکت خورشید در طول آزمایش، ضروریست بطور همزمان سیستم‌ها به سمت خورشید چرخانده شوند تا تابش مناسب را به مقدار برابر دریافت کنند.

همچنین باید توجه داشت که ظرف‌هایی با شکل و اندازه مشابه، حاوی مقدار مساوی آب با دمای اولیه برابر، بر روی صفحه‌های جاذب با مشخصات یکسان، همزمان قرار داده می شوند و در ادامه، پوشش شیشه‌ای فوقانی دو سیستم که نقش مهمی در ایجاد فضای گل‌خانه‌ای ایفا می‌کند، همزمان بر روی محفظه قرار می‌گیرد و با توجه به اهمیت درزبندی سیستم، جهت جلوگیری از هدر رفتن هوای گرم داخل محفظه، هر دو اجاق بطور همزمان و مشابه ایزوله می‌شوند تا در نهایت دمای آب داخل ظروف، توسط ترموکوپل‌هایی از نوع نیکل کروم (NiCr- Ni) k، با دقت ۰/۵ درجه سانتی‌گراد و تابش توسط سولارمتر (TES-1333) با دقت ۱۰ w/m^2 و همچنین زمان به جوش رسیدن آب در اجاق‌های خورشیدی اندازه‌گیری شود.

نتایج آزمایشگاهی

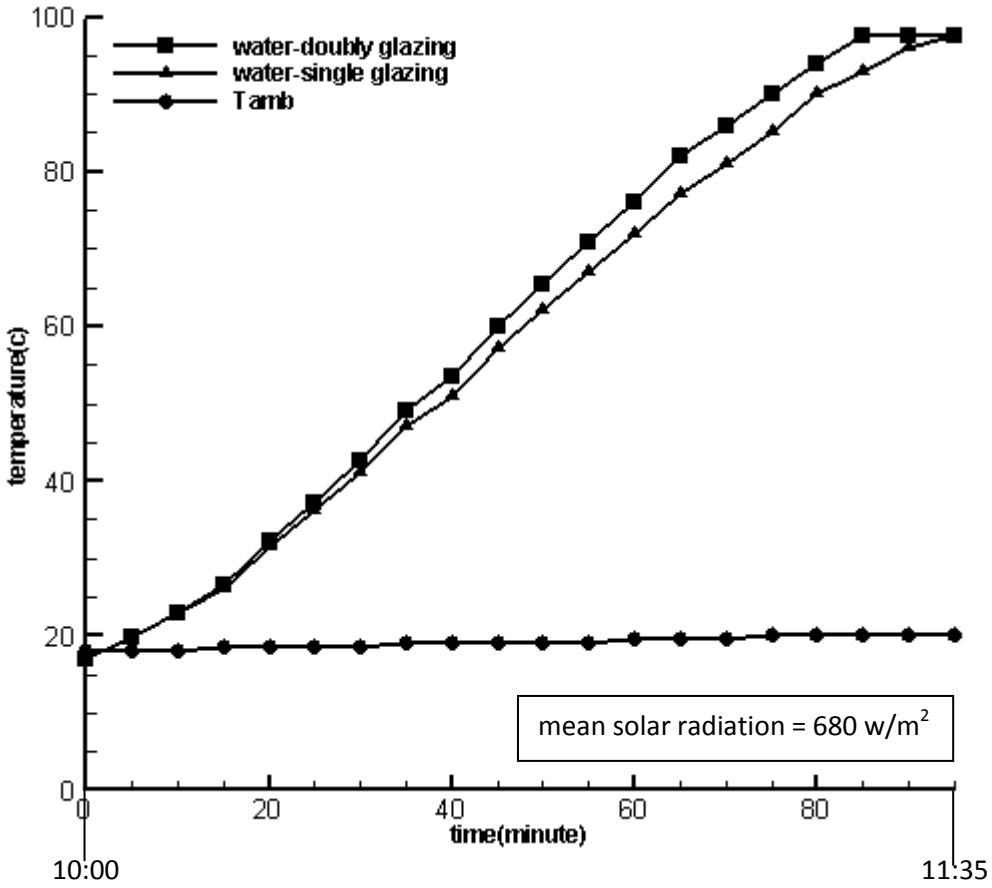
با توجه به اینکه پوشش شیشه‌ای همواره به عنوان عامل مهمی در اتلافات حرارتی سیستم‌های خورشیدی مطرح می‌گردد در این تحقیق برای کاهش اتلافات حرارتی پوشش شیشه‌ای فوقانی، از شیشه دو جداره با ضخامت ۱۶ میلیمتر به جای شیشه معمولی به ضخامت ۴ میلیمتر استفاده شده است، چراکه اساس شیشه‌های دو جداره بر مبنای ایجاد یک فضای خالی پر از هوای خشک و یا استفاده از یک گاز بی اثر مانند گاز آرگون بین دو صفحه شیشه‌ای می‌باشد که تا حد قابل توجه‌ای از انتقال حرارت هدایت نسبت به شیشه تک جداره جلوگیری می‌شود [۱۴]. با توجه به اینکه گازهای بی اثر نظیر آرگون، کریپتون و گزنون نسبت به هوا نارساناتر هستند، شیشه‌های دو جداره از این نوع موثرتر از مدل هوای میانی عمل می‌کنند، در شکل ۳ می‌توان نمونه‌ای از یک شیشه دو جداره را مشاهده نمود.



شکل۳ – شیشه دوجداره[۱۴]

Archive of SID

به همین منظور تغییرات دمای محیط اطراف و دمای ۱ لیتر آب با دمای اولیه ۱۸ درجه سانتی‌گراد در اجاق‌های دوتابشی که یکی مجهز به شیشه دوجداره و در دیگری شیشه معمولی بکار رفته است برای فواصل زمانی ۵ دقیقه ثبت و مورد بررسی قرار گرفته است و نتایج آن در شکل۴ قابل مشاهده می‌باشد، لازم به ذکر است که این آزمایش در محل پارک علم و فن‌آوری خراسان رضوی با طول و عرض جغرافیایی، ۵۴ و ۳۷ درجه، در شرایطی که متوسط تابش دریافتی ۶۸۰ w/m^2 و متوسط دمای محیط ۱۹ درجه سانتی‌گراد می باشد، صورت گرفته است.



شکل۴- مقایسه تغییرات دمای آب برای دو حالت پوشش شیشه‌ای تک جداره و پوشش شیشه‌ای دو جداره

همانطور که از شکل۴ قابل مشاهده است، دمای آب برای هر دو اجاق خورشیدی در ۱۵ دقیقه ابتدایی یکسان می‌باشد و این موضوع بیانگر این است که اثر بکارگیری شیشه دوجداره با تاخیر زمانی، بر دمای آب خود را نشان می‌دهد چراکه شیشه دوجداره در واقع نقش مهمی در جلوگیری از اتلاف حرارت هدایت شیشه دارد و با توجه به اینکه گرم شدن هوای داخل محفظه و تاثیر آن بر روی دمای سطح داخلی شیشه، احتیاج به کمی زمان دارد در نتیجه بکارگیری شیشه دو جداره به جای تک جداره در زمان‌های ابتدایی، هنوز تاثیر چندانی بر دمای آب ندارد، در جدول۱ نتایج مرتبط با زمان به جوش رسیدن آب و

www.SID.ir

توان حرارتی برای اجاق دوتابشی مجهز به پوشش شیشه‌ای دوجداره و تک جداره با یکدیگر مقایسه شده است.

جدول۱- تاثیر بکارگیری شیشه دوجداره بر روی زمان جوش، توان حرارتی و متوسط افزایش دمای آب

شیشه دوجداره	شیشه تک جداره	نوع پوشش شیشه‌ای فوقانی
۸۵	۹۵	زمان به جوش رسیدن آب (دقیقه)
۶۵/۷	۵۸/۸	توان حرارتی (w)
٪۱۰/۵		درصد کاهش زمان جوش نسبت به شیشه تک جداره
٪۱۱/۷		درصد افزایش توان حرارتی نسبت به شیشه تک جداره
٪۳/۹		درصد متوسط افزایش دمای آب نسبت به شیشه تک جداره

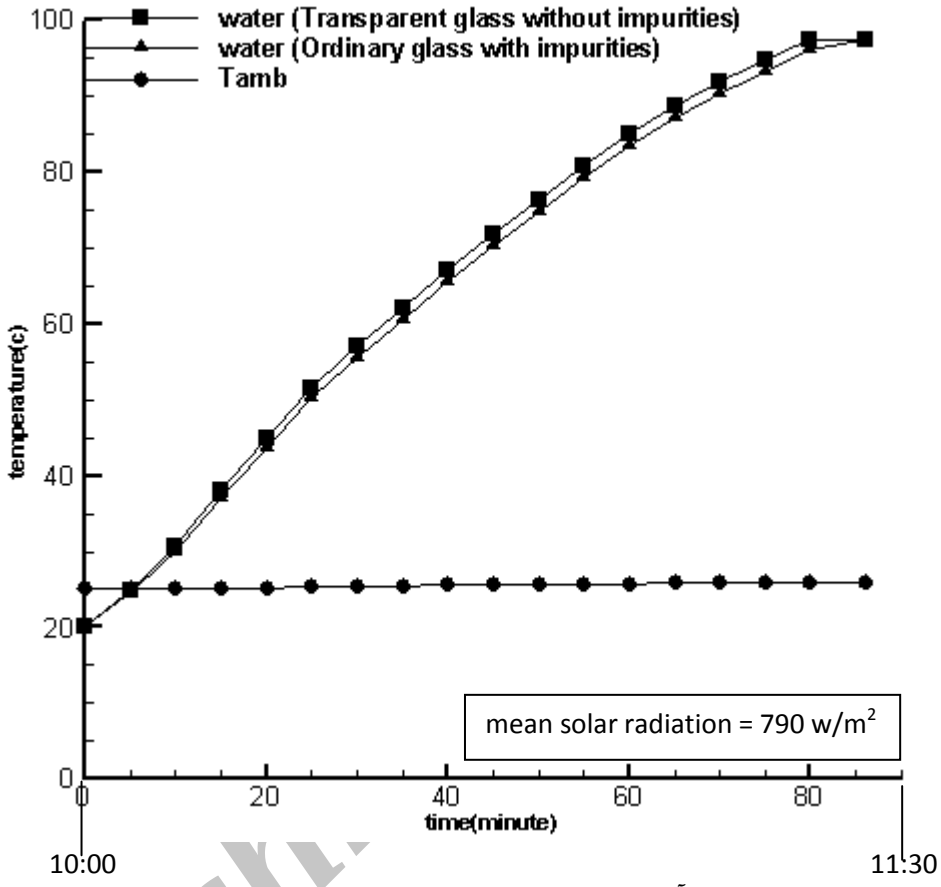
در ادامه با توجه اهمیت پوشش شیشه‌ای فوقانی در ایجاد فضای گل‌خانه‌ای، اثر شفافیت آن بررسی شده است در همین راستا، ظرف حاوی مقدار ۱ لیتر آب با دمای اولیه ۲۰ درجه سانتی‌گراد در اجاق‌های دوتابشی که یکی مجهز به شیشه شفاف بدون ناخالصی و در دیگری شیشه معمولی بکار رفته است، مورد بررسی قرار گرفته است که نتایج مرتبط با توان حرارتی، زمان به جوش رسیدن و متوسط افزایش دما در جدول۲ و نتایج مرتبط با تغییرات دمای آب در شکل۵ قابل مشاهده است این آزمایش در شرایطی که متوسط تابش دریافتی $۷۹۰ w/m^2$ و متوسط دمای محیط ۲۵ درجه سانتی‌گراد می باشد، صورت گرفته است.

جدول۲- تاثیر بکارگیری شیشه شفاف بدون ناخالصی بر روی زمان جوش، توان حرارتی و متوسط افزایش دمای آب

شیشه شفاف بدون ناخالصی	شیشه معمولی	نوع پوشش شیشه‌ای فوقانی
۸۰	۸۶	زمان به جوش رسیدن آب (دقیقه)
٪ ۶/۸		درصد کاهش زمان جوش نسبت به شیشه معمولی
٪ ۷/۵		درصد افزایش توان حرارتی نسبت به شیشه معمولی
٪ ۲/۱		درصد متوسط افزایش دمای آب نسبت به شیشه معمولی

Archive of SID

www.SID.ir



شکل۵- مقایسه تغییرات دمای آب برای دو حالت پوشش شیشه‌ای شفاف بدون ناخالصی و پوشش شیشه‌ای معمولی

با توجه به افزایش ۱۱/۵ ٪ توان حرارتی برای اجاق مجهز به شیشه دوجداره در مقایسه با افزایش ۷/۵ ٪ توان برای اجاق مجهز به شیشه شفاف بدون ناخالصی، جایگزینی شیشه دوجداره امریست ضروری در حالیکه برای شیشه شفاف بدون ناخالصی بهتر است که با درنظر گرفتن صرفه اقتصادی، جایگزینی صورت گیرد و یا در طرح های تجاری این مسئله لحاظ گردد.

نتیجه‌گیری

برتری اجاق دوتابشی نسبت به سایر اجاق‌های مرسوم، به علت ساختار منحصر به فرد آن می باشد چراکه سطح زیرین صفحه جاذب و سطح رویین آن به ترتیب توسط متمرکزکننده‌های چیدمان سهموی و منعکس‌کننده‌های تخت تقویت‌کننده در معرض تابش خورشیدی قرار گرفته است، بنابراین به منظور جلوگیری از اتلاف حرارت از پوشش شیشه‌ای، با بکارگیری شیشه دوجداره به جای شیشه تک‌جداره، متوسط دمای آب و توان حرارتی بترتیب به میزان ۳/۹ ٪، ۱۱/۷ ٪ افزایش و زمان

www.SID.ir

بجوش رسیدن آب به میزان ۱۰/۵ ٪ کاهش یافته است و همچنین بطور مشابه نتایج برای بکارگیری شیشه شفاف بدون ناخالصی به جای شیشه معمولی بترتیب به میزان ۲/۱ ٪، ۷/۵ ٪ و ۶/۸ ٪ می‌باشد که از مقایسه نتایج بدست آمده برای افزایش توان حرارتی، استفاده از شیشه دوجداره امریست ضروری درحالیکه بکارگیری شیشه شفاف بدون ناخالصی، صرفه اقتصادی ندارد اما می‌توان در طرح های تجاری به عنوان اجاق خورشیدی با توان حرارتی بهتر پیشنهاد گردد.

تشکر و قدردانی

باتشکر از پژوهشکده صنایع غذایی پارک علم و فن‌آوری خراسان رضوی و جناب آقای دکتر فائزیان که اینجانب را در انجام این پژوهش یاری کردند.

مراجع

[1] Klemens Schwarzera , Maria Eugˆenia Vieira da Silvab,“Solar cooking system with or without heat storage for families and institutions”, solar energy, 2003, 75, 35-41.
[2] Kerr B, Scott J, “Use of the solar panel cooker for medical pressure steam sterilization”, Solar cookers and food processing international conference, 2006.
[3] http://science.howstuffworks.com/environmental/green-science/solar-cooking.
[4] Saxena A, Varun, Pandey SP, Srivastav G. A, “thermodynamic review on solar box type cookers”, Renewable and Sustainable Energy reviews, 2011, 15, 3301–3318.
[5] http//www.solarcooker.org.
[6] Mehmet Esen, “Thermal performance of a solar cooker integrated vacuum-tube collector with heat pipes containing different refrigerants”,solar energy, 2003, 76, 751-757.
[7] Klemens Schwarzer, Maria Eugeˆnia Vieira da Silva, “Characterisation and design methods of solar cookers”, Solar Energy, 2008, 82, 157-163.
[8] Mills RDavid, Maoyin Qin, Sun World, 1987, 11, 2-44.
[9] Emad H. Amer, “Theoretical and experimental assessment of a double exposure solar cooker”, Energy Conversion and Management, 2002, 44, 2651–2663.
[10] A.V. Narasimha Rao, S. Subramanyam, “Solar cookers—part I: cooking vessel on lugs”, Solar Energy, 2003, 75, 181–185.
[11] A.V. Narasimha Rao, S. Subramanyam, “Solar cookers—part-II—cooking vessel with central annular cavity”, Solar Energy, 2005, 78, 19–22.
[12] Arezki Harmim *, Mebarek Boukar, M’hamed Amar, “Experimental study of a double exposure solar cooker with finned cooking vessel”, Solar Energy, 2007, 82, 287–289.
[13] A. Harmim, M.Belhamel, M. Boukar, M. Amar, “Experimental investigation of a box-type solar ooker with a finned absorber plate”, Energy, 2010, 35, 3799-3802.
[14] http://damapan.ir/RS/Image.

Archive of SID

www.SID.ir