ISSN: 2476-6909; Modares Mechanical Engineering. Proceedings of the 6th National Conference on Mechanical-Civil Engineering and Advanced Technologies. 2024; 24(11):29-34.

Investigating the Effect of Heat Sink Fin Geometry on Laptop Processor Cooling Using Computational Fluid Dynamics

ARTICLE INFO

Authors
Nabati A.[1*],
Malek Nia N.[1]
Kafi Javazm M.[2]

[1] Mechanical Engineering Department, Esfarayen University of Technology, Esfarayen, Iran.
[2] Mechanical Engineering Department, Iran University of Science and Technology, Tehran, Iran.

*** Correspondence**
Address: Mechanical Engineering Department, Esfarayen University of Technology, Esfarayen, Iran.
a.nabati@esfarayen.ac.ir

How to cite this article
Nabati A, Malek Nia N, Kafi Javazm M. Investigating the Effect of Heat Sink Fin Geometry on Laptop Processor Cooling Using Computational Fluid Dynamics. Proceedings of the 6th National Conference on Mechanical-Civil Engineering and Advanced Technologies. 2024; 24(11):29-34.

ABSTRACT

In this study, the cooling process of a laptop processor is investigated and simulated. The geometry in question consists of a heat pipe and a heat sink with fins, and the cooling process is simulated in the ANSYS Fluent software. Using the simulation results, the effect of six different geometries for the aluminum heat sink fins on the cooling rate and temperature of the laptop processor is investigated. The geometries evaluated include rectangular, triangular, wavy, rectangular with holes, rectangular with pins, and rectangular with appendages. Air passes over the fins at a speed of 1 m/s and the air flow is considered turbulent. For all geometries under study, it is assumed that a heat flux of 70 kW/m^2 is transferred from the heat pipe to the top of the heat sink. The results show that using the wavy fin geometry leads to increased heat transfer from the top surface of the heatsink, resulting in a reduction in the processor surface temperature (up to 63 °C). Also, using triangular fins leads to a temperature of 149 °C on the processor surface, which is inappropriate and can cause damage to it.

Keywords Laptop Processor, Heat Pipe, Heat Sink, Fins, Cooling.

ماهنامه علمی مهندسی مکانیک مدرس، ویژه‌نامه مجموعه مقالات ششمین کنفرانس ملی مهندسی مکانیک، عمران و فناوری‌های پیشرفته

بررسی تاثیر هندسه پره‌های هیت سینک در فرآیند خنک کاری پردازنده لپ تاپ با استفاده از دینامیک سیالات محاسباتی

مشخصات مقاله

نویسنده‌ها
امین نباتی [1*]
نرجس ملک نیا [1]
میلاد کافی جوزم [2]

[1] مجتمع آموزش عالی فنی و مهندسی اسفراین، اسفراین
[2] دانشگاه علم و صنعت تهران، تهران

*** نویسنده مسئول**
آدرس: مجتمع آموزش عالی فنی و مهندسی اسفراین، اسفراین
a.nabati@esfarayen.ac.ir

چکیده

در این پژوهش به بررسی و شبیه سازی فرآیند خنک کاری پردازنده لپ تاپ پرداخته می‌شود. هندسه مورد نظر شامل یک لوله حرارتی (هیت پایپ) و یک لوله گرمابر (هیت سینک) دارای پره بوده و شبیه سازی فرآیند خنک کاری در نرم افزار انسیس فلوئنت انجام می‌شود. با استفاده از نتایج شبیه سازی، تاثیر شش هندسه مختلف برای پره‌های آلومینیومی هیت سینک، بر میزان خنک کاری و دمای پردازنده لپ تاپ مورد بررسی قرار می‌گیرد. هندسه‌های مورد ارزیابی شامل پره‌های مستطیلی، مثلثی، موج‌دار، مستطیلی سوراخ‌دار، مستطیلی پین‌دار و مستطیلی با زائده است. هوای با سرعت یک متر بر ثانیه از روی پره‌ها عبور کرده و جریان هوا بصورت آشفته در نظر گرفته می‌شود. برای تمام هندسه‌های مورد بررسی، فرض شده است شار گرمایی ۷۰ کیلووات بر متر مربع از لوله حرارتی به بالای هیت سینک انتقال داده می‌شود. نتایج نشان می‌دهد استفاده از هندسه پره‌های موج‌دار منجر به افزایش انتقال حرارت از روی سطح بالایی هیت سینک و در نتیجه کاهش دمای سطح پردازنده (تا دمای ۶۳ درجه سانتیگراد) می‌شود. همچنین استفاده از پره‌های مثلثی منجر به دمای ۱۴۹ درجه روی سطح پردازنده شده که این دما نامناسب بوده و می‌تواند باعث ایجاد آسیب در آن شود.

کلیدواژه‌ها پردازنده لپ تاپ، لوله حرارتی، هیت سینک، پره‌ها، خنک کاری.

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2025-02-19]

۱- مقدمه

گرما یکی از عوامل مهم در خرابی و کاهش عمر مفید قطعات الکترونیکی رایانه‌ها و لپ تاپ‌ها است. لذا همواره از سیستم‌های خنک کاری در رایانه‌ها و لپ تاپ‌ها استفاده می‌شود. در لپ تاپ‌ها با توجه به کم بودن فضای تجهیزات، سیستم‌های خنک کاری مدرن‌تری به منظور کاهش دمای قطعات، بکار گرفته می‌شود. در این دستگاه‌ها معمولا علاوه بر فن از لوله‌های حرارتی و لوله گرمابر (هیت سینک) دارای پره برای افزایش فرآیند خنک کاری استفاده می‌شود. در این مکانیزم گرما توسط سیال داخل لوله حرارتی از پردازنده (سی پی یو) به هیت سینک انتقال داده شده و جریان هوای عبوری از روی پره‌های هیت سینک، باعث انتقال گرمای ایجاد شده، به فضای بیرون لپ تاپ می‌شود. کاهش دمای پردازنده لپ تاپ‌ها (حتی به اندازه یک درجه سانتیگراد) تاثیر زیادی در افزایش عمر مفید آن دارد لذا تحقیقات زیادی بصورت تجربی و عددی بر فرآیند خنک کاری پردازنده لپ تاپ‌ها به منظور انتقال حرارت بهتر، انجام شده است که در ادامه به برخی آن‌ها اشاره می‌شود.

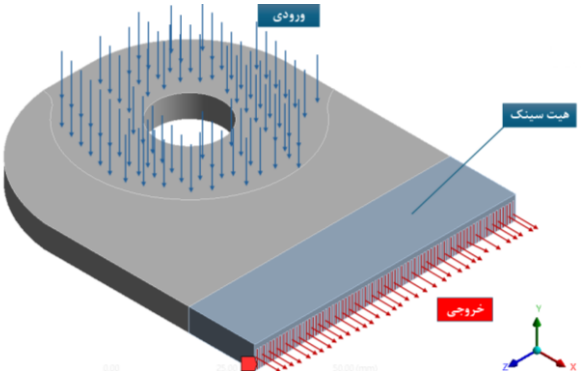
سلیمانی و احمدی [1] تاثیر فاصله بین پره‌ها و ارتفاع آن‌ها بر نرخ انتقال حرارت هیت سینک‌ها را مورد ارزیابی قرار دادند. آن‌ها از پره‌های نانوکربنی استفاده کردند و نشان دادند با افزایش فاصله بین پره‌ها و افزایش ارتفاع پره‌ها، راندمان حرارتی هیت سینک افزایش قابل ملاحظه‌ای می‌یابد. نیستانی و همکاران [2] به بررسی و مقایسه خنک کاری سی پی یو با استفاده از نانوسیال توسط هیت سینک مسی با دو آرایش عمودی و مورب پرداختند. آزمایش‌ها برای نانوسیال آلومینا / آب با دو درصد حجمی مختلف انجام شد. نتایج نشان داد استفاده از هیت سینک مورب موجب افزایش حداکثر ٦٢ درصدی انتقال حرارت نسبت به حالت عمودی می‌شود. احسانی و دومیری گنجی [3] به تحلیل انتقال حرارت در پره‌های سوراخ دار با سوراخ‌های دایره‌ای و مربعی در موقعیت‌های مختلف پره‌های هیت سینک پرداختند. نتایج نشان داد وجود سوراخ روی پره منجر به افزایش انتقال حرارت می‌شود. همچنین پره‌های با سه سوراخ دایره ای بیشتر از پره‌های سوراخ مربعی به افزایش نرخ انتقال حرارت کمک می‌کنند. ناظمی و اکرمیان [4] به بررسی انتقال حرارت در یک هیت سینک میکروکانالی با استفاده از نانو سیال آب/اکسید مس با غلظت‌های مختلف پرداختند. آن‌ها نشان دادند که افزایش ارتفاع پره‌های هیت سینک و افزایش فواصل بین آن‌ها در میکروکانال‌ها موجب افزایش انتقال حرارت می‌شود. نصرتی و همکاران [5] عملکرد حرارتی یک هیت سینک ابداعی (هیت سینک سوزنی فوم دار یا هیبریدی) مورد مطالعه قرار دادند. نتایج نشان داد که انتقال حرارت در هیت سینک هیبریدی نسبت به هیت سینک سوزنی بیش از سه برابر است. همچنین اختلاف دمای بین پایه و نوک فین در هیت سینک هیبرید ۲۰ درجه کلوین و این اختلاف برای هیت سینک سوزنی ۲ درجه کلوین است. الداغی و همکاران [6] بصورت تجربی تاثیر دور فن، دبی نانوسیال و استفاده از مواد تغییر دهنده فاز را بر روی عملکرد حرارتی هیت سینک‌ها بررسی کردند. نتایج حاکی از آن بود که، افزودن وجود نانوسیال باعث بهبود خنک کاری می‌شود. همچنین افزودن ماده تغییر فاز دهنده به اندازه ۳۰ درصد حجم فضای هیت سینک 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. محمدزاده عباچی و همکاران [7] در یک مقاله مروری به بررسی روش‌های مختلف بهینه سازی و افزایش راندمان هیت سینک‌ها بر ذخیره سازی انرژی حرارتی پرداختند. میرزایی زرینکلایی و همکاران [8] بصورت عددی به بررسی عملکرد انتقال حرارتی و هیدرولیکی یک میکرو هیت سینک حاوی موانع لوزی شکل پرداختند. آن‌ها تاثیر عدد رینولدز جریان و همچنین نسبت منظر، ارتفاع و تعداد موانع را روی عملکرد انتقال حرارتی و هیدرولیکی میکرو هیت سینک مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج نشان داد افزایش نسبت قطر بزرگ به قطر کوچک مانع لوزی شکل تاثیر قابل ملاحظه‌ای روی بهبود انتقال حرارت و همچنین ضریب اصطکاک ندارد. اما افزایش ارتفاع موانع و افزایش تعداد موانع باعث افزایش عدد ناسلت و در نتیجه افزایش انتقال حرارت می‌شود. پورنوروز قادی و پولایی موزیرچی [9] بصورت عددی به بررسی تاثیر آرایش و هندسه پره‌های هیت سینک بر راندمان حرارتی آن پرداختند. سه هندسه با مقاطع مثلثی، دایره‌ای و عاجدار در اندازه‌های مختلف توسط آن‌ها مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان داد هندسه با مقطع دایره‌ای نرخ انتقال حرارت بیشتری را ایجاد می‌کند. همچنین با افزایش تعداد پره‌ها و کاهش فاصله بین پره‌ها دما کاهش می‌یابد. حسینی پاکدامن و همکاران [10] انتقال حرارت در هیت سینک های حاوی نانوسیال آب- اکسید آلومینیوم را شبیه سازی کردند. آن‌ها برای بررسی تاثیر رژیم جریان بر نرخ انتقال حرارت، از اعداد بی بعد رینولدز و ناسلت استفاده نمودند. نتایج نشان داد با افزایش عدد رینولدز، مقدار ضریب انتقال حرارت جابه جایی در هیت سینک افزایش می‌یابد و با افزیش ضریب تخلخل، عدد ناسلت کاهش پیدا می‌کند.

در این پژوهش تاثیر هندسه پره‌های هیت سینک بر میزان عملکرد حرارتی آن مورد بررسی قرار می‌گیرد. برای ارزیابی عملکرد هیت سینک، فرآیند خنک کاری در محیط نرم افزار انسیس فلوئنت شبیه سازی می‌شود. جنس پره‌ها آلومینیم فرض شده و جریان هوای عبوری از روی آن‌ها بصورت پایدار و آشفته لحاظ می‌گردد. شش هندسه پره‌های مستطیلی، مثلثی، موج‌دار، مستطیلی سوراخ‌دار، مستطیلی پین‌دار و مستطیلی با زائده مورد ارزیابی قرار می‌گیرد.

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2025-02-19]

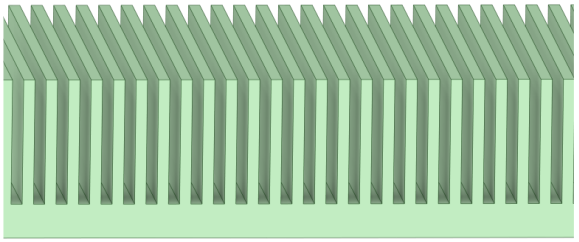
۲- مدل‌سازی هندسی

در این تحقیق، انتقال حرارت در هیت‌سینک شبیه سازی و مورد ارزیابی قرار گرفته است. برای شبیه‌سازی ابتدا هندسه مورد نظر در نرم افزار اسپیس کلیم مدل‌سازی شده و فضای محاسباتی مشخص می‌شود. هندسه شامل فضای عبور جریان هوا توسط فن از روی پره‌های هیت سینک است. ورودی جریان هوا از حلقه‌ای با قطر داخلی ۲۰ میلی‌متر و قطر خارجی ۶۰ میلی‌متر تشکیل شده است. هوا پس از ورود، از روی هیت‌سینکی با ابعاد ارتفاع ۷ میلی‌متر، عرض ۲۰ میلی‌متر و طول ۷۹/۵ میلی‌متر عبور کرده و از قسمت خروجی خارج می‌شود. در شکل ۱ فضای محاسباتی که شامل سیال و هیت‌سینک است، نشان داده شده است.

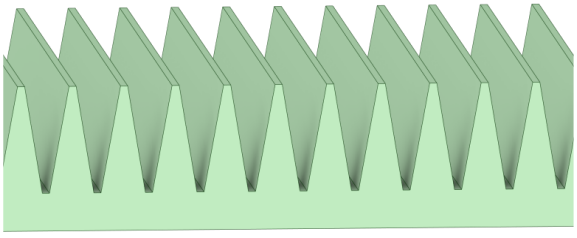


شکل ۱) فضای محاسباتی و شرایط مرزی تحلیل مسئله

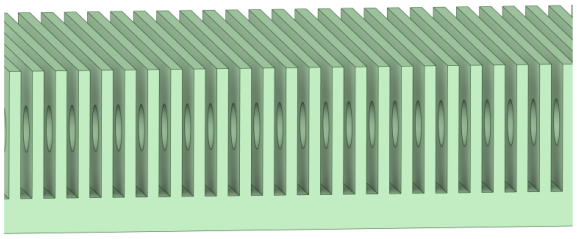
در شکل ۲ شش هندسه مورد نظر برای پره‌های هیت سینک نشان داده شده است. این هندسه‌ها شامل پره‌های مستطیلی، مثلثی، موج‌دار، مستطیلی سوراخ‌دار، مستطیلی پین‌دار و مستطیلی با زائده می‌باشند.



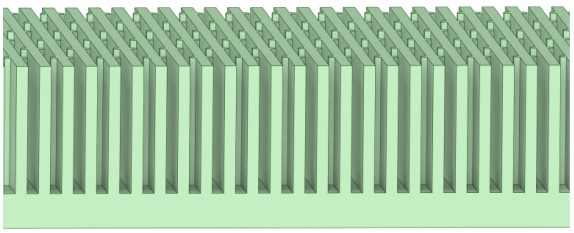
(الف)



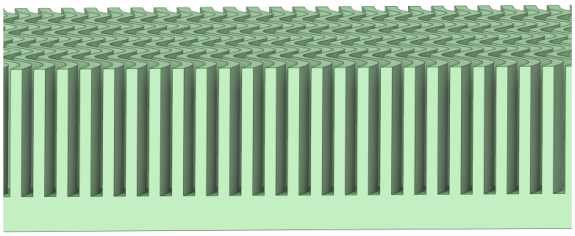
(ب)



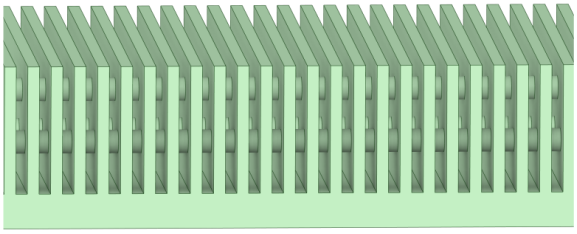
(ج)



(د)



(ه)



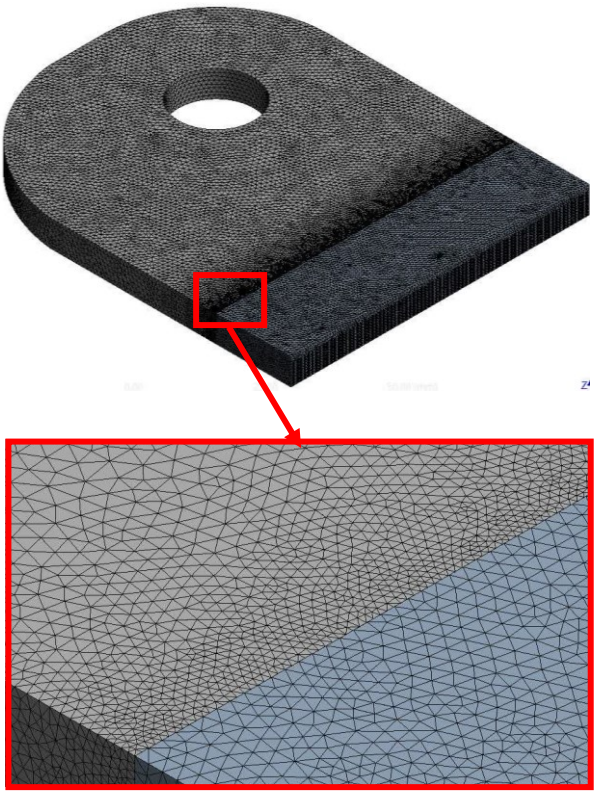
(و)

شکل ۲) نمای نزدیک هندسه پره‌های هیت سینک (الف) مستطیلی (ب) مثلثی (ج) مستطیلی سوراخ‌دار (د) مستطیلی با زائده (ه) موج‌دار (و) مستطیلی پین‌دار

۳- تولید شبکه محاسباتی

پس از ایجاد فضای محاسباتی، نیاز به ایجاد شبکه مناسب است. در این بخش، با استفاده از نرم‌افزار انسیس مشینگ شبکه محاسباتی تولید شده است. به دلیل پیچیدگی هندسه، شبکه ایجاد شده از نوع بی‌سازمان و چهاروجهی انتخاب شده و اندازه کلی المان‌ها ۱ میلی‌متر در نظر گرفته شده است. اما در فاصله بین پره‌ها، به دلیل وجود گرادیان بالای دما، فشار و سرعت، لازم بود که اندازه المان‌ها کاهش یابد؛ لذا در این ناحیه، اندازه المان‌ها به ۰/۳ میلی‌متر تنظیم شده است. در شکل ۳ نمای کلی و نمای نزدیک شبکه ایجاد شده نشان داده شده است.

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2025-02-19]



شکل ۳) نمای کلی و نمای نزدیک شبکه ایجاد شده در فضای محاسباتی

برای بررسی کیفیت شبکه، سه معیار نسبت منظری (Aspect Ratio)، میزان خوابیدگی (Skewness) و کیفیت تعامد (Orthogonal Quality) بررسی شده است. مقادیر نهایی معیارهای مذکور برای هندسه مورد بررسی به ترتیب برابر با ۱/۸۶۰۸، ۰/۷۶۸۰۲ و ۰/۲۳۰۳۵ می‌باشد که نشان دهنده کیفیت مناسب شبکه تولید شده است. همچنین برای اطمینان از کیفیت شبکه، عدم وابستگی نتایج به شبکه بررسی می‌شود. برای این منظور تحلیل در چند مرحله با افزایش تعداد المان‌ها انجام شد که نتایج آن در جدول ۱ آورده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود، با تغییر تعداد المان‌ها از ۲۲۵۰۶۹۷ به ۲۵۶۰۶۰۲ تغییری قابل توجهی در دمای سطح پردازنده رخ نداد، لذا شبکه ۲ بعنوان شبکه نهایی انتخاب می‌شود.

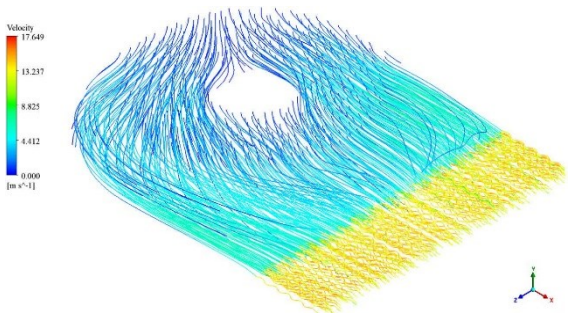
جدول ۱) نتایج بررسی عدم وابستگی نتایج تحلیل به شبکه ایجاد شده

	تعداد المان‌های شبکه	دمای سطح پردازنده
شبکه ۱	۲۰۴۰۷۱۲	۶۶/۰۹۵۱
شبکه ۲	۲۲۵۰۶۹۷	۶۶/۰۸۹۲
شبکه ۳	۲۵۶۰۶۰۲	۶۶/۰۸۹۵

۴- شبیه‌سازی فرآیند خنک کاری

در این پژوهش تاثیر هندسه پره‌های هیت سینک بر دمای سطح بالایی هیت سینک که دریافت کننده گرمای پردازنده است، بررسی می‌شود. جریان سیال به صورت سه‌بعدی، پایا، تراکم‌ناپذیر و آشفته، همراه با انتقال حرارت مورد مطالعه قرار گرفته است. سیال در نظر گرفته شده به صورت تک‌فاز است و خواص ترمودینامیکی هوا و هیت‌سینک آلومینیومی به‌طور ثابت فرض شده‌اند تا پیچیدگی مدل کاهش یافته و محاسبات با دقت بیشتری انجام شوند. هوای ورودی با سرعت ۱ متر بر ثانیه و دمای ۲۵ درجه سلسیوس وارد سیستم می‌شود که شرایط محیطی واقعی را شبیه‌سازی می‌کند. حرارت تولید شده توسط پردازنده، به میزان ۷۰ کیلووات بر متر مربع، از طریق یک هیت‌پایپ به سطح بالایی هیت‌سینک منتقل می‌شود. تمام دیواره‌های بیرونی، به جز سطح بالایی هیت‌سینک، به عنوان عایق حرارتی در نظر گرفته شده‌اند تا از اتلاف انرژی جلوگیری شود و انتقال حرارت به طور متمرکز در هیت‌سینک انجام گیرد.

برای حل عددی از نرم‌افزار تجاری انسیس فلوئنت استفاده شده است. در این راستا، روش سیمپل (SIMPLE) برای کوپل فشار و سرعت به‌کار گرفته شده است، که به دلیل همگرایی و پایداری بالا در شبیه‌سازی جریان‌های آشفته و پیچیده، از جمله روش‌های متداول و کارآمد محسوب می‌شود. همچنین، از حل‌گر مبتنی بر فشار برای انجام محاسبات استفاده شده و مدل آشفتگی کا-اپسیلون (k-epsilon- RNG) به‌عنوان مدل توربولانسی انتخاب شده است. این مدل به‌ویژه در شبیه‌سازی جریان‌های آشفته با ویژگی‌های پیچیده مانند گردابه‌ها و تغییرات تندی که در نواحی نزدیک به هیت‌سینک رخ می‌دهد، عملکرد بسیار خوبی دارد. به این ترتیب، توزیع دما و رفتار جریان سیال در طول سیستم با دقت بالایی تحلیل و بررسی می‌شود که می‌تواند به‌عنوان مبنایی برای بهینه‌سازی سیستم خنک‌کننده پردازنده مورد استفاده قرار گیرد. در شکل ۴ بردار سرعت جریان هوا در فضای محاسباتی نشان داده شده است. سرعت هوا در ورودی ۱ متر برثانیه بوده و در نواحی بین پره‌ها تا ۱۷ متر بر ثانیه افزایش می‌یابد.



شکل ۴) بردار سرعت جریان هوا در فضای محاسباتی

۵- نتایج

در ادامه به بررسی تاثیر شش هندسه مختلف برای پره‌های هیت سینک، بر دمای سطح بالایی آن پرداخته شده است. در جدول ۲

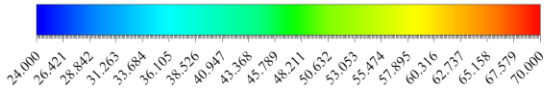
[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2025-02-19]

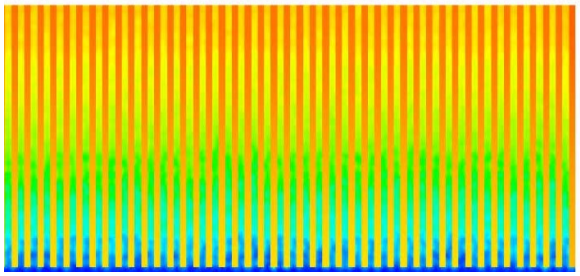
مساحت سطح رویه پره‌ها آورده شده است که این مساحت پارامتر تاثیر گذاری بر نرخ انتقال حرارت و دمای سطح خواهد بود. از طرفی نتایج نشان می‌دهد سرعت سیال در نواحی بین پره‌ها بشدت افزایش می‌یابد و این افزایش سرعت تأثیر مستقیمی بر نرخ انتقال حرارت دارد. با توجه به بررسی شش هندسه مختلف، سرعت سیال در بین پره‌ها بسته به نوع هندسه متفاوت است و اثرات این تفاوت‌ها در دمای سطح بالایی هیت سینک ارائه شده در جدول ۲ و کانتورهای دمایی ارائه شده در شکل ۵ به‌خوبی قابل مشاهده است.

جدول ۲) دما و مساحت تماس در هندسه های متفاوت

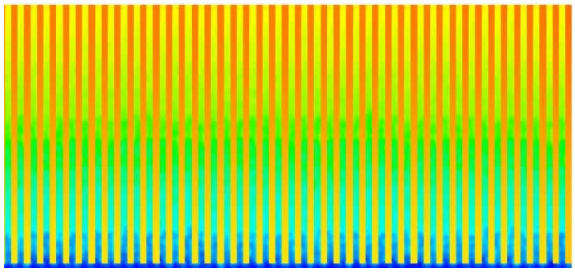
هندسه پره‌ها	دما سطح پردازنده (^oC)	مساحت سطح پره‌ها (m^2)
مستطیلی	٦٦/٠٩	٠/٠١٨٥٠٩٣
مثلثی	١٤٩/٧٥	٠/٠٠٧٢٥٢٤
مستطیلی سوراخ‌دار	٦٧/٧٢	٠/٠١٧٣١٧١
مستطیلی با زائده	٦٤/٠٩	٠/٠١٩٢١٠٥
موج‌دار	٦٣/٨٦	٠/٠٢٠٥٥٢٩
مستطیلی پین‌دار	٦٥/٧٦	٠/٠١٨٥٢٤٣

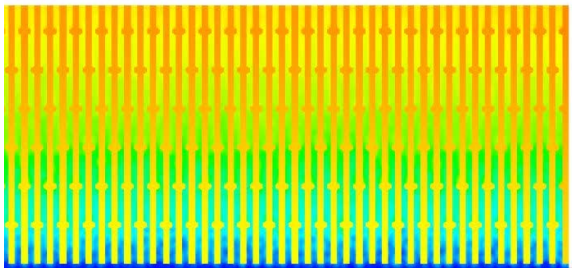
نتایج نشان می‌دهد، پره‌های موج‌دار سینوسی به دلیل افزایش سطح تماس و توربولانسی به واسطه هندسه خاص و تغییرات متناوب سرعت در طول مسیر، بالاترین میزان انتقال حرارت را در میان شش هندسه مختلف دارد. این امر موجب می‌شود دمای پردازنده در محدوده مطلوب باقی بماند. افزون بر این، در هندسه مستطیلی با زائده، به دلیل جدایش جریان ناشی از زائده‌ها و افزایش توربولانسی، انتقال حرارت نیز در سطح مطلوبی قرار دارد. اما، همان‌گونه که مشخص است، استفاده از پره‌های مستطیلی سوراخ‌دار به دلیل کاهش سطح مقطع و عدم تأثیر معنادار بر سرعت و توربولانسی جریان، تأثیر قابل توجهی بر افزایش انتقال حرارت نداشته است. پره‌های مستطیلی پین‌دار، با وجود اینکه سطح تماس را افزایش می‌دهند، تأثیر مثبتی بر بهبود انتقال حرارت نداشته‌اند. اما ضعیف‌ترین عملکرد مربوط به پره‌های مثلثی است، چرا که این نوع هندسه کمترین سطح تماس و کمترین سرعت سیال را در بین پره‌ها ایجاد می‌کند، که در نتیجه باعث افزایش دمای پردازنده تا ۱۴۹ درجه سلسیوس می‌شود، دمایی که به هیچ‌وجه مطلوب نیست و نشان‌دهنده ناکارآمدی این طراحی می‌باشد.

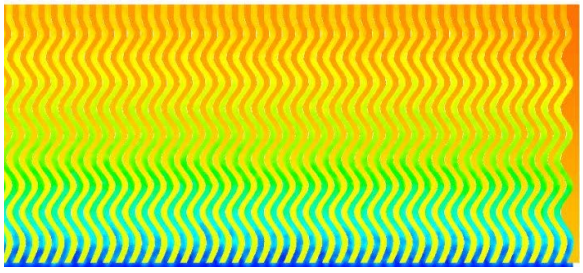


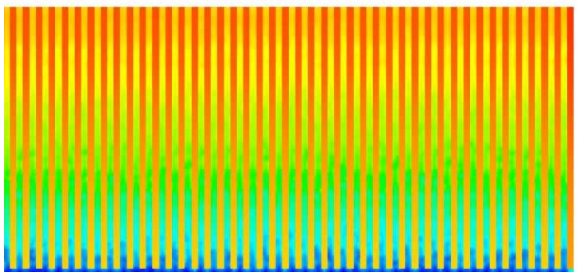

(الف)

(ب)


(ج)


(د)


(ه)


(و)

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2025-02-19]

شکل ۵) توزیع دما بر روی سطح تماس پردازنده پره‌های هیت سینک (الف) مستطیلی (ب) مثلثی (ج) مستطیلی سوراخ‌دار (د) مستطیلی با زائده (ه) موج‌دار (و) مستطیلی پین‌دار

۶- نتیجه گیری

در این پژوهش تاثیر هندسه پره‌های هیت سینک بر میزان خنک کاری پردازنده لپ تاپ بررسی شد. شش هندسه مستطیلی، مثلثی، موج‌دار، مستطیلی سوراخ‌دار، مستطیلی پین‌دار و مستطیلی با زائده برای پره‌های هیت سینک مورد ارزیابی قرار گرفت که دمای سطح بالایی هیت سینک در شرایط استفاده از این پره‌ها به ترتیب ٦٦/٠٩، ١٤٩/٧٥، ٦٣/٨٦، ٦٧/٧٢، ٦٥/٧٦، و ٦٤/٠٩ درجه سانتیگراد بدست آمد. همان‌طور که مشاهده می‌شود هندسه موجدار در مقایسه با سایر هندسه‌های طراحی‌شده بهترین عملکرد را برای خنک کاری سطح بالایی هیت سینک دارد. به این ترتیب، با افزایش طول مسیر حرکت سیال، سطح تماس و توربولانس جریان، انتقال حرارت نیز به شکل قابل‌توجهی افزایش یافته است. این ویژگی در سایر هندسه ها به این اندازه مشاهده نشده و تاثیر مشابهی بر انتقال حرارت نداشته‌اند. هندسه مثلثی نیز نامناسب‌ترین هندسه برای خنک کاری پردازنده لپ تاپ است.

تاییدیه اخلاقی : محتویات علمی این مقاله حاصل پژوهش نویسندگان است و در هیچ نشریه ایرانی و غیر ایرانی منتشر نشده است.

تعارض منافع: در این مقاله هیچ تعارض منافعی برای اظهار وجود ندارد.

منابع مالی: منابع مالی این پژوهش توسط مجتمع آموزش عالی فنی و مهندسی اسفراین تامین شده است.

مراجع

1- Soleimani A, Ahmadi A. Numerical Simulation of Heat Transfer in Micro Heat Sink and Investigation of its Geometric Parameters on Heat Transfer. 4th National and 2nd International Conference on Applied Research in Electrical, Mechanical and Mechatronic Engineering. 2016. (In Persian)

2- Neyestani M, Nazari M, Shah Mardan MH, Ashouri M. Comparison of Thermal Performance of Nanofluid in CPU Cooling with Vertical and Diagonal Heatsink Arrangement (Laboratory Study). 25th Annual Conference on Mechanical Engineering. 2017. (In Persian)

3- Ehsani HA, Domiri Ganji D. Analysis and Investigation of Fluid Flow Passing through Perforated Pinfins. 4th National Conference on Applied Research in Electrical Engineering, Mechanical, Computer and Information Technology. 2018. (In Persian)

4- Nazemi AR, Akramiyan K. A Numerical Study of Heat Transfer in a Rectangular Microchannel with Copper Oxide Water Nanofluid. 3rd National Conference on Electrical, Computer and Mechanical Engineering Science and Technology of Iran. 2019. (In Persian)

5- Nosrati A, Paknejad M, Honarbari S. Numerical Analysis of the Thermal Performance of a Needle Heatsink with Aluminum Metal Foam Coating (Hybrid Heatsink). The 1st National Conference on Applied Research in Water and Power Industry. 2020. (In Persian)

6- Al-Daghi AR, Pasandeh Fard M, Sardarabadi M. Experimental Investigation of the Effect of Fan Cycle, Carbon Nanofluid and Phase-Changing Materials on Cooling of New Generation Heatsink Fast Processing Systems. 29th Annual International Conference of Iranian Society of Mechanical Engineers and 8th Conference on Thermal Power Plant Industry. 2021. (In Persian)

7- Mohammadzadeh Abachi K, Ahmadi Levi Darab M, Akbarzadeh AR. A Review on Improving the Thermal Performance of Heat Sinks. 2nd National Conference on Green Waste Management. 2022. (In Persian)

8- Mirzaei Zarrinkalay AM, Derakhshan R, Ramyar A. Simulation of Heat Transfer in a Micro-Heatsink Containing Rhombus-Shaped Barriers and Investigation of Its Geometric Parameters. 20th Conference on Fluid Dynamics. 2023. (In Persian)

9- Pournorouzghadi AR, Polaei Mozirji Z. Numerical Simulation of Heat Transfer and Investigation of the Effect of Flow Direction and Cross-Section in Blade-Plane Heat Exchangers. 7th International Conference on Global Studies in Computer, Electrical and Mechanical Engineering. 2023. (In Persian)

10- Hosseini Pakdaman SS, Pourgiri MS, Ahmadi S. Numerical Similarity of Heat Transfer in Heat Sinks with Alumina Nanofluid Flow. 7th International Conference on Interdisciplinary Studies in Nanotechnology. 2023. (In Persian)

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2025-02-19]