

## کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای در بخش پخت‌وپز با استفاده از اجاق‌های خورشید (مطالعه موردی: طراحی و ساخت دو اجاق خورشیدی جعبه‌ای)

امیرحسین فتحی<sup>۱\*</sup>، محمدباقر ربانی فرد<sup>۲</sup>، امیرمهدی کماریزاده<sup>۳</sup>، رکسانا احیایی آیت‌اله‌زاده<sup>۴</sup>، محمد صالحی<sup>۵</sup>، کیانوش چوبینه<sup>۶</sup> و لاله قهرمانی<sup>۷</sup>

۱. استادیار، دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه شیراز

۲. دانش‌آموخته مقطع کارشناسی، دانشکده علوم پایه، گروه فیزیک، دانشگاه قم

۳. دانش‌آموخته مقطع کارشناسی ارشد مهندسی سیستم‌های انرژی، دانشگاه علوم و تحقیقات تهران

۴. دانشجوی مقطع کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه شیراز

۵. دانش‌آموخته مقطع کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی انرژی، دانشگاه صنعتی شریف

۶. دانشجوی مقطع دکتری، دانشکده علوم و فنون نوین، دانشگاه تهران

۷. دانش‌آموخته مقطع کارشناسی ارشد مهندسی نفت اکتشاف، دانشکده مهندسی معدن، دانشگاه صنعتی اصفهان

(تاریخ دریافت ۱۴۰۰/۱۰/۰۱؛ تاریخ بازنگری ۱۴۰۰/۱۱/۳۰؛ تاریخ تصویب ۱۴۰۰/۱۲/۲۷)

### چکیده

بررسی‌ها نشان می‌دهند سهم قابل توجهی از مصرف انرژی به بخش پخت‌وپز اختصاص می‌یابد. از آنجا که بیشتر پخت‌وپز با سوزاندن گاز طبیعی یا استفاده از انرژی الکتریکی تولیدشده با استفاده از گاز طبیعی صورت می‌پذیرد، پخت‌وپز تأثیر قابل توجه بر انتشار گازهای گلخانه‌ای دارد. از این‌رو، مقاله پیش رو به طراحی دو اجاق خورشیدی مستقیم از نوع جعبه‌ای می‌پردازد. اجاق طراحی شده می‌تواند از نظر قیمت، کارایی و مطلوبیت استفاده با اجاق‌های گازی مرسوم رقابت کند. در طراحی اجاق خورشیدی جعبه‌ای مجهز شده به بازتابنده مخروطی، امکان استقرار دابسونی فراهم شده است. این مهم سبب می‌شود تا شدت تابش خورشید به درون فضای داخلی اجاق قابل تنظیم و امکان تحقق شدت تابش بیشتر فراهم آید. در نمونه طراحی شده دیگر در این مطالعه، از امکان تغییر زاویه صفحات بازتابنده برای انتخاب زاویه بهینه و در نتیجه آن، افزایش شدت تابش خورشیدی به فضای درونی اجاق خورشیدی استفاده شده است. هر دو اجاق خورشیدی پس از طراحی، ساخته شده‌اند. بررسی نتایج عملی نشان می‌دهد در اوایل مهرماه، هر دو اجاق خورشیدی امکان رساندن دمای آب از  $20^{\circ}\text{C}$  به  $80^{\circ}\text{C}$  طی مدت زمان نزدیک به  $3000\text{ s}$  را دارند، اما اجاق خورشیدی مجهز به بازتابنده مخروطی و استقرار دابسونی، امکان تحقق دماهای بیشتر نسبت به اجاق خورشیدی مجهز به صفحات متحرک و ثابت را فراهم می‌آورد. این مهم را می‌توان به دلیل نسبت مساحت بیشتر صفحات بازتابنده به حجم اجاق و امکان قرارگیری در موقعیت بهتر جهت دسترسی به تابش بیشتر خورشیدی به سطح اجاق دانست.

**کلمات کلیدی:** اجاق خورشیدی جعبه‌ای، انرژی خورشیدی، بازتابنده صفحه‌ای، بازتابنده مخروطی، بهبود عملکرد، کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای، کاهش مصرف سوخت‌های فسیلی.

## مقدمه

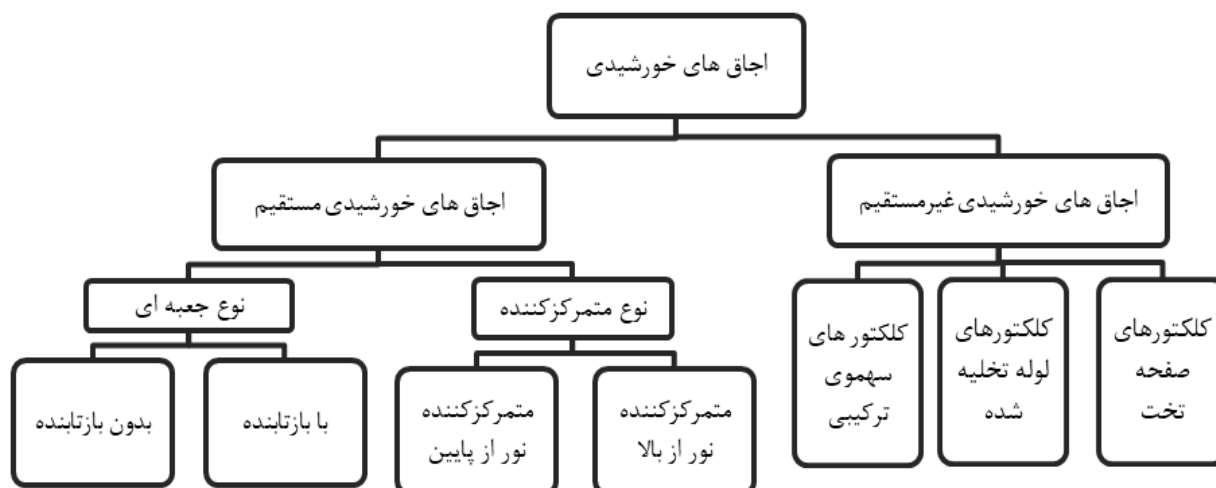
می‌توان مصرف انرژی در یک ساختمان را به هفت بخش سرمایه‌ش، گرمایش، بهداشتی، پخت‌وپز، روشنایی، تجهیزات الکتریکی و یخچال/فریزر طبقه‌بندی کرد. سهم هر بخش و میزان مصرف انرژی در هر بخش تابعی از موقعیت جغرافیایی، درآمد، فرهنگ، امید به آینده و پارامترهای متعدد دیگر است. به طور نمونه، ۶ درصد مصرف انرژی در بخش خانگی در کشور کره جنوبی، مربوط به پخت‌وپز می‌شود [۱]. در حالی که مقدار مصرف انرژی در بخش اداری به منظور پخت‌وپز، ۲۳ درصد گزارش شده است [۲]. بیشتر حامل انرژی نهایی مورد مصرف برای پخت‌وپز، الکتریسته و گاز طبیعی است. در بسیاری از موارد، تولید الکتریسته بر پایه گاز طبیعی است. از این‌رو، پخت‌وپز همراه با انتشار گازهای گلخانه‌ای است. استفاده از اجاق خورشیدی می‌تواند بخشی از انتشار گازهای گلخانه‌ای به دلیل پخت‌وپز را کاهش دهد. بیشترین مانع پیشروی استفاده از اجاق‌های خورشیدی را می‌توان به مناسب نبودن برای زندگی‌های آپارتمانی، کاربری آسان‌تر اجاق‌های تجاری مرسوم، هزینه زیاد، دسترس نبودن انرژی خورشیدی در تمام لحظات و کنترل‌پذیری کم (در مقایسه با اجاق‌های تجاری مرسوم) برشمرد. با این‌همه، اجاق خورشیدی نوعی فناوری است که از انرژی خورشیدی برای پخت یا گرم کردن غذا

استفاده می‌کند. پخت‌وپز خورشیدی مزایایی مانند در دسترس بودن همه‌جا و بدون هزینه انرژی، صرفه‌جویی در مصرف هیژم و سوخت‌های فسیلی، کاهش مشکلات ناشی از آلاینده‌هایی همچون اکسیدهای نیتروژن، دی‌اکسید کربن و غیره را دارد که بر محیط محلی، منطقه‌ای و جهانی تأثیر می‌گذارند. دو دسته کلی اجاق‌های خورشیدی مستقیم و غیرمستقیم وجود دارد [۳].

**اجاق خورشیدی مستقیم**، در معرض تابش خورشید است و مستقیم از انرژی خورشیدی برای پخت غذا استفاده می‌کند. اجاق‌های خورشیدی مستقیم به دو نوع جعبه‌ای و متمرکزکننده تقسیم می‌شوند. خصوصیات انواع اجاق‌های خورشیدی مستقیم در مراجع [۴ و ۵] گزارش شده است.

**اجاق‌های خورشیدی غیر مستقیم** شامل کلکتور جاذب خورشیدی است. در این مدل از اجاق‌ها، کلکتور خورشیدی در معرض آفتاب قرار دارد، در حالی که واحد پخت‌وپز داخل ساختمان است [۶]. اجاق‌های خورشیدی غیرمستقیم عموماً بر اساس نوع کلکتورهای جاذب خورشیدی طبقه‌بندی می‌شوند. به طور نمونه، می‌توان به کلکتورهای صفحه تخت [۷]، کلکتورهای لوله تخلیه‌شده [۸] و کلکتورهای سهموی ترکیبی [۹] اشاره کرد.

شکل ۱، دسته‌بندی اجاق‌های خورشیدی را نشان می‌دهد.



شکل ۱. دسته‌بندی اجاق‌های خورشیدی [۱۰]

بررسی کردند [۱۷]. سیستم مورد مطالعه، شامل یک اجاق خورشیدی نوع جعبه‌ای معمولی همراه با گوی‌های کوچک توخالی مسی، یک مجرای هوا، یک لامپ هالوژن و یک فن برای گردش هوای گرم داخل اجاق است. نتایج نشان می‌دهد قدرت پخت و کارایی حرارتی اجاق خورشیدی به ترتیب ۶۰/۲۰ وات و ۴۵/۱۱ درصد است.

کومار<sup>۱۰</sup> و همکاران (۲۰۱۸) تلفات گرما در اجزای مختلف قابلمه پخت‌وپز در یک اجاق خورشیدی متمرکزکننده (ظرف سهموی) را تجزیه و تحلیل کردند [۱۸]. همچنین، در مطالعه یادشده اثر سرعت باد و دمای محیط را بر تلفات گرما کمی شد. براساس نتایج به دست آمده قسمت اصلی تلفات گرما به دلیل انتقال گرما از طریق همرفت و تابش در سطح جانبی قابلمه پخت‌وپز است.

در یک تحقیق عددی، کومارسان<sup>۱۱</sup> و همکاران (۲۰۱۸) عملکرد اجاق گاز خورشیدی غیرمستقیم را با مانیتول<sup>۱۲</sup> به عنوان ماده تغییر فاز تجزیه و تحلیل کردند [۱۷]. در پژوهش یادشده از ترمینول ۵۵ به عنوان مایع انتقال گرما از طریق یک کلکتور خورشیدی سهموی در سیستم توسعه داده شده استفاده شد. نتایج به دست آمده نشان می‌دهد کارایی کلی سیستم ۹ درصد است و راندمان واحد پخت‌وپز، ۴۱ درصد است.

ابوحمد<sup>۱۳</sup> و آلفایه<sup>۱۴</sup> (۲۰۱۹) یک اجاق خورشیدی مجهز به ذخیره‌ساز حرارتی توسعه دادند که در شکل ۲ نشان داده شده است [۱۹]. در این اجاق، استامید نوع تجاری<sup>۱۵</sup> با نقطه ذوب ۸۲°C در کپسول‌های آلومینیوم پرشده، در مرکز کانون سهموی شمال جنوبی برای جمع‌آوری انرژی قرار می‌گیرد. همچنین، کپسول‌هایی با مواد تغییر فاز ذوب‌شده به صورت عمودی در یک ظرف عایق گرد، بالای ظرف پخت، قرار می‌گیرد. هوا از پایین ظرف به بالا منتقل می‌شود تا گرما را از کپسول مواد تغییر فاز خارج شده و با همرفت به ظرف پخت‌وپز منتقل شود. نتایج استفاده از این سیستم نشان می‌دهد امکان پخت برنج در این دستگاه از گرمای ذخیره‌شده وجود دارد.

تاریخ پخت‌وپز خورشیدی بسیار قدیمی است. در سال ۱۷۶۷، برای اولین بار نیکلاس دو سوسور<sup>۱</sup> از انرژی خورشیدی برای پخت میوه استفاده کرده است [۱۱]. در سال ۱۸۷۶ آدامز<sup>۲</sup> اجاق خورشیدی‌ای از اجاق هشت‌ضلعی با هشت آینه طراحی کرد. دبیر آ.اس.آی<sup>۳</sup>، ابوت<sup>۴</sup> اولین مخترع ثبت‌شده اجاق‌های خورشیدی بود که در آن گیرنده گرمای خورشید بیرون از خانه بود، اما اجاق گاز درون خانه قرار داشت. انرژی گرما از گیرنده خورشیدی توسط مایعات حرارتی به اجاق گاز منتقل می‌شود [۱۲]. در دهه ۱۹۴۰، در ایالات متحده آمریکا، تلکس<sup>۵</sup> انواع مختلفی از اجاق گازهای خورشیدی را تحقیق کرد که شامل نوع ذخیره گرما نیز می‌شد [۱۳]. در سال ۱۹۴۵، اجاق گاز جعبه‌خورشیدی توسط گاش<sup>۶</sup> تجاری شد که اولین نوع آن بود [۱۴].

در ادامه، بخشی از مطالعات علمی منتشرشده بررسی شده است. در مطالعه مروری، نخونجرا<sup>۷</sup> و همکاران (۲۰۱۷) تأثیر استفاده از مواد ذخیره‌کننده حرارت محسوس و نهان بر عملکرد اجاق‌های خورشیدی مختلف را ارزیابی کردند [۱۵]. آنان از مواد تغییر فاز آلی با قابلیت استفاده به طور مکرر در اجاق‌های خورشیدی بهره بردند. در مطالعات قبلی معمولاً از ظروف مستطیلی و استوانه‌ای در ساختار اجاق‌های خورشیدی با مواد ذخیره گرما استفاده می‌کرده‌اند.

گیدارا<sup>۸</sup> و همکاران (۲۰۱۷) به صورت عددی و آزمایشی تأثیر بازتابنده بیرونی بر عملکرد اجاق خورشیدی نوع جعبه‌ای را مورد بررسی قرار دادند [۱۶]. برای این منظور، آنها دو اجاق خورشیدی در نظر گرفتند: با چهار بازتابنده بیرونی و بدون بازتابنده خارجی. آنها به این نتیجه رسیدند که حداکثر دمای صفحه جاذب اجاق خورشیدی با چهار بازتابنده بیرونی حدود ۶۴/۲ درصد بیشتر از اجاق بدون بازتابنده است.

در یک مطالعه تجربی، ساکسنا و آگاروال<sup>۹</sup> (۲۰۱۸) یک اجاق خورشیدی نوع جعبه جدید با مجرای هوا را

10. Kumar et al

11. Kumaresan et al

12. D-Mannitol,  $C_6H_{14}O_6$ 

13. Abu-Hamdeh NH

14. Alnefaie KAJSE

15. Acetamide of commercial grade

1. Nicholas de-Saussure

2. Adams

3. A.S.I.

4. Secretary of the A.S.I., Abbot

5. Telkes

6. Ghosh

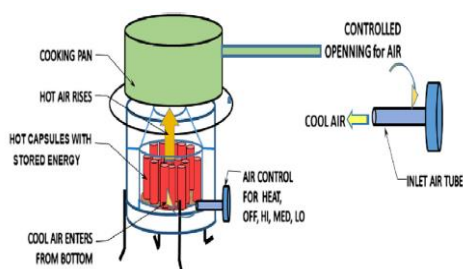
7. Nkhonjera et al

8. Guidara et al

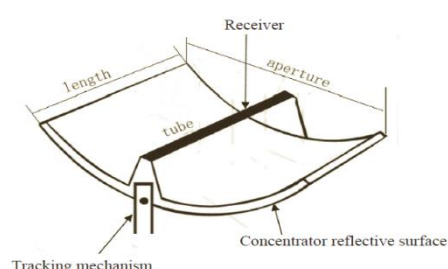
9. Saxena A, Agarwal NJSE



(a) برج خورشیدی از ابوحمده و النفای میجهز به مخازن ذخیره‌سازی حرارتی، گیرنده و برج و مبدل حرارتی [۲۰]



(b) نمودار شماتیک عملکرد اجاق گاز با استفاده از کپسول PCM [۱۹]



(c) بازتاب‌کننده سهموی ساخته‌شده برای بلند کردن لوله‌های پر شده با PCM [۱۹]

## شکل ۲. اجاق خورشیدی مجهز به ذخیره‌سازی حرارتی توسعه‌یافته توسط ابوحمده و آلفنایبی [۱۷]

اجاق خورشیدی طراحی شد. این اجاق خورشیدی قابلیت پخت‌وپز در شب را نیز دارد. بهیو<sup>۴</sup> و همکاران (۲۰۲۰) اجاق خورشیدی با ذخیره‌ساز حرارتی با کمک استفاده از فین‌ها برای افزایش سرعت انتقال حرارت و نمک خورشیدی به عنوان مواد تغییر فاز برای پخت‌وپز با دمای زیاد را بررسی کردند [۲۳]. نتایج پژوهش آنها نشان می‌دهد اجاق خورشیدی طراحی‌شده قادر است دمای سرخ کردن مطلوب، ۱۷۰ - ۱۸۰ درجه سانتی‌گراد، برای روغن هنگام پخت‌وپز در داخل خانه با قابلیت ۱۱۰ دقیقه ذخیره انرژی حرارتی را فراهم آورد. گستره وسیع دسترس بودن انرژی خورشیدی، ساخت آسان، اهمیت یافتن کاهش مصرف انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای سبب شده است مطالعات فراوان در خصوص بهبود عملکرد و اصلاح طراحی صورت پذیرد، اما همچنان می‌توان از طراحی‌های جدید مرسوم در سایر فناوری‌ها برای بهبود عملکرد اجاق‌های خورشیدی بهره برد. در این پژوهش دو اجاق خورشیدی از نوع جعبه‌ای ارائه می‌شود.

حسین‌زاده<sup>۱</sup> و همکاران (۲۰۲۰) تأثیر پارامترهای طراحی و همچنین، هوا بر عملکرد اجاق خورشیدی لوله تخلیه‌شده را بررسی کردند [۲۱]. در این مطالعه، از روش تاگوچی<sup>۲</sup> برای به دست آوردن عملکرد مطلوب اجاق خورشیدی استفاده شده است. نتایج استفاده از این اجاق نشان می‌دهد تغییر تابش خورشید تأثیر کمی روی کارایی اجاق خورشیدی لوله تخلیه دارد، در حالی که تأثیر آن بر قدرت حرارتی مفید اجاق خورشیدی قابل توجه است. فشار مطلق محفظه خلأ مؤثرترین پارامتر در کارایی اجاق خورشیدی لوله تخلیه است و در شرایط مطلوب  $10^{-6}$  پاسکال است.

ادیل<sup>۳</sup> و همکاران (۲۰۲۰) به بررسی بهبود عملکرد اجاق‌های خورشیدی با استفاده از مواد تغییر فاز به عنوان یک فناوری ذخیره‌ساز انرژی گرمایی متمرکز، پرداخته‌اند [۲۲]. با کمک سیستم ذخیره‌ساز مواد تغییر فاز که قادر به انتقال انرژی گرمایی برای مدت زمان طولانی‌تر است،

1. Hosseinzadeh et al  
2. Taguchi method  
3. Adil et al

4. Bhavet et al

حدودی میزان کاهش دمای ظرف مواد غذایی را آهسته می‌کند و سبب تداوم بیشتر فرایند پخت می‌شود. علاوه بر این بخش، خازن سبب ایجاد یک جریان جابه‌جایی هوای گرم درون محفظه می‌شود. به این ترتیب، از محبوس شدن هوای داغ در قسمت بالایی محفظه و هدررفت حرارتی ناشی از آن می‌کاهد.

– **بخش هیبریدی:** به عنوان انرژی کمکی در شرایط کمبود تابش خورشیدی در این اجاق خورشیدی از یک المنت برقی کنترل‌شده نیز در قسمت خازن حرارتی استفاده شده است.

– **بخش استقرار دابسونی<sup>۱</sup>:** علاوه بر استفاده از اثر خازنی برای تداوم پخت در این اجاق خورشیدی، از استقرار دابسونی نیز استفاده شده است که دنبال کردن خورشید به صورت دستی را بسیار آسان می‌کند. وجود بالشتک‌هایی از جنس پلیکا بین دیسک چوبی متصل به محفظه و دیواره پایه برای تنظیم زاویه ارتفاع و دو لایه طلق آغشته به کمی روغن در زیر پایه برای تنظیم سمت، حرکت نرم و روانی را به این اجاق خورشیدی می‌بخشد. استقرار دابسونی ایده‌ای برگرفته از تلسکوپ دابسونیان است که به نام مخترع آن، جان دابسون، است. این تلسکوپ‌ها می‌توانند در مهمانی‌های ستاره‌ای در قلمروی ۲۴ اینچ و بزرگ‌تر خودنمایی کنند. این تلسکوپ‌ها دارای نسبت کانونی سریع برای کاهش اندازه ساختارهای پشتیبانی آینه‌های اولیه و ثانویه هستند. از تلسکوپ‌های دابسونیان و آینه بزرگ اصلی آنها در درجه اول برای کشیدن اسیلوسکوپ‌های ذخیره‌سازی دیجیتال<sup>۲</sup> و سیارک‌ها و ستاره‌های دنباله‌دار کم‌نور استفاده می‌شود [۲۳].

• **درب اجاق خورشیدی:** درب بدنه استوانه‌ای اجاق خورشیدی از کف اجاق است و شیوه باز شدن آن به صورت تلسکوپ‌ی طراحی شده است.

طراحی بخش متمرکزکننده هر دو اجاق نسبت به سایر اجاق‌ها تا حدودی اصلاح شده است. همچنین، یکی از دو اجاق امکان استقرار دابسونی را فراهم می‌آورد.

### طراحی دو اجاق خورشیدی

در این پژوهش دو اجاق خورشیدی جعبه‌ای طراحی شده است. مدل نخست از بازتابنده مخروطی مجهز به استقرار دابسونی و مدل دیگر، از صفحات بازتابنده متحرک و ثابت به همراه ذخیره‌ساز انرژی ارزان‌قیمت بهره‌مند است.

### اجاق خورشیدی جعبه‌ای مجهز به بازتابنده مخروطی و استقرار دابسونی

نمایی از اجاق خورشیدی جعبه‌ای مجهز به بازتابنده مخروطی در شکل ۳ نشان داده شده است. بدنه این اجاق خورشیدی از بخش‌های زیر تشکیل شده است:

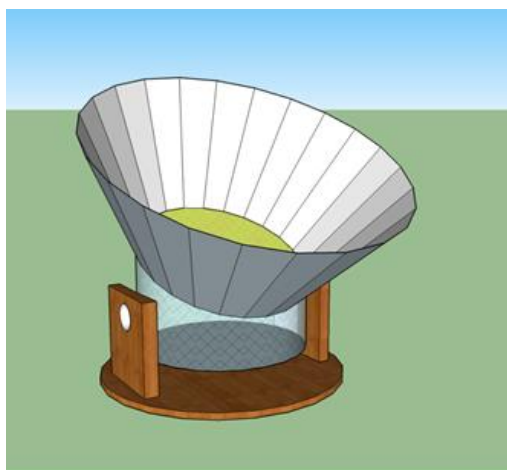
• **بازتابنده مخروطی:** در این اجاق خورشیدی از چهار صفحه بازتابنده به صورت هرمی/مخروطی استفاده می‌شود و با زاویه ۲۰ درجه به چهار وجه سطح دهانه محفظه اجاق نصب می‌شود.

• **محفظه نگهدارنده:** محفظه این اجاق خورشیدی از چهار بخش زیر تشکیل شده است:

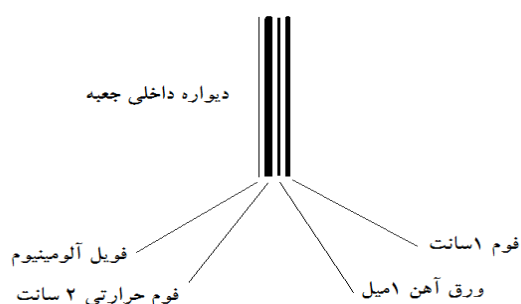
– **بخش عایق‌بندی:** لایه‌های عایق‌بندی در شکل‌های ۴ و ۵ نشان داده شده است.

– **بخش جاذب:** در این بخش از صفحه کلکتور تخت با پوشش جذب انتخابی استفاده می‌شود. به خلاف اجاق خورشیدی جعبه‌ای که در آن از دو صفحه جاذب به طور موازی استفاده شده است.

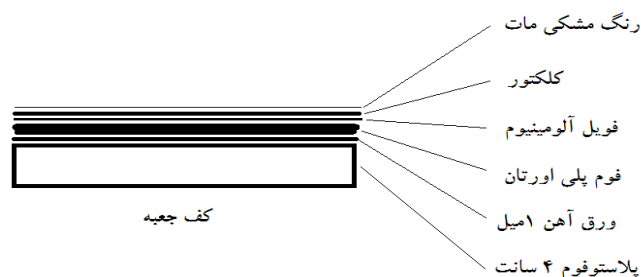
– **بخش ذخیره‌ساز حرارتی:** محفظه‌ای که جاذب اجاق خورشیدی جعبه‌ای در آن قرار دارد، علاوه بر عایق‌بندی مناسب شامل یک بخش خازنی است که از زغال در بین دو لایه صفحه جاذب یک شبکه استفاده شده است. به گونه‌ای که همانند یک خازن حرارتی عمل می‌کند و ظرفیت گرمایی اجاق خورشیدی را افزایش می‌دهد. بدیهی است که در صورت کم شدن شدت تابش (برای مثال، با عبور یک تکه ابر از جلوی خورشید برای چندین دقیقه) تا



شکل ۳. نمایی از اجاق خورشیدی جعبه کوچک مدل استوانه‌ای با آینهٔ مخروطی و استقرار دابسونی



شکل ۴. عایق‌بندی لایهٔ جانبی اجاق خورشیدی مخروطی آینهٔ مخروطی مجهز به استقرار دابسونی



شکل ۵. عایق‌بندی لایهٔ تحتانی اجاق خورشیدی مخروطی آینهٔ مخروطی مجهز به استقرار دابسونی

بخش انتقال است. ظرفیت و ابعاد این اجاق خورشیدی را می‌توان براساس نیاز طراحی کرد. برای کاهش زمان پخت، پیشنهاد می‌شود جنس ظروف فلزی تیره یا شیشه‌ای انتخاب شود. نمای این اجاق خورشیدی جعبه‌بزرگ در شکل ۶ نشان داده شده است.

بدنهٔ این اجاق خورشیدی از پنج بخش زیر تشکیل شده است:

- بخش گردآورنده: اجاق طراحی شده دارای یک

به منظور بهره‌مندی از بیشترین بازده ممکن پیشنهاد می‌شود هنگام تنظیم استقرار اجاق، دقت شود تابش خورشید در محل قرارگیری ظرف متمرکز باشد.

اجاق خورشیدی جعبه‌ای مجهز به بازتابندهٔ صفحه‌ای متحرک و ثابت

اجاق خورشیدی جعبه‌ای می‌تواند همراه با صفحهٔ بازتابندهٔ پشتی و عایق‌بندی چندلایه باشد. این دستگاه به دلیل مورد استفاده قرار گرفتن در خارج از محیط خانه، فاقد

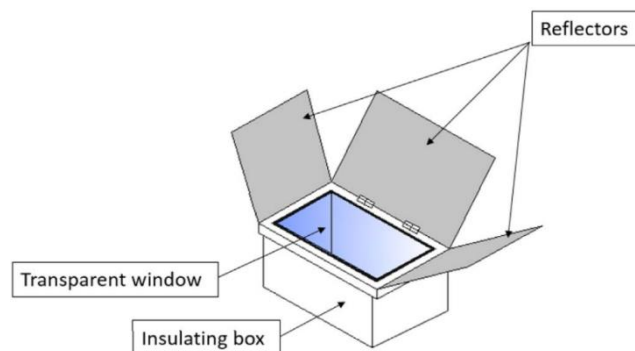
می‌توان از یک المنت برقی برای تسریع فرایند طبخ و همچنین، در مواقع با شدت تابش اندک استفاده کرد.

بازتابنده در اجاق گاز خورشیدی اهمیت زیادی دارد، زیرا پخت‌وپز در شدت تابش کم را ممکن می‌سازد. همچنین، می‌تواند سرعت پخت‌وپز را افزایش دهد. با اجازه دادن به شدت تابش بیشتر در ناحیه دیافراگم، شدت تابش بیشتر را فراهم می‌آورد، بنابراین عملکرد سیستم را بهبود می‌بخشد. استفاده از آینه‌های تقویت‌کننده زمان پخت را کاهش می‌دهد، زیرا تابش اضافی را روی سطح اجاق گاز منعکس می‌کند. شکل ۶ یک اجاق خورشیدی با سه بازتابنده را نشان می‌دهد [۲۴].

در این اجاق خورشیدی جعبه بزرگ توسعه‌یافته نیز به منظور بهبود عملکرد اجاق، از سه بازتابنده استفاده شده است. شکل ۷، این اجاق خورشیدی را نشان می‌دهد.

درب پنجره با قاب آهنی برای عبور نور به داخل سیستم است. پیشنهاد می‌شود برای نگهداشتن صفحه بازتابنده در زاویه مناسب از یک تسمه فلزی سوراخ‌دار استفاده شود.

- **بخش جاذب:** برای صفحه جاذب از یک کلکتور تخت با لایه جذب انتخابی می‌توان استفاده کرد.
- **بخش عایق‌بندی:** لایه‌های عایق‌بندی به منظور نگهداری گرما در این اجاق‌های خورشیدی از عایق حرارتی مطابق با نقشه نشان‌داده در شکل‌های ۴ و ۵ به ترتیب برای دیواره جانبی و تحتانی استفاده شده است.
- **استقرار اجاق خورشیدی:** پیشنهاد می‌شود برای چرخاندن اجاق جعبه‌ای رو به آفتاب به صورت تنظیم دستی، از چرخ استفاده شود.
- **انرژی الکتریکی کمکی:** در این اجاق خورشیدی



شکل ۶. جعبه خورشیدی خورشیدی با سه بازتابنده [۲۴]



شکل ۷. اجاق خورشیدی با سه بازتابنده



شکل ۸. اجاق خورشیدی مجهز به بازتابنده مخروطی

در این آزمایش از هفت عدد سنسور دما برای اندازه‌گیری دمای سطح پایین آب، دمای سطح بالای آب، دمای کلکتور، دمای هوای داخل اجاق، دمای هوای بیرون اجاق و دمای زیر طلق و دمای روی طلق استفاده شد. سنسور دمای هوای درون اجاق از نوع مکانیکی بود. شکل ۹، دمای قرائت شده از این هفت سنسور را نشان می‌دهد. درخور یادآوری است در این آزمایش از طلق دوجداره استفاده شده و لایه میانی، هوا بوده است.

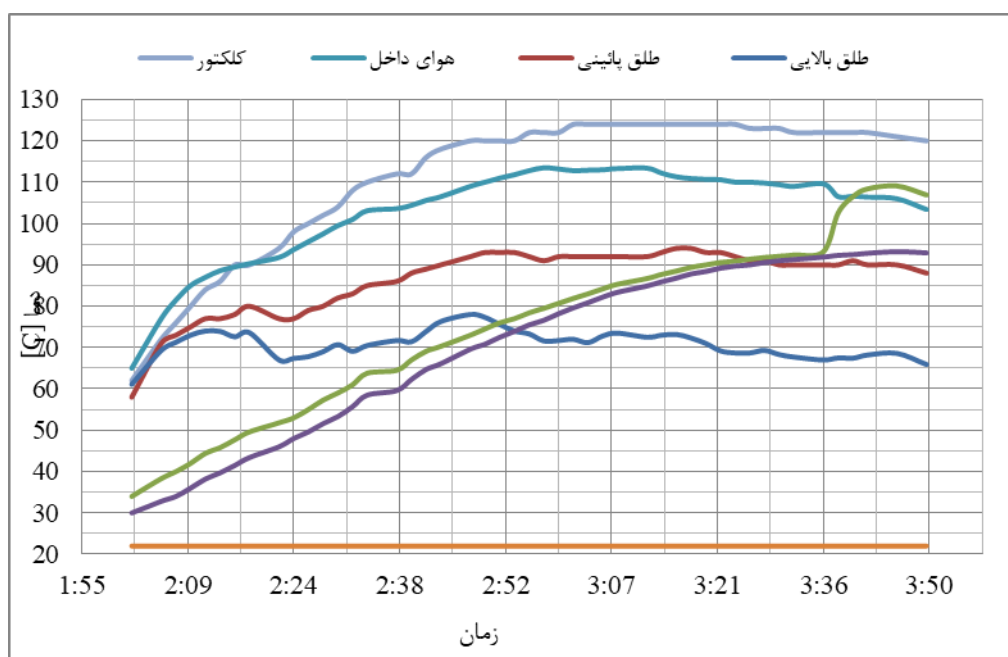
برای شست‌وشوی اجاق، محل خروج آب در جعبه اجاق تعبیه شده است. این محل خروج (شیر آب) در شکل ۷ قابل مشاهده است.

### نتایج

در این بخش نتایج عملکرد دو اجاق طراحی شده به همراه هزینه قطعات مورد استفاده، ارائه می‌شود.

### بررسی اجاق خورشیدی مخروطی آینه مخروطی مجهز به استقرار دابسونی

در نمونه ساخته شده، بخش بازتابنده این اجاق به گونه‌ای طراحی شده است که سطح دهانه بخش بازتابنده  $۱۰۲*۹۸$  سانتی‌متر و سطح دهانه ورودی به جعبه  $۴۷*۴۰$  سانتی‌متر باشد. ضریب تمرکز این اجاق خورشیدی حدود  $۴/۲$  برآورد می‌شود. این بخش در شکل ۸ نشان داده شده است. از آنجا که اجاق خورشیدی ساخته شده مجهز به المنت‌های حرارتی است، برای ایمنی بیشتر از عایق‌های با تحمل دمایی حدود  $۶۰۰^{\circ}\text{C}$  استفاده شده است. برای شست‌وشوی اجاق، می‌توان از درب ورود ظروف به اجاق استفاده کرد و با توجه به متحرک اتافک، آب کثیف در محل قرارگیری ظروف انباشت نمی‌شود و به‌آسانی از اتافک قرارگیری ظروف خارج می‌شود.



شکل ۹. نتایج گزارش شده حسگرهای دمایی اجاق خورشیدی جعبه کوچک از ساعت ۱۳:۵۵ تا ۱۵:۵۶ ظهر



جدول ۱. لیست هزینه‌های ساخت اجاق خورشیدی مخروطی آینه مخروطی مجهز به استقرار دابسونی

جنس	مقدار	قیمت واحد (دلار)	قیمت کل (دلار)
ورق فولاد گالوانیزه ۰/۶	۲۵kg	۰/۸	۲۰
رول فوم حرارتی ضخامت ۲cm	۱	۸/۵	۸/۵
چوب نئوپان ضخامت ۹ میلی‌متر	۱	۳۰	۳۰
چسب چوب	۱	۴/۷۹	۴/۷۹
طلق	۱	۸/۷۹	۸/۷۹
ورق آلومینیوم	۱	۳/۷۹	۳/۷۹
چوب ۹ میلی‌متری	۱	۲/۸۷	۲/۸۷
نبشی آلومینیوم	۲	۰/۶	۰/۶
نمد	هر ۱ متر مربع	۰/۵۶	۰/۵۶
واشر	۱	۰/۱	۰/۱
چسب سیلیکونی	۱	۱/۸	۱/۸
چنگک پوشال کولر	۱	۹/۹۹	۹/۹۹
زغال	۴	۱۲/۹۰	۵۰/۶۰
رنگ	۱	۴	۴
ابزار و خرده‌ریز	۱	۵	۵
جمع کل			۱۵۲/۹۹

\*به دلیل اینکه کالاهای مشخص شده تولیدکنندگان متعددی دارد و عرضه‌کنندگان قیمت‌های متفاوتی ارائه می‌دهند، مرجع خرید این کالاها مشخص نشده است.

گلخانه‌ای در یک سیستم مدیریت پسماند جامد اشاره کرد [۲۶].

جنس بخش بازتابنده از صفحه دوجداره پلی‌کربنات مقاوم در برابر آفتاب و رطوبت است که روی آن فویل آلومینیوم توسط چسب چوب رقیق شده کشیده شده است. ابعاد این متمرکزکننده ۸۳\*۱۰۹ سانتی‌متر است. بخش جاذب این اجاق، در ابعاد ۵۰\*۸۰ سانتی‌متر است که روی آن یک لایه اسپری مشکی مات زده شد. از مشکلات اجاق‌های خورشیدی، عدم کارکرد مناسب در ساعت‌های با تابش خورشیدی ناکافی (روزهای ابری و شب) و همچنین، کنترل سخت برای افزایش شدت تابش خورشید ورودی (بالاتر از مقدار نامی طراحی شده) است. به این منظور، می‌توان اجاق‌های خورشیدی به صورت هیبریدی طراحی کرد. در ادامه این پژوهش، اجاق خورشیدی جعبه‌بزرگ مجهز به المنت‌های حرارتی مجهز شده است. اجاق طراحی شده از المنت برقی ۵۰۰ وات به عنوان انرژی کمکی در شرایط کمبود آفتاب استفاده می‌کند. المنت به فاصله ۳ سانتی‌متر بالاتر از نمد عایق نسوز با روکش آلومینیوم به عنوان رفلکتور به وسیله پایه مخصوص نگه داشته شده است.

در ادامه، لیست هزینه‌های ساخت این اجاق خورشیدی به شرح جدول ۱ است. تفاوت کیفیت نهاده‌های تولید، مقدار خرید، مقدار مالیات وضع شده، کشور مبدأ و مقصد، هزینه‌های باربری و سایر عوامل سبب می‌شود، قیمت‌های بیان شده برای ساخت با قیمت بیان شده در جدول ۱ متفاوت باشد.

#### اجاق خورشیدی جعبه‌ای مجهز به بازتابنده متحرک و ثابت

فضای اجاق طراحی شده مناسب شش ظرف غذای تک‌نفره متوسط است. برای بدنه این اجاق خورشیدی جعبه‌ای از بدنه یک آب‌شیرین‌کن مستعمل استفاده شد و اقدام به اصلاح و نوسازی آن شد. ارزش استفاده مجدد از محصولات و تمایل یافتن افراد برای انتخاب این روش علاوه بر کم شدن نیاز به تلاش برای دستیابی به محصول به عدم دفع محصولات قابل استفاده مجدد به عنوان زباله کمک می‌کند [۲۵]. برای اشاره به مزیت‌های زیست‌محیطی دیگر استفاده مجدد از محصولات می‌توان به پژوهش فورтона<sup>۱</sup> و همکاران (۲۰۱۷) در مورد استفاده مجدد از محصولات برای به حداقل رساندن انتشار گازهای

تعرفه ناچیز گاز طبیعی نشان از رقابت‌پذیری اندک اجاق‌های خورشیدی با اجاق‌های گازی مرسوم برای مناطق با دسترسی به گاز شهری است. به منظور رقابت‌پذیری اجاق‌های خورشیدی با اجاق‌های گازی مرسوم از نظر اقتصادی، باید حداقل تعرفه گاز به ۱۱ هزار ریال به ازای هر نرمال متر مکعب افزایش یابد. این مبلغ در حالت نرخ برابری ارز ۲۵۰ هزار ریال به ازای هر دلار، مصرف متوسط سالانه ۳۲۵ نرمال مکعب گاز در بخش پخت و پخت توسط هر واحد مسکونی و تفاوت قیمت ۷۰ میلیون ریال بین اجاق خورشیدی و اجاق گازی محاسبه شده است. در این حالت، میزان انتشار گازهای دی‌اکسید کربن هر واحد مسکونی حدود ۷۰۰ کیلوگرم در سال کاهش می‌یابد. علاوه بر این، اجاق خورشیدی توسعه‌یافته می‌تواند گزینه مناسبی برای مناطق با عدم دسترسی به گاز طبیعی باشد، چرا که در این حالت خانوار نگران تأمین سوخت برای اجاق نخواهد بود.

در این اجاق آزمایش گرم کردن آب از  $20^{\circ}\text{C}$  به  $85^{\circ}\text{C}$  توسط حسگر دما انجام گرفت که مکان قرارگیری حسگر دما در اجاق خورشیدی در شکل ۱۰ قابل رؤیت است. در این آزمایش ۵۰۰ سی‌سی آب در ظرف مشکی‌رنگ قرار گرفت و زمان گرم شدن آب تا دمای  $85^{\circ}\text{C}$  حدود ۱ ساعت بود. نتایج این آزمایش با کمک شکل ۱۱ نشان داده شده است.

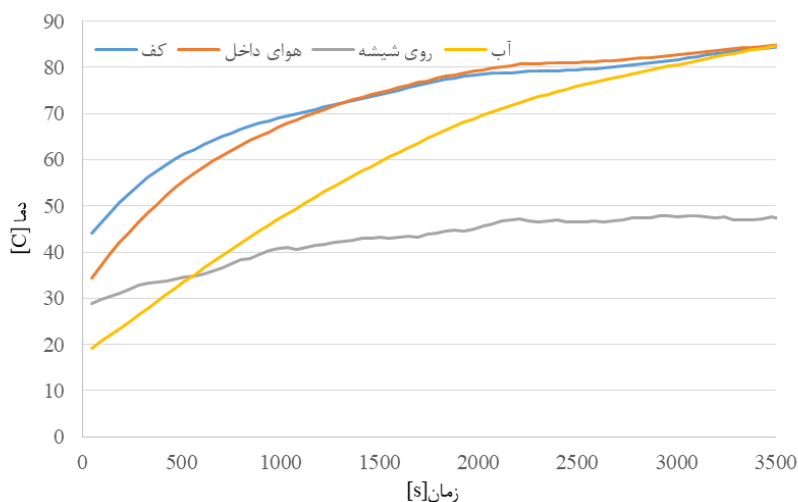
از اجاق استفاده‌شده برای طبخ انواع غذا استفاده شده؛ به طور نمونه در شکل ۱۲، برای پخت ذرت از این اجاق استفاده شده است.

در ادامه در جدول ۲، ریزهزینه‌های ساخت اجاق خورشیدی مطرح‌شده، بیان شده است.

مقایسه هزینه تمام‌شده دو اجاق خورشیدی با اجاق‌های گازی مرسوم با کمترین امکانات، همچنین محدودیت‌های بیان‌شده در استفاده از اجاق‌های خورشیدی و در نهایت،



شکل ۱۰. محل استقرار دماسنج درون اجاق خورشیدی جعبه‌بزرگ



شکل ۱۱. نمودار نتایج آزمایش گرم کردن آب از دمای  $20^{\circ}\text{C}$  تا  $85^{\circ}\text{C}$  در اجاق خورشیدی جعبه‌بزرگ



شکل ۱۲. پخت ذرت در اجاق خورشیدی جعبه‌بزرگ

جدول ۲. لیست هزینه‌های ساخت اجاق خورشیدی جعبه‌ای مجهز به بازتابنده متحرک و ثابت

جنس	مقدار	قیمت واحد (دلار)	قیمت کل (دلار)
ورق فولاد گالوانیزه ۰/۶	۶۲/۵ kg	۰/۸	۵۰
قوطی مبلی ۲۰*۲۰ میلی‌متری	۱۴/۸۸ kg	۰/۹۱	۱۳/۵۴
نبشی نازک	۱۰	۲۰	۲۰۰
فوم پلی‌اورتان	۱	۰/۴۴	۰/۴۴
آلومینیوم نمودار	۲	۲/۵۰	۵
شیشه	۱	۱	۱
چسب سیلیکونی	۱	۱/۸	۱/۸
چرخ	۴	۴	۱۶
ورق سیاه آهنی	۱۰kg	۱/۵	۱۵
فویل آلومینیوم	۱	۶/۸۰	۶/۸۰
طلق	۱	۸/۷۹	۸/۷۹
نوار دور درب	۳	۵/۹۷	۱۷/۹۱
ابزار و خرده‌ریز	۱	۵	۵
جمع			۳۴۱/۲۸

\*به دلیل اینکه کالاهای مشخص شده تولیدکنندگان متعددی دارد و عرضه‌کنندگان قیمت‌های متفاوتی ارائه می‌دهند، مرجع خرید این کالاها مشخص نشده است.

### نتیجه‌گیری

این امر، گاز طبیعی یا الکتریسته تولیدی بر پایه سوخت‌های فسیلی است، پخت‌وپز همراه با انتشار گازهای گلخانه‌ای است. استفاده از اجاق خورشیدی می‌تواند تا حدی کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای را به همراه داشته باشد، اما برای این منظور باید اجاق خورشیدی قابلیت رقابت با اجاق‌های مرسوم تجاری را داشته باشد. از این‌رو،

بررسی آمار نشان می‌دهد میزان مصرف انرژی برای پخت‌وپز در مناطق مختلف به دلیل سطح درآمد متفاوت، آداب و فرهنگ، ویژگی‌های اقلیمی، امید به آینده و عوامل مشابه متفاوت است. با این‌همه، انرژی صرف‌شده در این بخش قابل توجه است و از آنجا که انرژی صرف‌شده برای

- [5]. Zubi G, Spertino F, Carvalho M, Adhikari RS, Khatib T. Development and assessment of a solar home system to cover cooking and lighting needs in developing regions as a better alternative for existing practices. *Sol Energy*. 2017;155:7–17 .
- [6]. Esen M. Thermal performance of a solar cooker integrated vacuum-tube collector with heat pipes containing different refrigerants. *Sol Energy*. 2004;76(6):751–7 .
- [7]. Kumaresan G, Santosh R, Raju G, Velraj R. Experimental and numerical investigation of solar flat plate cooking unit for domestic applications. *Energy*. 2018;157:436–47 .
- [8]. Kumar S, Kumar A, Yadav A. Experimental investigation of a solar cooker based on evacuated tube collector with phase change thermal storage unit in Indian climatic conditions. *Int J Renew Energy Technol*. 2018;9(3):310–36 .
- [9]. González-Avilés M, Urrieta OR, Ruiz I, Cerutti OM. Design, manufacturing, thermal characterization of a solar cooker with compound parabolic concentrator and assessment of an integrated stove use monitoring mechanism. *Energy Sustain Dev*. 2018;45:135–41 .
- [10]. Muthusivagami RM, Velraj R, Sethumadhavan R. Solar cookers with and without thermal storage—a review. *Renew Sustain Energy Rev*. 2010;14(2):691–701 .
- [11]. Hottel HC, Woertz BB. The performance of flat-plate solar heat collectors. In: *Renewable Energy*. Routledge; 2018. p. 324–55 .
- [12]. Singh HR, Sharma D, Soni SL. Dissemination of Sustainable Cooking: A Detailed Review on Solar Cooking System. In: *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. IOP Publishing; 2021. p. 12011 .
- [13]. Telkes M. Solar cooking ovens. *Sol Energy*. 1959;3(1):1–11 .
- [14]. Löf GOG. Recent investigations in the use of solar energy for cooking. *Sol Energy*. 1963;7(3):125–33 .
- [15]. Nkhonjera L, Bello-Ochende T, John G, King'ondeu CK. A review of thermal energy storage designs, heat storage materials and cooking performance of solar cookers with heat storage. *Renew Sustain Energy Rev*. 2017;75:157–67 .
- [16]. Guidara Z, Souissi M, Morgenstern A, Maalej A. Thermal performance of a solar box cooker with outer reflectors: Numerical study and experimental investigation. *Sol Energy*. 2017;158:347–59 .

انتظار می‌رود حداقل اجاق خورشیدی از قیمت مناسب، کنترل‌پذیری زیاد و راحتی کار برخوردار باشد. آنچه سبب شده است اجاق‌های خورشیدی در دهه‌های گذشته از پیشرفت قابل توجه برخوردار باشند، می‌توان در گستره وسیع دسترسی به تابش خورشید، افزایش قیمت سوخت‌های فسیلی، افزایش تلاش برای کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای، پیچیدگی و هزینه سرمایه‌گذاری کمتر خط تولید و قیمت سطح پایین‌تر نسبت به فناوری‌های رقیب دانست. امروزه، اجاق‌های خورشیدی در طراحی، عملکرد، وزن، شیوه نصب و... از پیشرفت قابل ملاحظه برخوردار شده‌اند. در این پژوهش دو اجاق خورشیدی از نوع جعبه‌ای طراحی شده است. مدل نخست از بازتابنده مخروطی شکل با امکان استقرار دابسونی و مدل دوم از بازتابنده ثابت و متحرک برخوردار است. نوآوری این دو اجاق در طراحی بازتابنده‌ها و همچنین، استقرار دابسونی (برای اجاق خورشیدی نخست) است. دو اجاق خورشیدی پس از طراحی، ساخته شده است. نتایج استفاده از این دو اجاق در اوایل پاییز نشان می‌دهد امکان رساندن دمای از  $20^{\circ}\text{C}$  به  $80^{\circ}\text{C}$  طی مدت زمان نزدیک به ۳۰۰۰ s بدون استفاده از المنت‌های حرارتی وجود دارد. همچنین، دمای فضای درونی اجاق خورشیدی مجهز به بازتابنده مخروطی و امکان استقرار دابسونی، نسبت به اجاق خورشیدی مجهز به بازتابنده صفحه‌ای بیشتر است. این مسئله را می‌توان به دلیل افزایش نسبت مساحت بازتابنده به مساحت کف اجاق (یا حجم درونی اجاق) و همچنین، امکان استقرار موقعیت با تابش بالاتر دانست.

## منابع

- [1]. International Energy Agency. Korea 2020 Energy Policy Review. 2018 .
- [2]. SM Engineering. Energy Management For Office. 2017. p. 1 .
- [3]. Wang H, Huang J, Song M, Yan J. Effects of receiver parameters on the optical performance of a fixed-focus Fresnel lens solar concentrator/cavity receiver system in solar cooker. *Appl Energy*. 2019;237:70–82 .
- [4]. Cuce PM. Box type solar cookers with sensible thermal energy storage medium: A comparative experimental investigation and thermodynamic analysis. *Sol Energy*. 2018;166:432–40 .

- [17]. Saxena A, Agarwal N. Performance characteristics of a new hybrid solar cooker with air duct. *Sol Energy*. 2018;159:628–37 .
- [18]. Kumar A, Shukla SK, Kumar A. Heat loss analysis: An approach toward the revival of parabolic dish type solar cooker. *Int J Green Energy*. 2018;15(2):96–105 .
- [19]. Abu-Hamdeh NH, Alnefaie KA. Assessment of thermal performance of PCM in latent heat storage system for different applications. *Sol Energy*. 2019;177:317–23 .
- [20]. Abu-Hamdeh NH, Alnefaie KA. Design considerations and construction of an experimental prototype of concentrating solar power tower system in Saudi Arabia. *Energy Convers Manag*. 2016;117:63–73 .
- [21]. Hosseinzadeh M, Faezian A, Mirzababae SM, Zamani H. Parametric analysis and optimization of a portable evacuated tube solar cooker. *Energy*. 2020;194:116816 .
- [22]. Omara AAM, Abuelnuor AAA, Mohammed HA, Habibi D, Younis O. Improving solar cooker performance using phase change materials: A comprehensive review. *Sol Energy*. 2020;207:539–63 .
- [23]. Bhave AG, Kale CK. Development of a thermal storage type solar cooker for high temperature cooking using solar salt. *Sol Energy Mater Sol Cells*. 2020;208:110394 .
- [24]. Herez A, Ramadan M, Khaled M. Review on solar cooker systems: Economic and environmental study for different Lebanese scenarios. *Renew Sustain Energy Rev*. 2018;81:421–32 .
- [25]. Fortuna LM, Diyamandoglu V. Disposal and acquisition trends in second-hand products. *J Clean Prod*. 2017;142:2454–62 .
- [26]. Fortuna LM, Diyamandoglu V. Optimization of greenhouse gas emissions in second-hand consumer product recovery through reuse platforms. *Waste Manag*. 2017;66:178–89.