J. Energy Conversion
Volume: 11, Issue: 2, 2024: 1-17

نشریه علمی-تخصصی تبدیل انرژی (JEED)

دوره ۱۱، شماره ۲، تابستان۱۴۰۳، ص: ۱-۱۷

# خنک سازی یک سیستم فتوولتائیک دارای متمرکز کننده با استفاده از هیت سینک حاوی مواد تغییر فاز دهنده و نانوذرات اکسید مس

**رامین وطندوست[۱]، آرش میرعبداله لواسانی[*۲]، سعید دیناروند[۳]، محمد سردارآبادی[۴]، محمد افتخاری یزدی[۵]**

**[۱و۲و۳و۵] گروه مهندسی مکانیک، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران مرکزی ، تهران، ایران**

**[۴] گروه انرژی، دانشگاه صنعتی قوچان، قوچان، ایران**

دریافت: ۱۴۰۲/۱۱/۱۷، بازنگری: ۱۴۰۳/۲/۱۷، پذیرش: ۱۴۰۳/۲/۲۵

## چکیده

در این مطالعه، خنک سازی یک سیستم فتوولتاییک متمرکز کننده دو بعدی به کمک هیت سینک حاوی مواد تغییر فاز دهنده و نانوذرات اکسیدمس به کمک روش عددی بررسی شده است. ماده تغییر فاز دهنده و نانو ذرات انتخابی به‌ترتیب از نوع n-octadecane و اکسید مس می باشد. نتایج این تحقیق نشان می دهد که اضافه کردن نانوذرات اکسید مس با کسرجرمی ۳و ۵ درصد به ماده تغییر فاز دهنده پایه، باعث کاهش دمای سلول خورشیدی از ۱۹۱ $^{o}$C به ترتیب به ۱۸۵ $^{o}$C و ۱۸۰ $^{o}$C می گردد.

***عهده‌دار مکاتبات** : arashlavasani@iauctb.ac.ir

**کلمات کلیدی:** مواد تغییر فاز دهنده، سیستم فتوولتاییک متمرکننده، نانو ذرات اکسید مس.

**نحوه استناد به این مقاله** رامین وطندوست، آرش میرعبداله لواسانی، سعید دیناروند، محمد سردارآبادی، محمد افتخاری یزدی. خنک سازی یک سیستم فتوولتائیک دارای متمرکز کننده با استفاده از هیت سینک حاوی مواد تغییر فاز دهنده و نانوذرات اکسید مس. مهندسی مکانیک تبدیل انرژی. ۱۴۰۳; ۱۱ (۲) : ۱-۱۷.

[ Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-08 ]

## ۱- مقدمه

امروزه پنل های فتوولتائیک متمرکز کننده به دلیل مزایای مختلفی از جمله راندمان الکتریکی بالاتر، هزینه سرمایه گذاری کمتر به ازای هر وات، امکان استفاده در تجهیزات پیشرفته الکترونیکی و فضایی و ... مورد توجه قرار گرفته است . این نوع پنل ها حدود ۲۵ تا ۳۰ درصد کارایی بیشتر نسبت به نمونه های فتوولتائیک معمولی دارند. در این نوع پنل‌ها، نور خورشید ازمحدوده وسیعی با استفاده از سه روش عدسی فرنل، آینه سهموی و بازتابنده بر روی سلول خورشیدی با ابعاد بسیار کوچک متمرکز می شود [۱] . بطور کلی در سیستم های فتوولتائیک تقریباً ۲۰-۱۸ درصد از انرژی خورشیدی دریافتی به انرژی الکتریکی و بقیه به گرما تبدیل می شود [۲]. این گرمای تولید شده باعث افزایش دمای سلول خورشیدی و در نهایت کاهش بازده عملکردی می شود. در سلول های خورشیدی مونو و پلی کریستال سیلیکونی، به ازای افزایش یک درجه سلسیوس دما، جریان اتصال کوتاه ۰/۰۶ تا ۰/۱ درصد و افت ولتاژ ۲ تا ۲/۳ میلی ولت افزایش می یابد که این موضوع باعث کاهش ۰/۴ تا ۰/۵ درصدی توان الکتریکی تولید شده می گردد[۵- ۳].

با توجه به استفاده از سلول های خورشیدی مبتنی بر سیلیکون در ساختار پنل های متمرکز کننده ها، مشکل افزایش دمای سلول و کاهش راندمان در این سیستم ها نیز مشاهده می شود. سیستم های فتوولتاییک متمرکز کننده بر اساس میزان تمرکز (CR) به سه دسته تقسیم می شوند. در پنل هایی با نسبت تمرکز پایین بین ۲ تا ۱۰، تجهیزات خنک کننده و جابجایی برای چرخش پنل ها در جهت خورشید نیاز نبوده ولی بر خلاف این مورد، در نوع متمرکز کننده با نسبت های متوسط و نسبتا" بالا بین ۱۰ تا ۱۰۰۰ ، علاوه بر نیاز به استفاده از جابجا کننده ها جهت هم راستا شدن با خورشید، استفاده از روش های اکتیو و پسیو نیز از مهم ترین عوامل مورد نیاز است [۵] .

یکی از مهم ترین روش های اکتیو و پسیو جهت خنک سازی پنل های فتوولتاییک استفاده از هیت سینک (HS)، بهمراه مواد تغییر فاز دهنده (PCM) و نانو ذرات می باشد که با افزایش و بهبود انتقال حرارت در پنل های فتوولتائیک، باعث کاهش دمای عملکرد سلول خورشیدی و در نهایت افزایش بازده الکتریکی می شود [۶] . استفاده از روش های بیان شده، جهت خنک سازی سیستم های فتوولتاییک در مقالات مختلفی مورد بحث قرار گرفته است. ویرندا و همکاران[۷] در پژوهشی به استفاده از نانو ذرات اضافه شده به مواد تغییر فاز دهنده بعنوان یک روش پسیو جهت خنک سازی یک باطری لیتیومی پرداخته اند، نتایج این بررسی نشان می دهد که استفاده از نانو ذرات اکسید آلمینیوم در کنار ماده تغییر فازدهنده پارافین واکس باعث افزایش انتقال حرارت در پشت باطری نسبت به دو حالت بدون خنک سازی و استفاده از ماده تغییر فاز دهنده بدون موادنانو ذرات می گردد. رفایی و همکاران[۸] در مطالعه ای تجربی به بررسی تفاوت ۴ هندسه مختلف از هیت سینک جهت خنک سازی یک سلول خورشیدی از نوع متمرکز کننده پرداخته اند، نتایج این تحقیق سه موضوع را بصورت مستقل برای هر ۴ هندسه پیشنهادی بیان می نماید. اول مقادیر الکتریسته خروجی و راندمان حرارتی ، دوم آنالیز اکسرژی و میزان هزینه های مربوطه ، سوم آنالیز تاثیرات محیطی که با میزان کاهش کربن تولیدی در محیط و فاکتورهای دیگر قابل بررسی می باشد.

خدادادی و همکاران [۹] در مطالعه ای، به بررسی استفاده همزمان مواد تغییر فاز دهنده و نانو ذرات اکسید آلمینیوم در سیستم فتوولتاییک با رفلکتور فرنل، در شرایط مختلف از نظر نرخ جریان جرمی پرداخته اند، نتایج بررسی نشان می دهد که با وجود اضافه نمودن نانو ذرات در جریان های جرمی پایین، راندمان الکتریکی سیستم فتوولتاییک کاهش می یابد، این نتایج نشان می دهد که اضافه نمودن مواد تغییر فازدهنده بهمراه نانو ذرات تاثیر بسیار خوبی بر تبادل حرارتی داشته و راندمان سیستم را افزایش می دهد. کوتاری و همکاران [۱۰] در مطالعه ای، به بررسی همزمان تاثیر استفاده از مواد تغییر فاز دهنده حاوی نانو ذرات و شکل فین دار و بدون فین در یک مبدل هیت سینک پرداخته اند، نتایج تحقیق نشان می دهد که از بین مقادیر نانو ذرات اکسید آلمینیوم باغلظت صفر ،۲ ، ۴، ۶ درصد استفاده شده، مقادیر با غلظت پایین دارای بیشترین بازده انتقال حرارت می باشد. محمد آقیب و همکاران [۱۱] در مطالعه ای تجربی، به بررسی موردی تاثیر استفاده از نانو ذرات اکسید آلمینیوم و

[ Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-08 ]

نانو لوله های کربنی بر خنک سازی مواد تغییر فاز دهنده پرداخته اند، نتایج این تحقیق نشان میدهد که در زمان استفاده از ترکیب پارافین بعنوان ماده تغییر فاز دهنده و ذرات اکسید آلمینیوم و نانو لوله های کربنی، راندمان انتقال حرارت نسبت به نوع بدون مواد افزودنی، افزایش قابل ملاحظه دارد. اسماعیل و همکاران [۱۲] در مطالعه ای، به بررسی افزایش راندمان یک مبدل حرارتی هیت سینک جهت خنک سازی پنل فوتوولتاییک از نوع متمرکز کننده با استفاده از مواد تغییر فازدهنده بهمراه نانو ذراتی از جنس اکسید آلمینیوم و اکسید مس و اکسید سیلسیم پرداخته اند، نتایج این تحقیق نشان می دهد که استفاده از نانو ذرات بهمراه مواد تغییر فاز دهنده نسبت به نوع بدون مواد نانو ، باعث افزایش راندمان مبدل حرارتی می گردد و ضمنا" استفاده از نانو ذرات اکسید المینیوم نسبت به دو اکسید اشاره شده، باعث افزایش بیشتر انتقال حرارت و سرعت ذوب بالاتر مواد و کاهش دمای سلول فوتولتاییک می گردد.

محمد امام و همکاران [۱۳] در پژوهشی خنک سازی سیستم فتوولتاییک متمرکز کننده با استفاده از مبدل هیت سینک حاوی مواد تغییر فاز دهنده را بررسی کردند. هندسه های مورد بررسی در این پژوهش دارای چهار شکل مختلف، شامل تک حفره، سه حفره موازی، پنج حفره موازی، سه حفره سری می باشد، نتایج این تحقیق نشان می دهد استفاده از مبدل با هندسه موازی و تعداد حفره بیشتر باعث افزایش راندمان حرارتی و کاهش موثر دما و نهایتا" افزایش راندمان الکتریکی پنل متمرکز کننده می گردد.

نجفی و همکاران [۱۴] بررسی استفاده از یک هیت سینک با ساختار مینی کانال بهمراه نانو مواد تغییر فاز دهنده به عنوان دو روش پسیو و اکتیو برای خنک سازی یک چیپ الکترونیکی را انجام داده اند، در این مقاله تاثیرات تغییر مقادیر شار حرارتی – سرعت جریان سیال - نوع مواد تغییر فاز دهنده - نوع نانو مواد برروی پارامترهای حرارتی مورد بررسی قرار گرفته است.

امام و همکاران [۱۵] در مطالعه ای، راندمان و آنالیز سیستم فتوولتاییک متمرکز کننده زاویه دار را بررسی کردند، در این پژوهش تاثیرچند پارامتر مختلف شامل تغییرات زاویه پنل از صفر تا ۹۰+ درجه و ضریب تراکم پذیری از ۵ تا ۲۰ و مقادیر ضخامت مواد تغییر فاز دهنده از ۵۰ تا ۲۰۰ میلی متر، بر راندمان پنل فوتولتاییک مورد بررسی قرار گرفته است، نتایج تحقیق نشان دهنده حداکثر راندمان در حالت زاویه ۴۵+ درجه با ضریب تراکم ۵ می باشد.

علی رادوان و همکاران [۱۶] ، به شبیه سازی و آنالیز یک نمونه مبدل هیت سینک جهت خنک سازی سیستم فوتولتاییک متمرکز کننده در شرایط مختلف بهره برداری مانند نسبت تمرکز از ۲۰ تا ۴۰ درصد، سرعت جریان جرمی تا ۱۰۰ رینولدز، سرعت باد و دمای سیال ورودی متفاوت، پرداخته اند. نتایج حاصل از کار آنها نشان می دهد که با افزایش مقادیر ضریب تمرکز و سرعت جریان جرمی، راندمان انتقال حرارت و نهایتا" تولید الکتریسیته افزایش می یابد.

در مقاله دیگری علی رادوان و همکاران [۱۷] به بررسی افزایش راندمان مبدل حرارتی هیت سینک دارای میکروکانال با استفاده از نانوسیال جهت خنک سازی سیستم فوتوولتاییک متمرکننده پرداخته اند، ترکیبات نانو مورد استفاده در این پژوهش شامل اکسید آلمینیوم و کاربید سیلسیم بوده که با بررسی نتایج مربوطه راندمان حرارتی بالاتر در مبدل حاوی کاربید سیلسیم نسبت به نوع دیگر را به اثبات رسیده است. هووانک و همکاران [۱۸] در مطالعه ای، به بررسی خنک سازی سیستم فتولتاییک متمرکز کننده با استفاده از مبدل هیت سینک حاوی مواد تغییر فازدهنده متخلخل پرداخته اند، نتایج تحقیق آنها نشان می دهد که با افزایش ارتفاع و میزان تخلخل مواد مورد استفاده، حداکثر راندمان الکتریکی حاصل می گردد.

با توجه به مطالعات انجام شده در خصوص روش های مورد استفاده جهت بهبود انتقال حرارت و افزایش راندمان سیستم های فتوولتاییک، در این مطالعه جهت افزایش راندمان حرارتی و الکتریکی یک سلول خورشیدی دارای متمرکز کننده از یک هیت سینک حاوی ماده تغییر فاز دهنده از نوع ان اوکتادسین (N-octadecane ) بهمراه نانو ذرات اکسید مس با کسر جرمی ۳ و ۵ درصد استفاده شده است.

[ Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-08 ]

**جدول شماره ۱ : مشخصات ترموفیزیکی سلول فتوولتاییک**

| اجزا | ظرفیت گرمای ویژه kJ/kg K | ضریب هدایت حرارتی W/mK | چگالی kg/m3 |
|---|---|---|---|
| شیشه | 500 | 2 | 3000 |
| سلول خورشیدی | 677 | 148 | 2330 |

**جدول شماره ۲ : مشخصات مواد تغییر فازدهنده و آلمنیوم و نانوذرات اکسید مس**

| اجزاء | اکسیدمس Cuo | آلومینیوم Al | PCM n-octadecane |
|---|---|---|---|
| ضریب هدایت حرارتی در حالت جامد /مایع W/mK | 18 | 211 | 0.358 w/mk 0.148 w/mk |
| چگالی در حالت جامد /مایع kg/m3 | 6510 | 2675 | 865 w/mk 770 w/mk |
| ظرفیت گرمای ویژه در حالت جامد /مایع kJ/kg K | 540 | 0.903 | 1934 w/mk 2196 w/mk |
| دمای ذوب (°C) | - | - | 28°c |

## ۲- هندسه پیشنهادی

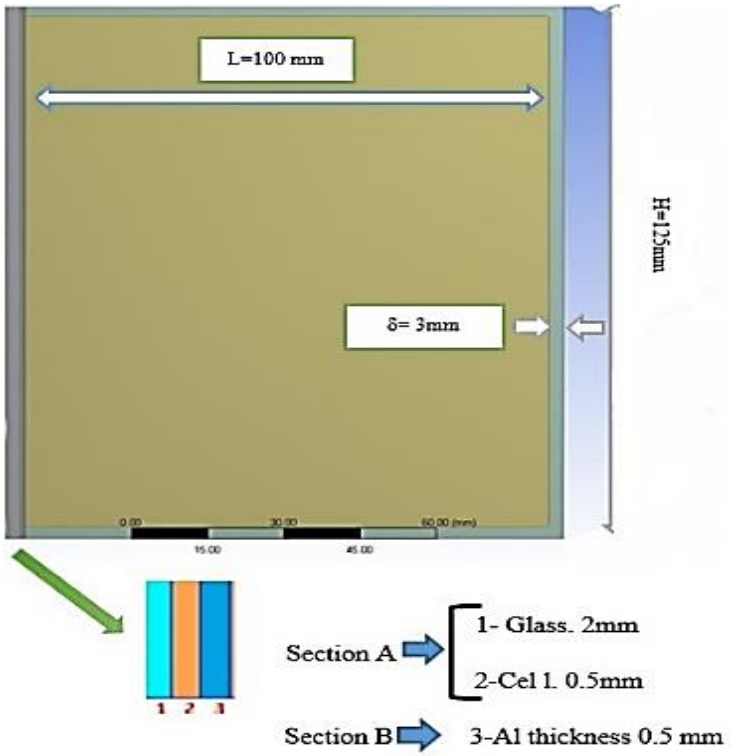
هندسه انتخاب شده در این مطالعه، در شکل ۱ نشان داده شده است. این شکل شامل ۲ بخش اصلی می باشد :

الف - ماژول فتوولتائیک

ب – باکس آلومینیومی حاوی PCM و نانو ذرات

ماژول فتوولتائیک از ۲ لایه (لایه اول شیشه به ضخامت ۲ میلی متر و لایه دوم سلول خورشیدی سیلیکونی با ضخامت ۰/۵ میلی متر) تشکیل شده است. باکس نیز متشکل از یک ظرف مستطیلی از جنس آلومینیوم که دارای ارتفاع داخلی ۱۲۵ میلی متر در جهت y و طول ۱۰۰ میلی متر در جهت x است که با مواد تغییر فاز و نانو ذرات پر شده است. همچنین خواص آلومینیوم و PCM، نانوذرات، در جدول ۱و۲ نشان داده شده است.

[ Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-08 ]




**شکل شماره ۱:  شماتیک سیستم فتوولتاییک متمرکز کننده**

## ۳-معادلات حاکم

### ۳-۱- فرضیات

در مطالعه حاضر فرضیات زیر در نظر گرفته شده است.

- ابعاد هندسی هیت سینک ثابت در نظر گرفته  شده است.
- ترکیب فاز مایع بصورت دو بعدی، نیوتنی و تراکم ناپذیر بوده است.
- پارامترهای دبی جرمی، دمای محیط و حجم کل مواد تغییر فاز دهنده و نانوذرات ثابت فرض شده است.
- پارامتر غلظت حجمی نانوذرات و مواد تغییر فاز دهنده متغیر در نظر گرفته شده است.
- خواص ترموفیزیکی مواد تغییر فاز دهنده و سلول  فتوولتاییک، نانوذرات و آلومینیوم در فاز جامد، ایزوتروپ و مستقل از دما بوده است.

### ۳-۲- سیستم فوولتاییک متمرکز کننده

با توجه به وجود لایه آلومینیوم کوپل شده با سیستم فتوولتائیک متمرکز کننده در هندسه پیشنهادی، معادله انتشار انتقال حرارت در مختصات دکارتی به صورت زیر بیان می گردد [۱۹,۲۰] .

$$\nabla.\left(k_i.\nabla T_i\right)+q_i=\rho_i\,C_{p,i}.\left(\frac{\partial T_i}{\partial t}\right) \qquad (۱)$$

Where i =1, 2 ...

[ Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-08 ]

در معادله ۱، ki ، $Ti\ (x, y)$ ، Cpi ، ρi، qi به ترتیب هدایت حرارتی ، دما ،گرمای ویژه، چگالی، تولید گرمای داخلی هستند، همچنین تولید گرما در واحد حجم لایه i به شرح زیر است [۱۳،۲۱] :

$$q_i = \frac{(1-\eta sc)\ G(t)\ \alpha i\ \tau j\ Ai}{Vi} \qquad (۲)$$

در معادله ۲، $\eta_{sc}$ راندمان الکتریکی لایه سیلیکونی در سلول خورشیدی، G(t) میزان تابش متمرکز ، αi ، Vi، Ai، τi به ترتیب ضریب جذب، حجم ، مساحت لایهi و ضریب انتقال پذیری بوده است.

همچنین از معادله ۳ برای محاسبه بهره وری توان سلول سیلیکونی استفاده شده است [۱۲،۱۳،۲۲] .

$$P_{elec} = \eta_{sc} .G\ (t).\ H_{1,sc}\ .\ \tau_{g}.\ \tau_{E} \qquad (۳)$$

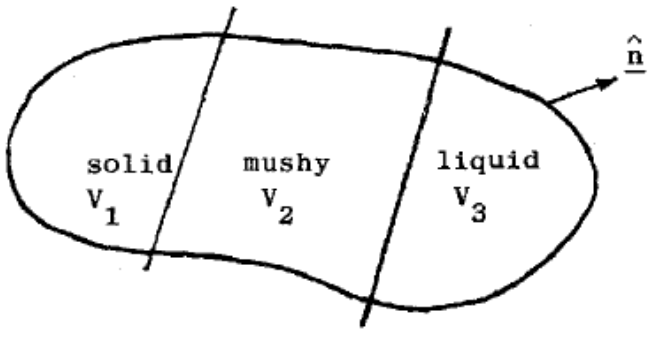
$$\eta_{sc} = \eta_{ref}\ (1-\beta_{ref}\ (T_{sc}- T_{ref}\ ) \qquad (۴)$$

در معادله ۳ ، G معادل $۱۰۰۰ W/m^2$ فرض شده که این مقدار برای اکثر سلول های فتوولتاییک PV توسط شرکت های سازنده در برگه اطلاعات دستگاه ارایه می گردد و $\tau_{g}.\ \tau_{E}$ بترتیب قابلیت انتقال لایه های EVA و شیشه برروی لایه سیلیکونی می باشد[۲۷]. در حالت کلی در سلول خورشیدی فتوولتاییک ، لایه سیلیکونی در بین دو لایه EVA و یک لایه شیشه رویی قرار دارد. همچنین H ارتفاع سلول خورشیدی و $\eta_{sc}$ به کمک معادله ۴ محاسبه گردیده است.

### ۳–۳-نانو ذرات اضافه شده به مواد تغییر فاز دهنده (NEPCM)

در این مطالعه روش آنتالپی- متخلخل برای تجزیه و تحلیل فرآیند تغییرات فاز در ترکیب مواد تغییرفاز دهنده (PCM ) با نانوذرات استفاده شده است. این روش توسط ولر Voler ارایه شده است [۲۳،۲۴].

ناحیه مووشی (mushy) با رفتار متخلخل و ژله ای در ناحیه بین فاز جامد و مایع در شکل ۲ نشان داده شده است. تخلخل در هر سلول برابر با کسر مایع موجود در آن سلول می باشد که در مناطق کاملاً جامد برابر با صفر است .




**شکل۲:تغییرات فاز در مواد تغییر فاز دهنده و ناحیه مووشیmushy**

معادلات حاکم شامل پیوستگی، مومنتوم برای روش آنتالپی –متخلخل به شرح ذیل می باشد.

**الف) معادله پیوستگی :**

$$\frac{\partial u}{\partial x}+\frac{\partial v}{\partial y}=0 \qquad (۵)$$



[ Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-08 ]

**ب) معادله مومنتوم :**

X –direction:

$$\rho_{l,\,npcm}\cdot\frac{\partial u}{\partial t}+\rho_{l.npcm}\cdot u\frac{\partial u}{\partial x}+\rho_{l.npcm.}\,v\frac{\partial u}{\partial y}=-\frac{\partial P}{\partial x}+\mu_{l.npcm}\left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 u}{\partial y^2}\right)+S_x \qquad (۶)$$

Y –direction:

$$\rho_{l,\,npcm}\cdot\frac{\partial v}{\partial t}+\rho_{l.npcm}\cdot u\frac{\partial v}{\partial x}+\rho_{l.npcm}\cdot v\frac{\partial v}{\partial y}=-\frac{\partial P}{\partial Y}+\mu_{l.npcm}\left(\frac{\partial^2 V}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 V}{\partial y^2}\right)+F_B+S_Y \qquad (۷)$$

که در آن Sx و Sy عملگرهای قانون دارسی می باشند که با اضافه شده به معادله ممنتوم تاثیرات جابجایی (همرفت ) را بیان می کنند.

$$S_x=\frac{(1-\lambda)^2}{(\lambda^3+\gamma)}\,..\,A_{mush}\,.u \qquad (۸)$$

$$S_y=\frac{(1-\lambda)^2}{(\lambda^3+\gamma)}.\;A_{mush}\,.v \qquad (۹)$$

که در آن $\lambda$ کسر حجمی مایع و $\gamma$ عدد کوچکی با مقدار ۰.۰۰۱ است که صرفا" برای جلوگیری از صفر شدن کسر می باشد. [۲۵]. همچنین عددثابت $A_{mush}$ بعنوان نشانگر ناحیه مووشی (mushy) یا دوفازی بوده که در معادله بالا این ثابت بیان کننده گذر حالت فازی از ناحیه دوفازی و تبدیل شدن به فاز مایع می باشد. [۲۵]. در بسیاری از تحقیقات مشابه، میزان توصیه شده برای ثابت $A_{mush}$ مقدار $10^6$ می باشد که این مقدار بهترین همبستگی بین نتایج تحقیقات عددی و داده های تجربی را نشان می دهد [۱۹,۲۰].

**پ) معادله انرژی :**

تحقیقات عددی و تجربی زیادی برای ارزیابی انتقال حرارت در مواد تغییر فاز دهنده PCM انجام شده است، در این مقاله از روش آنتالپی Enthalpy methods (H-P) برای تجزیه و تحلیل نتایج استفاده شده است [۲۶]. در حالت کلی برای محاسبه آنتالپی واقعی مواد ، از مجموع آنتالپی محسوس h و انرژی نهان$\Delta H$ استفاده می گردد.

$$H = h_1 + \Delta H \qquad (۱۰)$$

$$h_1 = h_{ref} + \int_{T_{REF}}^{T} c_p\, dT \qquad (۱۱)$$

که داریم :

$h_{ref}$ = reference enthalpy
$T_{ref}$ = reference temperature
$C_p$ = specific heat at constant pressure

همچنین گرمای نهان ترکیب نانو ذرات مواد تغییر فاز دهنده بدین صورت بازنویسی می شود که :

$$\Delta H = \lambda . L \qquad (۱۲)$$

$\Delta H$ برای حالت مایع برابر یک و جامد برابر صفر خواهد بود و کسر مولی جز مایع بصورت زیر تعریف می گردد.

$\lambda = 0$ if $T < T_{solid}$

[ Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-08 ]

$\lambda= 1 \quad if \quad T> T_{liquid}$

$\lambda= (T-T_{solid}) / (T_{liquid} - T_{solid})$

$if\ T_{solid} < T < T_{liquid}$

بنابراین با استفاده از روش آنتالپی می توان معادله انرژی را بصورت زیر باز نویسی کرد:

$$\frac{\partial(\rho H)}{\partial t} + \nabla.(\rho.v.H) = \nabla.(k.\nabla.T) + S \qquad (۱۳)$$

در معادله شماره ۱۳ $S, v, \rho, H$ به ترتیب آنتالپی، چگالی ، سرعت سیال و جمله چشمه می باشد:

جمله S بصورت زیر می شود:

$$S = \rho.\frac{\partial \Delta H}{\partial t} \qquad (۱۴)$$

به طور کلی، در ترکیب مواد تغییر فاز دهنده و نانوذرات، ذرات نانو بر خواص ترموفیزیکی مواد تغییر فاز دهنده تأثیر دارند ، این خواص شامل مقادیر چگالی و ظرفیت حرارتی و ضریب انتقال حرارت بوده که به کسر حجمی ذرات نانو در ترکیب بستگی دارد. معادله شماره ۱۵ برای بیان ارتباط بین کسر حجمی $\emptyset$ و کسر وزنی $\emptyset wt$ شده است [۲۷] .

$$\emptyset = \frac{\emptyset wt\ .\ \rho pcm}{\emptyset wt\ .\rho pcm + (1-\emptyset\ wt).\rho p} \qquad (۱۵)$$

به دلیل تغییر مقادیر دانسیته بین فاز جامد و مایع، مقادیر کسر حجمی برای PCM ثابت نمی باشد.

معادله مربوط به دانسیته ترکیب نانو ذرات - PCM بدین صورت می باشد :

$$\rho npcm = (1-\emptyset)\rho pcm + \emptyset\rho p \qquad (۱۶)$$

$$\rho pcm = \begin{cases} \rho s & T < TM \\ \frac{(\rho s + \rho l)}{2} & Tm < T < Tm + \Delta Tm \\ \rho l & T \geq Tm + \Delta Tm \end{cases} \qquad (۱۷)$$

در معادله ۱۷ بترتیب $T_m$ دمای ذوب PCM و $\Delta T_m$ اختلاف دمایی بین فاز مایع و جامد می باشد که بدین صورت تعریف می گردد:

$$\Delta T_m = T_{liquids} - T_{solidus} \qquad (۱۸)$$

معادلات شماره ۱۹و ۲۰ بترتیب ظرفیت حرارتی ترکیب نانو ذرات – PCM و همچنین ترم بوزینسک آنها را نشان می دهند.

$$(\rho.Cp)npcm = (1-\emptyset)(\rho Cp)pcm + \emptyset(\rho.Cp)p \qquad (۱۹)$$

$$(\rho.\beta)npcm = (1-\emptyset)(\rho.\beta)pcm + \emptyset(\rho.\beta)p \qquad (۲۰)$$

تعریف ویسکوزیته برای ترکیبات کلوییدی حاوی ذرات کوچک کره ای توسط برینکمن[۲۸] در معادله شماره ۲۱ آورده شده است، در این معادله $\mu l$ مقادیر ویسکوزیته در فاز مایع می باشد.

$$\mu = \frac{\mu l}{(1-\emptyset)^{2.5}} \qquad (۲۱)$$

ضریب انتقال حرارت ترکیب نانو ذرات-PCM با استفاده از معادله ماکسول بدین صورت تعریف می گردد.

$$\frac{Knpcm}{Kpcm} = \frac{Kp + 2Kpcm - 2\emptyset(Kpcm - Kp)}{Kp + 2Kpcm + \emptyset(Kpcm - Kp)} \qquad (۲۲)$$

که در معادله ۲۵ ، $Kpcm$ و $Knpcm$ و $Kp$ بترتیب ضریب انتقال حرارت ماده تغییر فاز دهنده ، ترکیب نانو ذره – ماده تغییر فاز دهنده و نانو ذره به تنهایی می باشد.



[ Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-08 ]

$$Kpcm = \begin{cases} Ks & T < TM \\ \frac{(Ks+Kl)}{2} & Tm < T < Tm + \Delta Tm \\ K_L & T \geq Tm + \Delta Tm \end{cases} \quad (۲۳)$$

همچنین در معادله ۲۳ ، $Ks$ و $K_L$ بترتیب ضریب انتقال حرارت ماده تغییر فاز دهنده در حالت جامد و مایع می باشد.

**۴-شرایط مرزی :**

شرایط مرزی در نظر گرفته شده در شکل شماره ۱ بدین صورت است:

- شرط مرزی عدم لغزش در ناحیه بین فاز جامد- مایع حاکم می باشد.

$$\left.\begin{array}{l} x= \delta_{Al,}(L- \delta_{Al}): y=0, H1 \text{ for } t \geq 0 \\ x= \delta_{Al:}\ y=0, \text{ for } t \geq 0 \end{array}\right\} \quad u = v=0$$

- شرایط آغازین برابر است با :

$$u (x, y, 0) = v(x, y, 0)= 0$$

- دمای محیط ۲۵ درجه سلسیوس در نظر گرفته شده است.

- شرایط مرزی دیواره ورودیCPV ترکیبی از انتقال حرارت جابجایی و تشعشعی می باشد .

$$-k \frac{\partial T}{\partial X} = h_{conv} (T_{amb}-T_g) + h_{rad} (T_{sky} - T_g) \quad (۲۴)$$

- شرایط مرزی دیواره بین سیستم CPV و باکس :

$$-k \frac{\partial T}{\partial X} = h_{conv} (T_{amb} - T_{Al}) \quad (۲۵)$$

در معادله ۲۴ مقادیر ضریب انتقال حرارت جابجایی و تشعشی بدین صورت تعریف می گردد.

$$h_{rad, g\text{-}sky} = \sigma . \varepsilon . g \frac{(T_g^4 - T_{sky}^4)}{(T_g - T_{sky})} \quad (۲۶)$$

$$h_{conv, glass\text{-}amb} = 5.7+3.8\ Vm \quad (۲۷)$$

همچنین درمعادله شماره ۲۷ میزان سرعت باد Vm برابر با 1 m/s در نظر گرفته شده است.

- دیواره های بالا و پایین و انتهایی بصورت آدیاباتیک در نظر گرفته شده است.

$$-k \frac{\partial T}{\partial X} = 0 \quad (۲۸)$$

**۵- حل عددی**

در این مطالعه برای حل معادلات حاکم از نرم افزار انسیس فلوئنت نسخه ۱۷.۴ [۲۹] استفاده شده است. بهمین منظور از روش های زیر در جهت شبیه سازی استفاده گردیده است.

- مدل Energy and solidification & melting بمنظور بررسی و شبیه سازی تغییرات فازی ترکیب نانو ذرات با مواد تغییر فازدهنده استفاده گردیده است.

[ Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-08 ]

- شرط SIMPLE جهت کوپل معادله فشار- سرعت انتخاب شده است.
- شرط second order upwind جهت حل معادله مومنتوم – انرژی در نظر گرفته شده است.

### ۵-۱- استقلال از شبکه

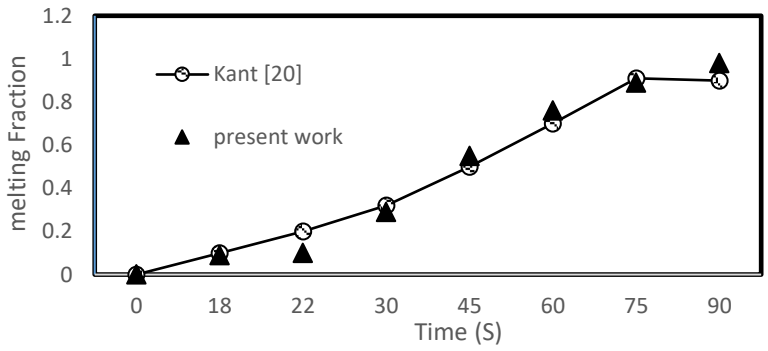
برای بررسی استقلال از شبکه در مدل پیشنهادی، از ۴ شبکه بندی مختلف (A تا D) استفاده شده است. در جدول ۳ هریک از این شبکه بندی ها، شامل تغییرات تعداد نود و اندازه المان ها نسبت به متغیر کسر مایع آورده شده است. بررسی نشان می دهد که افزایش تعداد نودهای موجود از ۸۲۲۶۷ تا ۱۸۵۹۰۳ و کاهش اندازه المانها از ۰/۴ به ۰/۲۵ (بترتیب از شبکه A تا شبکه D) باعث تغییر مقدار متغیر کسرمایع ازعدد ۰/۰۴۱ به عدد ثابت۰/۰۳۴ می گردد. ادامه این روند در شبکه شبیه سازی شده نشان دهنده عدم تغییر عدد کسر مایع از مقدار ثابت بیان شده می باشد. بنابراین شبکه C انتخاب شده است.

**جدول شماره ۳ : استقلال از شبکه، حل عددی**

| اجزاء | A | B | C | D |
|---|---|---|---|---|
| تعداد نودها | 82267 | 145189 | 166455 | 185903 |
| اندازه المان | 0.4 | 0.31 | 0.28 | 0.25 |
| کسرمایع | 0.041 | 0.035 | **0.034** | **0.034** |

### ۵-۲- اعتبارسنجی

جهت اعتبارسنجی از مقایسه نتایج تجربی تحقیق کانت و همکاران استفاده شده است [۲۲]. در مطالعه فوق از نانو ذرات گرافن با درصد جرمی ۵٪ به همراه مواد تغییر فاز دهنده از نوع $CaCl_2.6H_2O$ استفاده شده است. مقایسه بین نتایج ارائه شده در کار کانت و همکاران [۲۲] با نتایج مطالعه حاضر برای متغیر کسر ذوب (melting fraction) نسبت به زمان در شکل ۳ مشخص شده است. نتایج نشان می دهد که اختلاف در حدود ۲ درصد وجود داشته و لذا شبیه سازی انجام شده قابل قبول می باشد.




**شکل۳: مقایسه بین نتایج ارائه شده در کار کانت و همکاران[۲۰] با نتایج مطالعه حاضر برای متغیر کسر ذوب melting (fraction) نسبت به زمان برای نانو ذرات گرافن با درصد جرمی ۵٪ به همراه مواد تغییر فاز دهنده از نوع $CaCl_2.6H_2O$**

[ Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-08 ]

**۶- نتایج:**

در این مطالعه ، نتایج حاصل در دو بخش ارزیابی شده است :

۱- در مرحله اول با استفاده از روش آنتالپی، تاثیر نانو ذرات اکسیدمس با کسرجرمی ۳ و ۵ درصد برمواد تغییر فاز دهنده از نوع n-octadecane با استفاده از تغییرات کسرمایع (liquid fraction) و سرعت (velocity) بیان شده است.

۲- در مرحله دوم تاثیر خصوصیات ترموفیزیکی نانو ذرات اکسید مس (جدول ۴) برروی دمای کارکردی سلول های متمرکز کننده مورد ارزیابی قرار می گیرد.

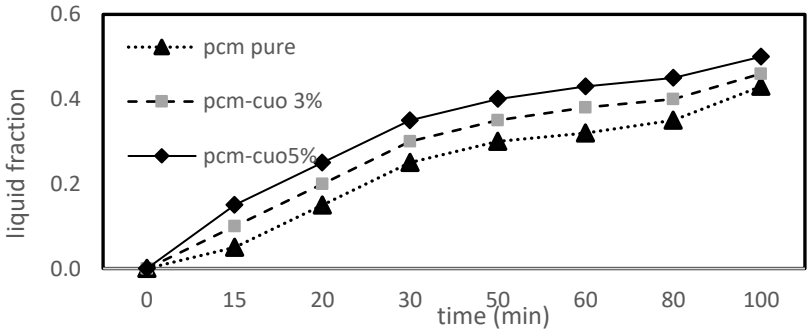
**جدول ۴- خصوصیات ترموفیزیکی ترکیب نانوذرات اکسید مس-PCM**

| اجزاء | n-octadecane-Cuo 5% | n-octadecane-Cuo 3% |
|---|---|---|
| ضریب هدایت حرارتی W/mK | 0.359 | 0.358 |
| چگالی kg/m3 | 870.1 | 868.14 |
| ظرفیت گرمای ویژه kJ/kg K | 1924.6 | 1928.18 |

**۶-۱-بررسی تاثیر نانو ذرات بر مواد تغییر فاز دهنده**

**۶-۱-۱-کسر مایع**

نتایج حاصل از بررسی کسر مایع برای مواد تغییر فاز دهنده خالص و ترکیب نانو ذرات با مواد تغییر فاز دهنده با اکسید مس ۳ و ۵ درصد در شکل ۴ مشخص شده است. با مقایسه نتایج، میزان زمان لازم برای رسیدن به حالت ذوب کامل برای مواد تغییر فاز دهنده خالص و ترکیب مواد تغییر فاز دهنده با اکسید مس ۳ و ۵ درصد بترتیب برابر با ۹۹دقیقه ، ۹۵ دقیقه و ۹۳ دقیقه است . در ۳ ترکیب مورد اشاره، بدلیل اضافه شدن نانو ذرات به مواد تغییر فاز دهنده خالص پایه، افزایش ضریب انتقال حرارت به نسبت درصد جرمی نانو ذره اضافه شده، مشاهده می گردد، که نهایتا" این موضوع توجیه کننده دلیل تفاوت در زمان مورد نیاز جهت رسیدن به حالت ذوب کامل در سه ترکیب مورد اشاره می باشد [۱۲]. افزایش درصد جرمی نانو ذرات، خارج از محدوده بهینه و استاندارد، موجب بالا رفتن ویسکوزیته دینامیکی ترکیب و کاهش نیروی بویانسی گردیده و در صورت ادامه این روند موجب ایجاد رسوب می شود [۳۰]. بنابراین یکی از مهمترین مسائل تعیین مقادیر بهینه نانو ذرات قابل استفاده در ترکیبات مواد تغییر فاز دهنده می باشد.

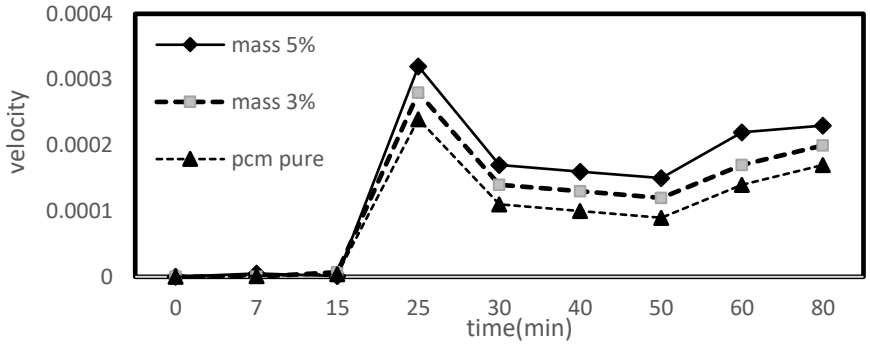



**شکل۴ : تغییرات کسرمایع براساس زمان برای ترکیب مواد تغییر فاز دهنده خالص و نانو ذرات اکسید مس ۳ و ۵ درصد**

[ Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-08 ]

**۶-۱-۲- سرعت**

تغییرات سرعت براساس زمان برای ترکیب مواد تغییر فاز دهنده خالص از نوع n-octadecane و نانو ذرات اکسید مس با کسر جرمی ۳ و ۵ درصد در شکل ۵ نشان داده شده است، نتایج نشان می دهد که مقادیر سرعت نسبت به زمان برای ترکیب n-octadecane و اکسید مس ۵ درصد نسبت به نمونه ۳درصد و ماده تغییر فاز دهنده خالص بالاتر می باشد. این موضوع می تواند بدلیل افزایش سرعت انتقال حرارت و افزایش نیروی حجمی مابین فاز جامد- مایع ترکیب نانو ذره و مواد تغییرفاز دهنده می باشد. نتایج بدست آمده برای تغییرات سرعت نسبت به زمان در این مقاله روندی مشابه با مطالعه کانت و همکاران[۲۲]، زارما و همکاران [۱۲] برای ترکیبات حاوی مواد تغییر فاز دهنده – نانو ذرات می باشد.




**شکل۵ : تغییرات سرعت براساس زمان برای ترکیب مواد تغییر فاز دهنده خالص و نانو ذرات اکسید مس ۳ و ۵ درصد**

**۶-۱-۳-تاثیر ترکیب نانو ذرات- مواد تغییر فاز دهنده برروی دمای سلول خورشیدی**

مهمترین دلیل انجام تحقیق حاضر، استفاده از ترکیب نانو ذرات - مواد تغییر فاز دهنده جهت افزایش انتقال حرارت هیت سینک و کاهش دمای کارکردی سلول خورشیدی بمنظور افزایش راندمان تولید الکتریسیته می باشد. برای بررسی این موضوع دمای سلول خورشیدی با استفاده از ترکیبات فوق الذکر در شکل ۷ آورده شده است.

با بررسی شکل مذکور ۳ سطح دمایی مشخص می گردد.

**سطح A** : انرژی ساطع شده از خورشید توسط انتقال حرارت از نوع تشعشع به سلول خورشیدی انتقال پیدا می کند.

این انرژی در ادامه با تقویت انتقال حرارت جابه جایی طبیعی از پشت سلول خورشیدی به دیواره آلمینیومی و از این طریق به داخل باکس حاوی ترکیب نانو ذرات-مواد تغییر فاز دهنده انتقال می یابد.

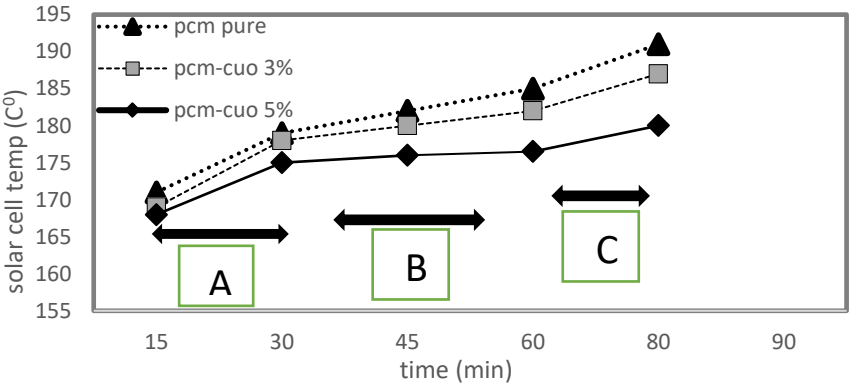
در این حالت ترکیبات با شروع تغییر فاز از حالت اولیه وارد ناحیه بین فازی یا مووشی mushy zone می گردند.

**سطح B** : در این بخش که به اصطلاح ناحیه بین فازی یا مووشی نامیده می شود، افزایش دما، کاهش پیدا نموده و روند ثابتی پیدا می کند. دلیل این موضوع را می توان در ثابت بودن مقادیر انرژی دریافتی از طریق انتقال حرارت تشعشعی، در ارتباط دانست. در این ناحیه انتقال حرارت جابجایی مهمترین نقش را در ادامه گذر ترکیبات از حالت با فاز شبه جامد (دوفازی) به حالت ذوب کامل (مایع) دارند

**سطح C** : در این سطح، افزایش دمای سلول می تواند گواه بر بالا رفتن مقادیر انتقال حرارت جابه جایی باشد که این امر منجر به گذر کامل ترکیبات از حالت دوفازی و تبدیل شدن مواد به حالت مایع یا ذوب کامل می باشد.

[ Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-08 ]

نتایج شکل ۶ نشان می دهد که دمای سلول خورشیدی در زمان ۸۰ دقیقه برای ماده تغییرفاز دهنده خالص و اکسید مس ۳ درصد و ۵ درصد بترتیب $^{o}C$ ۱۹۱ و $^{o}C$ ۱۸۵ و $^{o}C$ ۱۸۰ می باشد، چرایی این موضوع به تاثیر مواد نانو در افزایش مقادیر ضریب انتقال حرارت و نهایتا" کاهش دمای سلول خورشیدی مربوط می شود.




**شکل۶: تغییرات دمای سلول خورشیدی نسبت به زمان برای ترکیب مواد تغییر فاز دهنده خالص و نانو ذرات اکسید مس ۳ و ۵ درصد**

## ۷– نتیجه گیری :

در این تحقیق مدل عددی از یک هیت سینک حاوی نانوذرات اکسید مس به همراه مواد تغییر فاز دهنده جهت افزایش راندمان حرارتی سلول خورشیدی از نوع متمرکز کننده با استفاده از نرم افزار انسیس فلوئنت شبیه سازی و توسعه داده شده است. در این تحقیق مقادیر ۳ و ۵ درصد جرمی از نانو ذرات اکسید مس به ماده تغییر فاز دهنده از نوع N-octadecane اضافه گردید. در ادامه مقادیر متغیر کسرمایع و سرعت برای هر ۳ ترکیب ماده تغییر فاز دهنده خالص بهمراه ترکیب این ماده با نانو ذرات مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان می دهد که با افزایش نانو ذرات به ماده تغییرفاز دهنده خالص، ضریب انتقال حرارت به ازای افزایش کسرجرمی نانو ذرات، افزایش پیدا می کند که این موضوع به تاثیر مواد نانو در افزایش مقادیر ضریب انتقال حرارت مربوط بوده و نهایتا" باعث کاهش دمای سلول خورشیدی برای ماده تغییرفاز دهنده خالص و اکسید مس ۳ درصد و ۵ درصد بترتیب $^{o}C$ ۱۹۱ و $^{o}C$ ۱۸۵ و $^{o}C$ ۱۸۰ گردیده است.

## ۸– علایم اختصاری :

$A_{mush}$ ثابت ناحیه موشی [kg/m3 ٠ s]
Cp ظرفیت گرمای ویژه در فشار ثابت[J/kg ٠ k]
CR نسبت تمرکز سلول فوتوولتاییک متمرکز کننده
G (t) نرخ انرژی تابشی دریافتی[W/m2]
G شتاب گرانشی [m/s2]
H آنتالپی کلی ماده [J/kg]
H1 ارتفاع سلول خورشیدی [mm]
H ضریب انتقال حرارت همرفت [W/m2 ٠ k]



[ Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-08 ]

h1 آنتالپی محسوس[J/kg]
k ضریب هدایت حرارتی [W/m ۰ K]
L طول باکس [[mm
Lmگرمای نهان [J/kg]
mجرم[kg]
NPCMترکیب نانو ذرات و ماده تغییر فاز دهنده
Q انرژی گرمایی ذخیره شده[J/kg]
q"w شار حرارتی ثابت در دیواره
T دما [°C]
tزمان [.min]
V سرعت[m/s]
u, v سرعت در جهت x وy [m/s]
x, y مختصات کارتیزین
ΔTm محمدوده دمایی ذوب

**علایم یونانی**

α جذب
β ضریب دمایی سلول خورشیدی[1/K]
β1 ضریب انبساط حرارتی[1/K]
ε انتشار
Tقابلیت انتقال
μ ویسکوزیته[Pa•s]
σ ثابت استفان-بولتزمن
ρ دانسیته [kg/m3]
δ ضخامت[m]
ηراندمان
λ کسر مایع
Øکسرحجمی نانو ذرات در سیال پایه

**زیر نویس**

amb محیط
Al آلومینیوم
Conv انتقال حرارت همرفت
g شیشه
ini آغازین
l مایع
m ذوب
PCM مواد تغییر فاز دهنده



[ Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-08 ]

Rad تشعشع
Refl بازتابش
ref رفرنس
s جامد
Sc سلول سلیکونی
T حرارت

## ۸- منابع :

[۱] Technology Roadmap: Solar Photovoltaic Energy". IEA. 2014.
[۲] Natarajan SK, et al. Numerical investigations of solar cell temperature for photo-voltaic concentrator system with and without passive cooling arrangements. Int J Therm Sci 2011; 50(12):2514–21.
[۳] Sharma S, Micheli L, Chang W, Tahir AA, Reddy KS, Mallick TK. Nano-enhanced phase change material for thermal management of BICPV. Appl Energy2017 (September):1-15.
[۴] Huang MJ, Eames PC, Norton B. Thermal regulation of building-integrated photovoltaics using phase change materials. Int J Heat Mass Transfer, 2004; 47(12–13):2715–33
technologies and applications. 5th ed. [۵] Solanki CS. Solar photovoltaics: fundamentals Ahmed M, Radwan A. Prentice-Hall of India Pvt. Limited: Delhi, India; 2009.
of new modified low-concentrat polycrystalline silicon or [۶] Performance evaluation photovoltaic/thermal systems. Energy Convers Manage 2017; 149:593–607.
[۷] Virendra Talele, Peng Zhao, Effect of nano-enhanced phase change material on the thermal management of a 186500 battery pack, Energy Storge, 64(2023):107068
[۸]H.A.Refaey,MathkarA.Alharthi ,Samir Bendoukhha, Said Ghani Khane, Mohamad Emam, M.A.Abdelrahman, An experimental investigation on passivecooling of a triple-junction solar cell at high concentrations using various straight-finned heat sink configurations ,Thermal Engineering, 51(2023) 103626
[۹] M.Khodadadi, Seyyed Ali Farshad, Z.Ebrahimpour, M.Sheikholeslami, Thermal performance of Nanofluid with employing of NEPCM in a PVT-LFR system, Technologies and Assessments, 47(2021)101340.
[۱۰] Rohit Kothari, Santosh Kumar Sahu, Shailesh Ishwarlal Kundalwal. Investigation on thermal charavteristics of Nano enhanced phase change material based finned and unfinned heat sinks for thermal management system, Chemical Engineering and Processing,162(2021)108328.
[۱۱]Muhammad Aqib, Azar Hussain ,Hafiz Muhammad Ali.Ammar Naseer,Experimental case studies of the effect of Al2O3 and MWCNTs nanoparticles on heating and cooling of PCM, Case Study Thermal Engineering,22(2020)100753
Conversion and Management .119(2016)289-303 .
[۱۲]Ismail Zarma,Mahmoud Ahmad,Shinichi Ookawara, Enhancing the performance of photovoltaic systems using Nanoparticle-phase change material heat sink, Energy Conversion Management,179(2019) 229-242
concentrator photovoltaic system using [۱۳] Mohamad Emam, Mahmoud Ahmed,Cooling various configurations of phase-change material heat sink, Energy Conversion Management , 158(2018)298-314.

[ Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-08 ]

[۱۴] Faezeh Najafi,Darya Ramezani, Sareh Sheykh, Alireza Aldaghi , Amin Taheri , Mohammad Sardarabadi, Msohammad Passandideh Fard, 2018; 222:101–110
[۱۵] M. Emama, Shinichi Ookawara , Mahmoud Ahmed , Performance study and analysis of an inclined concentrated photovoltaic-phase change material system ,Solar Energy Advances,150(2017) 229-245.
[۱۶] Ali Radwan, Shinichi Ookawara, Mahmoud Ahmed. Analysis and simulation of concentrating photovoltaic systems with a micro channel heat sink. Solar Energy,136(2016)35-48
[۱۷] Ali Radwan , Mahmoud Ahmed ,Shinichi Ookawara, Performance enhancement of concentrated photovoltaic systems using a micro channel heat sink with nanofluids, Energy
[۱۸] M.J. Huang a, P.C.Eames b, B.Norton c, N.J.Hewitt. Natural convection in an internally finned phase change material heat sink for the thermal management of photovoltaics, Solar EnergyMaterials&SolarCells,95(2011) 1598-1603.
[۱۹] Emam M, Ahmed M. Cooling concentrator photovoltaic systems using various configurations of phase-change material heat, 2019; 101:500–610
[۲۰] Radwan A, Ahmed M. The influence of micro channel heat sink configurations on the performance
of low concentrator photovoltaic systems. Appl Energy2017; 206:594–611
[۲۱] Zhou J, Yi Q, Wang Y, Ye Z. Temperature distribution of photovoltaic module based on finite element simulation. Sol Energy 2015; 111:97–103.
[۲۲] Kant K, Shukla A, Sharma A, Biwole PH. Heat transfer studies of photovoltaic panel coupled with phase change material. Sol Energy2016; 140:151–61.
[۲۳] Brent AD RK, Voller VR. Enthalpy-porosity technique for modeling convection diffusion phase change: application to the melting of a pure metal. Numer Heat Transfer Int J Comput Method 1988:1–23.
[۲۴] M. Cross , N. C. Markatos, Voller VR, An Enthalpy method for convection/Diffusion phase chance, International Journal For Numerical In Engineering, VOL**.** 24,271-284 (1987)
[۲۵] Kheirabadi AC, Groulx D. The effect of the mushy-zone constant on simulated phase change heat transfer. In: Proceeding proc CHT-156th int symp adv comput heat transfer, May 25–29, 2015. NJ, USA: Rutgers University New Brunswick; 2015. p. 22.
[۲۶] N. Soares, N. Rosa, J.J. Costa, A.G. Lopes, T. Matias, P.N. Simoes, L. Duraes. Validation of different numerical models with benchmark experiments for modelling microencapsulated-PCM-based applications for buildings. International Journal of Thermal Sciences, International Journal of Thermal Sciences, 159 (2021) 106565.
[۲۷] Dhaidan NS, Khodadadi JM, Al-Hattab TA, Al-Mashat SM. Experimental and numerical investigation of melting of phase change material/nanoparticle suspensions in a square container subjected to a constant heat flux. Int J Heat Mass Transf, 2013; 66:672–83.
[۲۸] H.C. Brinkman, The viscosity of concentrated suspensions, and solutions, J. Chem. Phys. 20 (1952) 571–581.
[۲۹] *Ansys Fluent* product with Ansys Inc ۱۷/۴ 2014.
[۳۰] Khodadadi JM, Hosseinizadeh SF. Nanoparticle-enhanced phase change materials (NEPCM) with great potential for improved thermal energy storage. Int Commune Heat Mass Transf, 2007; 34(5):534

[ Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-08 ]

# Cooling of a concentrator photovoltaic system with using a heat sink containing phase change materials and copper oxide nanoparticles

**Ramin Watandost[1], Arash MirAbdollah Lavasani [*2], Saeed Dinarund[3], Mohammad Sardarabadi[4], Mohammad Iftikhari Yazdi[5]**

1, 2, 3, and 5 Department of Mechanical Engineering, Islamic Azad University, Central Tehran Branch, Tehran, Iran

4 Department of Energy, Qochan University of Technology, Qochan, Iran

Received: February 2024 Accepted: May 2024

## Abstract

In this study, the cooling of a photovoltaic system with a concentrator is done with the help of a heat sink containing phase change materials and copper oxide nanoparticles using a numerical method. The photovoltaic module has a two-dimensional concentrator, and n-octadecane is chosen as the phase change material, and the mass fraction of copper oxide nanoparticles is 3 and 5%. The results of this research show that adding copper oxide nanoparticles with a mass fraction of 3% and 5% to the basic phase change material reduces the temperature of the solar cell from 191 o C to 185 o C and 180 o C, respectively.

**Keywords:** Phase Chance Material, Concentrator PhotoVoltaic, CuO nanoparticles.

*corresponding author: arashlavasani@iauctb.ac.ir

**Cite this article as:** Ramin Watandost, Arash MirAbdollah Lavasani, Saeed Dinarund, Mohammad Sardarabadi, Mohammad Iftikhari Yazdi. Cooling of a concentrator photovoltaic system with using a heat sink containing phase change materials and copper oxide nanoparticles. Journal of Energy Conversion, 2024, 11(2), 1-17.

[ Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-08 ]