

## مطالعه تجربی اثرات سطح انعکاسی سهمی بر عملکرد یک اجاق خورشیدی

استادیار، پژوهشکده علوم و صنایع غذایی، مشهد  
استاد، دانشگاه فردوسی مشهد، دانشکده مهندسی  
دانشیار، دانشگاه فردوسی مشهد، دانشکده مهندسی

حسین زمانی\*  
محمد مقیمان  
علی کیانی‌فر

### چکیده

این تحقیق در راستای توسعه قابلیت‌های گرمایی و تابشی اجاق‌های خورشیدی انجام شده است، به همین منظور دو اجاق خورشیدی طراحی، ساخته و عملکرد آنها به روش تجربی و در شرایط آب و هوایی یکسان با هم مقایسه گردید. در طول آزمایش‌های سطح آینه سهمی در یکی از سیستم‌ها ثابت و در دیگری متغیر بوده است. برای تغییر اندازه آینه سهمی، به جای یک سطح پیوسته از تعدادی آینه‌باریک استفاده شد؛ مجموعه آینه‌ها بر روی یک منحنی سهمی نصب شدند که به تناسب آزمایش‌ها برخی از آنها حذف گردیدند. از تحلیل نتایج به دست آمده منحنی سهمی اجاق خورشیدی به سه ناحیه تقسیم شد و سهم تأثیر هر ناحیه بر عملکرد آن تعیین گردید؛ بر این اساس می‌توان قسمت‌های دارای اثر بیشتر را تقویت و نواحی با کمترین تأثیر در عملکرد سیستم را حذف نمود که این امر موجب بهینه‌سازی هندسه و اندازه سیستم خواهد شد. روش آزمایشگاهی انجام شده در این تحقیق می‌تواند برای بهینه‌سازی هندسه سطوح سهمی یا کروی در اجاق‌های خورشیدی مورد استفاده قرار گیرد. همه آزمایش‌های این تحقیق در پژوهشکده علوم و صنایع غذایی واقع در مشهد با طول و عرض جغرافیایی ۵۴° و ۳۷° درجه و ارتفاع ۹۸۵ متر از سطح دریا طراحی و انجام شده است.

واژه‌های کلیدی: انرژی خورشیدی، اجاق خورشیدی، سطوح سهمی، سطوح انعکاسی.

## Experimental Study of the Effects of the Parabolic Reflected Surfaces on a Solar Cooker Performance

H. Zamani  
M. Moghiman  
A. Kianifar

Assistant professor, Research Institute of Food Science and Technology, Mashhad  
Professor, Ferdowsi University of Mashhad, Department of Mechanical Engineering  
Associate professor, Ferdowsi University of Mashhad, Department of Mechanical Engineering

### Abstract

The present study aims to develop and improve the thermal and optical performance of the solar cookers; thus two double exposure solar cookers were designed, constructed and their performance compared under the same climatic conditions. During the tests, the parabolic reflected surface of one solar cooker was unaltered while the reflected surface of the other one varied. To change the size of the parabolic mirror, a set of narrow mirrors were used instead of a continuous surface. The narrow mirrors were installed on a parabolic curve and some of them were eliminated proportion to the test progress. By analyzing the experimental results parabolic curve of the solar cooker was divided into three sections and the effects of each part on the solar cooker performance was determined. Accordingly, we can remove the areas with minimal impact on system performance and strength the portion with the further effect. Finally, experimental study conducted in this research, could lead as a new method, to an optimum design of a solar cooker geometry. The tests were carried out in the Research Institute of Food Science and Technology, located at 37 latitude, 54 longitudes and a height of 985 meters above sea level in Mashhad, Iran.

**Keywords:** Solar energy, solar cooker, Double-exposure solar cooker, Reflected surface.

**۱- مقدمه**

تحقیق در زمینه طراحی و آزمایش اجاق خورشیدی دو منظره برای اولین بار در سال ۲۰۰۲ انجام شد، تابش همزمان انرژی خورشید از سمت بالا و پایین صفحه جاذب، موجب شد تا دمای آن از ۱۴۰ به ۱۶۵ درجه سانتی‌گراد افزایش یابد و زمان جوشیدن آب در آن نسبت به نمونه جعبه‌ای ۳۰ تا ۶۰ دقیقه کاهش یابد[۱۲]. استفاده از دو سطح انعکاسی سهمی که به صورت متقابل در یک اجاق خورشیدی جعبه‌ای نصب شدند، موجب شد که امکان پختن غذا حتی در فصل زمستان و بدون تعقیب خورشید نیز در آن فراهم گردد[۱۳]. ارائه دهنده‌گان طرح مذکور گرچه روش بهینه‌سازی و دست‌یابی به هندسه سطح انعکاسی را گزارش نکردند، ولی عملکرد آنرا به روش تحلیلی بررسی کردند و فرایند انتقال گرما را در آن شبیه‌سازی نمودند[۱۴]. بهینه‌سازی صفحه جاذب در همان اجاق خورشیدی موجب گردید تا مدل بهینه‌ای از اجاق خورشیدی توسط همان گروه طراحی و آزمایش گردد؛ در این سیستم صفحه جاذب از دو طرف انرژی تابشی را دریافت می‌کرد و حداقل دمای صفحه جاذب از ۱۲۷/۷ به ۱۶۵ درجه سانتی‌گراد افزایش یافت. این سیستم در بدنه دیوار یک آشپزخانه نصب گردید و بدون تعقیب خورشید کار می‌کرد[۱۵].

در ادامه فعالیت‌های قبلی، این تحقیق با هدف ارائه روشی تجربی برای بهینه‌سازی هندسه سطوح انعکاسی در اجاق‌های خورشیدی طراحی شده است. به این منظور اثر سطوح انعکاسی سهمی در یک اجاق خورشیدی دو منظره بر عملکرد آن مطالعه شده است؛ به این منظور دو اجاق خورشیدی طراحی، ساخته و در شرایط مشابه تحت آزمایش‌های هدفمند قرار گرفته‌اند. این مطالعه گرچه بر روی یک سیستم مشخص و در شرایط جغایایی خاصی انجام شده است ولی روش آن می‌تواند بر روی سیستم‌های دیگر و در مناطق دیگر نیز اجرا گردد. نتایج این مطالعه دانش فنی طراحی و ساخت اجاق‌های خورشیدی را بهبود می‌بخشد و امکان تحلیل، طراحی و تعیین کاربردهای مناسب‌تر را برای آنها فراهم می‌کند.

**۲- شرح دستگاه**

اجاق خورشیدی که در این تحقیق مورد استفاده قرار گرفته از نوع دو منظره می‌باشد و از دو بخش اصلی سهمی و جعبه‌ای تشکیل شده است. در این سیستم امکان جذب انرژی خورشید از دو طرف وجود دارد؛ انرژی دریافتی از آبینه‌های سهمی (از پایین) به همراه انرژی دریافتی از بخش جعبه‌ای (از بالا) موجب افزایش دمای صفحه جاذب و در نتیجه پخت غذا می‌گردد. نمونه مشابه این سیستم برای اولین بار به هدف بررسی اثر فین دار کردن ظرف غذا بر عملکرد اجاق خورشیدی، مورد استفاده قرار گرفت[۱۰].

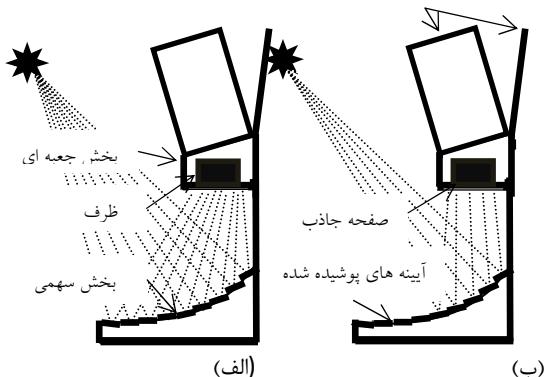
اجاق‌های خورشیدی سیستم‌هایی هستند که از انرژی پاک و ارزان خورشید برای پخت مواد غذایی استفاده می‌کنند. یک اجاق خورشیدی، گرمای تابش را از طریق تمرکز پرتوهای آن بر روی یک سطح یا حبس آنها در یک فضای گلخانه‌ای مهار می‌کند تا از آن برای پخت و پز استفاده شود[۱]. با توجه به این که در کشورهای توسعه‌یافته حدود ۹۰٪ مصرف انرژی خانگی به پخت و پز اختصاص می‌یابد[۲]، اجاق‌های خورشیدی وسایل مناسبی برای جلوگیری از سوختن منابع فسیلی و جنگلی و حفظ محیط زیست می‌باشند و به عنوان یک رویکرد جدید در زمینه انرژی‌های تجدیدپذیر مورد توجه محققان قرار گرفته‌اند[۳]. بهبود عملکرد و توسعه دامنه کاربرد اجاق‌های خورشیدی دو محور اصلی تحقیق در این زمینه می‌باشند که برای تحقق آنها مطالعات تجربی و تئوری زیادی انجام شده است و روش‌های مختلفی نیز مورد استفاده قرار است[۴]. استفاده از مکانیزم‌های تعقیب‌کننده خورشید برای افزایش میزان جذب تابش در طول روز[۵]، بکارگیری هندسه مناسب (هرم ناقص) برای جذب بیشتر انرژی خورشید بدون نیاز به سیستم تعقیب خورشید[۶]، بهینه‌سازی عملکرد سطوح جذب‌کننده تابش[۵]، استفاده از هندسه مناسب ظرف غذا برای افزایش میزان انتقال گرما دریافت شده[۷] و استفاده از پوشش‌های کدرکننده برای کاهش اتلافات تابشی از سطوح[۸]، از جمله راهکارهایی هستند که در ارتباط با بهینه‌سازی بازده گرمایی و تابشی اجاق‌های خورشیدی مورد بررسی و استفاده قرار گرفته‌اند. برخی از تحقیقات انجام شده در این زمینه در مرجع [۹] مورد بررسی قرار گرفته‌اند؛ محققان در این مقاله علاوه بر بررسی روند تحقیقات و معرفی انواع اجاق‌های خورشیدی کاربرد آنها را نیز بیان نموده‌اند. اندازه، شکل و نوع یک اجاق خورشیدی عواملی هستند که می‌توانند عملکرد آنرا بهبود بخشیده و زمان پخت غذا را توسط آن کوتاه‌تر نمایند؛ در یک اجاق خورشیدی معین، این امکان وجود دارد که حتی با انجام اصلاحات جزیی در شکل ظرف غذا، دمای آن افزایش یابد و زمان پخت به مقدار قابل توجهی کاهش پیدا کند؛ در همین رابطه نصب پره‌های گرمای در بدنه ظرف غذا منجر به کاهش ۹ تا ۱۱ درصدی زمان جوشیدن آب گردید این آثار در نتیجه افزایش نرخ انتقال گرما در داخل اجاق خورشیدی صورت گرفته است[۱۰]؛ همچنین نصب تعدادی پره گرمای بر روی صفحه جاذب یک اجاق خورشیدی جعبه‌ای، دمای آن را به میزان ۷٪ افزایش داد و زمان جوشیدن آب را در آن به میزان ۱۲٪ کاهش داد؛ این تحقیق بر روی یک اجاق خورشیدی جعبه‌ای صورت گرفت ولي نتایج آن در مورد اجاق‌های خورشیدی دو منظره هم می‌تواند استفاده شود[۱۱].

### ۳- روش و دقت وسایل اندازه‌گیری

آزمایش‌های این تحقیق در شرایط آب و هوایی مشهد انجام گردید. مشهد در موقعیتی با عرض جغرافیایی  $37^{\circ}$  درجه شمالی و طول جغرافیایی  $54^{\circ}$  درجه غربی واقع شده است و ارتفاع آن از سطح دریا  $985$  متر می‌باشد. تابش کل خورشید I در تمامی آزمایش‌های بوسیله یک تابش‌سنج مدل TES/1333، با دقت  $\pm 10\text{ w/m}^2$  و بیشترین عدم قطعیت  $5.8\text{ w/m}^2$  اندازه‌گیری شده است؛ شدت تابش کل بر روی سطح افق اندازه‌گیری شده است [۱۶].

دمای هوای محیط  $T_a$  بوسیله یک دماسنج جیوه‌ای و دمای آب داخل ظرف  $T_w$  در هر دو سیستم به بوسیله یک سیستم دو کاناله اندازه‌گیری دما، مدل تستو ۹۲۲ با ترموموپل نوع k (NiCr- Ni) و با دقت ( $\pm 0.5^{\circ}\text{C} + 0.3\% \text{ mv}$ ) اندازه‌گیری شده است. بر اساس استاندارد بین‌المللی آزمایش عملکرد اجاق‌های خورشیدی، سنسور ترموموپل بایستی به اندازه  $5\text{ سانتی‌متر}$  بالاتر از کف ظرف در عمق آب فرو رفته باشد و اندازه‌گیری‌ها در فاصله ساعت‌های  $10$  تا  $14$  هر روز انجام شود [۱۷]. در طول آزمایش‌ها، دمای آب و تابش کل خورشید هر  $5$  دقیقه یک بار اندازه‌گیری و ثبت شده است؛ به منظور جذب بیشترین تابش خورشید جهت سیستم و زاویه آینه‌های نصب شده بر روی منحنی سهمی در فاصله‌های زمانی مشخص به صورت دستی به سمت خورشید تنظیم می‌شوند. شکل ۲. طرح شماتیک دو نمونه اجاق خورشیدی دو منظره را نشان می‌دهد.

آینه‌های تخت



شکل ۲- طرحواره دو اجاق خورشیدی آزمایشگاهی به همراه مسیر پرتوهای تابش خورشید؛ (الف) سیستم ۱، (ب) سیستم ۲

در شکل ۲ مسیر پرتوهای تابش خورشید به همراه آینه‌هایی که در هر مرحله از آزمایش پوشیده شده‌اند نیز نشان داده شده است.

بخش سهمی اجاق خورشیدی از  $9\text{ آینه تخت}$  (به ابعاد  $10\text{ در ۵۰ سانتی‌متر}$ ) تشکیل شده است که بر روی یک منحنی سهمی نصب شده‌اند و به صورت دستی نسبت به جهت تابش خورشید تنظیم می‌شوند. در طول آزمایش‌ها تعداد آینه‌های سهمی در سیستم ۱ ثابت نگه داشته شده‌اند و در سیستم شماره ۲ متناسب با روند آزمایش‌ها تغییر داده می‌شوند. برای تغییر مقدار سطح انعکاسی در سیستم شماره ۲ جهت آینه‌ها معکوس می‌شوند تا پرتوهای خورشید به داخل اجاق معنکس نگردد. ظرفی با قطر  $20\text{ cm}$  و عمق  $10\text{ سانتی‌متر}$  برای آزمایش‌ها در نظر گرفته شده است و در مرکز صفحه جاذب قرار داده می‌شود. این ظرف از ورق آلومینیم و به ضخامت  $0.2\text{ سانتی‌متر}$  می‌باشد که دیواره بیرونی آن به طور کامل با رنگ سیاه پوشش داده شده است. صفحه جاذب یک ورق فولادی تیره (به ابعاد  $46\text{ در }27\text{ و }20\text{ سانتی‌متر}$ ) می‌باشد که به صورت افقی نصب شده است و از جهت تابش‌های خورشید را دریافت می‌نماید. بخش جعبه‌ای اجاق خورشیدی گرمای دریافتی از سمت بالا را به صفحه جاذب و ظرف منتقل می‌کند؛ در قسمت زیرین آن هم یک صفحه شیشه‌ای دوجداره قرار دارد که پرتوهای منعکس شده از آینه‌های سهمی را جذب می‌کند. در قسمت بالای آن دو آینه تخت (به ابعاد  $50\text{ در }30\text{ سانتی‌متر}$ ) و یک آینه تخت (به ابعاد  $50\text{ در }50\text{ سانتی‌متر}$ ) نصب شده است. جداره‌های اجاق خورشیدی از یک لایه چوبی (به ضخامت  $2\text{ سانتی‌متر}$ ) ساخته شده‌اند و یک ورق نازک آلومینیمی (به ضخامت  $0.1\text{ سانتی‌متر}$ ) بر روی قسمت داخلی آن قرار گرفته است تا تابش خورشید را به سمت صفحه جاذب و ظرف غذا هدایت نماید. تمامی درزها و محل‌های اتصال قطعات به خوبی درزبندی شده‌اند تا مانع خروج گازهای داغ از سیستم شود. ارتفاع اجاق در سمت جلو و عقب به ترتیب  $17\text{ و }32\text{ سانتی‌متر}$  است؛ در قسمت بالایی آن یک شیشه شفاف (به ابعاد  $48\text{ در }33\text{ و }20\text{ سانتی‌متر}$ ) نصب شده است. کل سیستم بر روی چرخ‌هایی قرار گرفته است تا حمل و نقل و جابجایی آن ساده گردد. در شکل ۱. تصویر دو نمونه اجاق خورشیدی آزمایشگاهی نشان داده شده است:



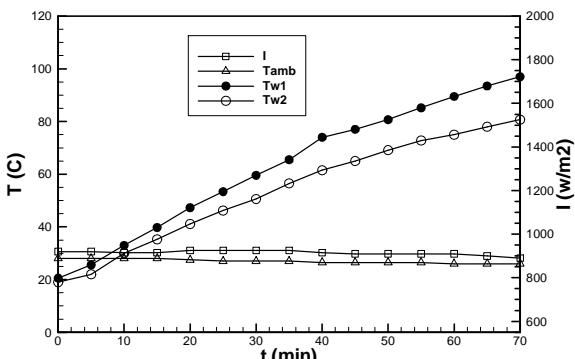
شکل ۱- تصویر دو نمونه اجاق خورشیدی آزمایشگاهی

#### ۴- بحث و بررسی نتایج

##### ۴-۱- بررسی نتایج آزمایشات تجربی

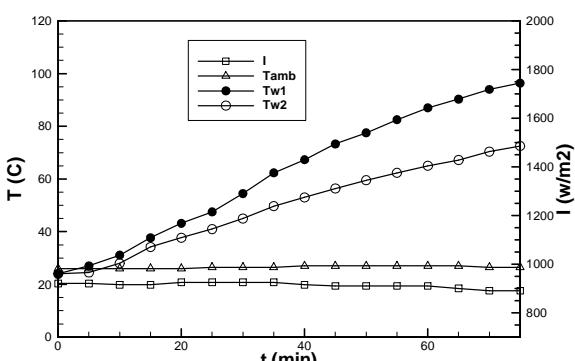
هدف این تحقیق تجربی، مطالعه اثر بخش‌های مختلف آبینه سهمی بر عملکرد اجاق خورشیدی می‌باشد. برای دست‌یابی به این هدف از تعدادی آبینه باریک و تخت که بر روی یک منحنی سهمی نصب شده‌اند استفاده گردید. این سطح ناپیوسته که تقریبی از سطح سهمی می‌باشد، امکان تغییرات لازم بر روی سطح را برای انجام آزمایش‌های مختلف فراهم می‌کند.

در اولین آزمایش، دو ظرف معین با مقدار مساوی آب (۱ لیتر) پر شدند و دو آبینه از قسمت سهمی در سیستم ۲ پوشیده شدند تا عملکرد آن با سیستم شماره ۱ که در آن کل ۹ آبینه در قسمت سهمی نصب بوده‌اند مقایسه گردد. شکل ۳. نتایج این آزمایش را نشان می‌دهد:



شکل ۵- مقایسه بین دمای آب در دو سیستم. آزمایش در ۱۶ اردیبهشت، ۱۳۹۲ و در ساعت ۱۱:۳۰ شروع شده است.

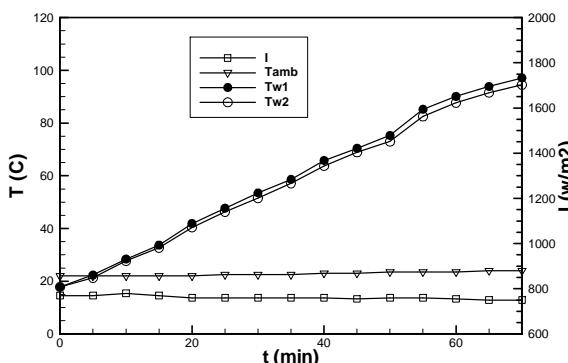
نتایج آزمایش سوم نشان می‌دهد که دمای آب در سیستم ۲ با نسبت سطح ۰.۵۵٪ در مقایسه با سیستم ۱ در حدود ۰.۱۷ کاهش یافته است. در آزمایش چهارم، تمام آبینه‌های بخش سهمی در سیستم ۲ پوشیده شدند و عملکرد آن با سیستم ۱ مقایسه گردید. شکل ۶. نتایج این آزمایش را نشان می‌دهد.



شکل ۶- مقایسه بین دمای آب در دو سیستم. آزمایش در ۲۰ اردیبهشت، ۱۳۹۲ و در ساعت ۱۱:۳۰ شروع شده است.

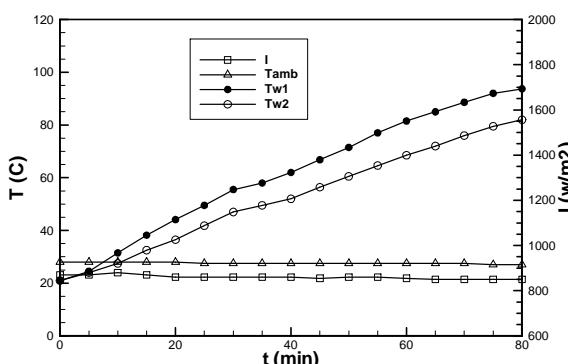
نتایج آزمایش چهارم نشان می‌دهد که دمای آب در سیستم ۲ بدون هیچ آبینه‌ای در قسمت سهمی در مقایسه با سیستم ۱ در حدود ۰.۲۵٪ کاهش یافته است. این آزمایش نشان می‌دهد که بیشترین سهم بخش سهمی سطح انعکاسی در عملکرد اجاق خورشیدی دوگانه ۰.۲۵٪ می‌باشد.

خلاصه‌ای از نتایج آزمایش‌های ۱ تا ۴ در جدول ۱. نشان داده شده است. نسبت سطح انعکاسی بخش سهمی در هر دو سیستم، بیشترین اختلاف دمای ثبت شده بین دو سیستم و



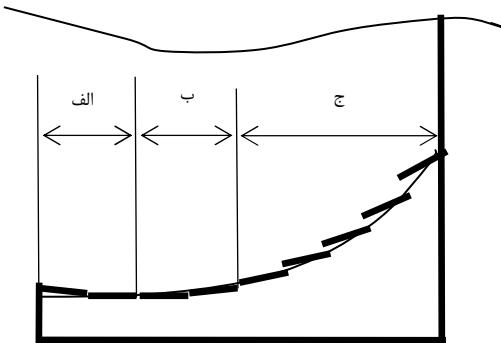
شکل ۳- مقایسه بین دمای آب در دو سیستم. آزمایش در ۲۰ اردیبهشت ۱۳۹۲ و در ساعت ۱۰:۰ شروع شده است.

نتایج آزمایش اول نشان می‌دهد که دمای آب در سیستم ۲ با نسبت سطح ۰.۷۶٪ در مقایسه با سیستم ۱ در حدود ۰.۳٪ کاهش یافته است. در آزمایش دوم، سه آبینه از قسمت سهمی در سیستم ۲ پوشیده شدند و عملکرد آن با سیستم ۱ مقایسه گردید. شکل ۴. نتایج این آزمایش را نشان می‌دهد.



شکل ۴- مقایسه بین دمای آب در دو سیستم. آزمایش در ۱۵ اردیبهشت، ۱۳۹۲ و در ساعت ۱۱:۴۵ شروع شده است.

همانطوری که ملاحظه می‌گردد؛ در ناحیه الف، اثر آینه‌ها کم است، در ناحیه ب، اثر آینه‌ها به شدت افزایش می‌یابد و در ناحیه ج نیز اثر آینه‌ها کاهش می‌یابد. این سه ناحیه در شکل ۸ بر روی بخش سهمی اجاق خورشیدی نشان داده شده‌اند.



شکل ۸- نواحی سه‌گانه سطوح انعکاسی در بخش سهمی اجاق خورشیدی

برای پیش‌بینی میزان تأثیر سطوح انعکاسی بخش سهمی بر عملکرد اجاق خورشیدی دو منظره، برای هر کدام از نواحی، الف، ب و ج شکل ۷ با استفاده از نرمافزار Excel یک رابطه ریاضی منطبق گردید. روابط به دست آمده در جدول ۲ نشان داده شده است.

جدول ۲- معادلات به دست آمده برای قسمت‌های مختلف بخش سهمی اجاق خورشیدی دو منظره

معادله به دست آمده	بخش‌های منحنی
$y = -11.159x + 11.159$	بخش الف
$y = -126.98x^2 + 101.6x$	بخش ب
$y = -13.799x + 24$	بخش ج

در روابط فوق  $y$  نمایان گر بیشترین اختلاف دمای ایجاد شده بین دو سیستم و معادل اختلاف انرژی داخلی منتقل شده به آب بر حاصل ضرب جرم در ظرفیت گرمایی ویژه آب می‌باشد (شاخص اختلاف عملکرد برای دو سیستم) که به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$y = \Delta T_{max} = \frac{(\Delta u)_{max}}{mc_p} \quad (1)$$

در رابطه فوق  $\Delta u$  انرژی داخلی،  $m$  جرم آب داخل ظرف و  $c$  ظرفیت گرمایی ویژه آب می‌باشد؛ همچنین  $x$  نمایان گر مقدار سطح انعکاسی در هر بخش از منحنی می‌باشد که به صورت زیر تعریف شده است:

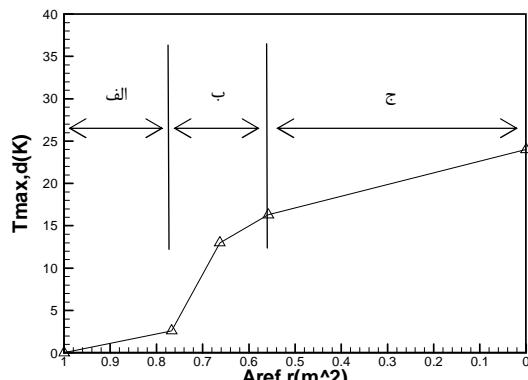
$$x = \frac{A_p}{A_{p,max}} \quad (2)$$

درصد تأثیر بر عملکرد اجاق خورشیدی در هر حالت، در این جدول گزارش شده است. از آنجایی که اثر عملکرد اجاق خورشیدی در افزایش انرژی داخلی آب داخل ظرفها ظاهر می‌شود، اختلاف دمای آب در هر دو سیستم، به عنوان شاخص اصلی اختلاف انرژی منتقل شده به آن و درنتیجه اختلاف عملکرد دو سیستم در نظر گرفته شده است. با استفاده از این مبنای توان بازده انرژی و اگزرسی دو سیستم را نیز محاسبه نمود[۱۶].

جدول ۱- خلاصه نتایج بررسی تأثیر سطوح انعکاسی بر عملکرد اجاق خورشیدی دو منظره برای سیستم ۱ و ۲

نوع آزمایش	نسبت سطح انعکاسی ایجاد شده	درصد بیشترین اختلاف دمای عملکرد	نوع آزمایش	نسبت سطح انعکاسی ایجاد شده	درصد بیشترین اختلاف دمای عملکرد
اجاق خورشیدی با همه آینه‌های سهمی	۰	۰	اجاق خورشیدی با همه آینه‌های سهمی	۱	۰
دو آینه بخش سهمی پوشیده شدن	۰,۷۶۷	۲/۴	دو آینه در بخش سهمی پوشیده شدن	۰,۶۶۳	۱۴
سه آینه در بخش سهمی پوشیده شدن	۰,۵۵۸	۱۶/۳	سه آینه در بخش سهمی پوشیده شدن	۰,۵۵۸	۱۷
همه آینه‌های بخش سهمی پوشیده شدن	۰	۲۴	همه آینه‌های بخش سهمی پوشیده شدن	۰	۲۵

در شکل ۷ منحنی میزان تأثیر سطوح انعکاسی بر عملکرد اجاق خورشیدی دو منظره با استفاده از نتایج آزمایش‌های ۱-۴ نشان داده شده است؛ در این نمودار بیشترین اختلاف دمای آب در دو سیستم بر حسب نسبت سطح انعکاسی در قسمت سه‌مایانها نشان داده شده است.



شکل ۷- اختلاف عملکرد دو سیستم بر اساس نسبت سطح انعکاسی بخش سهمی

قابل توجهی از انرژی دریافتی از طریق اتفاقات تابشی سطوح انعکاسی تلف می‌شود و سهم اندکی از آن جذب آب می‌گردد؛ بنابراین سهم اتفاقات تابشی نسبت به اتفاقات گرمایی سیستم بیشتر می‌باشد؛ لذا طرح‌هایی که در آنها از دو سطح انعکاسی سهمی متقابل استفاده شده است به دلیل اینکه تابش‌های منعکس شده از سطوح را به سمت داخل اجاق خورشیدی هدایت می‌کنند و اتفاقات تابشی را کاهش می‌دهند از بازدهی بیشتری برخوردار هستند[۱۳].

### ۵- نتیجه‌گیری

بر اساس بررسی‌های آزمایشگاهی که بر روی دو اجاق خورشیدی دو منظره و در شرایط کاملاً یکسان انجام گردید، نتایج زیر به دست آمده است:

- اثر بخش‌های مختلف آینه سهمی بر عملکرد اجاق خورشیدی تعیین گردید و با توجه به آن منحنی سهمی به سه ناحیه تقسیم شد و برای هر ناحیه یک رابطه ریاضی ارائه گردید؛ این رابطه تأثیر مقدار سطح انعکاسی بر عملکرد سیستم را نشان می‌دهد.

- بررسی نتایج به دست آمده نشان می‌دهد که تأثیر بخش ب از منحنی سهمی بر عملکرد اجاق خورشیدی با دو آینه بیش از ۴/۵ برابر بخش الف با همین تعداد آینه و در حدود ۲ برابر بخش ج با ۵ آینه می‌باشد.

- آزمایش چهارم نشان می‌دهد که حذف کامل آینه سهمی عملکرد سیستم را به میزان ۲۵٪ کاهش می‌دهد؛ از این جهت سهم این بخش قابل توجه می‌باشد.

نتایج آزمایش‌های انجام شده نشان داد که سهم اتفاقات تابشی نسبت به اتفاقات گرمایی بیشتر است به این دلیل بهتر است در طراحی اجاق‌های خورشیدی از سطوح انعکاسی متقابل استفاده گردد تا پرتوهای بازتابیده را نیز به داخل اجاق خورشیدی هدایت نماید.

### فهرست علائم

$I$	شدت تابش خورشید $(\frac{W}{m^2})$
$T$	دمای آب داخل ظرف ( $^{\circ}C$ )
$A$	مساحت سطح انعکاسی ( $m^2$ )
$u$	انرژی داخلی ( $J$ )
$m$	جرم ( $kg$ )
$c_p$	ظرفیت گرمایی ویژه $(J/kg.K)$
$t$	زمان (ثانیه)
$\Delta$	اختلاف
$\mu$	بازده انرژی

در رابطه فوق  $A_p$  مساحت سطح انعکاسی سهمی در سیستم ۲ و  $A_{p,max}$  بیشترین مقدار سطح انعکاسی و معادل سطح انعکاسی سیستم ۱ می‌باشد. در این حالت عرض آینه‌های نصب شده بر روی منحنی واحد در نظر گرفته شده است. روابط ۱ و ۲ مقدار تأثیر سطح انعکاسی در نواحی سه‌گانه منحنی سهمی اجاق خورشیدی را معرفی می‌نمایند.

بر اساس نتایج حاصله برای برخی از کاربردها، ناحیه‌های الف و ج اجاق خورشیدی می‌توانند حذف شوند، از این جهت سیستم هم سبک‌تر می‌شود و هم ارزان‌تر! اما آینه‌هایی که بر روی بخش ب از منحنی سهمی نصب شده‌اند اثر قابل توجهی بر عملکرد اجاق خورشیدی دارند و به همین دلیل حذف آنها موجب افت شدید کارآیی سیستم خواهد شد. حذف بخش الف از منحنی سهمی، آنرا به هندسه ارائه شده در مرجع [۱۳] که برای بهینه‌سازی یک اجاق خورشیدی جعبه‌ای مورد استفاده قرار گرفته است نزدیک می‌کند.

### ۴-۲- تحلیل بازده گرمایی اجاق‌های خورشیدی

بازده انرژی برای یک اجاق خورشیدی به صورت نسبت انرژی خروجی (میزان افزایش انرژی داخلی آب مطابق آزمون استاندارد) به انرژی ورودی (مقدار انرژی جذب شده توسط اجاق خورشیدی) تعریف می‌شود[۱۷]؛ بازده انرژی  $\mu$  به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$\mu = \frac{mc_p[(T_{fw} - T_{iw})]}{IA\Delta t} \quad (3)$$

که  $m$  مقدار جرم آب موجود در ظرف بر حسب  $C_p$  kg گرمای ویژه آب که معادل  $K_{fw}$   $T_{fw}$  و  $T_{iw}$  دمایهای اولیه و نهایی آب در طول زمان آزمایش بر حسب  $K$ ،  $I$  متوسط شدت تابش خورشیدی بر واحد سطح بر حسب  $W/m^2$  و  $A$  کل سطح دریافت‌کننده تابش خورشیدی بر حسب  $m^2$  طول زمان  $\Delta t$  در حسب  $s$  تابش بر حسب ثانیه می‌باشد[۱۸]. مقدار بازده انرژی اجاق‌های خورشیدی برای آزمایش‌های ۱ تا ۴ در جدول ۳. ارائه شده است.

جدول ۳- بازده انرژی اجاق‌های خورشیدی در آزمایشات ۱ تا ۴

آزمایش	سیستم ۱	سیستم ۲
۱۵	۱۶	۱۶
۱۴/۵	۱۸	۱۴/۵
۱۵	۲۰	۱۵
۱۵	۳۳	۱۵

به دلیل ثابت بودن سطح انعکاسی، بازده انرژی متوسط سیستم ۱ در همه آزمایش‌ها ثابت و در حدود ۱۵٪ می‌باشد ولی بازده گرمایی سیستم ۲ متناسب با کاهش مقدار سطح انعکاسی در بخش سهمی افزایش می‌یابد. این نتیجه نشان می‌دهد که بخش

- review", Renewable and Sustainable Energy Reviews 14, 691–701, 2010.
- [10] A. Harmim, M. Boukar, M. Amar, "Experimental study of a double exposure solar cooker with finned cooking vessel", Solar Energy, vol. 82, pp. 287–289, 2008.
- [11] Harmim A., Belhamel M., Boukar M., Amar M., "Experimental investigation of a box-type solar cooker with a finned absorber plate", Energy, vol. 35, pp. 3799–3802, 2010.
- [12] Harmim A., Belhamel M., Boukar M., Amar M., "Experimental investigation of a box-type solar cooker with a finned absorber plate", Energy, vol. 35, pp. 3799–3802, 2010.
- [13] Harmim A., Merzouk M., Boukar M., Amar M., "Performance study of a box-type solar cooker employing an asymmetric compound parabolic concentrator", Energy, vol. 47, pp. 471-480, 2012.
- [14] Harmim A., Merzouk M., Boukar M., Amar M., "Performance study of a box-type solar cooker employing an asymmetric compound parabolic concentrator", Energy, vol. 47, pp. 471-480, 2012.
- [15] Harmim A., Merzouk M., Boukar M., Amar M., "Design and experimental testing of an innovative building-integrated box type solar cooker", Solar Energy, vol. 98, pp. 422-433, 2013.
- [16] Houseyin Ozturk H., "Experimental determination of energy and exergy efficiency of the solar parabolic-cooker", Solar Energy, vol. 77, pp. 67-71, 2004.
- [17] Funk P. A., "Evaluating the international standard procedure for testing solar cookers and reporting performance", Solar Energy vol. 68, pp. 1–7, 2000.
- [18] Naveen Kumar, G. Vishwanath, Anurag Gupta, "An exergy based unified test protocol for solar cookers of different geometries", Renewable Energy, vol. 44, 457-462, 2012.

## بالانویس‌ها

نماد دما

## زیرنویس‌ها

اولیه	<i>i</i>
نهایی	<i>f</i>
اعکاسی	<i>ref</i>
آب	<i>w</i>
محیط	<i>amb</i>
نسبت	<i>r</i>
سهمی	<i>p</i>
اختلاف	<i>d</i>
سیستم ۱	۱
سیستم ۲	۲

## سپاسگزاری

در اجرای این پروژه تحقیقاتی از پشتیبانی مرکز نوآوری پارک علم و فناوری خراسان و پایلوت صنایع غذایی پژوهشکده علوم و صنایع غذایی استفاده شده است که از زحمات آنها تشکر می‌گردد.

## مراجع

- [1] Schwarzena K., Eugenia M., daSilvab V., "Solar cooking system with or without heat storage for families and institutions", Solar Energy, vol. 75, pp. 35–41, 2003.
- [2] Nahar N. M. and Gupta Jagdish P., "Energy conservation potential for solar cookers in arid zones of India", Energy, vol. 16, pp. 965-969, 1991.
- [3] Valmiki M. M., Li P., Heyer J., Morgan M., Albinali A., Alhamidi K., Wagoner J., "A novel application of a Fresnel lens for a solar stove and solar heating", Renewable Energy, vol. 36, pp. 1614-1620, 2011.
- [4] Al-Soud M. S., Abdallah E., Akayleh A., Abdallah S., Hrayshat E. S., "A parabolic solar cooker with automatic two axes sun tracking system", Applied Energy, vol. 87, pp. 463–470, 2010.
- [5] Kumar N., Chavda T., Mistry H. N., "A truncated pyramid non-tracking type multipurpose domestic solar cooker/hot water system", Applied Energy, vol. 87, pp. 471–477, 2010.
- [6] N. Kumar, T. Chavda, H.N. Mistry, "A truncated pyramid non-tracking type multipurpose domestic solar cooker/hot water system", Applied Energy, Vol. 87, pp. 471–477, 2010.
- [7] Sharaf E., "A new design for an economical, highly, efficient, conical solarcooker", Renewable Energy, vol. 27, pp. 599–619, 2002.
- [8] khosrawialhoseini M., maarefat M., "Evaluation of radiation energy loss in display case refrigerators", Journal of Modares Mechanical Engineering, vol.37, 2009 (in Persian)
- [9] Muthusivagami R. M., Velraj R., Sethumadhavan R., "Solar cookers with and without thermal storage—A