

## بررسی تجربی اثر مقدار سطح آئینه سهمی بر بازده انرژی و انرژی در یک اجاق خورشیدی دو تابشی

حسین زمانی خادم‌انلو<sup>۱\*</sup>، محمد مقیمان<sup>۲</sup>، علی کیانی‌فر<sup>۳</sup>

۱- دانشجوی دکتری، گروه مکانیک، دانشکده مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد

\*نویسنده مسئول (hoseinzamanikh@gmail.com)

۲- استاد گروه مکانیک، دانشکده مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد

۳- دانشیار گروه مکانیک، دانشکده مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد

### چکیده

تاریخ دریافت: ۹۲/۰۵/۰۲

تاریخ پذیرش: ۹۳/۰۲/۰۸

#### واژه‌های کلیدی

اجاق خورشیدی

اجاق خورشیدی دو تابشی

انرژی خورشیدی

بازده انرژی

بازده انرژی

برای محاسبه بازده انرژی و انرژی در یک اجاق خورشیدی دو تابشی و بررسی اثر تغییرات سطح آئینه‌های سهمی بر آن‌ها، دو سیستم مشابه طراحی، ساخته و در شرایط یکسان مورد آزمایش مقایسه‌ای قرار گرفته‌اند. سطح آئینه‌های سهمی در یکی از سیستم‌ها به طور کامل در معرض تابش خورشید قرار گرفته و در دیگری متغیر بوده است تا تأثیر آن بر بازده انرژی و انرژی سیستم بررسی شود. نتایج حاصله بهترین زمان عملکرد سیستم را از منظر بازده انرژی تعیین نمود. این نتایج همچنین نشان می‌دهد که استفاده از اجاق خورشیدی دو تابشی در صورت نیاز به دمای بالا برای پخت و پز مناسب است و برای سایر کاربردها نظیر گرم کردن و پاستوریزه کردن مواد غذایی بهتر است از سیستم‌های ساده یا جعبه‌ای استفاده شود؛ در این صورت سیستم ساده‌تر، کم هزینه‌تر و حمل و نقل آن راحت‌تر خواهد بود. این تحقیق به عنوان یکی از مراحل توسعه قابلیت‌های اجاق خورشیدی دو تابشی برای پخت نان مسطح طراحی شده است و آزمایش‌های آن در پژوهشکده علوم و صنایع غذایی، واقع در مشهد، با عرض جغرافیایی ۳۶ و طول جغرافیایی ۵۴ درجه انجام شده است.

### مقدمه

کشورهای جهان امکان استفاده از انرژی خورشیدی را در بیش از ۲۷۵ روز در سال به میزان ۵ تا ۷ کیلووات ساعت بر متر مربع دارند (Funk & Larson, 1998). اجاق‌های خورشیدی سیستم‌هایی هستند که از انرژی پاک، در دسترس 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 (Schwarzera & Vieira da Silva, 2003). با توجه به

پخت و پز یکی از نیازهای اصلی زندگی است و سهم قابل توجهی از انرژی مصرفی خانواده‌ها را به خود اختصاص داده است. در حال حاضر بخش عمده این انرژی از طریق سوخت‌های فسیلی مانند گاز، نفت و چوب تأمین می‌گردد. امروزه در حدود ۲ میلیارد نفر از مردم جهان برای تهیه غذا و گرما از چوب به عنوان سوخت استفاده می‌کنند که بیش از دو سوم آن‌ها در کشورهای در حال توسعه زندگی می‌کنند؛ این در شرایطی است که مردم کم درآمد در بسیاری از

خورشیدی را معرفی کرده و کاربردهای آن‌ها را نیز بیان نموده‌اند. اندازه، شکل و نوع یک اجاق خورشیدی عواملی هستند که می‌توانند عملکرد آن را بهبود بخشیده و زمان پخت غذا را در این سیستم‌ها کوتاه‌تر نمایند؛ برای نمونه، در یک اجاق خورشیدی معین، این امکان وجود دارد که حتی با انجام اصلاحات جزئی در شکل ظرف غذا، دمای آن افزایش یابد و زمان پخت به مقدار قابل توجهی کاهش پیدا کند؛ در همین رابطه نصب فین‌های حرارتی در بدنه ظرف غذا موجب کاهش ۹ تا ۱۱ درصدی زمان جوشیدن آب در یک اجاق خورشیدی دو منظره گردید این آثار در نتیجه افزایش نرخ انتقال حرارت در داخل اجاق خورشیدی صورت گرفته است (Harmim *et al.*, 2008)؛ همچنین نصب تعدادی فین حرارتی بر روی صفحه جاذب یک اجاق خورشیدی جعبه‌ای، دمای آن را به میزان ۷ درصد افزایش داد و زمان جوشیدن آب را در آن به میزان ۱۲ درصد کاهش داد، این تحقیق بر روی یک اجاق خورشیدی جعبه‌ای صورت گرفت ولی نتایج آن در مورد اجاق‌های خورشیدی دو منظره هم می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد (Harmim *et al.*, 2010). 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 (Amer, 2003). در سال ۲۰۱۲ استفاده از دو سطح انعکاسی سهمی شکل 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 (Harmim *et al.*, 2012). ارائه دهندگان طرح مذکور گرچه روش بهینه‌سازی و دستیابی به هندسه سطح انعکاسی را گزارش نکردند، ولی عملکرد آن را به روش تحلیلی بررسی کردند و فرایند انتقال حرارت را در فضای داخلی آن شبیه‌سازی نمودند (Harmim *et al.*, 2012).

این که در کشورهای توسعه‌یافته حدود ۹۰ درصد مصرف انرژی خانگی به پخت و پز اختصاص می‌یابد (Nahar & Gupta, 1991)، 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 (Panwara *et al.*, 2011).

این سیستم‌ها تقریباً هر کاری که یک پلوپز برقی یا اجاق گازی انجام می‌دهند را می‌توانند انجام دهند؛ بنابراین برشته کردن، دم کردن، بخارپز کردن، سرخ کردن و یا دوباره گرم کردن غذاهای سرد شده از جمله کارهایی هستند که با اجاق‌های خورشیدی نیز ممکن می‌باشد (Al-Soud *et al.*, 2010). اجاق‌های خورشیدی انواع متنوعی دارند که شامل متمرکز کننده‌ها، جعبه‌ای و هیبریدی می‌باشند؛ مدل‌های متمرکز کننده پرتوهای خورشید را توسط یک آینه سهمی، کروی یا عدسی فرزنل<sup>۱</sup> بر روی ظرف غذا متمرکز می‌کنند؛ مدل جعبه‌ای پرتوهای خورشید را در یک فضای گلخانه‌ای حبس و مهار می‌نماید و مدل هیبریدی نیز از منابع انرژی کمکی یا ابزارهای انتقال گرما نظیر لوله‌های گرمایی یا سیال‌های عامل جهت انتقال گرما جذب شده از خورشید به محیط آشپزخانه استفاده می‌کند در نتیجه در این مدل‌ها استفاده از انرژی خورشیدی در فضای آشپزخانه ممکن می‌گردد (Panwara, 2012). افزایش کارایی و توسعه دامنه کاربرد اجاق‌های خورشیدی دو موضوع مهم در روند تحقیقات در این زمینه می‌باشند. تاکنون مطالعات تئوری و تجربی زیادی در زمینه توسعه قابلیت‌های حرارتی اجاق‌های خورشیدی و گسترش کاربردهای آن انجام شده است و با استفاده از روش‌های مختلف تلاش شده است تا عملکرد حرارتی و بازدهی اجاق‌های خورشیدی بهبود یابد (Valmiki *et al.*, 2011). برخی از تحقیقات انجام شده در این زمینه توسط (Muthusivagami & Sethumadhavan, 2010)، مورد بررسی قرار گرفته‌اند؛ محققان در این مقاله علاوه بر بررسی روند تحقیقات، انواع اجاق‌های

1- Fresnel lens

### مشخصات اجاق خورشیدی آزمایشی

اجاق خورشیدی که در این تحقیق مورد استفاده قرار گرفته است از نوع دو تابشی می‌باشد که از دو بخش جعبه‌ای و سهمی تشکیل شده است. در قسمت زیرین بخش جعبه‌ای یک صفحه شیشه‌ای دو جداره قرار دارد و امکان جذب پرتوهای خورشید را با کمک منعکس کننده سهمی فراهم می‌کند. قسمت جعبه‌ای به یک آئینه تخت به ابعاد ۵۰ در ۵۰ سانتی‌متر مجهز شده است که با استفاده از لولا بر روی یک چارچوب چوبی نصب شده است. جداره‌های بخش جعبه‌ای اجاق خورشیدی از یک لایه چوبی (به ضخامت ۲۰ میلی‌متر) ساخته شده‌اند و قسمت داخلی آن توسط یک ورق نازک آلومینیومی (به ضخامت ۰/۱ میلی‌متر) پوشانده شده است. ورق آلومینیومی موجب انعکاس پرتوهای خورشید از دیواره و تمرکز آن بر روی ظرف غذا می‌شود. تمامی درزها و محل‌های اتصال نیز به خوبی درز بندی شده‌اند تا از خروج گازهای داغ از سیستم جلوگیری شود. قسمت سهمی سیستم از ۹ آئینه تخت به ابعاد ۱۰ در ۵۰ سانتی‌متر ساخته شده است که بر روی یک منحنی سهمی نصب شده‌اند و به صورت دستی نسبت به جهت تابش خورشید تنظیم می‌شوند؛ به نحوی که مجموعه تابش دریافت شده از آن‌ها بر روی صفحه جذب متمرکز می‌گردد. صفحه جذب یک ورق فولادی تیره به ابعاد ۴۶ در ۲۷ و ضخامت ۰/۲ سانتی‌متر می‌باشد و از دو طرف انرژی پرتوهای خورشیدی را دریافت و به ظرف غذا منتقل می‌کند. در شکل ۱ تصویر دو نمونه اجاق‌های خورشیدی مشابه که برای انجام آزمایش‌ها ساخته شده‌اند نشان داده شده است.

اجاق خورشیدی موجب گردید تا مدل بهینه‌ای از اجاق خورشیدی توسط همان گروه طراحی و آزمایش گردد؛ در این سیستم صفحه جذب از دو طرف انرژی تابشی را دریافت می‌کرد و حداکثر دمای صفحه جذب از ۱۲۷/۷ به ۱۶۵ درجه سانتی‌گراد افزایش یافت. این سیستم در بدنه دیوار یک آشپزخانه نصب گردید و بدون تعقیب خورشید کار می‌کرد (Harmim *et al.*, 2012).

این تحقیق به هدف ارتقای عملکرد حرارتی یک اجاق خورشیدی دو تابشی برای رسیدن به قابلیت پخت نان مسطح ایرانی طراحی شده است؛ این هدف از طریق بهبود گام به گام سیستم، شرایط نصب و بهره‌برداری از آن به روش تجربی و تئوری دنبال می‌شود. پخت نان مسطح که در مناطق مختلفی از شهرها و روستاهای ایران و برخی از کشورهای دیگر مورد استفاده قرار می‌گیرد شرایط حرارتی بخصوصی نیاز دارد که اغلب اجاق‌های خورشیدی موجود توانایی لازم را برای تأمین آن ندارند، از این رو لازم است ابتدا تحلیل‌های مناسبی بر روی عملکرد آن‌ها صورت پذیرد تا با ارتقاء دانش فنی در این زمینه، بهینه‌سازی آن‌ها ممکن گردد. در این تحقیق ضمن محاسبه بازده انرژی و انرژی برای یک اجاق خورشیدی دو منظره که برای اولین بار صورت گرفته است؛ تأثیر مقدار سطح انعکاسی بخش سهمی آن بر بازده انرژی و انرژی نیز به صورت تجربی مورد مطالعه قرار گرفته است. برآورد مقدار بازده انرژی و انرژی سیستم به عنوان تابعی از زمان و بررسی تأثیر مقدار سطح انعکاسی سهمی بر آن می‌تواند راه را برای انجام گام‌های بعدی بهینه‌سازی سیستم باز نماید.

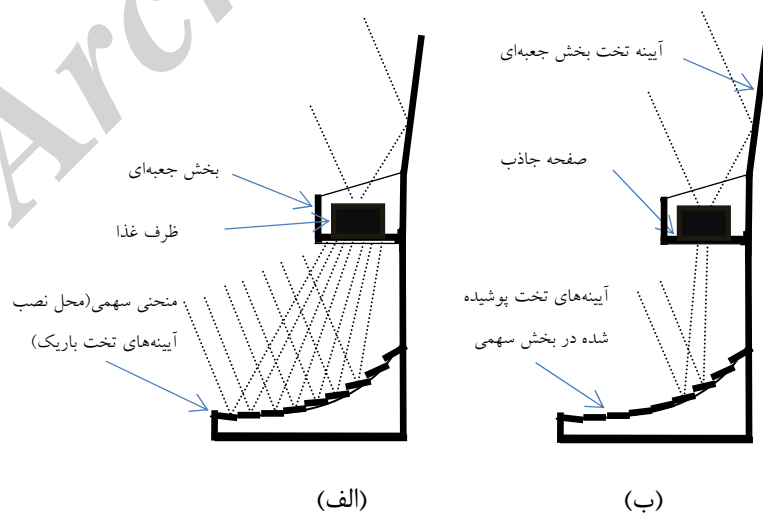


شکل ۱- اجاق‌های خورشیدی دو منظره در شرایط آزمایشی

## روش مطالعه تجربی

برای محاسبه بازده انرژی و انرژی اجاق خورشیدی و تحلیل اثر آینه‌های سهمی بر آن‌ها، دو اجاق خورشیدی دو تابشی طراحی، ساخته و در شرایط یکسان محیطی مورد آزمایش قرار گرفتند. این آزمایش‌ها در ۱۴-۱۱ تیر ماه ۱۳۹۲ و در شرایط آب و هوایی مشهد، با عرض جغرافیایی ۳۷، طول جغرافیایی ۵۴ و ارتفاع از سطح دریا ۹۸۵ متر، انجام شده است. در طول آزمایش‌ها دو دستگاه مشابه در شرایط یکسان و در کنار همدیگر قرار گرفته‌اند. محاسبه بازده قانون اول و دوم (انرژی و انرژی) برای اجاق‌های خورشیدی بر اساس پروتکل ارائه شده توسط Kumar و همکاران (۲۰۱۲) انجام شد؛ به این منظور آزمایش‌های لازم در فاصله زمانی بین ساعت ۱۰ تا ۱۴ طراحی گردید و تا زمان جوشیدن آب داخل ظرف ادامه یافت. برای بررسی اثر آینه‌های بخش سهمی نیز دو سیستم به مدت سه روز متوالی در شرایط آب و هوایی یکسان مورد آزمایش قرار گرفتند؛ در هر مرحله قسمتی از آینه‌های سهمی در سیستم شماره ۲ پوشانده شد و نتایج آن با سیستم شماره ۱ که در آن کل سطح انعکاسی سهمی در معرض تابش انرژی خورشیدی واقع بود مقایسه گردید. در هر آزمایش برای محاسبه بازدهی انرژی و انرژی مقدار ۲ لیتر آب در درون ظرف‌های هر سیستم قرار گرفت. برای

دریافت بیشترین تابش خورشیدی آینه‌های تخت و سهمی اجاق‌های خورشیدی هر ۱۵ دقیقه، به طور مستمر و به صورت دستی تنظیم شدند. در طول آزمایش‌ها، کمیت‌های زیر اندازه‌گیری شدند؛ دمای هوای محیط  $T_a$ ؛ دمای آب داخل ظرف  $T_w$  و انرژی تابش دریافت شده از خورشید،  $I$  بر روی سطح افق. تمامی دماها به وسیله یک دماسنج دو کاناله مدل تستو ۹۲۲ اندازه‌گیری شدند، ترموکوپل به کار رفته برای اندازه‌گیری دماها از نوع (NiCr- Ni)  $k$ ، با دقت  $(\pm 0.5^\circ C + 0.3\% mv)$  بود. برای اندازه‌گیری دمای آب ظرف‌ها، نوک ترموکوپل در فاصله ۵ سانتی‌متر بالاتر از کف ظرف قرار گرفت. دمای آب داخل ظرف به فاصله هر ۱۰ دقیقه ثبت گردید. دمای هوای محیط و شدت تابش خورشید بر روی سطح افقی نیز در همین فاصله‌های زمانی ثبت شدند. شدت تابش خورشید به وسیله تابش سنجی از نوع TES/1333، با دقت  $\pm 10 W/m^2$  و بیشترین عدم قطعیت  $5/8 W/m^2$  اندازه‌گیری شد. شکل ۲ یک طرح شمایی از اجاق خورشیدی دو منظره به همراه ساختار آزمایشی آن را نشان می‌دهد. در این شکل مسیر پرتوهای تابش خورشید به همراه آینه‌هایی که در طول آزمایش‌ها پوشانده شده‌اند نشان داده شده است.



شکل ۲- طرح شمایی اجاق خورشیدی دو منظره به همراه ساختار آزمایشی آن. الف) سیستم شماره ۱، ب) سیستم شماره ۲

محاسبه بازده انرژی و انرژی

بازده انرژی برای یک اجاق خورشیدی به صورت نسبت انرژی خروجی (میزان افزایش انرژی داخلی آب) به انرژی ورودی (مقدار انرژی تابشی جذب شده توسط اجاق خورشیدی) تعریف می‌شود. بنابراین بازده لحظه‌ای انرژی  $\eta_1$  به صورت زیر تعریف می‌شود (Kumar et al., 2012).

رابطه (۱)

$$\eta_1 = \frac{mc_p[(T_{fw} - T_{iw})]}{I \times A_{desc} \Delta t}$$

در رابطه بالا  $m$  مقدار جرم آب داخل ظرف بر حسب  $kg$ ،  $C_p$  گرمای ویژه آب که معادل  $4.2 \text{ kJ/kg.K}$  می‌باشد،  $T_{fw}$  و  $T_{iw}$  دماهای اولیه و نهایی آب در طول زمان آزمایش بر حسب  $K$ ،  $I$  متوسط شدت تابش خورشید بر واحد سطح بر حسب  $W/m^2$  و  $A_{desc}$  کل سطح دریافت کننده تابش خورشید بر حسب  $m^2$  می‌باشد که به صورت زیر محاسبه می‌شود:

رابطه (۲)

$$A_{desc} = A_{bt} + A_{pt}$$

در رابطه بالا  $A_{bt}$  سطح دریافت کننده انرژی تابشی بخش جعبه‌ای (معادل  $0.15$  متر مربع) و  $A_{pt}$  مجموع سطوح دریافت کننده انرژی تابشی در بخش سهمی (در بیشترین حالت معادل  $0.4$  متر مربع) می‌باشد؛ این مقدار در طول آزمایش‌ها برای سیستم شماره ۲ تغییر داده می‌شود تا اثر آن بر عملکرد سیستم مورد ارزیابی قرار گیرد.

بازده انرژی یا بازده قانون دوم ترمودینامیک به صورت نسبت نرخ انرژی انتقال یافته به فضای مورد نظر به نرخ انرژی ورودی از طریق تابش خورشید تعریف می‌شود. انرژی ورودی یا انرژی حاصل از تابش خورشید بر واحد سطحی موازی زمین،  $E_{X_{in,solar}}$  به صورت زیر تعریف می‌شود (Kumar et al., 2012).

رابطه (۳)

$$E_{X_{in,solar}} = I \times \left[ 1 + \frac{1}{3} \left( \frac{T_a}{T_s} \right)^4 - \frac{4}{3} \times \frac{T_a}{T_s} \right] A_{desc} \Delta t \quad W/m^2$$

در رابطه بالا  $T_a$  دمای محیط و  $T_s$  دمای مطلق خورشید می‌باشد؛ دمای خورشید  $T_s$  نیز معمولاً معادل  $5800$  کلین در نظر گرفته می‌شود. انرژی خروجی یا انرژی جذب شده به وسیله آب در فرایند پخت به صورت زیر تعریف می‌شود:

رابطه (۴)

$$E_{X_{out,solar}} = mc_p \left[ (T_{fw} - T_{iw}) - T_a \ln \frac{T_{fw}}{T_{iw}} \right] W/m^2$$

بنابراین بازده انرژی لحظه‌ای برای یک اجاق خورشیدی دو تابشی از رابطه زیر به دست خواهد آمد:

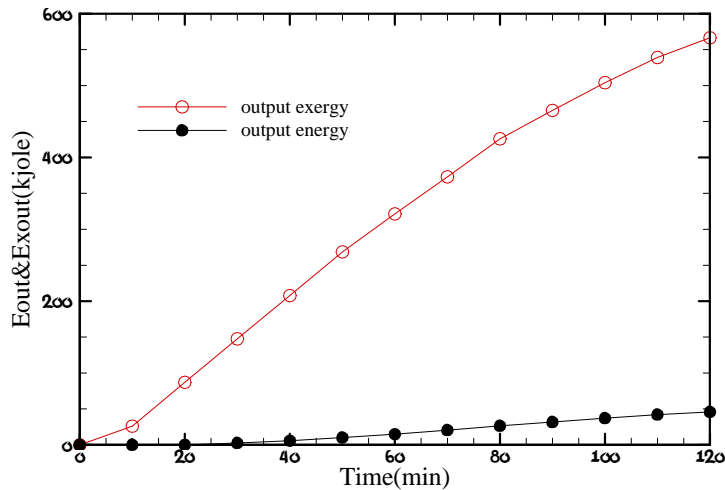
رابطه (۵)

$$\eta_{II} = \frac{mc_p \left[ (T_{fw} - T_{iw}) - T_a \ln \frac{T_{fw}}{T_{iw}} \right]}{I \times \left[ 1 + \frac{1}{3} \left( \frac{T_a}{T_s} \right)^4 - \frac{4}{3} \times \frac{T_a}{T_s} \right] A_{desc} \Delta t}$$

بحث و بررسی نتایج

محاسبه بازده انرژی و انرژی

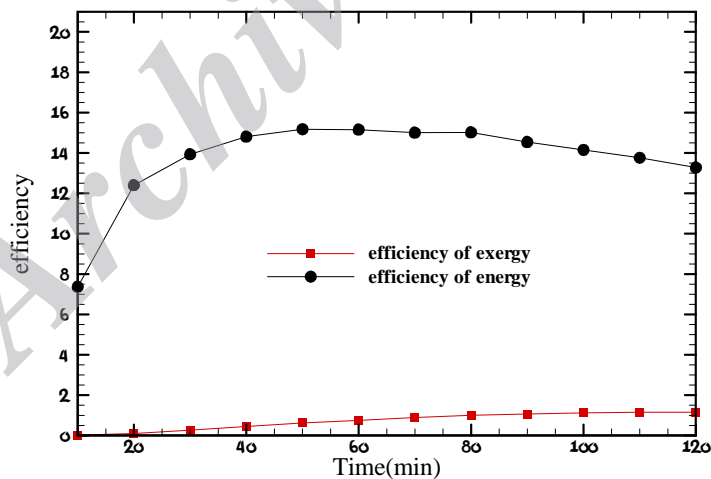
در شکل ۳ نمودار مقادیر انرژی و انرژی خروجی از اجاق خورشیدی (که موجب افزایش انرژی داخلی آب در داخل ظرف می‌شود) در طول زمان نشان داده شده است، همان طوری که مشاهده می‌شود، این مقادیر در طول زمان و متناسب با میزان انتقال حرارت و انرژی به آب افزایش می‌یابند. میزان حرارت انتقال یافته نسبت به انرژی انتقال یافته بسیار بیشتر می‌شود. شیب افزایش انرژی داخلی آب با افزایش زمان کاهش می‌یابد؛ این امر به دلیل افزایش اختلاف دما بین ظرف و محیط می‌باشد که موجب افزایش انتقال حرارت از طریق جداره‌های اجاق خورشیدی به محیط می‌گردد.



شکل ۳- نمودار تغییرات انرژی و انرژی خروجی برای اجاق خورشیدی دو تابشی در طول زمان آزمایش

توجهی افزایش می‌یابد و بخش قابل توجهی از انرژی دریافتی به جای این که صرف افزایش انرژی داخلی آب گردد تلف می‌شود. با تقویت عایق کاری سیستم می‌توان بخش قابل توجهی از این اتلافات را کاهش داد؛ در نتیجه بازده سیستم نیز افزایش خواهد یافت. تغییرات بازده انرژی نسبت به زمان به دلیل این که علاوه بر اختلاف دمای آب و محیط تابع نسبت دمای آب به دمای اولیه نیز می‌باشد مانند بازده انرژی نیست از این جهت به کندی افزایش می‌یابد.

در شکل ۴ نمودار بازده انرژی و انرژی برای اجاق خورشیدی دو تابشی نشان داده شده است. همان طوری که مشاهده می‌شود، بیشترین مقدار بازده انرژی و انرژی به ترتیب معادل ۱۵/۱۸ درصد و ۱/۱۶ درصد می‌باشند؛ بیشترین بازده انرژی بعد از گذشت ۵۰ دقیقه از شروع آزمایش به دست آمده است. کاهش بازده انرژی بعد از این زمان به این دلیل صورت می‌گیرد که با افزایش دمای آب، نرخ اتلاف حرارت از طریق هدایت و جابجایی به میزان قابل



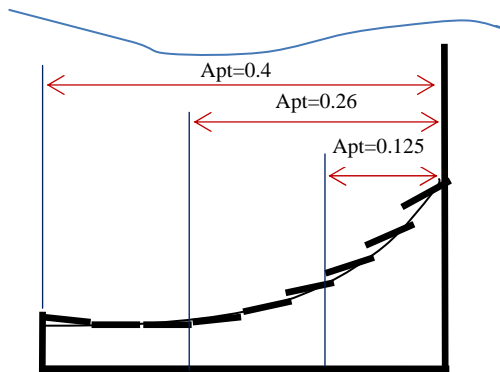
شکل ۴- نمودار بازده انرژی و انرژی برای اجاق خورشیدی دو تابشی در طول زمان آزمایش

گرفتند؛ در هر مرحله تعدادی از آیین‌های بخش سهمی در سیستم شماره ۲ پوشانده شدند و نتایج آن با سیستم شماره ۱ که در آن همه آیین‌های بخش سهمی در معرض تابش انرژی خورشیدی واقع بود مورد مقایسه قرار گرفت. شکل ۵ نمایی از بخش

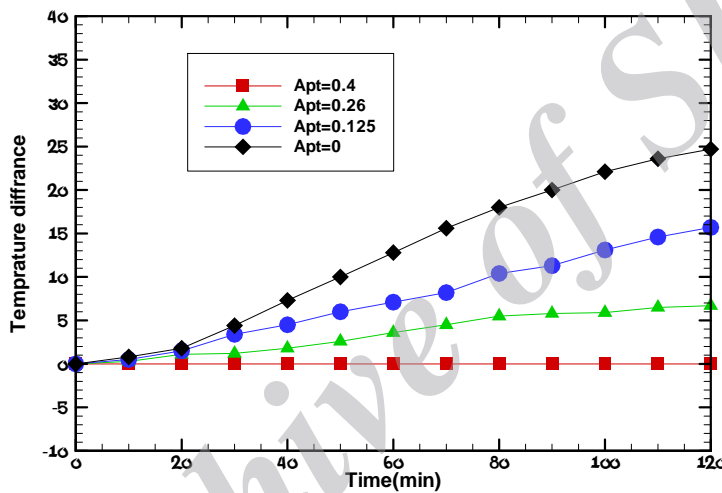
بررسی تأثیر سطح بخش سهمی بر بازده انرژی و انرژی  
برای بررسی اثر مقدار سطح آیین‌های سهمی بر عملکرد سیستم، دو سیستم به مدت سه روز متوالی در شرایط آب و هوایی یکسان مورد آزمایش قرار

شکل آئینه‌های مورد استفاده در مراحل آزمایش نشان داده شده است.

سهمی اجاق خورشیدی را نشان می‌دهد که می‌تواند برای جمع‌بندی نتایج، مورد استفاده قرار گیرد و نتایج کاربردی این تحقیق را روشن‌تر نماید. بر روی این



شکل ۵- تصویری شمایی آئینه‌های بخش سهمی در مراحل مختلف آزمایش (اندازه سطوح بر حسب متر مربع می‌باشد).

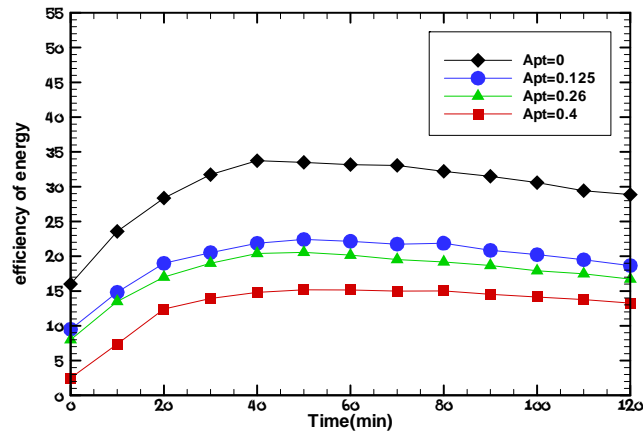


شکل ۶- اختلاف دما بر حسب زمان آزمایش برای سطوح انعکاسی مختلف بخش سهمی

انعکاسی در سیستم شماره ۲ برای حالت‌های فوق به ترتیب؛ ۰/۴، ۰/۲۶، ۰/۱۲۵ و صفر متر مربع می‌باشد. در شکل ۷ نمودار بازده انرژی برای چهار حالت آزمایشی نشان داده شده است؛ بازده انرژی برای حالتی که تمام آئینه‌های بخش سهمی حذف شده‌اند بیشترین مقدار را دارد و برای حالت‌های بعدی به تناسب مقدار سطح انعکاسی که از بخش سهمی حذف شده است افزایش می‌یابد از این جهت کمترین بازدهی مربوط به شرایطی است که سیستم با همه آئینه‌های بخش سهمی فعال بوده و بیشترین انرژی خورشیدی را دریافت می‌نماید.

شکل ۶ اختلاف دمای ایجاد شده در هر دو سیستم را برای مراحل سه گانه آزمایش نشان می‌دهد.

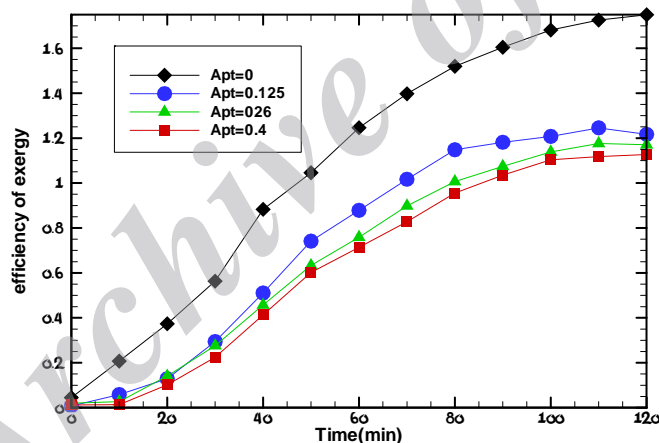
همان طوری که ملاحظه می‌گردد اختلاف دمای دو سیستم به تناسب حذف مقدار بیشتری از سطح انعکاسی افزایش می‌یابد؛ در حالت اول که ۹ آئینه در بخش سهمی سیستم شماره ۲ نصب هستند اختلاف دمای آن با دمای سیستم شماره ۱، صفر می‌باشد؛ برای حالت‌های بعدی به ترتیب با حذف ۳، ۶ و ۹ آئینه، اختلاف دمای آن‌ها، به مقدار ۶/۷، ۱۵/۷ و ۲۴/۷ درجه سانتی‌گراد رسیده است؛ مقدار سطح



شکل ۷- تغییرات بازده انرژی بر حسب زمان برای سطوح انعکاسی مختلف بخش سهمی

آینه‌های بخش سهمی فعال بوده و بیشترین انرژی خورشیدی را دریافت می‌نماید. همچنین ملاحظه می‌گردد که اختلاف مقدار بازده انرژی برای حالتی که سیستم با ۹ و ۶ آینه مورد آزمایش قرار گرفته است بسیار ناچیز می‌باشد. این امر نشان می‌دهد که اثر سه آینه انتهایی منحنی سهمی بر جذب انرژی توسط اجاق خورشیدی ناچیز می‌باشد.

در شکل ۸ نمودار بازده انرژی برای چهار حالت آزمایشی نشان داده شده است؛ بازده انرژی برای حالتی که تمام آینه‌های بخش سهمی حذف شده‌اند بیشترین مقدار را دارد و برای حالت‌های بعدی متناسب با مقدار سطح انعکاسی که از بخش سهمی حذف شده است افزایش می‌یابد از این جهت کمترین بازدهی مربوط به شرایطی است که سیستم با همه



شکل ۸- تغییرات بازده انرژی بر حسب زمان برای سطوح انعکاسی مختلف بخش سهمی

انرژی و انرژی نیز به ترتیب ۵۰ و ۱۲۰ دقیقه می‌باشد. به موازات افزایش سطح انعکاسی در بخش سهمی بازده‌های انرژی و انرژی نیز کاهش می‌یابند. دلیل این امر این است که مقدار انرژی و انرژی دریافتی متناسب با افزایش مقدار سطح آینه‌ها افزایش می‌یابد در حالی که انرژی و انرژی خروجی متناسب با آن افزایش پیدا نمی‌کند و بخش قابل توجهی از انرژی و انرژی از طرق مختلف به هدر می‌رود.

خلاصه‌ای از نتایج آزمایش‌های صورت گرفته در جدول ۱ ارائه شده است. در این جدول برای هر آزمایش (بر اساس مقدار سطح انعکاسی که از بخش سهمی حذف شده است) زمان رسیدن به بیشترین مقادیر بازده انرژی و انرژی، مقدار سطح انعکاسی و بیشترین مقدار بازده انرژی و انرژی ارائه شده است. بیشترین بازده انرژی و انرژی سیستم به ترتیب مقادیر ۳۳/۷۳ و ۱/۷۵ درصد می‌باشند و در حالتی به دست آمده‌اند که تمامی آینه‌های بخشی سهمی حذف شده است؛ زمان رسیدن به بیشترین بازده



جدول ۱- خلاصه نتایج آزمایش‌های صورت گرفته بر روی اجاق خورشیدی دو منظره

بازده انرژی	بازده انرژی	مقدار سطح انعکاسی	زمان رسیدن به بیشترین مقدار		مراحل آزمایشی
			بازده انرژی	بازده انرژی	
۱/۱۵۸	۱۵/۱۷	۰/۴	۵۰	۱۱۰	استفاده از ۹ آئینه تخت در بخش سهمی
۱/۱۷۶	۲۰/۵۵	۰/۲۶	۵۰	۱۱۰	استفاده از ۶ آئینه تخت در بخش سهمی
۱/۲۴	۲۲/۴۲	۰/۱۲۵	۵۰	۱۱۰	استفاده از ۳ آئینه تخت در بخش سهمی
۱/۷۵	۳۳/۷۳	۰	۴۰	۱۲۰	حذف تمام آئینه‌های تخت از بخش سهمی

### نتیجه‌گیری

بر اساس نتایج یافته‌های آزمایشی که از مطالعه دو اجاق خورشیدی دو تابشی در شرایط آب و هوایی یکسان انجام گردید نتایج زیر به دست آمده است.

در چارچوب پروتکل استاندارد آزمایشی برای اولین مقدار بازده انرژی و انرژی برای یک اجاق خورشیدی دو منظره محاسبه گردید. نتایج آزمایش نشان می‌دهد که مقدار بازده انرژی اجاق خورشیدی دو تابشی بسیار کم می‌باشد که این امر در مورد تمام سیستم‌های خورشیدی صادق است. دلیل کم بودن بازده انرژی در سیستم وجود دریافت انرژی در دمای کم و اتلاف‌های تابشی و حرارتی از سطوح انعکاسی و دیواره‌های بخش جعبه‌ای است. برای افزایش بازده انرژی سیستم لازم است؛ از سطوح انعکاسی با ضریب انعکاس بالا استفاده شود، تنظیم آئینه‌ها جهت تمرکز بر روی سطح جاذب به صورت دقیق‌تری صورت پذیرد، سطوح انعکاسی به طور مستمر تمیز شوند، انتقال حرارت به ظرف در داخل بخش جعبه‌ای با استفاده از روش‌های مختلف افزایش یابد و جداره‌های بخش جعبه‌ای عایق کاری گردند. همچنین نتایج آزمایش‌ها نشان می‌دهد که بهترین عملکرد سیستم در ۵۰ دقیقه بعد از شروع کار آن حاصل می‌شود، از این جهت استفاده از اجاق‌های خورشیدی برای کاربردهایی نظیر گرم کردن و پاستوریزه کردن که در دمای حدود ۷۲ درجه سانتی‌گراد (برای شیر) انجام می‌شود مناسب‌تر می‌باشد.

نتایج بخش دوم آزمایش‌ها نشان می‌دهد که هر چه میزان سطوح انعکاسی در سیستم کاهش یابد، بازده انرژی و انرژی آن نیز افزایش می‌یابد؛ با افزایش مقدار سطح آئینه‌ها طبیعی است که مقدار تابش بیشتری جذب سیستم می‌گردد اما اتلاف‌های تابشی و حرارتی از سطوح انعکاسی به میزان بیشتری افزایش یافته در نتیجه بازده انرژی و انرژی نیز به همان نسبت کاهش می‌یابد. این امر نشان می‌دهد که برای برخی از کاربردها که نیاز به رسیدن مواد غذایی به نقطه جوش وجود ندارد می‌توان سطوح سهمی را حذف نمود و از اجاق‌های خورشیدی جعبه‌ای استفاده کرد؛ در نتیجه سیستم ارزان‌تر و ساده‌تر می‌گردد و به راحتی حمل و نقل خواهد شد. ولی برای شرایطی که نیاز به دماهای بالا برای پخت و پز وجود دارد با توجه به این که انرژی خورشید در دسترس و ارزان می‌باشد می‌توان از سیستم‌های دو تابشی استفاده نمود، چرا که در این سیستم‌ها هزینه انرژی ورودی صفر می‌باشد.

### تشکر و قدردانی

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

## منابع

1. Al-Soud, M. S., Abdallah, E., Akayleh, A., Abdallah, S., & Hrayshat, E. S. 2010. A parabolic solar cooker with automatic two axes sun tracking system. *Applied Energy*, 87: 463–470.
2. Amer, E.H. 2003. Theoretical and experimental assessment of a double exposure solar cooker. *Energy Conversion and Management*, 44: 2651-2663.
3. Funk, P.A., & Larson, D.L. 1998. Parametric model of solar cooker performance. *Solar Energy*, 62: 63–68.
4. Harmim, A., Belhamel, M., Boukar, M., & Amar, M. 2010. Experimental investigation of a box-type solar cooker with a finned absorber plate. *Energy*. 35: 3799–3802.
5. Harmim, A., Boukar, M., & Amar, M. 2008. Experimental study of a double exposure solar cooker with finned cooking vessel. *Solar Energy*, 82: 287–289.
6. Harmim, A., Merzouk, M., Boukar, M., & Amar, M. 2012. Mathematical modeling of a box-type solar cooker employing an asymmetric compound parabolic concentrator. *Solar Energy*, 86: 1673-1682.
7. Harmim, A., Merzouk, M., Boukar, M., & Amar, M. 2012. Performance study of a box-type solar cooker employing an asymmetric compound parabolic concentrator. *Energy*, 47: 471-480.
8. Harmim, A., Merzouk, M., Boukar, M., & Amar, M. 2013. Design and experimental testing of an innovative building-integrated box type solar cooker, *Solar Energy*, 98: 422-433.
9. Kumar. N., Tilak, C., & Mistry, H.N., 2010. A truncated pyramid non-tracking type multipurpose domestic solar cooker/hot water system. *Applied Energy*, 87: 471–477.
10. Kumar. N., Vishwanath, G., & Anurag, G. 2012. An exergy based unified test protocol for solar cookers of different geometries. *Renewable Energy*, 44: 457-462.
11. Muthusivagami, R.M., Velraj, R., & Sethumadhavan, R. 2010. Solar cookers with and without thermal storage: a review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14: 691–701.
12. Nahar, N. M., & Gupta, P. 1991. Energy conservation potential for solar cookers in arid zones of India. *Energy*, 16: 965-969.
13. Narasimha Rao, A.V., & Subramanyam S. 2005. Solar cookers, part-II, cooking vessel with central annular cavity. *Solar Energy*, 78: 19–22.
14. Panwara, N.L., Kaushika, S.C., Kotharib, S. 2012. State of the art of solar cooking: an overview. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 16: 3776– 3785.
15. Panwara, N.L., Kaushikb, S.C., & Kotharia, S. 2011. Role of renewable energy sources in environmental protection: a review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15: 1513–1524.
16. Riyad A.M., Salah A., & Muslih I.M., 2011, Design, Construction and Operation of Spherical Solar Cooker with Automatic, Sun Tracking System. *Energy Conversion and Management*, 52: 615–620.
17. Schwarzera, K., & Vieira da Silva, M. E. 2003. Solar cooking system with or without heat storage for families and institutions. *Solar Energy*, 75: 35–41.

18. Valmiki, M.M., Li, P., Heyer, J., Morgan, M., Albinali, A., Alhamidi, & Jeremy Wagoner, K. 2011. A novel application of a Fresnel lens for a solar stove and solar heating. *Renewable Energy*, 36: 1614-1620.

Archive of SID

## The variation effects of parabolic mirrors surface on energy and exergy efficiencies in a double-exposure solar cooker

Hossein Zamani<sup>1\*</sup>, Mohammad Moghiman<sup>2</sup>, Ali Kianifar<sup>3</sup>

1- PhD. Student, Department of Mechanic, Engineering College, Ferdowsi University of Mashhad, Iran

\*Corresponding author (hoseinzamanikh@gmail.com)

2- Professor, Department of Mechanic, Engineering College, Ferdowsi University of Mashhad, Iran

3- Associated Professor, Department of Mechanic, Engineering College, Ferdowsi University of Mashhad, Iran

### Abstract

The energy and exergy efficiencies for a double exposure solar cooker are determined. In order to observe the variation effects of a parabolic mirrors surface on energy and exergy efficiencies two identical systems were designed, constructed and tested under the same climatic conditions; the parabolic mirrors in one of the systems have been fully exposed to the sun and mirrors of the one were movable to see the variation effects on the energy and exergy efficiencies. The results show that using a double exposure solar cooker is recommended when high temperature is needed for cooking purpose. For other applications, such as food heating and pasteurization it is better that solar box-type cooker is employed. In such case, the system would be simpler, less costly and easier for transportation. This research is designed to develop a suitable double-exposure solar cooker performance and the tests were carried out in the Research Institute of Food Science and Technology, located at 36 latitude and 54 longitudes in Mashhad, Iran.

**Keywords:** Double exposure solar cooker, Energy efficiency, Exergy efficiency, Reflected surface, Solar energy.