بهبود عملکرد هیتسینکهای آلومینیومی مورد استفاده در صنایع الکترونیک

مجيد محمدى

دانشجوی کارشناسیارشد، گروه مهندسی مکانیک، دانشگاه فردوسی مشهد mohammadi.ma@mail.um.ac.ir

علی داودی

دانشیار، گروه مهندسی مواد، دانشگاه فردوسی مشهد a.davodi@um.ac.ir محمدرضا عطار دانشجوی کارشناسیارشد، گروه مهندسی مواد، دانشگاهفردوسی mr.attar@mail.um.ac.ir مشهد

محمد پسندیدەفرد استاد، گروہ مهندسی مکانیک، دانشگاہ فردوسی مشهد mpfard@um.ac.ir

محسن حداد سبزوار

استاد، گروه مهندسی مواد، دانشگاه فردوسی مشهد haddadm@um.ac.ir

چکیدہ

در پژوهش حاضر، یک روش مبتکرانه و کمهزینه برای ایجاد سطح زبر شدهی میکروساختار بر روی هیت سینک آلومینیومی به منظور افزایش قابلیت خنککاری آن، پیشنهاد شد. برای این منظور، دو نمونهی هیتسینک معمولی و زبرشده را در گرمایی معادل گرمای تولیدی یک پردازشگر Core i7-3770T آزمایش شدند. برای این کار، شارهای حرارتی مذکور به ترتیب ۸۰۰۰۳ و ۲۰۰۳ ( دمای انتخاب گردید. مشخص شد که دمای هیتسینک زبر برای شارهای حرارتی مذکور به ترتیب ۲۰۷۵، و ۲۰۰۷ و ۲۲/۲۷ هیتسینک معمولی میباشد. این بدین معناست که مقاومت حرارتی هیتسینک زبر شده نسبت به هیتسینک صاف به ترتیب ۲۲/۳۲، ۲۲/۲۲ و ۲۲/۲۲ کاهش پیدا کرده است. به عبارت دیگر درصورت استفاده از هیتسینک زبر در شارهای مذکور در حدود ۲۰۰۷ بهبود خنککاری هیت سینک مشاهده می شود. همچنین میکروزبریهای ایجاد شده در سطح به کمک میکرو سکوپ الکترونی روبشی (SEM) مشاهده گردید.

كلمات كليدى: خنككارى، هيتسينك، انتقال حرارت، شار حرارتى.

#### ۱– مقدمه

با توجه به اهمیت روزافزون مصرف انرژی در جهان حا ضر، مسیر تحقیقات بسیاری از دانشمندان و محققان به این حوزه معطوف شده است. بهبود انتقال حرارت در کنار کاهش افت فشار در سیستمها در صنایع مختلف همواره مورد توجه مهندسان و پژوهشگران حوزه انرژی بوده است. روشهایی که تا کنون به منظور بهبود انتقال حرارت پیشنهاد شده است، به دو گروه عمده طبقهبندی می شوند [1]. گروه اول روشهای فعال هستند که در آن بهمنظور افزایش میزان انتقال حرارت، نیاز به اعمال انرژی خارجی میباشد. البته این روشها نیازمند صرف هزینه بالایی هستند و در بسیاری از موقعیتهای فیزیکی، امکان استفاده از آنها وجود ندارد. اختلاط مکانیکی، چرخش، لرزش، اضافه کردن میدانهای خارجی الکترواستاتیک و مغناطیسی، از جمله این روشها هستند. گروه دوم، روشهای غیرفعال میبا شند که در این گروه، با استفاده از تکنیکهایی مانند بهبود مشخصههای سیال، شکل سطوح، ایجاد زبری، استفاده از نانوسیال، آشفتگی، دگرگونی جریان و اضافه کردن سطوح، انتقال حرارت افزایش مییابد.

CuO استفاده از نانوسیال در سالهای اخیر بسیار مورد توجه بوده است. نانوسیال از یک مایع پایه و نانوذرات مختلف مانند CuO ، ۲۱۰۵ TiO2 تشکیل می شود [۲]. معمولاً از آب و اتیلن گلیکول به عنوان سیال پایه استفاده می شود. نانوسیالات در بسیاری از زمینههای مهندسی از جمله سیستمهای انرژی خور شیدی [۳, ۴] و خنکسازی قطعات الکترونیکی [۵] کاربرد دارند.

استفاده از فن که معمولاً در همه کامپیوترها وجود دارد یکی از رایجترین روشها برای خنک کاری و پایین آوردن دمای قطعات الکترونیکی و نیز بهبود عملکرد این قطعه میباشد. رابرت و واکر [۶] در پژوهشی به بررسی عملکرد نانوسیال در سیستمهای خنککاری قطعات الکترونیکی تجاری پرداختهاند. این پژوهشگران در کار خود از یک لوله صاف داغ استفاده کردند. سیستم آزمایشگاهی آنها شامل یک بلوک آب مسی، دو هیتر باریک سیلیکونی ۱۰۳، صفحات فلزی و یک مبدل حرارتی بود. ابتدا چندین دبی حجمی از ۸۵۹۶ml/min تا ۲۷/۵۸ml/min برای سیال عامل آب آزمایش شد. آنان نشان دادند که در صورت استفاده از نانوسیال اکسید آلومینیوم میتوان تا ۱۰% بهبود در ضریب انتقال حرارت جابجایی در لوله صاف داغ مشاهده کرد.

کومار و همکاران [۷] به صورت آزمایشگاهی و عددی به مطالعه هیت سینکی دارای کانالهایی در ابعاد میلیمتر پرداختند که در آن از هوا بهعنوان خنککننده در هیت سینک با کانالهای مستقیم(SC HS) ، هیت سینک با کانال مواج (WC HS) و هیت سینک با کانالهای مواج و شاخه شاخه (BWC HS) استفاده شد. سپس به برر سی عملکرد حرارتی و هیدرولیکی این سیستمها پرداختند. آنها حرارتهایی در حدود ۲۰W/m<sup>2</sup> تا ۳۰۰W/mرا به کف هیتسینک اعمال کردند. همچنین آنان برتری مدل BWC HS را باتوجه به عملکرد حرارتی-هیدرولیکی نسبت به مدلهای WC HS و KIS در این دادند.

بین و هوآی فی [۸] پژوهشی در زمینه مشخصههای جریان و انتقال حرارت نانوسیالات اکسید مس و آلومینیوم در CPU خنک شونده، با مایع انجام دادند. آنان لایه گرمکنی با قدرت ۲۴۰W را به عنوان قطعه الکترونیکی یک کامپیوتر درنظر گرفتند. نتایج نشان داد درصورت استفاده از نانوسیال بهجای آب که دمای سطح CPU به مقدار ℃ ۴ تا ℃ ۱۸ کاهش مییابد.

خنککاری با سیال به علت حجم بیشتر سیستم خنککاری همیشه امکانپذیر نیست. هدف از این پژوهش تولید هیتسینک، بدون دارا بودن سیستم خاص، صرفاً با انجام عملیات سطحی، در عین خنککاری مطلوب میباشد. لذا مدل خنک سازی یک CPU با م شخ صات Core i7-3770T و شار حرارتی م شخص، در د ستور کار قرار گرفت. لذا در این پژوهش با استفاده از یک روش کمهزینه و قابل انجام در مقیاس صنعتی و با تغییر در ساختار سطح آلومینیوم و اعمال زبری بر روی سطح، انتقال حرارت هیتسینکهای آلومینیومی در شرایط یکسان مورد مطالعه قرار گرفت.

# ۲- روش انجام آزمایش

## ۲-۱- انجام عملیات آزمون انتقال حرارت بر روی هیتسینک

برای شبیهسازی قطعات الکترونیکی از یک مدار چاپی استفاده شد. هیت سینک آلومینیومی زبر شده (دارای زبری در ابعاد میکرون) دارای ۱۷ پره (ابعاد هر پره ۱×۳۴×۹۲ میلیمتر) و کف آن به ابعاد ۸۰×۵۰ میلیمتر میباشد، بر روی صفحه مسی قرار گرفته و توسط چسب سیلیکون روی مدار چاپی محکم شد. ابعاد صفحه مسی به اندازه کف هیتسینک میباشد. به منظور اندازه گیری دمای قطعه الکترونیکی (برد)، یک حسگر دمایی از نوع k (type با دقت ۵/۰ درجه سانتی گراد) بین صفحهی مسی و کف هیتسینک و در وسط صفحه قرار گرفت. فن (PBT-GF30-FR با دقت ۵/۰ درجه سانتی گراد) بین صفحهی مسی هیتسینک قرار داده شد. حسگر دمای دیگر (نوع k) نیز برای اندازه گیری دمای محیط نزدیک سیستم قرار داده شد. در تمامی آزمایشات سعی شد تا دمای محیط ک<sup>0</sup> ثابت نگه داشته شود. حسگرهای دما به ذخیره کننده دما (Total logger) مدل آزمایشات سعی شد تا دمای محیط کردن نرمافزاری، هر ده ثانیه دما خوانده و ذخیره شد. مدار توسط سیمهایی به یک منبع تغذیه با مدل (DC (30V/5A ATTEN APS3005S) برای ایجاد شار حرارتی متصل شد. با تنظیم ولتاژ و جریان منبع تغذیه، میزان شار حرارتی تولیدی تنظیم شد. شار حرارتی



شکل ۱: بستر آزمایشگاهی هیتسینک و فن.

تولیدی از A۰۰۰W/m<sup>2</sup> تا ۲۵W/۱۲۰۰۷ (۲۵W تا ۴۵W) میباشد. هر آزمایش به این صورت انجام شد که همزمان منبع تغذیه، Data logger و فن شروع به کار کردن کردند. تصویر بستر آزمایشگاهی تشکیل شده در شکل ۱ مشاهده می شود. برای انجام آزمایشات و مقایسه دقیق هیتسینک زبر شده با هیتسینک با سطح صاف، دو بستر آزمایشگاهی مشابه هم تشکیل شدهاند. هر دو بستر ایجاد شده را به منبع تغذیه متصل کرده و هر دو همزمان باهم شروع به ذخیره سازی دما می کنند.

#### ۲-۲- مورفولوژی سطح

مورفولوژی سطح نمونهها به وسیلهی دستگاه میکروسکوپ الکترونی روبشی Zeiss (LEO) 1450VP مشاهده گردید. برای مشاهدهی بهتر پستیها و بلندیهای سطحی نمونهها، از الکترونهای ثانویه به دلیل وضوح بیشتر در مناطق دارای پستی و بلندیهای زیاد، استفاده شد.

عوامل	متغيرا	متغير	متغير٣
شار حرارتی (W/m <sup>2</sup> )	٨٠٠٠	۱۰۰۰۰	17
حرارت (W)	٣٢	4.	۴۸
هیت سینک	صاف	زبرشده	-
فن	خاموش	روشن	-

جدول ۱: عوامل متغير آزمايشات.

۳- نتایج و بحث

### ۳-۱- رفتار انتقال حرارتی هیتسینک

در این پژوهش، بررسی اثر شارهای حرارتی مختلف بر دو مدل هیتسینک با سطح صاف و سطح زبر مورد مطالعه قرار میگیرد. همچنین اثر جابجایی اجباری و جابجایی آزاد هوا نیز بررسی میشود. برای ایجاد جابجایی اجباری از فن استفاده شدهاست. فن زمانی که روشن است هوا را به سمت داخل هیت سینک دمش میکند و جابجایی اجباری را فراهم میآورد. عوامل متغیر در این آزمایشات در جدول ۱ ارائه شدهاند(مساحت کف هیتسینک، ۴۰cm<sup>2</sup> میباشد).

ابتدا نقش مهم جابجایی اجباری نسبت به جابجایی آزاد مورد مطالعه و بررسی قرار گرفت. بدین صورت که آزمایشی در شار <sup>(2</sup> مار معن معرف معن آزمایش توسط یک فن صورت گرفت. در پایان، نمودار دمای سطح ۲مانه الکترونیکی در هردوحالت با هم مقایسه شد. نمودار این مقایسه در شکل۲ برای شار حرارتی ۸۰۰۰۳/۰ دیده می شود. تراشه الکترونیکی در شکل دیده می شود، فن اثر بسیار مهمی در خنک کاری دارد. پس از مدت زمان کوتاهی دما تا مقادیر بسیار بهمانور که در شکل۲ برای شار حرارتی ۲۰۰۳/۰۰ دیده می شود. معانطور که در شکل دیده می شود، از بسیار مهمی در خنک کاری دارد. پس از مدت زمان کوتاهی دما تا مقادیر بسیار بالایی افزایش یافته و درنتیجه قطعه الکترونیکی می سوزد. لذا در شارهای حرارتی بالا عدم استفاده از فن موجب خرابی CPU می شود. می شود بالایی افزایش یافته و درنتیجه قطعه الکترونیکی می سوزد. لذا در شارهای حرارتی بالا عدم استفاده از فن موجب خرابی CPU



شکل ۲: تأثیر استفاده از فن بر خنککاری CPU در شار حرارتی ۸۰۰۰W/m<sup>2</sup>.

در ادامه تأثیر استفاده از فن بر روی هیتسینک آلومینیومی صاف برای سه شار مختلفی که در جدول ۱ ارائه شده بود، بررسی شد. همان طور که در شکل۳ دیده می شود با افزایش شار حرارتی دمای CPU افزایش مییابد. دمای حالت پایای CPU که حدودا پس از ۴۰۰ ثانیه از شروع آزمایش میباشد برای شارهای حرارتی ۸۰۰۰۷/m<sup>2</sup> ، ۸۰۰۰۷/m<sup>2</sup> و ۱۲۰۰۰۰۳/m میباشد. ۵۶/۱۹۶، ۲۰ ۲۵/۱۵ و ۵۶/۵۶ میباشد.



شکل ۳: اثر افزایش شار حرارتی روی هیتسینک با سطح صاف و استفاده از فن.

شکل۴ مقایسه بین هیتسینک صاف و زبر شده را در شارهای مختلف نشان میدهد. از آنجا که در شکل دیده می شود، با افزایش شار حرارتی دمای CPU افزایش می یابد. همچنین هیتسینک زبر به علت سطح انتقال حرارت بیشتر، در شارهای بالا اختلاف دمای بیشتری با هیت سینک صاف دارد.



شکل ۴: نمودار دما برحسب زمان در شار الف) ۸۰۰۰W/m<sup>2</sup> با ۲۰۰۰۰W/m<sup>2</sup> و ج) ۱۲۰۰۰W/m<sup>2</sup> برای هیت سینکهای صاف(HydroPhobic HS) و زبر(HS)

	شار ۸۰۰۰	شار ۱۰۰۰۰	شار ۱۲۰۰۰
	W/m <sup>2</sup>	W/m <sup>2</sup>	$W/m^2$
دمای	49/4 °C	۸۱/۶ °C	18/1 °C
هیتسینک صاف	i vii C	ω ( <i>i</i> // C	w/// C
دمای	64/V OC	۴۴/6 °C	59/A °C
هیتسینک زبر	inv c		ι ( <i>γ</i> ω C
اختلاف دمایی	۶/۷ °C	۷°C	۷/۳ °C
درصد کاهش	× * . / * . /	401 <del>4</del> .1	22/9./
مقاومت حرارتى	-11/1/.	-17/1/.	-11/1/.

جدول ۲: دمای حالت پایا در شارهای مختلف.

پس از گذشت زمان ۶۰۰ ثانیه که تقریبا دمای CPU در همه شارها به حالت پایدار می سد که این دما در جدول ۲ ارئه شدهاست. اختلاف دمای هیت سینک صاف و زبر برای شارهای حرارتی ۸۰۰۰۷/m<sup>2</sup> ۵۰۰۰۰ و ۱۲۰۰۰۷/m<sup>2</sup> ۲۲۰۰۰ به ترتیب CPU Core و ۷٬۳۰۲ می باشد. به عبارت دیگر درصورت استفاده از هیتسینک زبر در شارهای مذکور در حدود ۱۵٪ بهبود در دمای کاری ۲/۳۰۵ - CPU Core i7-3770T مشاهده می شود. همچنین با دماهای به دست آمده در جدول ۲، می توان مقاومت حرارتی هیتسینک و منبع گرما را نیز محاسبه نمود. با توجه به فرمول مقاومت حرارتی:

 $R = (T - T_{\infty})/Q$ 

که در آن R، مقاومت حرارتی هیتسینک، T دمای محل اتصال هیتسینک با منبع گرما، ∞T دمای سیال که گرما از هیتسینک به آن منتقل شده و Q نیز حرارت ورودی به هیتسینک میباشد و با در نظر گرفتن C™=۲∞ که با استفاده از دماسنج محاسبه شد، مقاومت حرارتی برای هر کدام از هیتسینکهای صاف و زبر، طبق رابطهی بالا محاسبه می گردد. بر این اساس، مقاومت حرارتی برای هیتسینک صاف در حرارتهای ورودی ۳۲۵، ۳۰۷ و ۴۸۷ به ترتیب ۸/۷۶۲K/۷، ۱/۶۶۵K/۷، و ۶/۶۹۲K/۷ و مقاومت حرارتی هیتسینک زبر به ترتیب ۸/۵۴۸K/۷، ۳۲۵/۷۰ و ۶۸۷ به ترتیب ۱/۵۱۰K/۰ به دست می آید. با توجه به این اعداد می توان نتیجه گرفت که در شارهای حرارتی ۲۳٫۳۶ و ۲۸۰۰ ۷<sup>-1</sup> و ۱۲۰۰۰۷ مقاومت حرارتی هیتسینک زبر نسبت به هیتسینک صاف به ترتیب ۲۳/۳٪، ۲۳/۳/۰ و ۲۲/۹۲ کاهش پیدا کرده است.

### ۲-۳- مورفولوژی سطحی

مورفولوژی سطحی نمونهها که با میکروسکوپ الکترونی روبشی تصویربرداری شده ، در شکل ۵ نشان داده شده است. شکل ۵-الف و ب نشاندهنده یسطح آلیاژ آلومینیوم بعد از عملیات پولیش در بزرگنماییهای متفاوت می باشد. در این شکل ذرات بینفلزی جدا شده از سطح آلیاژ آلومینیوم و خطوطی که در حین عملیات پولیش ایجاد شده است ملاحظه می گردد. شکل ۵-پ و ت تصویر میکروسکوپ الکترونی نمونه ی آلیاژ آلومینیومی بعد از عملیات اچ به مدت ۴ دقیقه را نشان می دهد. در این تصویر زبری سطح در ابعاد میکرون که در حین عملیات اچ بر روی سطح آلیاژ آلومینیوم به وجود آمده است، مشاهده می گردد.



شکل ۵: تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی نمونههای آلیاژ آلومینیوم: الف) و ب) پولیش شده، پ) و ت) اچ شده، ث) و ج) زبر و آبگریز.

همانطور که مشاهده می شود رسوبات اضافی که در روش های معمول در حین فرایند اچ به وجود می آیند، در حین فرایند اچ حل شده و به کلی از بین می روند. در مقیاس ماکروسکوپی نیز، تیر گی سطح آلیاژ آلومینیوم که به طور معمول در مرحلهی اچ به وجود می آید، در این مرحله به طور کامل برطرف شده و سطح آلیاژ آلومینیوم روشن تر نسبت به نمونه های اچ شده در محلول های مرسوم می گردد. شکل ۵-ث و ج تصویر میکروسکوپ الکترونی نمونه ی آلیاژ آلومینیومی ابر آبگریز بعد از غوطهوری در استئاریک اسید را نشان می دهد. همان طور که در این تصویر مشخص است، زبری های سطحی استئاریک اسید با تشکیل میکروساختارها بر روی سطح آلیاژ آلومینیوم رسوب کرده است. همان طور که عنوان شد، هوا در بین این میکروساختارهای سطحی، حبس شده که این عامل اصلی ابر آبگریزی سطح آلیاژ آلومینیوم می باشد.

همچنین برای مشاهدهی بهتر توزیع دما در هیتسینکهای مورد آزمون، تصویربرداری حرارتی با دوربین مادون قرمز نیز انجام شد. شکل۶ تصویر دوربین حرارتی از دو نمونهی هیتسینک معمولی و عملیات سطحی شده در هنگام انجام آزمون انتقال حرارت میباشد. همان طور که مشخص است، در هیتسینک سمت چپ که هیتسینک معمولی و بدون عملیات سطحی است، حرارت به خوبی توزیع نشده و در این هیتسینک،نقطهی داغ (Hotspot)، مشاهده می گردد. این در صورتی است که در هیتسینک سمت راست که هیتسینک عملیات سطحی شده میباشد، ضمن توزیع یکسان دما در کل پرههای هیتسینک، نقاط داغ نیز حذف گشتهاند. لازم به ذکر است که نقاط داغ در محل اتصال قطعهی کاری که بایستی توسط هیتسینک خنک شود ایجاد میشوند و کم کردن و در صورت امکان حذف آنها کمک بسیاری در افزایش طول عمر قطعهی تولیدکنندهی گرما میسازد.





شكل ۶: تصوير حرارتي از هيت سينكهاي آلومينيومي مختلف.

### ۴–نتیجهگیری

در این مقاله یک روش کم هزینه و قابل اجرا در مقیاس صنعتی برای افزایش انتقال حرارت هیت سینک های آلومینیومی مورد استفاده در صنایع الکترونیکی پیشنهاد شد. مواد اولیه و روش پیشنهادی برای ایجاد زبری بر روی سطح آلومینیوم بسیار ارزان قیمت بوده که می توان از آن در مقیاس صنعتی نیز بهره برد. در شارهای حرارتی ۸۰۰۰ W/m<sup>2</sup>، ۲۰۰۰ و ۱۲۰۰۰W/m<sup>2</sup> به ترتیب ۲°۶/۷، ۲°۷ و ۲۵°۷ دمای کاری هیت سینک کمتر از هیتسینک معمولی گزارش شد. بهعبارت دیگر درصورت استفاده از هیتسینک زبر در شارهای مذکور درحدود ۱۵/۲ بهبود خنککاری هیتسینک مشاهده شد.

مراجع

- [<sup>1</sup>] D. Wen, G. Lin, S. Vafaei, and K. Zhang, "Review of nanofluids for heat transfer applications," *Particuology*, vol. 7, pp. 141-150, 2009.
- [<sup>Y</sup>] J. Sarkar, "A critical review on convective heat transfer correlations of nanofluids," *Renewable and sustainable energy reviews*, vol. 15, pp. 3271-3277, 2011.
- [<sup>r</sup>] R. Saidur, K. Leong, and H. Mohammad, "A review on applications and challenges of nanofluids," *Renewable and sustainable energy reviews*, vol. 15, pp. 1646-1668, 2011.
- [4] V. Sridhara and L. N. Satapathy", Al 2 O 3-based nanofluids: a review," *Nanoscale research letters*, vol. 6, p. 456, 2011.
- [°] L. Godson, B. Raja, D. M. Lal, and S. Wongwises, "Enhancement of heat transfer using nanofluids—an overview," *Renewable and sustainable energy reviews*, vol. 14, pp. 629-641, 2010.
- [<sup>7</sup>] N. A. Roberts and D. Walker, "Convective performance of nanofluids in commercial electronics cooling systems," *Applied Thermal Engineering*, vol. 30, pp. 2499-2504, 2010.
- [V] S. Kumar, M. Sarkar, P. K. Singh, and P. S. Lee, "Study of thermal and hydraulic performance of air cooled minichannel heatsink with novel geometries," *International Communications in Heat and Mass Transfer*, vol. 103, pp. 31-42, 2019.
- [<sup>A</sup>] B. Sun and H. Liu, "Flow and heat transfer characteristics of nanofluids in a liquid-cooled CPU heat radiator," *Applied Thermal Engineering*, vol. 115, pp. 435-443, 2017.