



## Experimental Investigation of the Effect of Wind Speed on the Performance of a Portable Parabolic Solar Cooker from Energy and Exergy Viewpoints

### ARTICLE INFO

#### Article Type

Original Research

#### Authors

Hosseinzadeh M. <sup>1</sup> MSc,  
Zamani H. <sup>\*1</sup> PhD,  
Mirzababae S.M. <sup>1</sup> PhD,  
Faezian A. <sup>1</sup> PhD,  
Zarrinkalam F. <sup>2</sup> BSc

#### How to cite this article

Hosseinzadeh M, Zamani H, Mirzababae S.M, Faezian A, Zarrinkalam F. Experimental Investigation of the Effect of Wind Speed on the Performance of a Portable Parabolic Solar Cooker from Energy and Exergy Viewpoints. Modares Mechanical Engineering. 2020;20(6):1525-1532.

<sup>1</sup>Food Industry Machineries Department, Research Institute of Food Science & Technology, Mashhad, Iran

<sup>2</sup>Mechanical Engineering Department, Engineering Faculty, Mashhad Branch, Islamic Azad University, Mashhad, Iran

#### \*Correspondence

Address: Food Industry Machineries Department, Research Institute of Food Science & Technology, Khorasan Science & Technology Park, 12 Kilometer of Mashhad-Quchan Highway, Mashhad, Iran. Postal Code: 91895157356,  
Phone: +98 (51) 35425417  
Fax: +98 (51) 3542406  
h.zamani@rifst.ac.ir

#### Article History

Received: August 21, 2019  
Accepted: February 8, 2020  
ePublished: June 20, 2020

### ABSTRACT

In this study, a portable parabolic solar cooker is designed and fabricated, and the daily performance of the solar cooker is investigated from the energy and exergy viewpoints. One of the important challenges of the parabolic solar cookers is the reduction of their performance in the windy conditions. In order to evaluate this issue, the effect of 0.2, 2, 4 and 6m/s wind speeds on the energy and exergy efficiencies of the solar cooker is studied. Based on the results, the energy efficiency of the parabolic solar cooker is 34.52-46.19% and the exergy efficiency is 2.11-5.60% during the experiment. The experimental results indicate that water can boil in the windy conditions using the fabricated solar cooker although the time required to boil water increases by rising the wind speed. According to the results, in the wind speed of 6m/s, the time taken to boil 2 liters of water is about 40min. Furthermore, the energy and exergy efficiencies of the parabolic solar cooker in the wind speed of 6m/s are 20.08% and 1.99%, respectively, lower than those in the wind speed of 0.2m/s.

**Keywords** Parabolic Solar Cooker, Energy Analysis, Exergy Analysis, Wind Speed

### CITATION LINKS

[1] On the design, modelling and analysis of multi-shelf inclined solar cooker-cum-dryer [2] Development of a solar thermal storage cum cooking device using salt hydrate [3] Experimental analysis and simulation of the performance of a box-type solar cooker [4] Thermal performance evaluation of solar cooker with latent and sensible heat storage unit for evening cooking [5] Design analysis factors and specifications of solar dish technologies for different systems and applications [6] Optical Evaluation of Funneled Panel Solar Cooker and Design Evolution [7] Design, construction and operation of spherical solar cooker with automatic sun tracking system [8] Solar cooker of the portable parabolic type incorporating heat storage based on PCM [9] Experimental determination of energy and exergy efficiency of the solar parabolic-cooker [10] Design, development and testing of a portable parabolic solar kitchen [11] Experimental investigations and comparison of energy and exergy efficiencies of the box type and Solar Parabolic Cooker [12] Modeling of an Evacuated Tube Solar Cooker and Investigation of Weather Parameters Effect [13] Heat loss analysis: An approach toward the revival of parabolic dish type solar cooker [14] Performance evaluation of five solar cookers [15] Effect of wind on the thermal performance of a paraboloid concentrator solar cooker [16] Heat losses from a paraboloid concentrator solar cooker: Experimental investigations on effect of reflector orientation [17] Nanofluid and Phase Change Material Integrated into a Photovoltaic Thermal System [18] Performance characteristics of a new hybrid solar cooker with air duct [19] Portable solar cooker and water heater [20] Energy and exergy analysis of typical renewable energy systems [21] Energy and exergy analysis of nanofluid based photovoltaic thermal system integrated with phase change material [22] A review of the thermal performance parameters of box type solar cookers and identification of their correlations

## بررسی تجربی اثر سرعت باد بر عملکرد یک اجاق خورشیدی سهموی قابل حمل از دو دیدگاه انرژی و انرژی و اگزرژی

محمد حسین زاده MSc

گروه طراحی ماشین آلات مواد غذایی، موسسه پژوهشی علوم و صنایع غذایی، مشهد، ایران

حسین زمانی PhD

گروه طراحی ماشین آلات مواد غذایی، موسسه پژوهشی علوم و صنایع غذایی، مشهد، ایران

سیدمهدی میرزابائی PhD

گروه طراحی ماشین آلات مواد غذایی، موسسه پژوهشی علوم و صنایع غذایی، مشهد، ایران

علی فائزبان PhD

گروه طراحی ماشین آلات مواد غذایی، موسسه پژوهشی علوم و صنایع غذایی، مشهد، ایران

فرزاد زرین کلام BSc

گروه مهندسی مکانیک، دانشکده مهندسی، واحد مشهد، دانشگاه آزاد اسلامی، مشهد، ایران

### چکیده

در این مطالعه، یک اجاق خورشیدی سهموی قابل حمل طراحی و ساخته و عملکرد روزانه آن از دو دیدگاه انرژی و اگزرژی بررسی شده است. یکی از مهم‌ترین چالش‌های اجاق‌های خورشیدی سهموی کاهش عملکرد آنها در محیط‌های بادخیز است. به منظور بررسی این موضوع، اثر سرعت‌های باد ۰/۲، ۰/۴ و ۰/۶ متر بر ثانیه بر بازده انرژی و اگزرژی اجاق خورشیدی مطالعه شده است. با توجه به نتایج، بازده انرژی اجاق خورشیدی سهموی در طول آزمایش ۳۴/۵۲ تا ۴۶/۱۹٪ و بازده اگزرژی آن ۲/۱۱ تا ۵/۶۰٪ است. نتایج تجربی نشان می‌دهد، اجاق خورشیدی ساخته شده امکان به جوش آوردن آب در محیط‌های بادخیز را دارد. اگرچه زمان لازم برای به جوش آوردن آب با زیاد شدن سرعت باد افزایش می‌یابد. با توجه به نتایج، زمان لازم برای به جوش آوردن ۲ لیتر آب در سرعت باد ۶ متر بر ثانیه، حدود ۴۰ دقیقه است. همچنین، بازده انرژی و اگزرژی اجاق خورشیدی سهموی در سرعت باد ۶ متر بر ثانیه نسبت به سرعت باد ۰/۲ متر بر ثانیه به ترتیب ۲۰/۰۸ و ۱/۹۹٪ کمتر است.

**کلیدواژه‌ها:** اجاق خورشیدی سهموی، تحلیل انرژی، تحلیل اگزرژی، سرعت باد

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۵/۳۰

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۱۱/۱۹

\*نویسنده مسئول: h.zamani@rifst.ac.ir

### مقدمه

امروزه بخش اصلی انرژی مورد نیاز به منظور پخت مواد غذایی از سوخت‌های فسیلی و زیست توده‌های سنتی تامین می‌شود<sup>[1]</sup>. این امر سبب آلودگی محیط زیست شده و به سلامتی انسان‌ها آسیب می‌رساند. براساس گزارش‌های سازمان جهانی بهداشت (WHO)، سالانه حدود ۴/۳ میلیون نفر در سال در اثر بیماری‌های مربوط به آلودگی‌های هوای خانه که از سوزاندن سوخت‌های جامد ناشی می‌شود، جان خود را از دست می‌دهند<sup>[2]</sup>. بنابراین، تلاش‌های زیادی

به منظور بهره‌گیری از انرژی‌های تجدید پذیر برای تأمین انرژی پخت مواد غذایی صورت گرفته است.

آمارها نشان می‌دهد که بیشتر کشورهای پرجمعیت جهان دارای بیش از ۲۷۵ روز آفتابی در سال هستند<sup>[3]</sup>. بنابراین، انرژی خورشیدی می‌تواند یک جایگزین مناسب برای سوخت‌های فسیلی به منظور تأمین انرژی پخت مواد غذایی باشد. بر این اساس، استفاده از اجاق‌های خورشیدی مورد توجه جامعه جهانی قرار گرفته است. در یک دسته‌بندی، اجاق‌های خورشیدی موجود را می‌توان به دو دسته اجاق‌های خورشیدی مستقیم و غیرمستقیم تقسیم نمود. یکی از انواع اجاق‌های خورشیدی مستقیم، اجاق‌های خورشیدی با متمرکزکننده هستند. با توجه به شکل متمرکزکننده خورشیدی، این اجاق‌ها خود به اجاق‌های خورشیدی سهموی، کروی و غیره تقسیم می‌شوند که یکی از پرکاربردترین آنها اجاق خورشیدی سهموی است<sup>[4]</sup>. تاکنون مطالعات زیادی برای بررسی عملکرد اجاق‌های خورشیدی با متمرکزکننده صورت گرفته است.

حافظ و همکاران<sup>[5]</sup>، به بررسی ساختار و ویژگی‌های مهم متمرکزکننده‌های خورشیدی بشقابی مانند جنس، شکل، قطر و مساحت دهانه متمرکزکننده پرداختند. حسن<sup>[6]</sup> به صورت تجربی عملکرد یک اجاق خورشیدی با متمرکزکننده قیفی شکل را مورد ارزیابی قرار داد. به منظور بهره‌مندی از اثر گلخانه‌ای، ظرف غذا در داخل یک محفظه شیشه‌ای قرار گرفته بود. او نتیجه گرفت که بیشترین بازده اجاق خورشیدی ۶۴٪ است. ابوماوه و همکاران<sup>[7]</sup>، در یک مطالعه تجربی اثر استفاده از ردیاب خورشیدی دومحوره را بر عملکرد یک اجاق خورشیدی کروی بررسی کردند. براساس نتایج آنها، بیشترین دمای داخل ظرف غذا در طول روز ۹۳ درجه سانتی‌گراد است که در ظهر خورشیدی به دست می‌آید.

لکیونا و همکاران<sup>[8]</sup>، به صورت عددی و تجربی به مطالعه عملکرد یک اجاق خورشیدی سهموی همراه با ماده تغییر فزاینده پرداختند. ماده‌های تغییر فزاینده بررسی شده در مطالعه آنها پارافین و اریتریتول بود. پژوهش آنها نشان داد که استفاده از ماده تغییر فزاینده علاوه بر پخت ناهار امکان پخت ماده غذایی در شب و همچنین صبح روز بعد را فراهم می‌کند. یاداو و همکاران<sup>[4]</sup>، به بررسی تجربی اثر مواد ذخیره‌کننده گرمای محسوس مختلف بر عملکرد یک اجاق خورشیدی سهموی همراه با ماده تغییر فزاینده پرداختند. ماده تغییر فزاینده استفاده شده در بستر آزمایشگاهی استامید (Acetamide) بود. همچنین، مواد ذخیره‌کننده گرمای محسوس بررسی شده در مطالعه آنها ماسه، براده آهن، سنگ‌ریزه و گوی‌های آهنی بود. بررسی آنها نشان داد، سنگ‌ریزه بیشترین ذخیره‌سازی گرمای محسوس را نسبت به سایر مواد دارد که مقدار آن حدود ۳۱ کیلوژول است.

زورک<sup>[9]</sup> به صورت تجربی بازده یک اجاق خورشیدی سهموی را از دو دیدگاه انرژی و اگزرژی مورد ارزیابی قرار داد. او نتیجه گرفت که بیشترین اختلاف دمای بین آب داخل ظرف غذا و دمای محیط در طول روز ۴۱/۷ درجه سانتی‌گراد است. همچنین، میانگین روزانه بازده

بر تلفات حرارت از یک اجاق خورشیدی سهموی پرداختند. آزمایش‌ها در داخل آزمایشگاه انجام شده است. آنها مشاهده کردند که تلفات حرارت از ظرف حاوی آب به‌ازای وزش باد از روبرو و از وجه جانبی در حالی که متمرکزکننده خورشیدی تحت زاویه ۴۵ درجه نسبت به افق قرار دارد، تقریباً یکسان است.

با توجه به ظرفیت بالای کشور ایران در زمینه بهره‌مندی از انرژی خورشیدی، استفاده از اجاق‌های خورشیدی می‌تواند یکی از راه‌کارهای تأمین انرژی پخت مواد غذایی در مناطق مختلف به‌ویژه در مناطق محروم و دورافتاده که دسترسی به منابع انرژی ندارند، باشد. بنابراین، هدف این پژوهش بررسی عملکرد یک اجاق خورشیدی سهموی قابل حمل به‌منظور تأمین انرژی پخت مواد غذایی یک خانواده ایرانی است. در این مطالعه، پس از طراحی و ساخت نمونه‌های اولیه اجاق خورشیدی سهموی، عملکرد روزانه اجاق خورشیدی از دو دیدگاه انرژی و انرژی مورد بررسی قرار می‌گیرد. همان‌گونه که بیان شد، یکی از مهم‌ترین چالش‌های اجاق‌های خورشیدی با متمرکزکننده سهموی کاهش عملکرد آنها در محیط‌های بادخیز است. بنابراین، در این پژوهش، کارایی اجاق خورشیدی سهموی ساخته‌شده به‌منظور کاربرد در محیط‌های بادخیز کشور مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. در این مطالعه، اثر سرعت باد بر نرخ انرژی خروجی و بازده انرژی اجاق خورشیدی بررسی شده است که تاکنون مطالعه‌ای در این زمینه صورت نگرفته است.

### اجاق خورشیدی سهموی و بستر آزمایشگاهی

در این بخش، ابتدا ویژگی‌های اجاق خورشیدی سهموی ساخته‌شده بیان می‌شود و در ادامه بستر آزمایشگاهی استفاده‌شده به‌منظور بررسی عملکرد اجاق خورشیدی شرح داده می‌شود.

#### اجاق خورشیدی سهموی

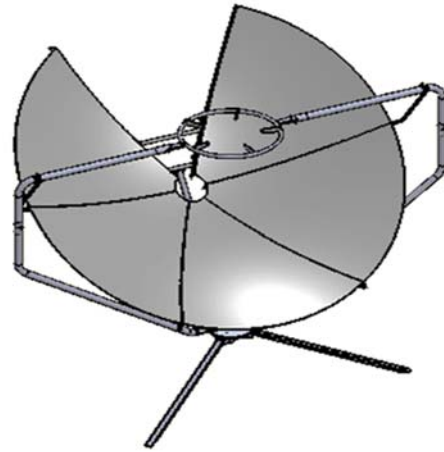
در این پژوهش، یک اجاق خورشیدی سهموی طراحی و ساخته شده است. به‌منظور استفاده حداکثری از انرژی خورشید، متمرکزکننده خورشیدی باید توانایی قرارگیری در مقابل تابش خورشید با توجه به حرکت روزانه و فصلی آن داشته باشد. برای این منظور، اجاق خورشیدی سهموی به‌گونه‌ای ساخته شده که بدون جابجایی ظرف غذا، تغییر زاویه متمرکزکننده در جهت‌های مختلف به‌صورت دستی و به‌راحتی انجام می‌شود. نمایی از اجاق خورشیدی طراحی‌شده توسط نرم‌افزار سالدورکس در شکل ۱ نشان داده شده است. همچنین، اجاق خورشیدی مورد نظر در یک مدت زمان کوتاه قابل جمع‌شدن و در نتیجه قابل حمل است. با توجه به توان حرارتی بالای اجاق‌های خورشیدی سهموی، امکان آسیب‌رسیدن به کاربر در حین فرآیند پخت به‌دلیل شدت بالای تابش وجود دارد. برای رفع این مشکل، در این طراحی یک قطعه از ۶ قسمت متمرکزکننده سهموی به‌منظور دسترسی راحت‌تر کاربر به ظرف غذا نیز حذف شده است که در شکل ۱ مشاهده می‌شود. از ویژگی‌های دیگر اجاق خورشیدی تولیدشده می‌توان به کاربری آسان و مقاومت بالای سازه اجاق اشاره کرد.

انرژی و انرژی اجاق خورشیدی به‌ترتیب ۹/۲ و ۰/۹٪ است. آرنیس<sup>[10]</sup> یک اجاق خورشیدی سهموی قابل حمل طراحی کرد که در آن متمرکزکننده نیز قابلیت جمع‌شدن در یک حجم کم را دارد. او همچنین عملکرد اجاق خورشیدی را به‌صورت تجربی به‌منظور به جوش آوردن ۵/۵ لیتر آب بررسی کرد. پژوهش‌های او نشان داد که نرخ انرژی خروجی و بازده اجاق خورشیدی به‌ترتیب ۱۷۵ وات و ۲۶/۶٪ است. راتور و شوکلا<sup>[11]</sup> در یک مطالعه تجربی بازده اجاق خورشیدی سهموی را با یک اجاق خورشیدی جعبه‌ای از دو دیدگاه انرژی و انرژی مقایسه کردند. با توجه به نتایج آنها، نرخ انرژی و انرژی خروجی از اجاق خورشیدی سهموی بیشتر از اجاق خورشیدی جعبه‌ای است. در حالی که بازده انرژی و انرژی اجاق خورشیدی جعبه‌ای بیشتر از اجاق خورشیدی سهموی است. آنها مشاهده کردند که میانگین روزانه نرخ انرژی خروجی اجاق‌های خورشیدی سهموی و جعبه‌ای به‌ترتیب ۴/۹۷ و ۱/۰۵ وات است.

همان‌گونه که بیان شد، اجاق‌های خورشیدی با متمرکزکننده از جنبه‌های مختلف مانند ساختار متمرکزکننده‌های خورشیدی<sup>[5]</sup> و اثر استفاده از ردیاب خورشیدی<sup>[7]</sup> و مواد ذخیره‌کننده گرم<sup>[4,8]</sup> مورد ارزیابی قرار گرفتند. یکی از مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار بر عملکرد اجاق‌های خورشیدی با متمرکزکننده سرعت باد در محیط کارکرد اجاق است که تاکنون مطالعاتی در این زمینه صورت گرفته است. حسین‌زاده و همکاران<sup>[12]</sup>، به‌صورت تحلیلی اثر تغییر شرایط محیطی بر عملکرد یک اجاق خورشیدی با لوله تحت خلأ را بررسی کردند. نتایج آنها نشان داد، تغییرات شرایط محیطی اثر اندکی بر بازده اجاق خورشیدی با لوله تحت خلأ دارد به‌گونه‌ای که با افزایش سرعت باد از ۱ تا ۱۰ متر بر ثانیه، بازده اجاق خورشیدی تنها حدود ۰/۰۶٪ کاهش می‌یابد. کومار و همکاران<sup>[13]</sup>، در یک مطالعه عددی و تجربی انواع تلفات انرژی در یک اجاق خورشیدی با متمرکزکننده را مورد پژوهش قرار دادند. آنها نتیجه گرفتند که در دمای محیط ثابت، با افزایش سرعت باد از صفر تا ۴ متر بر ثانیه، تلفات انرژی از اطراف ظرف غذا تقریباً دو برابر می‌شود. گارگ و همکاران<sup>[14]</sup>، به بررسی اثر سرعت باد بر عملکرد یک اجاق خورشیدی سهموی پرداختند. پژوهش آنها نشان داد که در سرعت باد ۳ تا ۴ کیلومتر بر ساعت، زمان جوش الیتر آب در حدود ۲۵ تا ۳۰ دقیقه است. آنها همچنین نتیجه گرفتند که دمای آب در سرعت باد ۱۰ تا ۱۵ کیلومتر بر ساعت از ۸۰ درجه سانتی‌گراد بالاتر نمی‌رود. بنابراین امکان به جوش آوردن آب در این شرایط وجود ندارد. کومار و همکاران<sup>[15]</sup>، به‌صورت تجربی تلفات حرارت از یک اجاق خورشیدی سهموی را برای سرعت‌های باد مختلف بررسی کردند. آزمایش‌های آنها در محیطی شبیه‌سازی‌شده در داخل آزمایشگاه انجام شده است. همچنین، حرارت‌دادن به ظرف غذا توسط یک گرمکن ماریچج صورت گرفته است. با توجه به نتایج آنها، به‌ازای سرعت‌های باد مختلف، تلفات حرارت از ظرف غذا در دمای آب بیشتر از ۹۰ درجه سانتی‌گراد به‌سرعت افزایش می‌یابد. در یک مطالعه تجربی دیگر، کومار و همکاران<sup>[16]</sup>، به بررسی اثر جهت باد و همچنین زاویه متمرکزکننده

به منظور افزایش ضریب جذب تابش خورشیدی توسط قابلمه، کف آن با رنگ مشکی پوشش داده شده است. برای شبیه سازی جریان باد بر روی قابلمه از یک فن جریان محوری استفاده شده است. سرعت های باد مختلف با تغییر فاصله فن از اجاق ایجاد شده است. آزمایش ها در یک مکان مناسب که توسط ساختمان ها احاطه شده، انجام شده است؛ به گونه ای که تغییرات سرعت باد در محیط اثرگذاری کمتری بر آزمایش ها داشته باشد.

در طول آزمایش ها سرعت باد توسط یک آنومتر دیجیتال مدل Lutron AM-4201 (شرکت Lutron؛ تایوان)، دمای آب با استفاده از دماسنج نوع کی (K) و دمای محیط به وسیله یک دماسنج جیوه ای که در نزدیکی اجاق خورشیدی نصب شده، اندازه گیری شده است. برای اندازه گیری میزان تابش ورودی به متمرکزکننده از یک پیرانومتر دیجیتال مدل TES-1333 (شرکت TES؛ تایوان) که در راستای محور متمرکزکننده قرار می گیرد، استفاده شده است. نوع، دقت اندازه گیری و عدم قطعیت تجهیزات آزمایشگاهی در جدول ۱ بیان شده است. همچنین، نمایی از تجهیزات آزمایشگاهی در شکل ۳ نشان داده شده است. آزمایش ها در روزهای بدون ابر در ۱۵ تا ۱۸ تیرماه و در موسسه پژوهشی علوم و صنایع غذایی با عرض جغرافیای ۳۶ درجه و طول جغرافیایی ۵۹ درجه انجام شده است. آزمایش ها از ساعت ۱۱:۳۰ شروع شده و داده برداری از آزمایش ها هر ۵ دقیقه صورت گرفته است. متمرکزکننده خورشیدی نیز هر ۵ دقیقه به سمت خورشید تنظیم شده است.



شکل ۱) اجاق خورشیدی سهموی طراحی شده

طراحی اجاق خورشیدی به منظور تأمین انرژی پخت مواد غذایی یک خانواده ایرانی صورت گرفته است. از آنجا که ظرفیت گرمایی ویژه اکثر مواد غذایی کمتر از آب است؛ طراحی اجاق خورشیدی براساس انرژی مورد نیاز برای افزایش دمای ۴ لیتر آب از دمای ۲۵ به ۹۷ درجه سانتی گراد (دمای جوش) انجام شده است. اجزای اصلی اجاق خورشیدی سهموی ساخته شده شامل متمرکزکننده، پایه و نگه دارنده ها است. متمرکزکننده خورشیدی از یک بستر آلومینیومی ریخته گری شده به همراه یک روکش از ورق آلومینیوم با قابلیت انعکاس بالا ساخته شده است. همچنین، قطر دهانه متمرکزکننده ۱۲۰ سانتی متر است. پایه اجاق خورشیدی توسط لوله های فولادی سبک ساخته شده است. در طراحی پایه اجاق به منظور سهولت در باز و بست، لوله های فولادی به وسیله پین به یکدیگر متصل شده اند.

### بستر آزمایشگاهی

در این پژوهش، آزمایش ها با هدف بررسی عملکرد روزانه اجاق خورشیدی سهموی و همچنین بررسی اثر سرعت باد بر کارایی اجاق خورشیدی طراحی شده است. در این مطالعه از اجاق خورشیدی برای به جوش آوردن ۲ لیتر آب در یک قابلمه آلومینیومی استفاده شده است. نمایی از اجاق خورشیدی سهموی ساخته شده در شکل ۲ نشان داده شده است.

جدول ۱) نوع، دقت اندازه گیری و عدم قطعیت تجهیزات آزمایشگاهی

ابزار آزمایشگاهی	متغیر اندازه گیری	دقت اندازه گیری	عدم قطعیت
آنومتر	سرعت باد	± ۲%	± ۰/۰۳ متر بر ثانیه
دماسنج نوع کی	دمای آب	± ۰/۵ درجه	± ۰/۱۴ درجه
دماسنج جیوه ای	دمای محیط	± ۰/۵ درجه	± ۰/۱۴ درجه
پیرانومتر	تابش کلی خورشید	± ۰ وات بر متر	± ۲/۸۷ وات بر متر مربع



ب) پیرانومتر

الف) آنومتر

شکل ۳) تجهیزات آزمایشگاهی

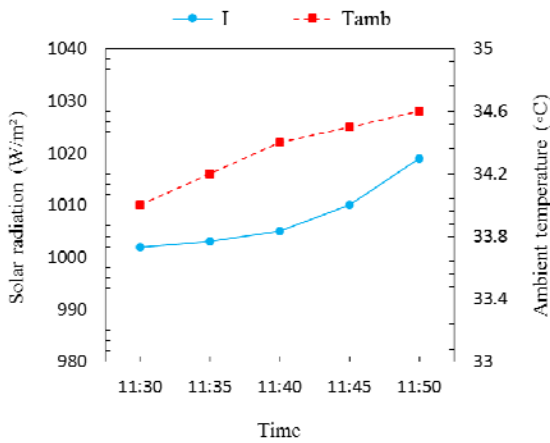


شکل ۲) اجاق خورشیدی سهموی ساخته شده

تجربی ارزیابی می‌شود. در ادامه، به بررسی اثر سرعت باد بر کارایی اجاق خورشیدی از دو دیدگاه انرژی و انرژی پرداخته می‌شود.

### بررسی عملکرد روزانه اجاق خورشیدی سهموی

همان‌گونه که بیان شد، آزمایش‌ها در روزهای بدون ابر در تیرماه انجام شده است. تغییرات تابش ورودی به متمرکزکننده و دمای محیط در طول آزمایش در نمودار ۱ نشان داده شده است. با توجه به این شکل، میانگین تابش ورودی و دمای محیط به ترتیب ۱۰۰۷/۸۰ وات بر مترمربع و ۳۴/۳۴ درجه سانتی‌گراد است. همان‌گونه که در نمودار ۱ مشاهده می‌شود، تغییرات تابش و دمای محیط در طول آزمایش کم است. تغییرات تابش در طول آزمایش ۱۷ وات بر مترمربع (۷/۰٪) و تغییرات دمای محیط ۰/۶ درجه سانتی‌گراد (۱/۷۶٪) است. همچنین، سرعت باد در محیط در حدود ۰/۲ متر بر ثانیه است.



نمودار ۱) تغییرات لحظه‌ای تابش ورودی و دمای محیط

همان‌گونه که بیان شد، در این مطالعه از اجاق خورشیدی سهموی به‌منظور به جوش آوردن آب استفاده شده است. نمودار ۲ تغییرات دمای آب را در طول آزمایش نشان می‌دهد. براساس نمودار ۲، دمای ۲ لیتر آب در مدت زمان ۲۰ دقیقه از دمای ۴۰ درجه سانتی‌گراد به ۹۵/۱ درجه سانتی‌گراد می‌رسد. به عبارتی دیگر، تغییر دمای آب در طول ۲۰ دقیقه ۵۵/۱ درجه سانتی‌گراد است. شایان ذکر است، در آزمایش صورت‌گرفته، دمای اولیه آب ۲۸/۸ درجه سانتی‌گراد بوده است؛ ولی با توجه به توصیه لاهکار و سمد/رشی [22] داده‌برداری از آزمایش با رسیدن آب به دمای ۴۰ درجه سانتی‌گراد شروع شده است. تغییرات نرخ انرژی دریافتی توسط آب و همچنین نرخ تغییر انرژی آب را در طول آزمایش، نمودار ۳ نشان می‌دهد. با توجه به رابطه‌های ۲ و ۵، مقادیر نرخ انرژی دریافتی و نرخ تغییر انرژی نیز برای یک بازه زمانی مشخص تعیین می‌شوند. در نمودار ۳، تغییرات در هر بازه زمانی نیز در زمان انتهایی بازه نشان داده شده است. به‌عنوان نمونه، مقدار انرژی دریافتی نشان داده شده در زمان ۱۱:۳۵ (۴۳۶/۳۸ وات) در حقیقت میزان انرژی دریافتی در بازه زمانی ۱۱:۳۰ تا ۱۱:۳۵ است. بررسی‌ها نشان می‌دهد که تغییر دمای آب در هر

### تحلیل ترمودینامیکی

عملکرد یک سیستم ترمودینامیکی می‌تواند از دو دیدگاه انرژی و انرژی مورد بررسی قرار گیرد. از آنجا که تحلیل سیستم از دیدگاه انرژی، کیفیت انرژی را در نظر نمی‌گیرد؛ تحلیل سیستم از دیدگاه انرژی به‌منظور تعیین عملکرد واقعی سیستم در یک محیط مشخص ضروری است [17]. در این بخش، تحلیل ترمودینامیکی اجاق خورشیدی سهموی از دو دیدگاه انرژی و انرژی بیان می‌شود.

### تحلیل انرژی

با در نظرگرفتن اجاق خورشیدی سهموی به‌عنوان یک سیستم ترمودینامیکی، انرژی خورشیدی ورودی به سیستم توسط رابطه ۱ تعیین می‌شود [18]:

$$\dot{E}_{in} = I_{ave} A_a \quad (1)$$

در این رابطه،  $I_{ave}$  نرخ انرژی خورشیدی دریافتی توسط متمرکزکننده خورشیدی است. همچنین،  $A_a$  مساحت دریافت انرژی خورشیدی توسط متمرکزکننده است. همان‌گونه که بیان شد، در این مطالعه از اجاق خورشیدی سهموی به‌منظور به جوش آوردن آب استفاده شده است. نرخ انرژی دریافتی توسط آب در بازه زمانی مشخص با استفاده از رابطه ۲ قابل تعیین است [19]:

$$\dot{E}_{out} = \frac{m_w c_w (T_f - T_i)}{\Delta t} \quad (2)$$

در رابطه بالا،  $m_w$  جرم آب،  $c_w$  ظرفیت گرمایی ویژه آب و  $\Delta t$  بازه زمانی است. همچنین،  $T_i$  دمای اولیه آب و  $T_f$  دمای نهایی آب در بازه زمانی مشخص است. پس از تعیین میزان انرژی ورودی به سیستم و انرژی مفید دریافتی، بازه انرژی اجاق خورشیدی نیز توسط رابطه ۳ محاسبه می‌شود:

$$\eta = \frac{m_w c_w (T_f - T_i)}{I_{ave} A_a \Delta t} \quad (3)$$

### تحلیل انرژی

با در نظرگرفتن اجاق خورشیدی سهموی به‌عنوان یک سیستم ترمودینامیکی، انرژی تابش ورودی با استفاده از رابطه ۴ قابل تعیین است [20]:

$$\dot{E}x_{in} = I_{ave} A_a \left[ 1 - \frac{4}{3} \left( \frac{T_{amb,ave}}{T_s} \right) + \frac{1}{3} \left( \frac{T_{amb,ave}}{T_s} \right)^4 \right] \quad (4)$$

در رابطه بیان‌شده،  $T_s$  دمای خورشید به‌عنوان جسم سیاه است که برابر ۵۸۰۰ کلوین لحاظ می‌شود [21]. همچنین،  $T_{amb,ave}$  دمای محیط است. نرخ تغییر انرژی آب در یک بازه زمانی مشخص نیز با استفاده از رابطه ۵ محاسبه می‌شود [20]:

$$\dot{E}x_{out} = \frac{m_w c_w \left[ (T_f - T_i) - T_{amb,ave} \ln \left( \frac{T_f}{T_i} \right) \right]}{\Delta t} \quad (5)$$

با تعیین انرژی تابش ورودی و همچنین تغییر انرژی آب، بازه انرژی اجاق خورشیدی نیز توسط رابطه ۶ تعیین می‌شود:

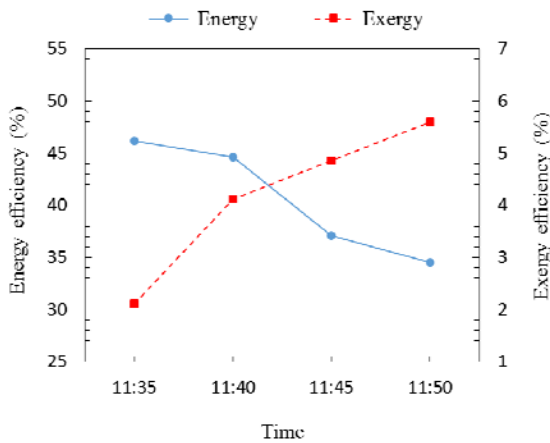
$$\varepsilon = \frac{m_w c_w \left[ (T_f - T_i) - T_{amb,ave} \ln \left( \frac{T_f}{T_i} \right) \right]}{I_{ave} A_a \Delta t \left[ 1 - \frac{4}{3} \left( \frac{T_{amb,ave}}{T_s} \right) + \frac{1}{3} \left( \frac{T_{amb,ave}}{T_s} \right)^4 \right]} \quad (6)$$

### تفسیر نتایج

در این بخش، ابتدا عملکرد روزانه اجاق خورشیدی سهموی به‌صورت

به نتایج، بیشترین نرخ انرژی دریافتی توسط آب در طول آزمایش حدود ۴۳۶/۳۸ وات است؛ در حالی که بیشترین نرخ تغییر انرژی آب ۴۹/۷۶ وات است.

تغییرات روزانه بازه اجاق خورشیدی سهمی براساس دو دیدگاه انرژی و انرژی در نمودار ۴ نشان داده شده است. با توجه به کمبود تغییرات انرژی خورشیدی ورودی به سیستم و انرژی تابش ورودی، مشابه با تغییرات میزان انرژی دریافتی توسط آب و تغییر انرژی آب، بازه انرژی اجاق خورشیدی در هر بازه زمانی با گذشت زمان کاهش می‌یابد؛ در حالی که بازه انرژی اجاق خورشیدی نیز زیاد می‌شود. نمودار ۴ نشان می‌دهد که تغییرات بازه انرژی اجاق خورشیدی سهمی در طول آزمایش در بازه ۴۶/۱۹-۳۴/۵۲٪ است. همچنین، تغییرات بازه انرژی اجاق خورشیدی نیز در بازه ۵/۶۰-۲/۱۱٪ است.

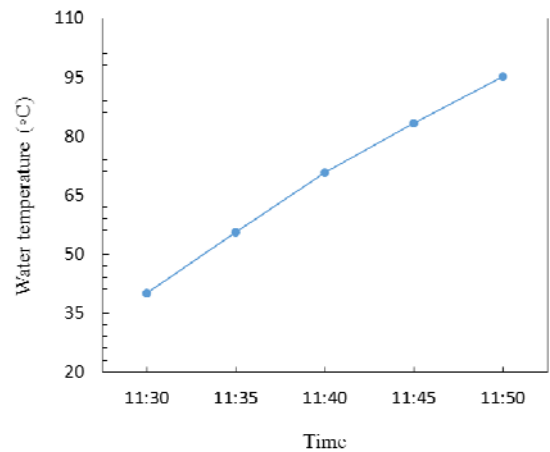


نمودار ۴) تغییرات بازه انرژی و انرژی اجاق خورشیدی سهمی در طول آزمایش

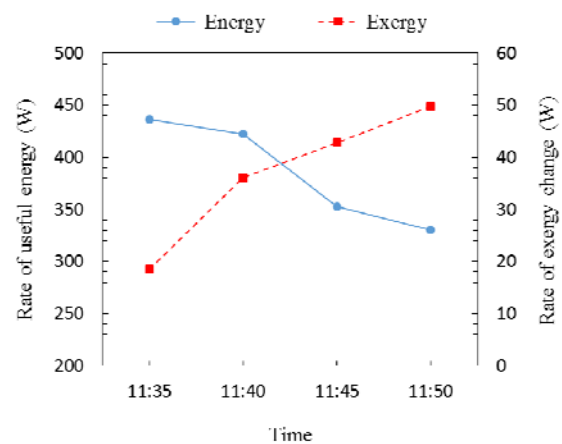
#### بررسی اثر سرعت باد بر عملکرد اجاق خورشیدی

در این پژوهش، اثر سرعت‌های باد مختلف بر عملکرد اجاق خورشیدی سهمی به‌منظور ارزیابی کارایی اجاق خورشیدی ساخته‌شده در محیط‌های بادخیز مورد بررسی قرار گرفته است. سرعت‌های باد بررسی‌شده در این مطالعه ۰/۲، ۰/۲، ۰/۴ و ۰/۶ متر بر ثانیه است. آزمایش‌ها برای سرعت‌های باد مختلف در چهار روز متوالی (۱۵ تا ۱۸ تیرماه) و تحت شرایط آب‌وهوایی تقریباً یکسان صورت گرفته است. تغییرات سرعت باد در طول آزمایش برای حالت‌های مختلف در نمودار ۵ نشان داده شده است. در سرعت‌های باد ۰/۲، ۰/۴ و ۰/۶ متر بر ثانیه، شبیه‌سازی سرعت باد توسط یک فن جریان محوری صورت گرفته است؛ ولی در آزمایش مربوط به سرعت باد ۰/۲ متر بر ثانیه از فن استفاده نشده است و سرعت باد بیان‌شده در حقیقت میانگین سرعت باد در محیط در طول آزمایش است. همان‌گونه که در نمودار ۵ مشاهده می‌شود، به‌دلیل تغییرات سرعت باد در محیط و تأثیرگذاری آن بر جریان فن، سرعت باد در نزدیکی ظرف غذا در طول آزمایش اندکی نوسانی است؛ ولی میانگین آنها تقریباً مطابق اعداد بیان شده است.

بازه زمانی با گذشت زمان و نزدیک شدن آب به نقطه جوش کاهش می‌یابد. با توجه به نمودار ۲، در ۵ دقیقه اول آزمایش تغییر دمای آب ۱۵/۶ درجه سانتی‌گراد است؛ در حالی که تغییر دما در ۵ دقیقه انتهایی ۱۱/۸ درجه سانتی‌گراد است. بنابراین با توجه به رابطه ۲، میزان انرژی دریافتی توسط آب با گذشت زمان کاهش می‌یابد. همان‌گونه که در نمودار ۳ مشاهده می‌شود، اختلاف میزان انرژی دریافتی در ۵ دقیقه ابتدایی و انتهایی آزمایش حدود ۱۰۶/۳۰ وات است.

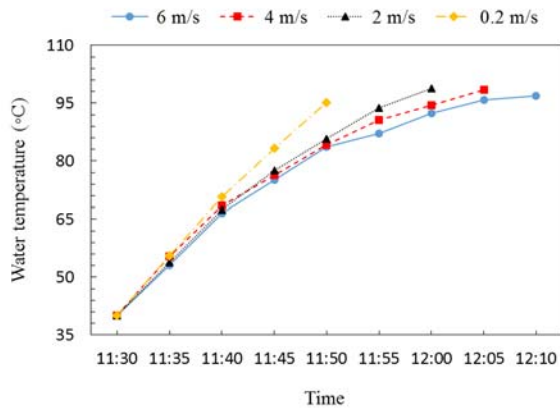


نمودار ۲) تغییرات لحظه‌ای دمای آب

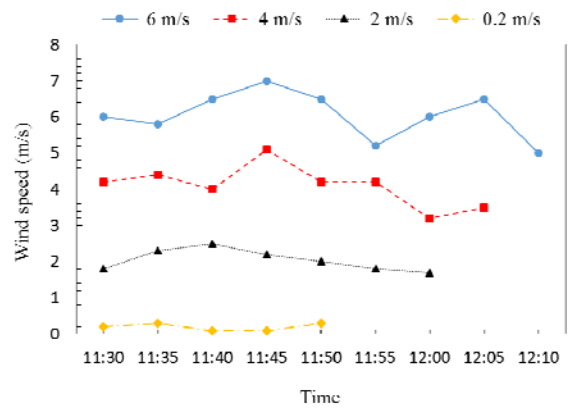


نمودار ۳) تغییرات نرخ انرژی مفید دریافتی توسط آب و همچنین نرخ تغییر انرژی آب در طول آزمایش

براساس رابطه ۵، تغییر انرژی در هر بازه زمانی وابسته به مقادیر  $(T_f - T_i)$  و  $T_{amb,ave} \ln\left(\frac{T_f}{T_i}\right)$  است که میزان آنها در هر بازه زمانی با گذشت زمان کاهش می‌یابد. بررسی نتایج تجربی نشان می‌دهد که اختلاف مقادیر ذکرشده در هر بازه زمانی با گذشت زمان افزایش می‌یابد. بنابراین با توجه به رابطه ۵، تغییر انرژی آب با گذشت زمان زیاد می‌شود. اختلاف میزان تغییر انرژی آب در ۵ دقیقه ابتدایی و انتهایی آزمایش حدود ۳۱/۲۱ وات است. نمودار ۳ همچنین نشان می‌دهد که میزان انرژی دریافتی توسط آب در هر بازه زمانی به‌مراتب بیشتر از مقدار تغییر انرژی آب است. با توجه



نمودار ۶) تغییرات لحظه‌ای دمای آب برای سرعت‌های باد مختلف



نمودار ۵) تغییرات لحظه‌ای سرعت باد برای حالت‌های مختلف

جدول ۲) میانگین روزانه عملکرد اجاق خورشیدی سهموی برای سرعت‌های باد مختلف

مشخصه	سرعت باد (متر بر ثانیه)			
	۰/۲	۲	۴	۶
انرژی مفید (وات)	۳۸۵/۳۳	۲۷۴/۶۰	۲۳۳/۷۸	۱۹۹/۳۱
تغییر انرژی (وات)	۳۶/۸۲	۲۷/۲۱	۲۳/۰۳	۱۹/۶۶
بازده انرژی (درصد)	۴۰/۶۲	۲۹/۸۶	۲۴/۲۶	۲۰/۵۴
بازده انرژی (درصد)	۴/۱۷	۳/۱۷	۲/۵۷	۲/۱۸

### نتیجه‌گیری

در این مطالعه پس از ساخت یک اجاق خورشیدی سهموی، عملکرد آن به صورت تجربی مورد ارزیابی قرار گرفته است. همچنین، اثر سرعت‌های باد ۰/۲، ۲، ۴ و ۶ متر بر ثانیه بر بازده اجاق خورشیدی سهموی بررسی شده است. در این پژوهش، تحلیل عملکرد اجاق خورشیدی براساس دو دیدگاه انرژی و انرژی صورت گرفته است. با توجه به تحلیل‌های صورت‌گرفته، مهم‌ترین نتایج در ادامه بیان می‌شوند:

۱- در طول آزمایش، میزان انرژی دریافتی توسط آب و بازده انرژی اجاق خورشیدی با گذشت زمان کاهش می‌یابد؛ در حالی که تغییر انرژی آب و بازده انرژی اجاق خورشیدی با گذشت زمان زیاد می‌شود.

۲- به ازای سرعت باد ۰/۲ متر بر ثانیه، تغییرات بازده انرژی اجاق خورشیدی در طول آزمایش در بازه ۴۶/۱۹-۳۴/۵۲٪ است. همچنین، تغییرات بازده انرژی اجاق خورشیدی نیز در بازه ۲/۱۱-۵/۶۰٪ است.

۳- امکان به جوش آوردن آب در محیط‌های بادخیز توسط اجاق خورشیدی سهموی ساخته شده وجود دارد. زمان لازم برای به جوش آوردن ۲ لیتر آب در سرعت‌های باد ۰/۲، ۲، ۴ و ۶ متر بر ثانیه به ترتیب در حدود ۲۱، ۲۹، ۳۴ و ۴۰ دقیقه است.

۴- افزایش سرعت باد اثر قابل توجهی بر عملکرد اجاق خورشیدی سهموی دارد. بازده انرژی و انرژی اجاق خورشیدی در سرعت باد ۶ متر بر ثانیه نسبت به سرعت باد ۰/۲ متر بر ثانیه به ترتیب حدود ۱/۹۹٪ و ۲/۰۸٪ کمتر است.

تغییرات دمای آب در طول آزمایش برای سرعت‌های باد مختلف در نمودار ۶ نشان داده شده است. با توجه به این شکل، به ازای دمای آب کمتر از ۶۵ درجه سانتی‌گراد، تغییرات دمای آب در سرعت‌های باد مختلف تفاوت اندکی دارند. این در حالی است که در دماهای بالا نیز به دلیل افزایش تلفات حرارت از طرف غذا، اثر افزایش سرعت باد بر تغییرات دمای آب بیشتر است. همچنین، نمودار ۶ نشان می‌دهد که در سرعت باد ۰/۲ متر بر ثانیه نیز تغییرات دمای آب به مراتب سریع‌تر از سایر حالت‌ها است. با توجه به نتایج تجربی، زمان لازم به منظور به جوش آوردن ۲ لیتر آب در سرعت‌های باد ۰/۲، ۲، ۴ و ۶ متر بر ثانیه به ترتیب در حدود ۲۱، ۲۹، ۳۴ و ۴۰ دقیقه است. بنابراین، امکان به جوش آوردن آب توسط اجاق خورشیدی سهموی در محیط‌های بادخیز وجود دارد. اگر چه زمان لازم برای به جوش آوردن آب نیز افزایش می‌یابد. به عنوان نمونه، زمان مورد نیاز برای به جوش آوردن ۲ لیتر آب در سرعت باد ۶ متر بر ثانیه نسبت به سرعت باد ۰/۲ متر بر ثانیه حدود ۱۹ دقیقه بیشتر است.

میانگین روزانه نرخ انرژی مفید دریافتی توسط آب، نرخ تغییر انرژی آب، بازده انرژی اجاق خورشیدی و بازده انرژی اجاق خورشیدی به ازای سرعت‌های باد مختلف در جدول ۲ بیان شده است. براساس این جدول، میانگین روزانه انرژی مفید دریافتی به ازای سرعت‌های باد ۰/۲، ۲، ۴ و ۶ متر بر ثانیه نسبت به سرعت باد ۰/۲ متر بر ثانیه به ترتیب حدود ۱۱۰/۷۳، ۱۵۱/۵۵ و ۱۸۶/۰۲ وات کاهش می‌یابد. همچنین، کاهش تغییر انرژی اجاق خورشیدی به ازای سرعت‌های باد بیان شده به ترتیب در حدود ۹/۶۱، ۱۳/۷۹ و ۱۷/۱۶ وات است. همان‌گونه که در جدول ۲ مشاهده می‌شود، بازده انرژی و انرژی اجاق خورشیدی سهموی به ازای سرعت باد ۶ متر بر ثانیه به ترتیب ۲/۱۸٪ و ۲۰/۵۴٪ است که نسبت به سرعت باد ۰/۲ متر بر ثانیه به ترتیب حدود ۱/۹۹٪ و ۲/۰۸٪ کمتر است. بنابراین، افزایش سرعت باد اثر قابل توجهی بر عملکرد اجاق خورشیدی براساس دو دیدگاه انرژی و انرژی دارد. همچنین نتایج نشان می‌دهد که اثر افزایش سرعت باد بر بازده انرژی اجاق خورشیدی بیشتر از بازده انرژی اجاق است.

2013;111:1136-1146.

9- Öztürk HH. Experimental determination of energy and exergy efficiency of the solar parabolic-cooker. *Solar Energy*. 2004;77(1):67-71.

10- Arenas JM. Design, development and testing of a portable parabolic solar kitchen. *Renewable energy*. 2007;32(2):257-266.

11- Rathore N, Shukla SK. Experimental investigations and comparison of energy and exergy efficiencies of the box type and Solar Parabolic Cooker. *International Journal of Energy Technology and Policy*. 2009;7(2):201-212.

12- Hosseinzadeh M, Mirzababae S.M, Zamani H, Faezian A, Zarrinkalam F. Modeling of an Evacuated Tube Solar Cooker and Investigation of Weather Parameters Effect. *Modares Mechanical Engineering*. 2019;19(7):1573-1584. [Persian]

13- Kumar A, Shukla SK, Kumar A. Heat loss analysis: An approach toward the revival of parabolic dish type solar cooker. *International Journal of Green Energy*. 2018;15(2):96-105.

14- Garg HP, Mann HS, Thanvi KP. Performance evaluation of five solar cookers. *Proceedings of the International Solar Energy Society Congress*; 1978 Jan; New Delhi, India: Elsevier; 1978. pp. 1491-1496.

15- Kumar S, Kandpal TC, Mullick SC. Effect of wind on the thermal performance of a paraboloid concentrator solar cooker. *Renewable Energy*. 1994;4(3):333-337.

16- Kumar S, Kandpal TC, Mullick SC. Heat losses from a paraboloid concentrator solar cooker: Experimental investigations on effect of reflector orientation. *Renewable Energy*. 1993;3(8):871-876.

17- Hosseinzadeh M, Sardarabadi M, Passandideh-Fard M. Nanofluid and Phase Change Material Integrated into a Photovoltaic Thermal System. In: Mittal V, editor. *Phase Change Materials*. Australia: Central West Publishing; 2019. pp. 93-127.

18- Saxena A, Agarwal N. Performance characteristics of a new hybrid solar cooker with air duct. *Solar Energy*. 2018;159:628-637.

19- Badran AA, Yousef IA, Joudeh NK, Al Hamad R, Halawa H, Hassounh HK. Portable solar cooker and water heater. *Energy Conversion and Management*. 2010;51(8):1605-1609.

20- Park SR, Pandey AK, Tyagi VV, Tyagi SK. Energy and exergy analysis of typical renewable energy systems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2014;30:105-123.

21- Hosseinzadeh M, Sardarabadi M, Passandideh-Fard M. Energy and exergy analysis of nanofluid based photovoltaic thermal system integrated with phase change material. *Energy*. 2018;147:636-647.

22- Lahkar PJ, Samdarshi SK. A review of the thermal performance parameters of box type solar cookers and identification of their correlations. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2010;14(6):1615-1621.

۵- اثر افزایش سرعت باد بر بازده انرژی اجاق خورشیدی سهموی بیشتر از بازده انرژی آن است.

**تشکر و قدردانی:** نویسندگان مقاله از موسسه پژوهشی علوم و صنایع غذایی که امکان انجام این پژوهش را فراهم نمود، کمال تشکر و قدردانی را دارند.

**تأییدیه اخلاقی:** یافته‌های این مقاله (به‌طور کامل یا بخشی از آن) در نشریه دیگری منتشر نشده و همچنین تحت داوری مجله دیگری نیست.

**تعارض منافع:** پژوهش صورت‌گرفته تعارض منافی با سازمان‌ها و اشخاص دیگر ندارد.

**سهم نویسندگان:** محمد حسین‌زاده (نویسنده اول)، پژوهشگر کمکی/نگارنده بحث (۱۸٪)؛ حسین زمانی (نویسنده دوم)، پژوهشگر اصلی/روش‌شناس (۳۰٪)؛ سید مهدی میرزابابائی (نویسنده سوم)، پژوهشگر کمکی/تحلیل‌گر داده‌ها (۱۸٪)؛ علی فائزبان (نویسنده چهارم)، پژوهشگر کمکی/تحلیل‌گر داده‌ها (۱۸٪)؛ فرزاد زرین‌کلام (نویسنده پنجم)، پژوهشگر کمکی (۱۶٪).

**منابع مالی:** منابع مالی این پژوهش از اعتبارات موسسه پژوهشی علوم و صنایع غذایی تأمین شده است.

## منابع

- 1- Singh M, Sethi VP. On the design, modelling and analysis of multi-shelf inclined solar cooker-cum-dryer. *Solar Energy*. 2018;162:620-636.
- 2- Bhawe AG, Thakare KA. Development of a solar thermal storage cum cooking device using salt hydrate. *Solar Energy*. 2018;171:784-789.
- 3- Soria-Verdugo A. Experimental analysis and simulation of the performance of a box-type solar cooker. *Energy for Sustainable Development*. 2015;29:65-71.
- 4- Yadav V, Kumar Y, Agrawal H, Yadav A. Thermal performance evaluation of solar cooker with latent and sensible heat storage unit for evening cooking. *Australian Journal of Mechanical Engineering*. 2015;15(2):93-102.
- 5- Hafez AZ, Soliman A, El-Metwally KA, Ismail IM. Design analysis factors and specifications of solar dish technologies for different systems and applications. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2017;67:1019-1036.
- 6- Hassan IM. Optical Evaluation of Funneled Panel Solar Cooker and Design Evolution. *Middle East Journal of Applied Sciences*. 2017;7(4):992-1004.
- 7- Abu-Malouh R, Abdallah S, Muslih IM. Design, construction and operation of spherical solar cooker with automatic sun tracking system. *Energy Conversion and Management*. 2011;52(1):615-620.
- 8- Lecuona A, Nogueira J, Ventas R, Rodríguez-Hidalgo M, Legrand M. Solar cooker of the portable parabolic type incorporating heat storage based on PCM. *Applied Energy*.