

## بررسی آزمایشگاهی اثر دور فن، نانو سیال کربنی و مواد تغییر فاز دهنده بر خنک کاری نسل جدید هیت‌سینک سیستم‌های پردازش سریع

علیرضا الداغی<sup>۱</sup>، محمد پسندیده فرد<sup>۲</sup>، محمد سردارآبادی<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup> دانشجوی کارشناسی ارشد تبدیل انرژی، دانشگاه فردوسی، مشهد، alirezaaldaghi@gmail.com

<sup>۲</sup> استاد گروه مکانیک، دانشگاه فردوسی، مشهد، mpfard@um.ac.ir

<sup>۳</sup> استادیار گروه انرژی، دانشگاه صنعتی قوچان، قوچان، m.sardarabadi@qiet.ac.ir

### چکیده

در این پژوهش تجربی به بررسی و مقایسه سیستم‌های فعال و غیر فعال خنک کاری نسل جدید هیت‌سینک‌ها مجهز به لوله گرمایی که برای پردازنده‌های سیستم‌های گیمینگ<sup>۱</sup> و پردازش سنگین توسعه داده شده‌اند، پرداخته شده است. اثر دبی آب و نانو سیال ۱٪ جرمی MWCNT و دور فن و افزودن ماده تغییر فاز دهنده بر خنک کاری مورد آزمایش و بررسی قرار گرفته است.

این بررسی در شارهای حرارتی ۲۰۰۰۰-۴۰۰۰۰-۳۰۰۰۰ وات بر متر مربع صورت گرفته است. مشاهده شد افزودن نانوذرات به سیال عامل باعث بهبود خنک کاری می‌شود. افزودن ماده تغییر فاز دهنده به اندازه ۳۰ درصد حجم فضای هیت‌سینک باعث افزایش دمای کف و کاهش خنک کاری شد اما هنگامی که حجم آن از ۳۰ درصد به ۹۰ درصد افزایش یافت باعث کاهش دمای کف و بهبود خنک کاری شد.

### واژه‌های کلیدی

هیت‌سینک، نانو سیال، ماده تغییر فاز دهنده

### مقدمه

در نسل جدید پردازنده‌های کامپیوتری به موازات افزایش قدرت پردازش اطلاعات، مصرف انرژی این قطعات نیز فزونی یافته است که این امر باعث افزایش دمای کاری آنها و در نتیجه ایجاد تنش حرارتی می‌شود. این افزایش دما باعث کاهش عمر این قطعات می‌شود و هزینه‌های تعمیر و نگهداری را افزایش می‌دهد. بنابراین انتخاب یک سیستم خنک کاری قابل اعتماد که با هزینه و مصرف انرژی کمتر خنک کاری بهتری را فراهم کند از دغدغه‌های توسعه دهندگان این وسایل می‌باشد.

روشهای خنک کاری را میتوان از دیدگاه‌های مختلفی مورد طبقه بندی قرار داد اما یکی از رایج ترین انواع آن طبقه بندی بر اساس مصرف انرژی برای فرآیند خنک کاری است. از این منظر این روشها در دو گروه فعال و غیر فعال طبقه بندی میشوند [۱]. در انواع فعال با استفاده از صرف انرژی دمای کاری پردازنده را کاهش میدهند از انواع روش های پر کاربرد آن میتوان به استفاده از فن و جریان اجباری هوا [۲]، ایجاد جریان اجباری سیال عامل خنک کننده در لوله های

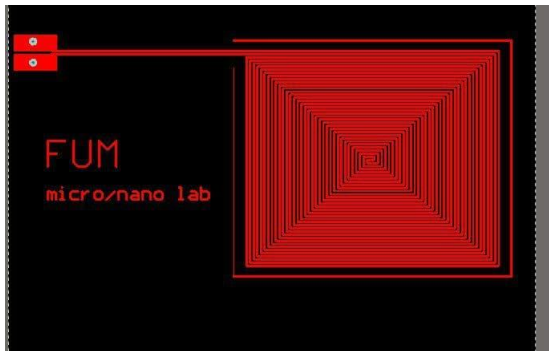
گرمایی به کمک پمپها [۳] و استفاده از ترموالکتریک های خنک کننده [۴] اشاره کرد.

در روش غیر فعال نیازی به صرف انرژی و اعمال نیروی خارجی نیست که از انواع آن میتوان به افزایش سطح از طریق ایجاد زبری [۵]، تغییر شکل سطوح گسترش یافته (پره) [۶] و یا استفاده از مواد تغییر فاز دهنده با ظرفیت گرمایی بالا اشاره کرد. مواد تغییر فاز دهنده موادی هستند که توانایی زیادی در جذب و ذخیره انرژی به صورت حرارت دارند. بیشترین ذخیره انرژی در این مواد در هنگام تغییر فاز از جامد به مایع یا برعکس رخ میدهد. این مواد در گستره ی متنوعی از دماهای ذوب وجود دارند که با توجه به شرایط کاری مورد استفاده قرار میگیرند [۷]. دمای ذوب مواد تغییر فاز دهنده مورد استفاده قرار گرفته برای خنک کاری پردازنده ها غالباً در بازه دمایی بین ۴۰ تا ۸۰ درجه سانتی گراد قرار دارند. انتخاب این بازه به این دلیل است که دمای بحرانی در نظر گرفته شده برای این قطعات ۸۰ درجه سانتی گراد است.

جاجا وهمکاران [۸] در یک بررسی تجربی اثر استفاده از آب و اتیلن گلیکول ۷۵ درصد به عنوان سیال عامل خنک کاری و اندازه فاصله بین پره‌های هیت سینک پرداختند. در این بررسی مشاهده شد که با افزایش دبی جریان سیال عامل از ۰٫۵ لیتر بر دقیقه به ۱٫۵ لیتر بر دقیقه دمای کف چاه حرارتی و مقاومت حرارتی نیز کاهش پیدا میکند. از طرفی در یک دبی جریانی ثابت با کاهش فاصله بین پره‌ها از ۱٫۵ میلی متر به ۰٫۲ میلی متر دمای کف نیز کاهش پیدا میکند. محمدی وهمکاران [۹] اثر افزودن نانو ذرات SiC به سیال پایه آب در دبی های ۱۰۰ تا ۳۰۰ میلی لیتر بر دقیقه تحت شارهای حرارتی بین ۶۰۰۰ تا ۱۰۰۰۰ وات بر متر مربع را به صورت آزمایشگاهی بررسی کرده است. نتایج بررسی های تجربی نشان دادند که افزایش دبی جریان سیال خنک کننده باعث کاهش بین ۱٫۳ تا ۲٫۳ درجه ای دمای تراشه الکترونیکی میشود.

طاهری و همکاران [۱۰] به کمک شبکه عصبی و بررسی آزمایشگاهی با افزودن نانو ذرات لوله‌های کربنی<sup>۲</sup> MWCNT به سیال عامل، به بررسی تاثیر نانوسیال بر خنک کاری نسل جدید چاه‌های حرارتی مجهز به لوله های گرمایی پرداختند. در این پژوهش مشاهده شد در

۲۰۰۰۰ و ۳۰۰۰۰ و ۴۰۰۰۰ وات بر متر مربع برای حرارت دهی انتخاب شده است. این وظیفه بر عهده یک PCB که طراحی آن در شکل شماره ۱ آمده است گذاشته شده است. این برد به کمک یک لایه نازک از خمیر سیلیکون به کف هیت سینک چسبانده شده است.



شکل شماره ۱: صفحه PCB

برای استفاده از PCM ابتدا صفحاتی از جنس پلکسی گلاس به اندازه ابعاد طولی و عرضی پره‌ها به کمک لیزر برش داده میشوند و به وسیله چسب به هیت سینک میچسبند و عملیات آب بندی روی درزهای به منظور جلوگیری از نشت PCM آذوب شده صورت میگیرد. از یک پمپ براشلس (شکل ۳) که بصورت خطی در مدار قرار میگیرد برای به جریان انداختن سیال عامل استفاده شده است که دبی‌های ۵۰ و ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌لیتر بر دقیقه را فراهم میکند.



شکل شماره ۲: هیت سینک

برای ساخت نانو سیال از MULTI-WALLED CARBON NANOTUBES-HEDEXYL ساخت شرکت VCN که عامل OH دارند و مشخصات آن در جدول ۱ ذکر شده، استفاده شده است.

جدول شماره ۱: مشخصات نانوذره MWCNT

DIAMETER	DENSITY	PURITY
8-20 nm	2.1 g/cm <sup>3</sup>	95%

به علت اینکه آب ساختار قطبی دارد استفاده از نانو ذرات عامل‌دار OH که باعث میشود MWCNT خاصیت قطبی پیدا کند و پایداری بهتری در سیال پایه آب داشته باشند به همین منظور از نوع عامل‌دار این نانوذره برای ساخت نانوسیال استفاده شده است.

### PHASE CHANGE MATERIAL<sup>۳</sup>

عملیات خنک کاری با نانو سیال ساخته شده با غلظت‌های ۰,۳ و ۰,۱۵ درصد جرمی نسبت به حالت خنک کاری پایه با جریان آزاد هوا به ترتیب باعث کاهش دمای ۲۴ و ۳۲ درصدی دمای کف شدند و همچنین مشاهده شد بیشترین اثر افزایش دبی جریان سیال بر کاهش دمای پایا شده چاه حرارتی بین ۵۰ تا ۱۰۰ میلی‌لیتر بر دقیقه است و با افزایش دبی از شیب کاهش دمای کف کاسته میشود و در نزدیکی دبی ۲۰۰ میلی‌لیتر بر دقیقه این شیب به صفر میل میکند و افزایش دبی عملاً تاثیری چندانی بر دمای کف نخواهد داشت.

سازها و همکاران [۱۱] در پژوهشی تجربی و عددی به بررسی اثر استفاده از مواد تغییر فاز دهنده در چاه‌های حرارتی پرداختند و مشاهده کردند استفاده از ایزکوسان با فرمول شیمیایی C<sub>20</sub>H<sub>42</sub> و دمای ذوب ۳۵ درجه سانتی‌گراد باعث کاهش دمای کف چاه حرارتی خواهد شد.

ارشد و همکاران [۱۲] در یک بررسی آزمایشگاهی اثر همزمان تغییر قطر پین و استفاده از مواد تغییر فاز دهنده را بر روی چاه‌های حرارتی پین دار مورد بررسی قرار دادند مشاهده شد در حالتی که ۱۰۰ درصد فضای چاه حرارتی با مواد تغییر فاز دهنده پر شده نسبت به حالاتی که ۵۰ درصد آن پر شده است قابلیت بیشتری برای کاهش دمای کف چاه حرارتی دار است.

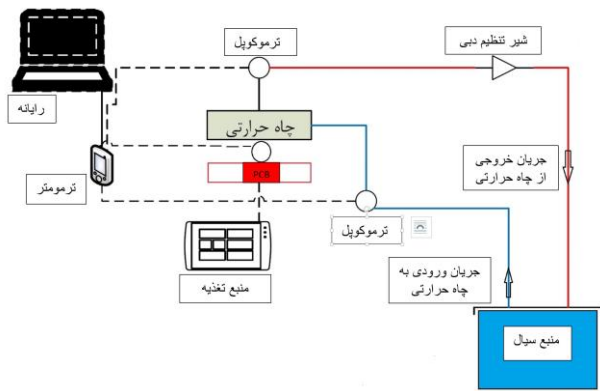
اسماعیل و همکاران [۱۳] در یک بررسی تجربی اثر جریان آب در لوله‌های با فین خارجی را بر ذوب و انجماد مواد تغییر فاز دهنده بررسی کردند. در این پژوهش مشخص شد با افزایش دبی جریان آب عبوری از لوله سیستم مدت زمان کمتری نیاز دارد تا فرآیند ذوب و انجماد در مواد تغییر فاز دهنده رخ دهد.

همتی و همکاران [۱۴] در یک پژوهش تجربی به بررسی اثر مواد تغییر فاز دهنده بر روی سیستم خنک کاری پردازنده مبتنی بر هیت سینک پرداختند. در این پژوهش از کلسیم کلرید ۶ آبه به عنوان PCM استفاده شد و مشاهده شد استفاده از این ماده تغییر فاز دهنده مدت زمان رسیدن به پایداری دمایی را از ۵۴۰۰ ثانیه به ۴۵۰۰ ثانیه می‌رساند.

با توجه به مطالعات پیشین در پژوهش حاضر تلاش شد از هر دو روش فعال و غیر فعال برای خنک کاری استفاده شود و از مزیت‌های هر دو روش بهره‌مند شد همچنین با استفاده از نانو ذرات کربنی روش فعال را بهبود داد.

### سامانه آزمایش

در این مرحله یک هیت سینک نسل جدید که در شکل شماره ۲ مشخص است به ابعاد ۵۶×۸۶×۹۶ سانتی‌متر که دارای سه رشته لوله گرمایی بود انتخاب شد و با استفاده از ابزار مناسب و با نصب اتصالات سیلیکونی جهت به جریان انداختن سیال عامل خنک کننده در لوله‌های گرمایی مناسب سازی شد. جنس پره‌های این هیت سینک از آلومینیوم و تعداد آن‌ها ۴۰ عدد است. اندازه بلوک کف هیت سینک که محل قرارگیری بر روی پردازنده است مساحت ۲۲ سانتی‌متر مربع را داراست. با توجه به اینکه از این نوع هیت سینک‌ها برای سیستم‌های گیمینگ و گرافیکی سنگین استفاده میشود بنابراین شارهای حرارتی



شکل شماره ۴: شماتیک کلی بستر آزمایشگاهی

### دقت اندازه گیری و عدم قطعیت

یکی از مهمترین بخش‌های هر پژوهش تجربی محاسبه دقت و عدم قطعیت میباشد بدین منظور برای محاسبه عدم قطعیت از رابطه زیر استفاده میشود که در آن  $a$  برابر است با نصف دقت اندازه‌گیری دستگاه.

$$u_{tools} = \frac{a}{\sqrt{3}}$$

بدین ترتیب جدول زیر برای عدم قطعیت دستگاه‌های اندازه‌گیری در این آزمایش بدست می‌آید.

جدول شماره ۳: عدم قطعیت تجهیزات آزمایشگاهی

دستگاه	پارامتر اندازه‌گیری	دقت دستگاه	عدم قطعیت دستگاه
ترمومتر نوع K	دمای سطح	0.1 °C	0.029 °C
ترمومتر نوع K	دمای ورود و خروج سیال کاری	0.1 °C	0.029 °C
ترمومتر نوع K	دمای کف چاه حرارتی	0.1 °C	0.029 °C
ترمومتر نوع K	دمای PCM	0.1 °C	0.029 °C
مولتی‌متر	جریان اتصال کوتاه	0.001 A	0.0003 A

برای ساخت نانو سیال ابتدا ۱۰۰ میلی‌لیتر اب درون حمام التراسونیک قرار میگیرد سپس یک همزن مکانیکی درون اب قرار میگیرد و نانو ذرات به تدریج به سیال پایه اضافه میشوند و به مدت ۲ ساعت این محلول تحت شرایط حمام التراسونیک و همزن مکانیکی قرار میگیرد. در این پژوهش از پارافین ۴۶-۴۸ MERCK استفاده شده است که مشخصات آن در جدول شماره ۲ موجود است.

جدول شماره ۲: مشخصات فیزیکی پارافین ۴۶-۴۸ MERCK

FORM	MELTING POINT	DENSITY
SOLID	42 - 72 °C	0.90 g/cm <sup>3</sup> at 20 °C

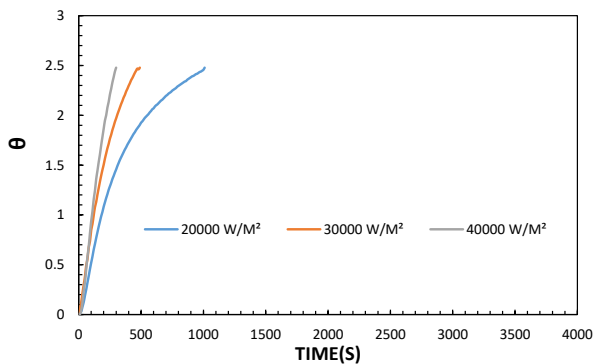
تست‌های مرحله اول بدون حضور ماده تغییر فاز دهنده انجام شد. در مراحل بعدی ابتدا ۳۰ درصد و سپس ۹۰ درصد حجم فضای خالی بین پره‌های هیت سینک با PCM پر شد. فن نیز که ماکزیمم توان ۹ وات کار میکند بر روی هیت سینک در فاصله ۳ سانتی‌متری آن قرار میگیرد.

برای ثبت دما در این بستر آزمایشی از دو دستگاه ترمومتر دیجیتال ۴ کاناله استفاده شده است که در شکل شماره ۳ مشخص هستند. ۸ ترموکوپل تیپ K به آنها متصل هستند. دو ترموکوپل بین کف هیت سینک و برد PCB قرار داده شده اند. یک ترموکوپل در داخل لوله سیلکونی ورودی به هیت سینک قرار دارد و یک ترموکوپل نیز داخل جریان خروجی از هیت سینک قرار دارد. ۳ ترموکوپل بین پره‌ها قرار داده شده اند و یک ترموکوپل نیز وظیفه اندازه‌گیری دمای محیط را بر عهده دارد.

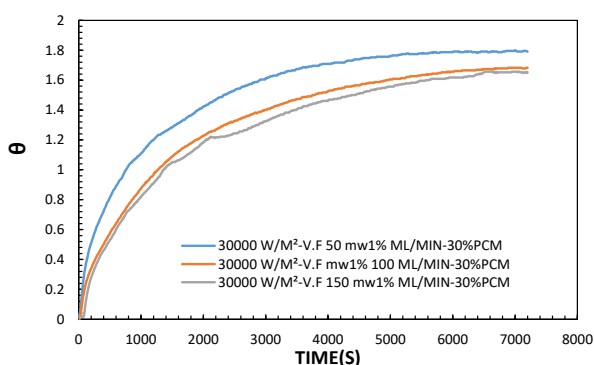


شکل شماره ۳: ترمومتر دیجیتالی و پمپ

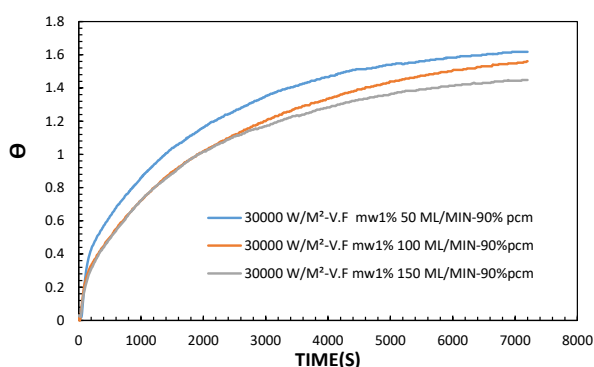
دمای محیط در طول تمام آزمایش‌های این پژوهش به وسیله یک اسپیلت بین ۲۳ و ۲۴ درجه سانتی‌گراد ثابت نگه داشته شد. مدت زمان تست ۲ ساعت و دمای ماکزیمم که در صورت رسیدن به آن تست متوقف میشود ۸۰ درجه سانتی‌گراد است. شماتیک کلی پژوهش در شکل شماره ۴ مشخص است.



شکل شماره ۸: نمودار بی بعد دمای کف در شار ۳۰۰۰۰ وات بر متر مربع -  
خنک کاری با مواد تغییر فاز دهنده به حجم ۳۰ درصد فضای خالی هیت  
سینک



شکل شماره ۹: نمودار بی بعد دمای کف در شار ۳۰۰۰۰ وات بر متر مربع -  
خنک کاری با مواد تغییر فاز دهنده به حجم ۳۰ درصد فضای خالی هیت  
سینک به همراه نانو سیال ۱ درصد جرمی



شکل شماره ۱۰: نمودار بی بعد دمای کف در شار ۳۰۰۰۰ وات بر متر  
مربعی - خنک کاری با مواد تغییر فاز دهنده به حجم ۹۰ درصد فضای  
خالی هیت سینک به همراه نانو سیال ۱ درصد جرمی

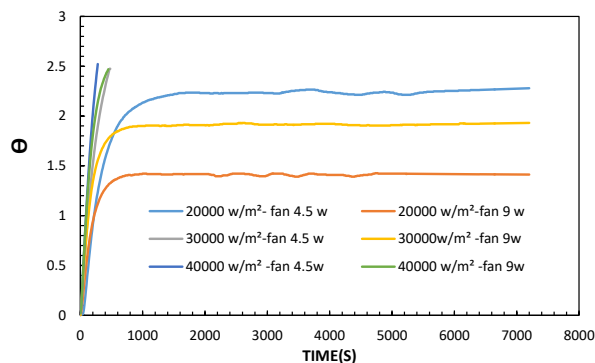
### نتایج

به منظور بررسی بهتر نتایج از یک پارامتر بی بعد که به شکل زیر  
تعریف شده است در گزارش نتایج استفاده شده است:

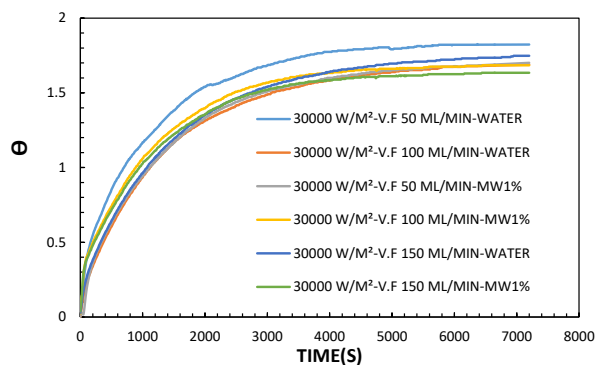
$$\frac{T_{AVG.PCB} - T_{\infty}}{T_{\infty}} = \theta$$

$T_{AVG.PCB}$ : دمای میانگین PCB

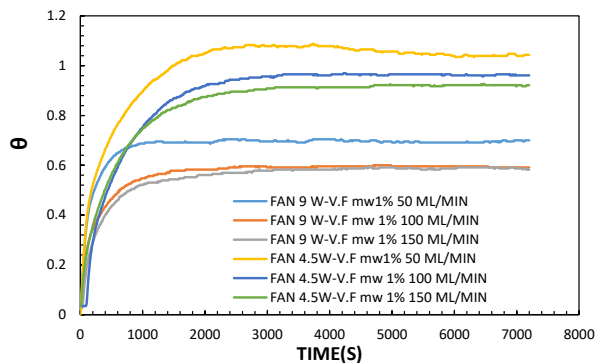
$T_{\infty}$ : دمای محیط



شکل شماره ۵: نمودار مقایسه دمای کف - خنک کاری با فن  
۲۰۰۰۰، ۳۰۰۰۰، ۴۰۰۰۰ وات بر متر مربع



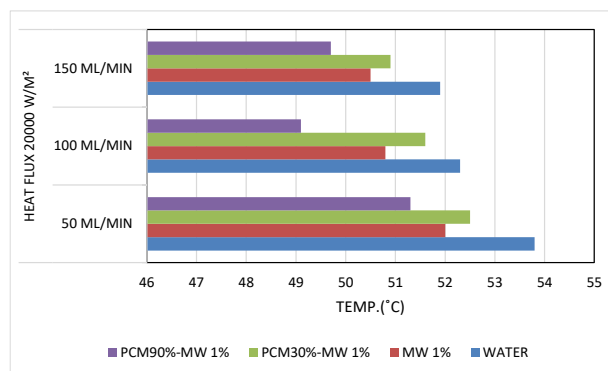
شکل شماره ۶: نمودار دمای بی بعد کف در شار ۳۰۰۰۰ وات بر متر مربع -  
مقایسه اثر خنک کاری نانو سیال ۱ درصد جرمی با آب مقطر



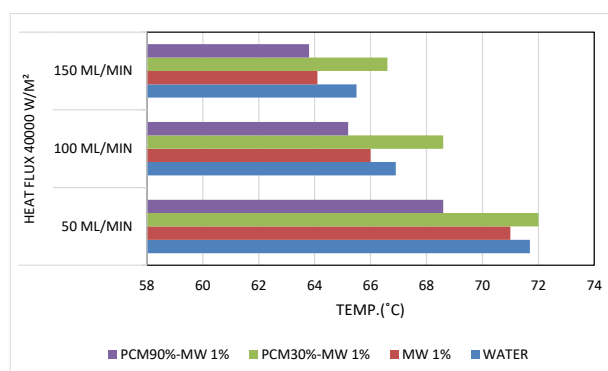
شکل شماره ۷: نمودار دمای بی بعد کف در شار ۳۰۰۰۰ وات بر متر مربع -  
خنک کاری همزمان نانو سیال ۱ درصد جرمی با فن

## مراجع و منابع

- [۱] S. Motahar and M. Jahangiri, Transient heat transfer analysis of a phase change material heat sink using experimental data and artificial neural network, *Applied Thermal Engineering*, Vol. 167, 2020, doi: 10.1016/j.applthermaleng.2019.114817.
- [۲] M. Saini and R. L. Webb, Heat rejection limits of air cooled plane fin heat sinks for computer cooling, *IEEE Transactions on Components and Packaging Technologies*, Vol. 26, No. 1, pp. 71-79, 2003, doi: 10.1109/tcapt.2003.811465.
- [۳] N. Putra, Yanuar and F. N. Iskandar, Application of nanofluids to a heat pipe liquid-block and the thermoelectric cooling of electronic equipment, *Experimental Thermal and Fluid Science*, Vol. 35, No. 7, pp. 1274-1281, 2011, doi: 10.1016/j.expthermflusci.2011.04.015.
- [۴] A. A. Belarbi, M. h. Beriache, N. A. Che Sidik and R. Mamat, Experimental investigation on controlled cooling by coupling of thermoelectric and an air impinging jet for CPU, *Heat Transfer*, Vol. n/a, No. n/a, doi: <https://doi.org/10.1002/htj.21976>.
- [۵] A. H. Sweidan, Y. Heider and B. Markert, Modeling of PCM-based enhanced latent heat storage systems using a phase-field-porous media approach, *Continuum Mechanics and Thermodynamics*, 2019, doi: 10.1007/s00161-019-00764-4.
- [۶] M. W. Alam, S. Bhattacharyya, B. Souayah, K. Dey, F. Hammami, M. Rahimi-Gorji and R. Biswas, CPU heat sink cooling by triangular shape micro-pin-fin: Numerical study, *International Communications in Heat and Mass Transfer*, Vol. 112, 2020, doi: 10.1016/j.icheatmasstransfer.2019.104455.
- [۷] S. Mahmoud, A. Tang, C. Toh, R. Al-Dadah and S. L. Soo, Experimental investigation of inserts configurations and PCM type on the thermal performance of PCM based heat sinks, *Applied Energy*, Vol. 112, pp. 1349-1356, 2013, doi: 10.1016/j.apenergy.2013.04.059.
- [۸] S. A. Jajja, W. Ali, H. M. Ali and A. M. Ali, Water cooled minichannel heat sinks for microprocessor cooling: Effect of fin spacing, *Applied Thermal Engineering*, Vol. 64, No. 1-2, pp. 76-82, 2014, doi: 10.1016/j.applthermaleng.2013.12.007.
- [۹] M. Mohammadi, A. Taheri, M. Passandideh-Fard and M. Sardarabadi, Electronic chipset thermal management using a nanofluid-based mini-channel heat sink: An experimental study,



شکل شماره ۱۱: مقایسه اثر خنک کاری آب و نانو سیال و ماده تغییر فاز دهنده بر دمای نهایی در شار حرارتی ۲۰۰۰۰ وات بر متر مربعی



شکل شماره ۱۲: مقایسه اثر خنک کاری آب و نانو سیال و ماده تغییر فاز دهنده بر دمای نهایی در شار حرارتی ۴۰۰۰۰ وات بر مترمربع

## نتیجه‌گیری و جمع‌بندی

در هنگام خنک کاری با فن با افزایش توان مصرفی فن دمای کف هیت سینک کاهش پیدا میکند. با استفاده از نانو سیال به جای آب به عنوان سیال عامل خنک کننده با بهبود اثر خنک کاری مواجه میشود. در زمان خنک کاری با نانو سیال بدون حضور فن با افزایش دبی کف هیت سینک کاهش میابد اما شیب اثر این کاهش دما با افزایش دبی کم میشود اما هنگامی که از اثر همزمان فن و نانو سیال بهره مند باشیم با افزایش توان مصرفی فن به ۹ وات تفاوت چشمگیری در خنک کاری با افزایش دبی از ۵۰ به ۱۰۰ میلی لیتر بر دقیقه مشاهده نمیشود. زمانی که ماده تغییر فاز دهنده ۳۰ درصد فضای هیت سینک را پر کرده باشد در شار ۲۰۰۰۰ وات بر متر مربع باعث بهبود خنک کاری میشود اما در شار ۴۰۰۰۰ وات بر متر مربع اثر معکوس دارد. هنگامی که حجم اشغال شده هیت سینک به وسیله ماده تغییر فاز دهنده از ۳۰ درصد به ۹۰ درصد میرسد در تمامی شارهای حرارتی باعث کاهش دمای کف هیت سینک شده و اثر مطلوبی بر خنک کاری دارد.

10.1016/j.tsep.2020.100520 Engineering Progress,.

[۱۳] K. A. R. Ismail and F. A. M. Lino, Fins and turbulence promoters for heat transfer enhancement in latent heat storage systems, *Experimental Thermal and Fluid Science*, Vol. 35, No. 6, pp. 1010-1018, 2011, doi: 10.1016/j.expthermflusci.2011.02.002.

[۱۴] همتی، رضا و ویسی، فرزاد و حدیدی، بابک، ۱۳۹۸، سیستم مدیریت حرارتی یک منبع تغذیه رایانه مبتنی بر هیت سینک با استفاده از ماده تغییر فاز دهنده (PCM)، بیست و هفتمین کنفرانس سالانه بین المللی انجمن مهندسان مکانیک ایران، تهران

*International Communications in Heat and Mass Transfer*, Vol. 118, 2020, doi:

10.1016/j.icheatmasstransfer.2020.104836.

[۱۰] A. Taheri, M. G. Moghadam, M. Mohammadi, M. Passandideh-Fard and M. Sardarabadi, A new design of liquid-cooled heat sink by altering the heat sink heat pipe application: Experimental approach and prediction via artificial neural network, *Energy Conversion and Management*, Vol. 206, pp. 112485, 2020.

[۱۱] S. K. Saha, K. Srinivasan and P. Dutta, Studies on Optimum Distribution of Fins in Heat Sinks Filled With Phase Change Materials, *Journal of Heat Transfer*, Vol. 130, No. 3, 2008, doi: 10.1115/1.2804948.

[۱۲] A. Arshad, M. Jabbal, P. T. Sardari, M. A. Bashir, H. Faraji and Y. Yan, Transient simulation of finned heat sinks embedded with PCM for electronics cooling, *Thermal Science and Engineering Progress*, Vol. 18, 2020, doi: