



ACEC2023-XXXXX

بررسی تجربی استفاده از روغن شترمرغ به عنوان ماده‌ی تغییر فاز دهنده برای جذب و ذخیره‌ی انرژی خورشیدی و

تولید ولتاژ توسط ترموالکتریک

علی مرتضوی<sup>۱</sup>، عماد الدین عرفانی فارسی عیدگاه<sup>۲</sup>، محمد مصطفی غفوریان<sup>۳</sup>، علی کیانی<sup>فر</sup>

<sup>۱</sup> دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک، دانشگاه فردوسی مشهد؛ alimortazavi@mail.um.ac.ir

<sup>۲</sup> دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک، دانشگاه فردوسی مشهد؛ em.erfani@mail.um.ac.ir

<sup>۳</sup> پژوهشگر پسا دکتری مهندسی مکانیک، دانشگاه فردوسی مشهد، m.m.ghafoorian@mail.um.ac.ir

<sup>۴</sup> عضو هیات علمی گروه مهندسی مکانیک، دانشگاه فردوسی مشهد، a-kiani@mail.um.ac.ir

## چکیده

یکی از چالش‌های مهم جهان امروز ما، چگونگی تولید و ذخیره‌ی انرژی بدون ایجاد آلودگی می‌باشد. در بین منابع طبیعی مختلف انرژی، انرژی خورشیدی در دسترس‌ترین انرژی پاک می‌باشد که از کاربردهای مختلف آن، انرژی حرارتی یکی از مهم‌ترین اشکال آن است. تبدیل حرارتی نور و ذخیره انرژی با استفاده از مواد تغییر فاز دهنده در حال حاضر در فرآیندها و فن آوری های صنعتی، به ویژه برای سیستم های الکترونیکی و حرارتی استفاده می‌شود. از این رو در پژوهش حاضر به بررسی تجربی جذب و ذخیره‌ی انرژی خورشید و تولید الکتریسیته با استفاده از ماده تغییر فاز دهنده و ترموالکتریک پرداخته می‌شود. برای این منظور از روغن شترمرغ به دلیل دسترس پذیری بالا و قیمت ارزان نسبت به مواد تغییر فاز دهنده صنعتی، مورد ارزیابی قرار گرفته است. بطور کلی هدف اصلی این پژوهش ذخیره‌ی انرژی حرارتی ناشی از دریافت تابش خورشید و تداوم تولید الکتریسیته با استفاده از انرژی ذخیره شده بخصوص در زمان نبود تابش می‌باشد. نتایج نشان می‌دهد که استفاده از روغن شترمرغ نقش موثری در تولید الکتریسیته بخصوص در زمان نبود تابش داشته است. نتایج تجربی تحت تابش نور شبیه ساز خورشید با شدت  $900 W/m^2$  نشان داد که این روغن پس از ۱۰۰ دقیقه تابش از دمای  $22^{\circ}C$  به  $36^{\circ}C$  رسید و همچنین این افزایش دما منجر به تولید ۷۴ میلی‌ولت الکتریسیته توسط ماژول ترموالکتریک شد.

**واژه های کلیدی:** مواد تغییر فاز دهنده، ذخیره‌ی انرژی، انرژی خورشیدی، ترموالکتریک

## ۱- مقدمه

در حال حاضر، روند تقاضا و عرضه انرژی از نظر زیست محیطی، اجتماعی و اقتصادی پایدار نیست. افزایش نرخ بهره‌وری از سوخت‌های فسیلی باعث افزایش نگرانی‌ها در رابطه با منابع انرژی شده است. پیش بینی می‌شود انتشار گازهای گلخانه‌ای تا سال ۲۰۵۰، دو برابر شود [۱]. بنابراین بحران شدید گرمایش زمین را به دنبال خواهیم داشت. از طرفی دیگر سوخت‌های فسیلی محدود و پایان پذیر هستند و برون‌یابی خط رشد مصرف نفت تخمین می‌زند که عرضه آن‌ها تا حدود سال ۲۰۵۰ به پایان برسد [۲]. بنابراین سیاست کاهش و یا مدیریت مصرف زغال سنگ، گاز طبیعی و نفت لازم و توجه بر انرژی‌های پایدار و تجدیدپذیر مانند انرژی خورشیدی، باد، زیست توده، هیدروژن و زمین گرمایی امری ضروری به نظر می‌رسد. از میان انرژی‌های تجدیدپذیر، انرژی خورشیدی به علت دسترس و رایگان بودن جزء کارآمدترین و امیدوارکننده‌ترین منابع محسوب می‌شود [۳-۵]. در میان فناوری‌های مختلف انرژی خورشیدی، قابلیت تبدیل نور به حرارت<sup>۱</sup>، به عنوان روشی مناسب و کارآمد برای استفاده از انرژی خورشیدی، معرفی شده است [۶-۸]. این روش، کاربردهای صنعتی زیادی در تولید برق [۹]، بخار [۱۰] و ذخیره انرژی [۱۱] دارد. به دلیل ماهیت متناوب و ناپایدار تابش خورشید، استفاده مستقیم و متداوم از آن مشکل می‌باشد [۱۲]. بنابراین، ذخیره سازی انرژی حرارتی<sup>۲</sup> خورشید در طول روز می‌تواند به طور موثری استفاده از آن را بهبود بخشد و کنترل پایدار را از طریق گرمای محسوس، گرمای نهان و واکنش ترموشیمیایی انجام دهد [۱۳، ۱۴]. مواد تغییر فاز دهنده<sup>۳</sup> رویکردی مناسب برای تبدیل، ذخیره و استفاده از انرژی

<sup>3</sup> Phase change materials

<sup>1</sup> Photo thermal conversion

<sup>2</sup> Thermal energy storage



ماده تغییر فاز دهنده مورد استفاده در این پژوهش، روغن شترمرغ با محدوده دمایی ذوب ۲۳-۲۴ درجه سانتی گراد می‌باشد که خواص حرارتی- فیزیکی آن در جدول ۱ ارائه گردیده است. مجموعه آزمایشگاهی مورد استفاده در این پژوهش که شامل محفظه مواد تغییر فاز دهنده، ماژول ترموالکتریک و هیت سینک می‌باشد، در شکل ۱ نمایش داده شده است. در این سیستم از یک شبیه ساز نور خورشید که دارای لامپ زنون با ۱۰۰۰ وات می‌باشد، به عنوان تولید کننده نور مصنوعی خورشید استفاده شده است. محفظه شیشه‌ای به عنوان جاذب نور خورشید، دارای ابعاد  $40\text{mm} \times 35\text{mm}$ ، ارتفاع  $38\text{mm}$  و ضخامت ۲ میلی‌متر است که حاوی مواد تغییر فاز دهنده می‌باشد. چهار سنسور در داخل مخزن در ارتفاع‌های ۸، ۱۶، ۲۴ و ۳۲ میلی‌متر از کف محفظه، برای اندازه‌گیری افزایش یا کاهش دمای مواد تغییر فاز دهنده، تعبیه شده‌اند. دماها توسط یک سیستم جمع آوری داده (مدل Lurton TM-947SD با دقت  $0.1^\circ\text{C}$ ) به ثبت رسید. برای تبدیل حرارت ذخیره شده توسط مواد تغییر فاز دهنده به الکتریسیته، از یک ماژول ترموالکتریک (مدل SP1848-271) با ابعاد  $40 \times 40\text{mm}$  که در اثر اختلاف دما بین سطوح خود برق تولید می‌کند، در انتهای محفظه مواد تغییر فاز دهنده، استفاده شده است. ولتاژ تولیدی توسط مولتی متر (مدل DEC330FC با دقت  $1\text{mV}$ ) اندازه‌گیری شد. برای تولید اختلاف دما و الکتریسیته بیشتر، از یک سینک حرارتی از جنس آلومینیوم در ابعاد  $35 \times 35 \times 30\text{mm}$  استفاده شده است. همچنین برای حفظ سینک حرارتی در دمای پایین (دمای اتاق)، در تمام مدت آزمایش، در داخل یک منبع آب  $50\text{ml}$  در دمای اتاق قرار داده شد. برای جلوگیری از اتلاف حرارت از محفظه مواد تغییر فاز دهنده به محیط، محفظه توسط فوم پلی یورتان عایق شد.

جدول ۱. خواص حرارتی-فیزیکی روغن شترمرغ

۱/۹	ظرفیت حرارتی ویژه (kJ/kg.K)
۰/۱۷	رسانش حرارتی (W/m.K)
$6 \pm 3$	گرمای نهان (kJ/kg)
۲۳-۲۴	نقطه‌ی ذوب ( $^\circ\text{C}$ )
۷۸۰	چگالی ( $\text{kg/m}^3$ )

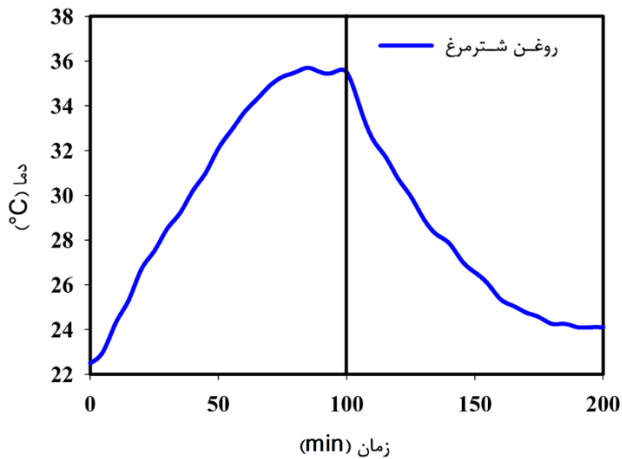
خورشیدی می‌باشند که قابلیت جذب، تبدیل، ذخیره سازی و آزاد سازی حرارتی مناسب را در فرآیندهای ذوب و انجماد فراهم می‌کنند [۱۵]. به عنوان مثال، ایرانی و همکاران [۱۶]، به بررسی اثر پارافین بر روی عملکرد سیستم‌های تولید مستقیم بخار سطحی و حجمی با استفاد از انرژی خورشیدی پرداختند. نتایج آن‌ها نشان داد که در هنگام تابش نور خورشید، حضور ماده تغییر فاز دهنده‌ی پارافین باعث کاهش سرعت تبخیر می‌شود. اما در طی زمانی که تابش قطع می‌شود، ماده تغییر فاز دهنده تا حدی باعث افزایش سرعت تبخیر می‌شود. سوئی و همکاران [۱۷]، به بررسی تجربی استفاده از پارافین با دو دمای ذوب مختلف برای جذب و ذخیره انرژی خورشیدی با استفاده از لنز فرزنل و تبدیل آن به الکتریسیته توسط ترموالکتریک پرداختند. علاوه بر این از هیت سینک برای خنک سازی ترموالکتریک و انتقال حرارت به ماده تغییر فاز دهنده استفاده کردند. نتایج نشان داد با افزایش تمرکز تابش، بازه حرارتی افزایش و نرخ آن کاهش می‌یابد. علاوه بر این، تغییر ارتفاع هیت سینک تأثیر قابل توجهی بر میزان ذخیره انرژی و تولید ولتاژ می‌گذارد. مالکی و همکاران [۱۸]، به مقایسه تجربی دو سیستم شامل سلول خورشیدی و ترموالکتریک همراه با پارافین با دو دمای ذوب مختلف و یک سیستم بدون مواد تغییر فاز دهنده پرداختند. نتایج آن‌ها نشان داد که سیستم همراه با مواد تغییر فاز دهنده می‌تواند میانگین دمای سلول خورشیدی را به میزان  $89/4\%$  کاهش و گرادیان دمای ترموالکتریک را  $1/2\%$  افزایش دهد. همچنین میانگین انرژی الکتریکی سیستم شامل مواد تغییر فاز دهنده،  $8/1\%$  بیشتر از سیستم بدون ماده تغییر فاز دهنده بود. ساو و همکاران [۱۹]، به بررسی استفاده از آنروزل<sup>۴</sup> به عنوان ماده تغییر فاز دهنده برای تبدیل نور به حرارت و ذخیره آن پرداختند. طبق نتایج آن‌ها، ولتاژ خروجی ماژول ترموالکتریک ۳ برابر حالت بدون آنروزل بدست آمد. به طوری که آنروزل باعث شد تا راندمان  $61/3\%$  افزایش پیدا کند. کرمی و همکاران [۲۰]، از ترکیب پارافین، چربی گوشت گاو و روغن نارگیل همراه با گرافیت به عنوان ماده تغییر فاز دهنده برای افزایش بازده الکتریکی و حرارتی ماژول فتوولتائیک استفاده کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که این ترکیب می‌تواند سبب کاهش  $50\%$  دمای میانگین و افزایش دو برابری توان تولیدی ماژول فتوولتائیک شود. بررسی پژوهش‌های پیشین، نشان می‌دهد که اخیراً جذب و ذخیره انرژی خورشیدی و تبدیل آن به الکتریسیته توجه محققان را به خود جلب کرده است. با این حال، بسیاری از مواد تغییر فاز دهنده از جمله پارافین محصولاتی مشتق شده از نفت و به عنوان یک منبع غیر قابل تجدیدپذیر مبتنی بر منابع فسیل هستند [۲۱]، که یک عامل مهم غیرمستقیم در گرم شدن زمین محسوب می‌شوند. به همین دلیل در پژوهش حاضر، برای جذب و ذخیره انرژی خورشیدی و تبدیل آن به الکتریسیته از روغن شترمرغ به عنوان ماده تغییر فاز دهنده طبیعی، تجدیدپذیر، ارزان قیمت و با دسترس پذیری بالا، استفاده خواهد شد.

## ۲- مواد و تجهیزات

<sup>4</sup> Aerogel

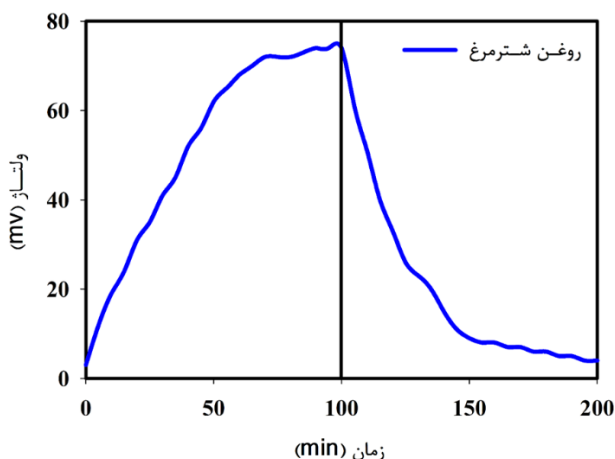


مواجه می‌شود به گونه‌ای که شیب نمودار دما در ابتدا زیاد است و با گذشت زمان و آزاد سازی حرارت دریافتی به محیط، شیب کاهش پیدا می‌کند.

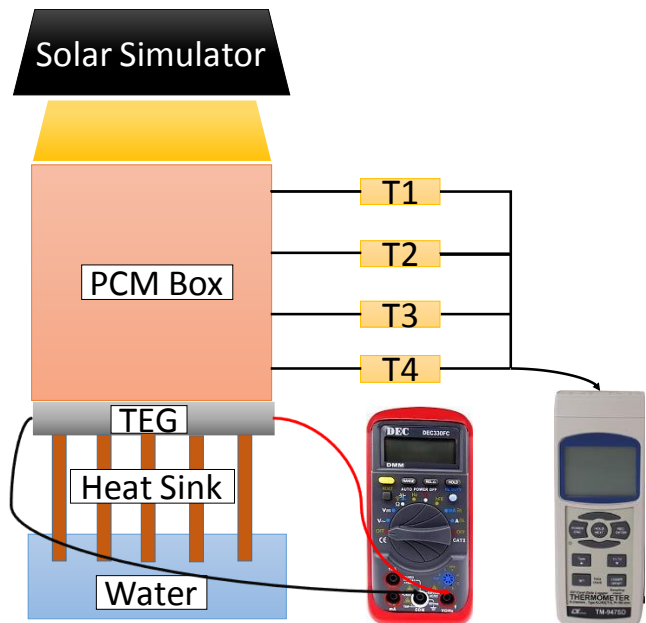


شکل ۲ تغییرات دمای روغن شترمرغ

شکل ۳، تغییرات ولتاژ و ولتاژ روغن شترمرغ را نشان می‌دهد. به علت وابسته بودن الکتریسیته تولیدی ماژول ترموالکتریک به اختلاف دمای دو طرف آن، نمودار تغییرات ولتاژ متناسب با نمودار تغییر دما می‌باشد. افزایش دمای منبع و در نتیجه افزایش اختلاف دمای دو طرف ترموالکتریک، سبب بیشتر شدن میزان ولتاژ تولیدی سیستم شده است. در انتهای زمان تابش با ثابت شدن دما، میزان ولتاژ تولیدی نیز با مقدار ۷۶ میلی ولت ثابت شده است. همچنین با قطع تابش و سرد شدن منبع، نمودار ولتاژ نزولی و در انتهای آزمایش به صفر میل می‌کند.



شکل ۳ تغییرات ولتاژ روغن شترمرغ



شکل ۱ شماتیک مجموعه‌ی آزمایشگاهی

### ۳- روش انجام آزمایش

برای بررسی روغن شترمرغ در فرآیند ذخیره سازی و آزاد سازی انرژی از سیستم آزمایشگاهی طبق شکل ۱ استفاده شد. در ابتدا این ماده تغییر فاز دهنده به مدت ۱۰۰ دقیقه در معرض تابش نور شبیه ساز خورشید با شدت  $900 W/m^2$  قرار گرفت و ۱۰۰ دقیقه هم بدون تابش انجام شد. با روشن شدن شبیه ساز نور خورشیدی و ذخیره سازی انرژی توسط ماده تغییر فاز دهنده، ماژول ترموالکتریک به علت ایجاد اختلاف دما در دو طرف خود، مطابق با اثر سبیک<sup>۵</sup> این انرژی گرمایی ذخیره شده توسط ماده تغییر فاز دهنده را به الکتریسیته تبدیل می‌کند [۲۲]. همچنین با قطع تابش، به علت انرژی ذخیره شده توسط ماده تغییر فاز دهنده در طی ۱۰۰ دقیقه تابش، در دو طرف ماژول ترموالکتریک اختلاف دما بوجود آمده است، به همین دلیل تا زمان هم‌دما شدن منبع مواد تغییر فاز دهنده با محیط، الکتریسیته تولید خواهد شد.

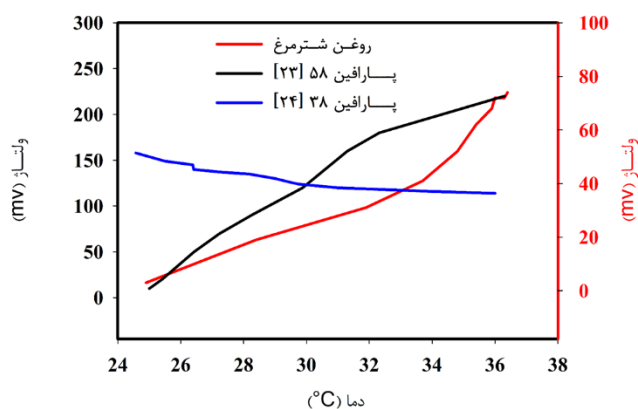
### ۴- بحث و نتایج

در این قسمت به بررسی تغییرات دما و الکتریسیته تولیدی توسط روغن شترمرغ پرداخته می‌شود. از آنجایی که سنسور شماره ۴ نزدیکترین سنسور به ماژول ترموالکتریک می‌باشد، برای مقایسه بهتر دما و ولتاژ تولیدی، داده‌های این سنسور در پژوهش حاضر گزارش شده است. در شرایط تابش نور مصنوعی خورشید (۰-۱۰۰ دقیقه)، ماده تغییر فاز دهنده مورد نظر انرژی تابشی را جذب کرده و آن را از سطح با هدایت حرارت به داخل محفظه منتقل می‌کند. طبق شکل ۲، در ابتدای آزمایش شیب افزایش دما تند می‌باشد و با گذشت زمان تابش، شیب افزایش دما کند شده و در انتهای تابش (۱۰۰ دقیقه) به مقدار ثابت ۳۵/۹ درجه سانتی گراد می‌رسد. علاوه بر این هنگامی که تابش نور قطع می‌شود، ماده تغییر فاز دهنده به سرعت با کاهش دما

<sup>5</sup> Seebeck

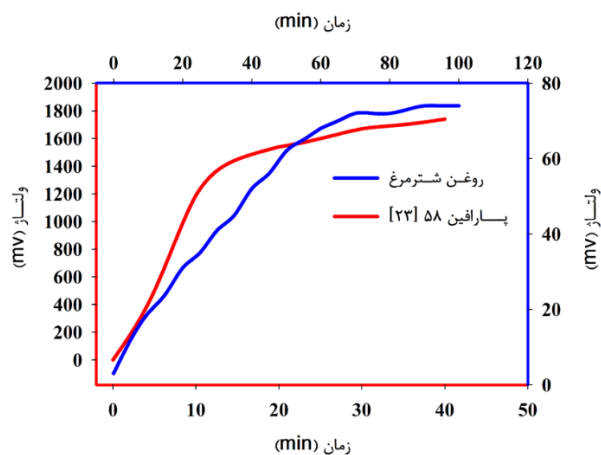


دارد، استفاده شده است. علاوه بر این، منبع ماده تغییر فاز دهنده تحت تابش  $10000 W/m^2$  قرار گرفته است که این باعث افزایش زیاد دمای منبع حاوی پارافین شده است، به گونه‌ای که باعث افزایش دمای ۲۵ تا ۳۶ درجه سانتی‌گراد در کمتر از دو دقیقه شد. این در حالی است که برای روغن شترمرغ افزایش دما از ۲۵ تا ۳۶ درجه سانتی‌گراد در مدت زمان ۱۰۰ دقیقه اتفاق افتاده است. همچنین در شرایط دمایی یکسان، به دلیل سرعت بالای تغییرات دمایی در پارافین ۵۸، اختلاف دمای بیشتری در دو طرف ماژول ترموالکتریک ایجاد شده است، به طوری که مقدار ولتاژ تولیدی پارافین ۵۸ تقریباً ۵ برابر روغن شترمرغ ثبت شده است. در پژوهشی دیگر، وانگ و همکاران [۲۴] ترموالکتریک را در بالای مجموعه قرار داده‌اند، به گونه‌ای که یک طرف آن در معرض تابش  $9937 W/m^2$  و طرف دیگر آن در منبع ماده‌ی تغییر فاز دهنده (پارافین ۳۸ درجه) قرار داشت. از آنجایی که در ابتدای آزمایش ماژول ترموالکتریک تابش را به طور مستقیم دریافت کرده و پارافین ۳۸ جامد است، این شرایط باعث اختلاف دمای زیاد در دو طرف ترموالکتریک می‌شود که منجر به تولید بیشترین ولتاژ در ابتدای آزمایش شده است (محور عمودی سمت چپ نمودار). با گرم شدن و ذوب پارافین در طی آزمایش، اختلاف دمای دو طرف ماژول ترموالکتریک کاهش یافته و تولید ولتاژ روند نزولی پیدا کرده است. با مقایسه‌ی این مجموعه‌ی آزمایشگاهی (ترموالکتریک تحت تابش) با مجموعه‌ی آزمایشگاهی منبع تحت تابش، مشاهده می‌شود که در شرایط یکسان آزمایش (شدت تابش، مدت تابش و ماده‌ی تغییر فاز دهنده‌ی مشابه)، مجموعه‌ی آزمایشگاهی منبع تحت تابش به دلیل جذب انرژی بیشتر، مقدار ولتاژ بیشتری در زمان نبود تابش تولید می‌کند.



شکل ۵ مقایسه‌ی روغن شترمرغ با پارافین‌های ۵۸ [۲۳] و ۳۸ درجه [۲۴] بر حسب دما

برای صحت نتایج بدست آمده در پژوهش حاضر، نتایج این پژوهش با نتایج بدست آمده از پژوهش شی و همکاران [۲۳] مقایسه شد، که آن‌ها در پژوهش خود از ماده تغییر فاز دهنده پارافین ۵۸ درجه در سیستم آزمایشگاهی مشابه (ترموالکتریک بین منبع ماده تغییر فاز دهنده و سینک حرارتی) استفاده کردند. به دلیل این شباهت سیستم آزمایشگاهی با پژوهش حاضر، در شکل ۴ به مقایسه ولتاژ تولیدی پژوهش حاضر و پژوهش شی و همکاران [۲۳] پرداخته شده است. مطابق شکل ۴، مشاهده می‌شود که روند تغییرات ولتاژ پژوهش شی و همکاران [۲۳] با پژوهش حاضر مشابه است. علت بیشتر بودن ولتاژ تولیدی توسط سیستم آزمایشگاهی پژوهش شی و همکاران [۲۳]، استفاده از تابش با شدت بیش از ده برابر ( $10000 W/m^2$ ) نسبت به پژوهش حاضر است، که این میزان شدت تابش، سبب ایجاد اختلاف دمای بیشتر در دو طرف ترموالکتریک شده که نتیجه آن ۱۷۵۰ میلی‌ولت در انتهای زمان تابش (۴۰ دقیقه پس از شروع تابش) شده است. در حالی که در پژوهش حاضر با تابش  $900 W/m^2$  بر سطح سیستم، حداکثر ۷۴ میلی‌ولت توسط ترموالکتریک در انتهای تابش (۱۰۰ دقیقه پس از شروع تابش) تولید شده است. علت پایین بودن ولتاژ تولیدی توسط ترموالکتریک، کم بودن شدت تابش و کم بودن نرخ افزایش حرارت می‌باشد که سبب اختلاف دمای کمتر در دو طرف ترموالکتریک شده است.



شکل ۴ مقایسه‌ی الکتریسیته تولیدی روغن شترمرغ و پارافین ۵۸ [۲۳] بر حسب زمان

علاوه بر این، طبق شکل ۵ رفتار پارافین ۵۸ درجه از نظر تولید ولتاژ بر حسب دما (محور عمودی سمت چپ نمودار)، مشابه روغن شترمرغ می‌باشد (محور عمودی سمت راست نمودار). با این تفاوت که در پژوهش شی و همکاران [۲۳] از پارافین که نسبت به روغن شترمرغ دمای ذوب و گرمای نهان بسیار بالاتری



## ۴- نتیجه گیری

در این پژوهش به بررسی تجربی روغن شترمرغ به عنوان ماده تغییر فاز دهنده خوراکی برای جذب و ذخیره انرژی خورشیدی و تولید الکتروسیسته پرداخته شد. برای این منظور از یک سیستم آزمایشگاهی که شامل منبع ماده تغییر فاز دهنده تحت تابش شبیه ساز خورشیدی و ماژول ترموالکتریک که در قسمت زیرین منبع روغن قرار داده شده بود استفاده شد، که در آن روغن شترمرغ به عنوان ذخیره کننده انرژی خورشیدی قرار گرفته بود. در طول مدت زمان آزمایش تغییرات دمایی و ولتاژ تولیدی ثبت شد. نتایج نشان داد که وجود روغن شترمرغ در منبع ماده تغییر فاز دهنده در طی ۱۰۰ دقیقه تابش باعث افزایش دمای این روغن از ۲۲°C به ۳۶°C شد. همچنین به علت این افزایش دما و ایجاد اختلاف دما در دو طرف ماژول ترموالکتریک، پس از ۱۰۰ دقیقه تابش ۷۴ میلی‌ولت الکتروسیسته تولید شد. مقایسه نتایج بدست آمده از پژوهش حاضر با پژوهش‌های پیشین نشان داد که محل قرار گیری ترموالکتریک تاثیر به سزایی در تولید ولتاژ دارد و بهترین حالت برای تداوم تولید ولتاژ در زمان نبود تابش هنگامی رخ می‌دهد که ترموالکتریک، در انتهای منبع روغن تحت تابش قرار گیرد. با اینکه روغن شترمرغ دسترس پذیری بالا، قیمت ارزان و ماندگاری بیشتری نسبت به دیگر مواد بررسی شده دارد، مشاهده شد که روغن شترمرغ به دلیل پایین بودن نقطه ذوب، گرمای نهان ذوب و در نتیجه پایین بودن میزان ذخیره سازی انرژی، در هنگام فرآیند سرد سازی دمای خود را به سرعت از دست می‌دهد و میزان ولتاژ تولیدی کمتری دارد.

## مراجع

- [۶] H. Li, Y. He, Z. Liu, Y. Huang, and B. J. A. T. E. Jiang, "Synchronous steam generation and heat collection in a broadband Ag@ TiO<sub>2</sub> core-shell nanoparticle-based receiver," vol. 121, pp. 617-627, 2017.
- [۷] L. Shi, Y. He, X. Wang, Y. J. E. c. Hu, and management, "Recyclable photo-thermal conversion and purification systems via Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>@ TiO<sub>2</sub> nanoparticles," vol. 171, pp. 272-278, 2018.
- [۸] X. Wang, Y. He, X. Liu, L. Shi, and J. J. S. E. Zhu, "Investigation of photothermal heating enabled by plasmonic nanofluids for direct solar steam generation," vol. 157, pp. 35-46, 2017.
- [۹] Z. Zheng *et al.*, "High-absorption solar steam device comprising Au@ Bi<sub>2</sub>MoO<sub>6</sub>-CDs: Extraordinary desalination and electricity generation," vol. 68, p. 104298, 2020.
- [۱۰] X. Wu, Z. Wu, Y. Wang, T. Gao, Q. Li, and H. J. A. S. Xu, "All-cold evaporation under one sun with zero energy loss by using a heatsink inspired solar evaporator," vol. 8, no. 7, p. 2002501, 2021.
- [۱۱] X. Du, J. Qiu, S. Deng, Z. Du, X. Cheng, and H. J. R. E. Wang, "Flame-retardant and solid-solid phase change composites based on dopamine-decorated BP nanosheets/polyurethane for efficient solar-to-thermal energy storage," vol. 164, pp. 1-10, 2021.
- [۱۲] X. Du, S. Wang, Z. Du, X. Cheng, and H. J. J. o. M. C. A. Wang, "Preparation and characterization of flame-retardant nanoencapsulated phase change materials with poly (methylmethacrylate) shells for thermal energy storage," vol. 6, no. 36, pp. 17519-17529, 2018.
- [۱۳] I. Sarbu and C. J. S. Sebarchievici, "A comprehensive review of thermal energy storage," vol. 10, no. 1, p. 191, 2018.
- [۱۴] G. Alva, Y. Lin, and G. J. E. Fang, "An overview of thermal energy storage systems," vol. 144, pp. 341-378, 2018.
- [۱۵] V. Kapsalis and D. J. A. T. E. Karamanis, "Solar thermal energy storage and heat pumps with phase change materials," vol. 99, pp. 1212-1224, 2016.
- [۱۶] M. Irani, M. M. Ghafurian, M. M. Khorasani, R. Mehrkhah, and O. J. J. o. t. T. I. o. C. E. Mahian, "A comparative study of the effect of phase change material (paraffin wax) on volumetric and surface direct solar steam generation," vol. 128, pp. 253-260, 2021.
- [۱۷] X. Sui, W. Li, Y. Zhang, and Y. J. I. A. Wu, "Theoretical and experimental evaluation of a thermoelectric generator using concentration and thermal energy storage," vol. 8, pp. 87820-87828, 2020.
- [۱۸] Y. Maleki, F. Pourfayaz, and M. J. R. E. Mehrpooya, "Experimental study of a novel hybrid photovoltaic/thermal and thermoelectric generators system with dual
- [۱] S. E. Hosseini, M. A. Wahid, N. J. R. Aghili, and S. E. Reviews, "The scenario of greenhouse gases reduction in Malaysia," vol. 28, pp. 400-409, 2013.
- [۲] G. Marbán Calzón and T. Valdés-Solís Iglesias, "Towards the hydrogen economy?," 2007.
- [۳] Z. Cai *et al.*, "Flexible phase change materials with enhanced tensile strength, thermal conductivity and photo-thermal performance," vol. 219, p. 110728, 2021.
- [۴] G. Chen, Y. Su, D. Jiang, L. Pan, and S. J. A. E. Li, "An experimental and numerical investigation on a paraffin wax/graphene oxide/carbon nanotubes composite material for solar thermal storage applications," vol. 264, p. 114786, 2020.
- [۵] W. Wang, B. Tang, B. Ju, Z. Gao, J. Xiu, and S. J. J. o. m. c. A. Zhang, "Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>-functionalized graphene nanosheet embedded phase change material composites: efficient magnetic-and sunlight-driven energy conversion and storage," 2017.



- phase change materials," vol. 201, pp. 202-215, 2022.
- [<sup>٩</sup>] R. Cao *et al.*, "Enhancing solar-thermal-electric energy conversion based on m-PEGMA/GO synergistic phase change aerogels," *Journal of Materials Chemistry A*, 10.1039/D0TA04712K vol. 8, no. 26, pp. 13207-13217, 2020.
- [<sup>١٠</sup>] B. Karami, N. Azimi, and S. J. R. E. Ahmadi, "Increasing the electrical efficiency and thermal management of a photovoltaic module using expanded graphite (EG)/paraffin-beef tallow-coconut oil composite as phase change material," vol. 178, pp. 25-49, 2021.
- [<sup>١١</sup>] E. Reyes-Cueva, J. F. Nicolalde, and J. J. M. Martínez-Gómez, "Characterization of unripe and mature avocado seed oil in different proportions as phase change materials and simulation of their cooling storage," vol. 26, no. 1, p. 107, 2020.
- [<sup>١٢</sup>] X. Zhao *et al.*, "Thermoelectric generator based on anisotropic wood aerogel for low-grade heat energy harvesting," *Journal of Materials Science and Technology*, Article vol. 120, pp. 150-158, 2022.
- [<sup>١٣</sup>] L. Shi, Y. Hu, Y. Bai, and Y. He, "Dynamic tuning of magnetic phase change composites for solar-thermal conversion and energy storage," *Applied Energy*, vol. 263, p. 114570, 2020/04/01/ 2020.
- [<sup>١٤</sup>] Y. Wang, Y. Peng, K. Guo, X. Zheng, J. Darkwa, and H. J. E. Zhong, "Experimental investigation on performance improvement of thermoelectric generator based on phase change materials and heat transfer enhancement," vol. 229, p. 120676, 2021.