

بررسی تجربی سیستم مدیریت حرارتی منبع تغذیه با استفاده از مواد تغییر فازدهنده (PCM)

رضا همتی^{۱*}، فرزاد ویسی^۲، بابک حدیدی^۳

^۱ کارشناسی ارشد گروه مهندسی مکانیک، دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران

Rhemmati48@gmail.com

^۲ دانشیار گروه مهندسی مکانیک، دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران

Veysi@razi.ac.ir

^۳ دانشجوی دکتری گروه مهندسی مکانیک، دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران

Hadidi.babak@razi.ac.ir

چکیده: منبع تغذیه به‌عنوان تأمین‌کننده اصلی انرژی الکتریکی، در بسیاری از دستگاه‌ها و مدارهای الکترونیکی مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این پژوهش، مدیریت حرارتی یک منبع تغذیه رایانه با استفاده از مواد تغییر فازدهنده به‌منظور افزایش عمر دستگاه، بهبود عملکرد و همچنین کاهش مصرف انرژی به‌صورت تجربی مورد بررسی قرار گرفته است. دو سامانه هیت‌سینک در دو نوع صفحه-پره و پین-فین طراحی و ساخته شده است. آزمایش‌ها در محدوده شار حرارتی $4.8 - 2.1 \text{ kW/m}^2$ و در کسر حجمی ثابت ماده تغییر فازدهنده انجام شده است. نتایج به‌دست‌آمده نشان می‌دهند که حداکثر کاهش دمای 10.4°C و 8.6°C به‌ترتیب در هیت‌سینک‌های پین-فین و صفحه-پره صورت می‌گیرد. همچنین نتایج بیانگر عملکرد بهتر هیت‌سینک نوع صفحه-پره نسبت به نوع پین-فین در روند کاهش دما و هزینه است.

واژه‌های کلیدی: منبع تغذیه، سیستم مدیریت حرارتی، مواد تغییر فازدهنده، بررسی تجربی.

۱. مقدمه

که دمای تغییر فاز آن‌ها کمتر از 1°C است. هیدرات نمک‌ها، نمک‌های خاصی هستند که دمای تغییر فاز آن‌ها بالای 0°C است [۳]. PCM‌های آلی را می‌توان به گروه پارافین‌ها (ذخیره آلکان‌ها) و غیر پارافین‌ها مانند استرها، اسیدهای چرب، الکل‌ها و گلیکولیک اسیدها تقسیم‌بندی کرد.

الودهی [۵] تأثیرگذاری بخش کنترل حرارتی روی عملکرد دستگاه‌های الکترونیکی قابل حمل را به صورت عددی و تجربی بررسی کرده است. نتایج بررسی‌های تجربی نشان دادند که در عملکرد با توان ثابت بخش کنترل حرارتی^۵ دمای سیستم را در حین ذوب ماده تغییر فاز دهنده در دمای 37°C ثابت نگه می‌دارد. علیمحمدی و همکاران [۶]، تأثیر استفاده از نانو مواد تغییر فاز دهنده را به عنوان خنک‌کننده تراشه‌های الکترونیکی تحت جابه‌جایی طبیعی و اجباری انجام دادند، که نتیجه آن‌ها کاهش 14°C دمای تراشه را در دو حالت جابه‌جایی طبیعی و اجباری به دنبال داشت. ارشد [۷]، پژوهشی تجربی را بر روی خنک‌کاری غیرفعال دستگاه‌های الکترونیکی مبتنی بر هیت‌سینک بین‌فین با استفاده از مواد تغییر فاز دهنده صورت داد. بیبی [۸]، در این مقاله نتایج بررسی تجربی عملکرد یک هیت‌سینک پره‌ای حاوی مواد تغییر فاز دهنده، به منظور مدیریت حرارتی دستگاه‌های الکترونیکی قابل حمل گزارش شده است. بیبی و همکاران [۹]، این پژوهش نتایج یک مطالعه تجربی انجام شده برای اندازه‌گیری تأثیر عملکرد انتقال حرارت از یک ماده تغییر فاز دهنده بر پایه هیت‌سینک پره‌دار ماتریسی تحت شار حرارتی ثابت و متناوب بیان می‌کند. فاکتور بهبودی هیت‌سینک ماتریسی مورد نظر در دمای نقطه‌ای 4°C و توان ۸ وات مقدار ۴ را در مقایسه با هیت‌سینک بدون ماده تغییر فاز دهنده نشان می‌دهد. غربی و همکاران [۱۰] در این مقاله، مطالعه تجربی روی رفتار ماده تغییر فاز دهنده به عنوان سیستم خنک‌کاری دستگاه‌های الکترونیکی صورت گرفته است. از نتایج به دست آمده مشاهده شد که ماتریس گرافیتی کنترل حرارت بیشتری در مقایسه با ماتریس سیلیکونی دارد. کلباسی [۱۱] به ارزیابی ویژگی‌های حرارتی یک هیت‌سینک مبتنی بر ماده تغییر فاز دهنده با رسانایی بالا پرداخته است. نتایج نشان می‌دهند که برای محفظه‌های مستطیلی با سطح ثابت، استفاده از محفظه‌های عریض‌تر بهتر از محفظه‌های مربعی شکل و نازک‌تر است. کانداسامی و همکاران [۱۲] کاربرد مجموعه‌ای از مواد تغییر فاز دهنده جدید را به عنوان روشی برای مدیریت حرارتی دستگاه‌های الکترونیکی قابل حمل به صورت تجربی مورد بررسی قرار داده‌اند. نتایج به دست آمده حاکی از این هستند که افزایش توان

تبادل حرارت در محفظه‌های بسته و باز و آسیب نرسیدن به قطعات الکترونیکی و حساس به دما و در عین حال کاهش راندمان و از کارافتادگی دستگاه‌ها از اصلی‌ترین دغدغه‌های تبادل حرارت در تجهیزات الکترونیکی است. اثربخشی مدیریت حرارتی به این عامل بستگی دارد که چگونه مکانیزم انتقال حرارت در هر سطح از مجموعه‌های الکترونیکی به صورت یکپارچه عمل می‌کند، که شامل اجزای سطوح سیستم و بردها می‌شود. به طور کلی سیستم‌های مورد استفاده در مدیریت حرارتی تجهیزات الکترونیکی را می‌توان به دو گروه عمده تقسیم‌بندی کرد: ۱. سیستم مدیریت حرارتی فعال، ۲. سیستم مدیریت حرارتی غیرفعال [۱]. اساس سیستم‌های مدیریت حرارتی فعال بر مبنای انتقال حرارت اجباری است. در این روش، از فن یا پمپ برای جابه‌جایی سیال ناقل حرارت استفاده می‌شود، در حالی که سیستم‌های حرارتی غیرفعال بر مبنای انتقال حرارت جابه‌جایی طبیعی و همچنین ذخیره و نگهداشت عمل می‌کنند.

یکی از منابع تولید تلفات حرارتی در رایانه‌ها منابع تغذیه هستند که وظیفه تأمین انرژی الکتریکی سیستم‌های رایانه‌ای را بر عهده دارند. منابع تغذیه دارای انواع گوناگون با شکل ساختاری متناسب با عملکرد خود هستند. به منظور افزایش کارایی و بهره‌وری سیستم‌های مدیریت حرارتی فعال، در سال‌های اخیر تحقیق و پژوهش‌های فراوانی در زمینه به‌کارگیری مواد هوشمند به خصوص مواد تغییر فاز دهنده^۱ صورت گرفته است، این مواد به دلیل توانایی‌های منحصر به فردی که دارند می‌توانند در ترکیب با یک سیستم مدیریت حرارتی غیرفعال مانند هیت‌سینک^۲، نقش پررنگ‌تری در بهبود عملکرد و راندمان حرارتی تجهیزات الکترونیکی ایفا کنند. یک ماده تغییر فاز دهنده (PCM) یک ماده با گرمای همجوشی^۳ بالاست که با دمای ذوب و انجماد ثابت قادر به ذخیره‌سازی و انتشار مقدار زیادی انرژی می‌باشد. مواد تغییر فاز دهنده (PCM) انرژی گرمایی را به دو صورت گرمای محسوس و نهان در خود ذخیره می‌کنند [۲]. این ویژگی در مواد تغییر فاز دهنده (PCM) وجود دارد که در دمای ثابت با جذب گرما از فاز جامد به فاز مایع تبدیل می‌شوند. این مواد انرژی را تقریباً در همان دمایی که جذب می‌کنند، آزاد نیز می‌کنند [۲]. PCM‌ها بر اساس دمای تغییر فاز به سه دسته مهم یوتکتیک‌ها، هیدرات نمک‌ها و مواد آلی تقسیم‌بندی می‌کنند. یوتکتیک‌ها^۴، نمک‌های محلول در آب هستند

1. Phase Change Material
2. Heat Sink
3. Heat of Fusion
4. Eutectics

عملکرد حرارتی را دارند که کسر حجمی پره‌ها ۱۵٪ است [۱۶]. جزئیات طراحی مربوط به هیت‌سینک صفحه‌پره در جدول (۱) آورده شده است.

تعداد پره‌ها (<i>n</i>)	تعداد حفره‌ها (<i>Cav</i>)	ابعاد پره‌ها (<i>mm</i>)	کسر حجمی % (ψ)
۴	۵	۹۰ × ۶۰ × ۲۵	۱۰٫۵

سایه‌ها و همکاران نشان دادند که مقدار بهینه کسر حجمی پین در هیت‌سینک‌های مبتنی بر ماده تغییر فازدهنده تحت جابه‌جایی طبیعی ۸٪ است [۱۷]. با توجه به این نتایج، نمونه هیت‌سینک پین-فین با مشخصات مندرج در جدول (۲) طراحی و ساخته شده است.

تعداد پین‌ها (<i>N</i>)	ابعاد پره‌ها (<i>mm</i>)	کسر حجمی % (ψ)
۱۲	۲۵ × ۱۵ × ۱٫۲۵	۱۰٫۴

سه نما بالا، روبه‌رو و جانبی، هریک از نمونه هیت‌سینک‌های ساخته‌شده در شکل‌های (۱) و (۲) نشان داده شده است.

به‌منظور شبیه‌سازی گرمای تولیدی در مدار منبع تغذیه، یک هیت‌ر صفحه‌ای از جنس نیکروم ساخته شده که در پوششی از ورق نسوز میکا قرار گرفته است. ابعاد هیت‌ر ۷۰ × ۵۰ میلی‌متر به ضخامت ۲ میلی‌متر و با حداکثر توان ۳۰ وات است. به‌منظور کاهش مقاومت حرارتی محل اتصال هیت‌ر و هیت‌سینک، از خمیر سیلیکون با ضریب هدایت حرارتی $4 W/m.K$ استفاده شده است. مشخصات ترموفیزیکی مربوط به هیت‌ر صفحه‌ای در جدول (۳) آورده شده است.

ماده	k ($W/m.K$)	ρ (kg/m^3)	C_p ($J/kg.K$)	$M.P$ ($^{\circ}C$)
نیکروم ۸۰٪ نیکل ۲۰٪ کروم	۱۲	۸۴۰۰	۴۲۰	۱۶۷۲
میکا	۰٫۵۲۸	۲۸۸۳	۸۴	۱۲۷۵

به‌منظور کنترل حرارتی روی فرایند انجام آزمایش و نیز برقراری معادلات تبادل انرژی، نیاز است که کف و سطوح جانبی هیت‌سینک عایق شوند. همچنین برای شبیه‌سازی ساختمان منبع تغذیه، چهارچوب قرارگیری هیت‌سینک و فن به‌صورت یکپارچه ساخته شده است. در سامانه ساخته‌شده، هیت‌سینک درون قاب چوبی که اطراف آن به‌وسیله پشم‌سنگ عایق شده است، قرار دارد. هیت‌ر صفحه‌ای به‌منظور شبیه‌سازی گرمای تولیدی مدار منبع تغذیه با استفاده از خمیر سیلیکون به کف هیت‌سینک متصل شده است.

ورودی، نرخ ذوب را افزایش می‌دهد. محمود [۱۳] تأثیر آرایش قرارگیری و نوع ماده تغییر فازدهنده را روی عملکرد یک هیت‌سینک مبتنی بر ماده تغییر فازدهنده به‌صورت تجربی مورد بررسی قرار داده است. نتایج نشان می‌دهند که مجموعه‌های شامل ماده تغییر فازدهنده می‌توانند نرخ گرمایش و دمای اوج هیت‌سینک را کاهش دهند. لینگ و همکاران [۱۴] در این پژوهش تأکید ویژه‌ای در به‌کارگیری سیستم‌های مدیریت حرارتی مبتنی بر ماده تغییر فازدهنده به‌منظور کنترل حرارتی تجهیزات الکترونیکی از جمله باتری‌های یون-لیتیوم و سلول‌های فتوولتائیک شده است. ساهو [۱۵] مزایای پره‌های ارتوتروپیک (دارای محور عمودی) کامپوزیتی به‌عنوان تقویت‌کننده هدایت حرارتی در طراحی ماده تغییر فازدهنده مبتنی بر هیت‌سینک مورد بررسی قرار گرفته است.

در این پژوهش مدیریت حرارتی یک منبع تغذیه رایانه با استفاده از ماده تغییر فازدهنده به‌منظور افزایش عمر دستگاه، بهبود عملکرد و همچنین کاهش مصرف انرژی به‌صورت تجربی بررسی شده است.

۲. سامانه آزمایش

در این مرحله، محفظه هیت‌سینک‌های سامانه آزمایش با توجه به اطلاعات به‌دست‌آمده از منبع تغذیه در ابعاد $90 \times 60 \times 20$ میلی‌متر طراحی و ساخته شده‌اند. محفظه هیت‌سینک از یک ورق آلومینیومی به ابعاد 100×130 میلی‌متر و ضخامت ۱ میلی‌متر توسط عملیات برشکاری و خم‌کاری حرارتی ساخته شده است. سامانه هیت‌سینک‌های ساخته‌شده به‌صورت یکپارچه نیست و پره‌ها به‌صورت جداگانه توسط چسب سیلیکون به بدنه هیت‌سینک متصل شده‌اند. به‌منظور کاهش مقاومت حرارتی هوا، محل اتصال وجوه محفظه هیت‌سینک و اتصال پره‌ها به بدنه هیت‌سینک با چسب سیلیکون پر شده است. دو سامانه هیت‌سینک در دو نوع صفحه‌پره^۱ و پین-فین^۲ در کسرهای حجمی (ψ) متفاوت پره‌ها طراحی و ساخته شده‌اند. در تعیین کسر حجمی پره‌ها در هیت‌سینک از رابطه (۱) استفاده شده است [۱۶].

$$\psi = \frac{V_{fin}}{V_{HS}} \quad (1)$$

در رابطه بالا V_{fin} ، حجم پره‌ها و V_{HS} حجم هیت‌سینک بدون پره است.

یبی و بالاجی در آزمایش‌های خود نشان دادند که هیت‌سینک‌های دارای پره‌های صفحه‌ای تحت جابه‌جایی طبیعی، زمانی بهترین

1. Plate-Fin
2. Pin-Fin

مشخصات و جزئیات مواد استفاده شده در هر بخش از چهارچوب سامانه آزمایش در جدول (۴) آورده شده است.

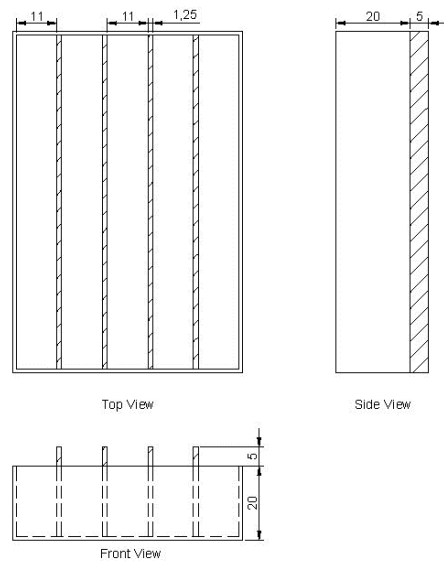
جدول (۴): مواد استفاده شده در چهارچوب سامانه آزمایش [۱۸ و ۱۹]

بخش	k (W/m.K)	ρ (kg/m ³)	M.P (°C)	d (mm)
۱. هیت سینک	۱۷۷	۲۷۷۰	۷۷۵	۱
۲. هیتر	۱۲	۸۴۰۰	۱۶۷۲	۲
۳. پشم سنگ	۰٫۰۳۳	۱۵۰-۳۰	۹۸۳	۱۰
۴. قاب چوبی	۰٫۱۲	۵۴۵	-	۳
۵. عایق سیلیکون	۰٫۱۷	۱۰۲۰	۴۷۸	۱۰
۶. MDF	۰٫۱۵	۱۰۱۰	-	۲۵
۷. پشم سنگ	۰٫۰۳۳	۱۵۰-۳۰	۹۸۳	۵۰

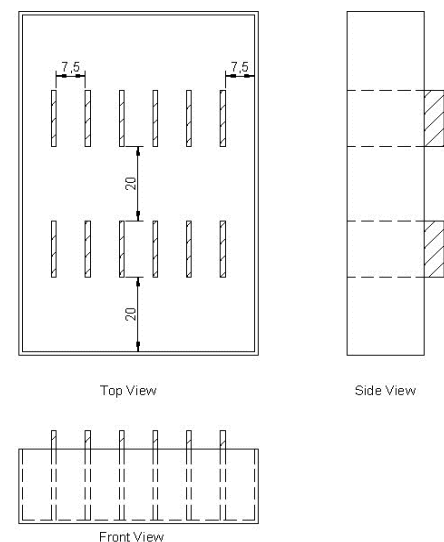
۱.۲. محل قرارگیری ترموکوپل‌ها

در نمونه هیت سینک نوع پین-فین محل قرارگیری ترموکوپل‌ها به ترتیب عبارت‌اند از: ۱. یک ترموکوپل در فاصله ۵ میلی‌متری از کف هیت سینک روی وجه عرضی (T_1)، ۲. یک ترموکوپل در فاصله ۱۰ میلی‌متری از کف هیت سینک روی وجه عرضی (T_2)، ۳. دو ترموکوپل در فاصله ۱۰ میلی‌متری از کف هیت سینک روی دو وجه طولی مقابل هم (T_3, T_4). ترموکوپل مورد استفاده از نوع K با سیم فلزی Ni-Cr می‌باشد که محدوده عملکرد دمایی آن بین 200°C تا 1350°C است. حساسیت ترموکوپل مورد استفاده $41 \mu\text{V}/^{\circ}\text{C}$ است. برای ثبت و جمع‌آوری داده‌ها (دما) از دیتالاگر ۱۲ کاناله مدل 1384- TES ساخت کمپانی TES تایوان استفاده شده است. این دیتالاگر دارای محدوده اندازه‌گیری دما از 200°C تا 1370°C وابسته به نوع ترموکوپل است. به منظور تحلیل دمایی پین‌ها و روند انتقال حرارت روی هریک از پین‌های ردیف میانی یک ترموکوپل در فاصله ۲۰ میلی‌متری از کف هیت سینک نصب شده است.

در نمونه هیت سینک‌های نوع صفحه-پره ۳ ترموکوپل به منظور تعیین دمای محفظه هیت سینک روی بدنه نصب شده است؛ که محل قرارگیری آن‌ها عبارت‌اند از: ۱. یک ترموکوپل در فاصله ۵ میلی‌متر از کف هیت سینک روی وجه عرضی (T_1)، ۲. دو ترموکوپل در فاصله ۱۰ میلی‌متر از کف هیت سینک روی وجه طولی مقابل هم (T_2, T_3). به منظور دقت در ثبت دماها و جلوگیری از تأثیر مستقیم جریان هوا روی عملکرد ترموکوپل‌ها، آن‌ها پشت به جریان اجباری هوا نصب شده‌اند. به منظور تحلیل دمایی و عملکرد حرارتی حفره‌ها در این نوع هیت سینک، ۴ ترموکوپل T_4, T_5, T_6, T_7 روی چهار وجه حفره و در فاصله ۱۰ میلی‌متری از کف هیت سینک نصب شده است. همچنین

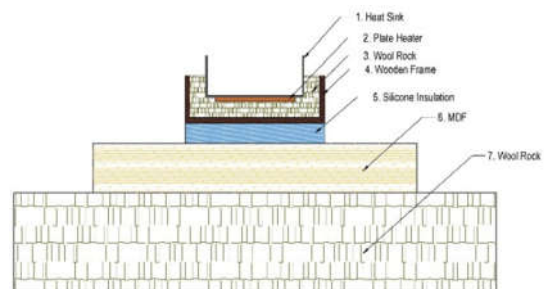


شکل (۱): نمای بالا، روبه‌رو و جانبی هیت سینک صفحه-پره



شکل (۲): نمای بالا، روبه‌رو و جانبی هیت سینک پین-فین

مجموعه چهارچوب چوبی سامانه آزمایش به وسیله عایق سیلیکونی بروی یک صفحه MDF نصب شده است. به علاوه، فن به کاررفته در آزمایش در فاصله ۳۰ میلی‌متری از هیت سینک قرار گرفته است. برش مقطع عرضی مواد به کاررفته در ساخت چهارچوب سامانه آزمایش در شکل (۳) نشان داده شده است.



شکل (۳): برش عرضی چهارچوب آزمایش

۱.۳. عدم قطعیت و آنالیز خطا

محاسبه و آنالیز خطا، به منظور اعتبار بخشیدن به نتایج به دست آمده در فرایند آزمایش ضروری است. بدین منظور از رابطه (۲) برای محاسبه خطای داده‌ها استفاده شده است [۲۰].

$$\Delta\sigma = \pm \sqrt{\sum_{i=1}^N \left(\frac{\partial\sigma}{\partial m_i} \times \Delta m_i \right)^2} \quad (2)$$

برای هر دو نوع هیت‌سینک پین-فین و صفحه-پره درصد خطا در جدول (۶) گزارش شده است.

جدول (۶): میزان درصد خطای دما در سامانه‌ها

توان (kW/m^2)	هیت‌سینک پین-فین	هیت‌سینک صفحه-پره
۲٫۱	% ۱٫۳۸۱	% ۱٫۴۱۶
۳٫۳	% ۱٫۲	% ۱٫۳۵۲
۴٫۸	% ۱٫۰۱۹	% ۱٫۱۷۹

۲.۳. نتایج

آزمایش‌ها در دو مرحله و در حضور و عدم حضور ماده تغییر فازدهنده تحت شرایط جابه‌جایی اجباری تا زمان رسیدن دمای سیستم به حالت پایدار ادامه یافته است. ماده تغییر فازدهنده استفاده شده در این آزمایش از نوع نمک هیدرات و کلسیم کلراید شش‌آبه با مشخصات مندرج در جدول (۵) است.

جدول (۵): خواص ترموفیزیکی کلسیم کلراید شش‌آبه

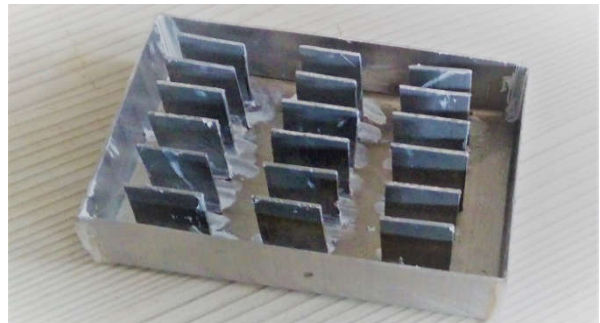
ماده	$M.P$	ρ	k	C_p	$L.H$ (kJ/kg)
$CaCl_2 \cdot 6H_2O$	۳۰٫۳	۱۸۰۲	۱٫۰۸۸	۱۴۰۰	۱۹۲

در نمونه هیت‌سینک‌های پین-فین میانگین دمای ترموکوپل‌های T_1 تا T_4 به عنوان دمای بدنه هیت‌سینک و میانگین دمای ترموکوپل‌های T_5 و T_6 به عنوان دمای پین‌ها در نظر گرفته شده است. در نمونه هیت‌سینک‌های صفحه-پره میانگین دمای ترموکوپل‌های T_1 تا T_3 به عنوان دمای بدنه هیت‌سینک و میانگین دمای ترموکوپل‌های T_4 تا T_7 به عنوان دمای میانگین حفره در نظر گرفته شده‌اند. فرایند ثبت داده‌ها (دما) تا زمان رسیدن دمای سیستم به حالت پایدار توسط دستگاه ثبت داده‌ها (دیتالاگر) ادامه یافته است. در هر مرحله از آزمایش، دمای هوای خروجی از فن توسط دستگاه هات وایر^۱ (Testo 435) ثبت شده است. نتایج به دست آمده برای هیت‌سینک‌های پین-فین و صفحه-پره در شارهای حرارتی ورودی $2.1 kW/m^2$ ، $3.3 kW/m^2$ ، $4.8 kW/m^2$ به ترتیب در نمودارهای شکل (۷) و (۸) نشان داده شده است.

ترموکوپل T_8 برای تحلیل فرایند ذوب / انجماد ماده تغییر فازدهنده درون عمق ماده تعبیه شده است. با توجه به محل نصب ترموکوپل‌ها هیچ کدام در مسیر جریان هوای عبوری قرار ندارند و در نتیجه خللی در روند انتقال حرارت هیت‌سینک ایجاد نمی‌کنند. شکل‌های (۴) و (۵) به ترتیب تصویر هیت‌سینک‌های صفحه-پره و پین-فین ساخته شده را نشان می‌دهند.



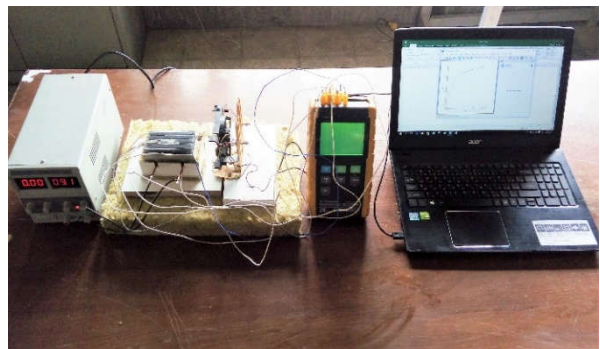
شکل (۴): هیت‌سینک صفحه-پره



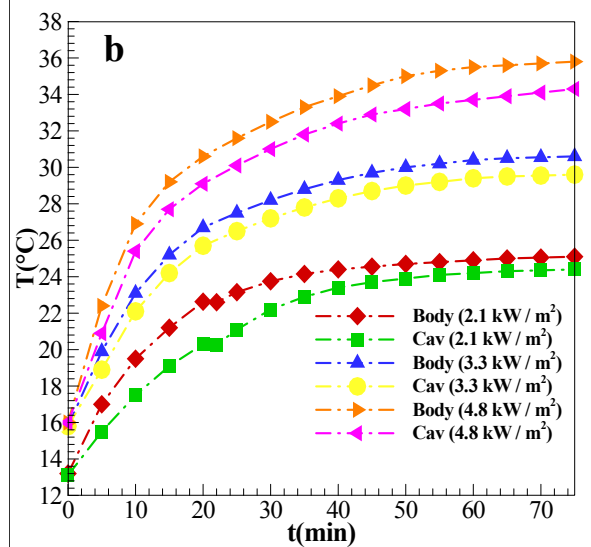
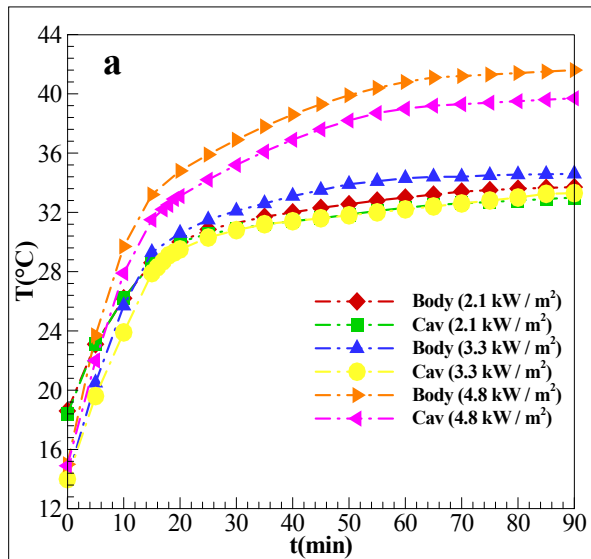
شکل (۵): هیت‌سینک پین-فین

۳. بحث و نتیجه‌گیری

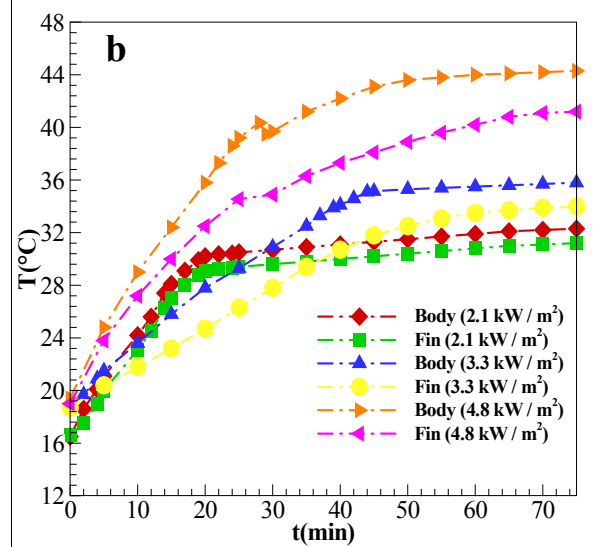
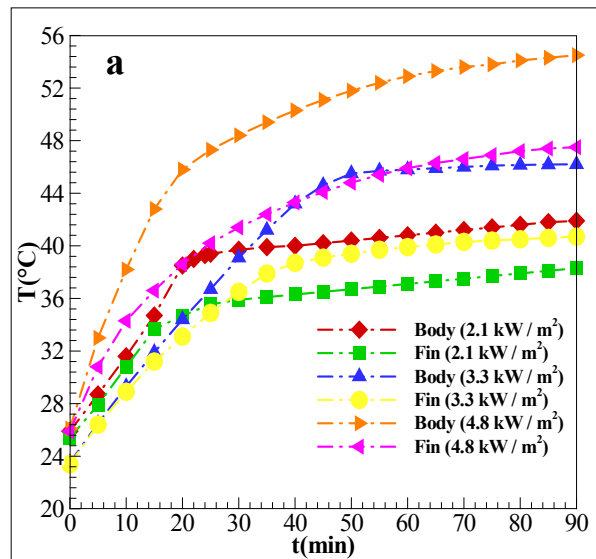
سامانه مورد نظر به منظور به کارگیری ماده تغییر فازدهنده درون هیت‌سینک‌های با طراحی متفاوت و به منظور مدیریت حرارتی یک منبع تغذیه رایانه ساخته شده است. در شکل (۶) تصویر نمونه آزمایشگاهی ساخته شده نشان داده شده است.



شکل (۶): نمونه آزمایشگاهی ساخته شده



شکل (۸): نمودار دما-زمان هیت سینک صفحه-پره
[a] حضور PCM (b) عدم حضور PCM



شکل (۷): نمودار دما-زمان هیت سینک پین-فین
[a] حضور PCM (b) عدم حضور PCM

نمودارهای به دست آمده روند تغییرات دمایی بدنه و پره‌های هیت‌سینک‌ها را بر حسب زمان نشان می‌دهد. با توجه به تأثیرگذاری دمای هوای محیط بر نتایج به دست آمده، دمای هوا در هر مرحله از آزمایش ثبت شده است. نمودارها نشان می‌دهند که روند پایداری دمای سیستم در غیاب ماده تغییر فازدهنده پس از طی ۴۵۰۰ ثانیه صورت می‌گیرد، در حالی که این روند در حضور ماده تغییر فازدهنده پس از طی ۵۴۰۰ ثانیه صورت می‌گیرد. نمودار شکل (۷-ب) نشان می‌دهد که حداکثر کاهش دمای پایدار بدنه هیت‌سینک پین-فین 10.4°C است و در شار حرارتی ورودی 3.3 kW/m^2 رخ می‌دهد. این در حالی است که حداکثر کاهش دمای پایدار پره‌ها مربوط به شار حرارتی ورودی

با میزان 7.1°C و به میزان 2.1 kW/m^2 و به میزان 7.1°C است. با بررسی نمودار (۸-ب) حداکثر کاهش دمای پایدار برای بدنه و پره‌های هیت‌سینک صفحه-پره به ترتیب 8.6°C و 8.5°C است، و در شار حرارتی ورودی 2.1 kW/m^2 اتفاق می‌افتد. همچنین روند تغییرات دمایی هیت‌سینک صفحه-پره پس از گذشت مدت زمان ۱۵۰۰ ثانیه کاهش می‌یابد و سپس روند پایداری دمایی را ادامه می‌دهد (۸-ا). با توجه به این روند، این نتیجه حاصل می‌شود که به منظور پایداری مجدد سیستم، ماده تغییر فازدهنده نیاز به شارژ مجدد دارد. در شار حرارتی ورودی پایین، ماده تغییر فازدهنده باعث می‌شود که دمای پره به دمای بدنه هیت‌سینک در تمام طول فرآیند آزمایش نزدیک باشد که این مورد موجب افزایش راندمان حرارتی هیت‌سینک پین-فین و در نتیجه

فهرست علائم

C_p	گرمای ویژه، $J/kg.K$
d	قطر، mm
k	ضریب هدایت حرارتی، $W/m.K$
$L.H$	گرمای نهان، kJ/kg
$M.P$	نقطه ذوب، K
N	تعداد پین
n	تعداد پره

علائم یونانی

ρ	چگالی، kg/m^3
$\Delta\sigma$	آنالیز عدم قطعیت
ψ	کسر حجمی پره

زیرنویس

Cav	حفره
HS	هیت سینک
PCM	ماده تغییر فازدهنده

موجب افزایش دفع حرارت و به دنبال آن عملکرد حرارتی بهتر هیت سینک در حضور ماده تغییر فازدهنده می شود (b-۷). در نمودار شکل (b-۸) مشاهده می کنیم که حضور ماده تغییر فازدهنده موجب عملکرد حرارتی بهتر هیت سینک صفحه-پره در مقایسه با حالتی که ماده تغییر فازدهنده وجود ندارد، شده است.

۴. جمع بندی

با مقایسه روند انتقال حرارت در دو نمونه هیت سینک و دماهای به دست آمده نتیجه می شود که در شار حرارتی ورودی یکسان، میزان کاهش دما در هیت سینک صفحه-پره در مقایسه با هیت سینک پین-فین مقدار بیشتری است. همچنین این مقدار با افزایش شار حرارتی ورودی افزایش یافته است. بنابراین در شرایط کاری یکسان به دلیل عملکرد حرارتی بهتر، سهولت در ساخت و کاهش هزینه، هیت سینک صفحه-پره نسبت به هیت سینک پین-فین برتری دارد. از طرفی با استفاده از مواد تغییر فازدهنده مشاهده می شود که روند کاهش دما افزایش یافته است؛ که همین امر موجب کاهش توان مصرفی فن به کار رفته در منبع تغذیه رایانه، و در نتیجه صرفه جویی در مصرف انرژی می شود.

مراجع

- [1] Tong, X. C., *Advanced Materials for Thermal Management of Electronic Packaging*, 1st ed, United States of America, McGraw-Hill, 2011.
- [۲] حق شناس کاشانی، سمیرا، «کاهش مصرف انرژی در ساختمان با استفاده از مواد تغییر فازدهنده»، کنفرانس بین المللی سرمایه گذاری، گرمایش و تهویه مطبوع ایران، سال اول، تهران، ۱۳۸۸.
- [3] Ruolang, Z., Xin, W., Binjiao, C., Yinping, Z., "Heat Transfer Characteristics of Microencapsulated Phase Change Materials Slurry in Laminar Flow Under Constant Heat Flux", *Applied Energy*, Vol. 86, No. 12, pp. 2661-2670, Dec. 2009.
- [4] Xiang, W., Christopher, Y., Arun, M., "A Parametric Study of Phase Change Material (PCM)-Based Heat Sinks", *International Journal of Thermal Sciences*, Vol. 47, No. 5, pp. 1055-1068, Aug. 2008.
- [5] Alwadhi, E. M., Amon, C. H., "Thermal Analysis of a PCM Thermal Control Unit for Portable Electronic Devices: Experimental and Numerical Studies", *Int Society Conference on Thermal Phenomena*, Vol. 26, No. 1, pp. 466-475, Feb. 2002.
- [6] Alimohammadi, M., Aghli, Y., Alavi, E. S., Sardarabadi, M., Passandideh-Fard, M., "Experimental Investigation of the Effect of Using Nano/Phase Change Material (NPCM) as Coolant Electronic Chipsets Under Free and Forced Convection", *Applied Thermal Engineering*, Vol. 111, pp. 271-279, Jan. 2017.
- [7] Arshad, M., Mohammad, A., Ali, M., Manzur, Sh., "Thermal Performance of Phase Change Material (PCM) Based Pin-Finned Heat Sinks for Electronic Devices: Effect of Pin Thickness and PCM Volume Fraction", *Applied Thermal Engineering*, Vol. 112, pp. 143-155, Feb. 2017.
- [8] Baby, R., Balaji, C., "Experimental Investigation on Phase Change Material based Finned Heat Sinks for Electronic Equipment Cooling", *International Journal of Heat and Mass Transfer*, Vol. 55, No. 5-6, pp. 1642-1649, Feb. 2012.
- [9] Baby, R., Balaji, C., "Thermal Performance of a PCM Heat Sink Under Different Heat Loads: An Experimental Study", *International Journal of Thermal Sciences*, Vol. 79, pp. 240-249, May. 2014.
- [10] Gharbi, S., Harmand, S., Jabrallah, S., B., "Experimental Comparison Between Configuration of PCM Based Heat Sinks for Cooling Electronic Components", *Applied Thermal Engineering*, Vol. 87, pp. 454-462, Aug. 2015.
- [11] Kalbasi, R., Salimpour, M. R., "Constructal Design of Phase Change Material Enclosures Used for Cooling Electronic Devices", *Applied Thermal Engineering*, Vol. 84, pp. 339-349, Jun. 2015.
- [12] Kandasami, R., Xiang-Qi, W., Mujumdar, Arun, S., "Application Phase Change Materials in Management of Electronics", *Applied Thermal Engineering*, Vol. 27, No. 17-18, pp. 2822-2832, Dec. 2007.
- [13] Mahmoud, S., Tang, A., Al-Dadah, R., Leung-Soo, S., "Experimental Investigation of Inserts Configurations and PCM Type on The Thermal Performance of PCM Based Heat Sinks", *Applied Energy*, Vol. 112, pp. 1349-1356, Dec. 2013.
- [14] Ling, Z., Zhang-Zhi, Shi, G., Fang, X., Fang, L., Gao,

- X., et al., "Review Thermal Management on Thermal Systems Using Phase Change Material for Electronic Components, Li-ion Batteries and Photovoltaic Modules", Renewable and Sustainable Energy Review, Vol. 31, pp. 427-438, Mar. 2014.
- [15] Sahoo, S. K., Rath, P., Kumar-Das, M., "Numerical Study of Phase Change Material Based Orthotropic Heat Sink for Thermal Management Electronics Components", International Journal of Heat and Mass Transfer, Vol. 103, pp. 855-867, Dec. 2016.
- [16] Baby, R., Balaji, C., "A Neural Network-Based Optimization of Thermal Performance of Phase Change Material Based Finned Heat Sinks-A Experimental Study", Experimental Heat Transfer: A Journal of Energy Generation, Transport, Storage and Conversation, Vol. 26, pp. 431-452, Jan. 2013.
- [17] Saha, S. K., "Studies on Optimum Distribution of Fins in Heat Sinks Filled with Phase Change Materials", J. Heat Transfer, Vol. 130, No. 3, pp. 1-4, Mar. 2008.
- [18] Bynum Jr, R, T., *Insulation Handbook*, 1st ed, United States of America, McGraw-Hill, 2001.
- [19] Petrie, E, M., *Handbook of Adhesive and Sealants*, McGraw-Hill, 2000.
- [20] Venkateshan, S. P., *Mechanical Measurements*, 2nd ed, United Kingdom, John Wiley & Sons Ltd, 2015.