



بررسی خنک کاری اجزای داخل محفظه رایانه با شبیه سازی عددی جریان هوای داخل آن

محمد صالحی^{۱*}، علی میرمحمدی^۲

۱- دانشجو، مکانیک سیالات، دانشگاه تربیت دبیر شهید رجائی، تهران
۲- استادیار، مهندسی مکانیک، دانشگاه تربیت دبیر شهید رجائی، تهران
مشهد، صندوق پستی ۹۱۸۸۱۶۴۵۸۶، msalehi2909@gmail.com

چکیده

در این مقاله، تحلیل جریان سیال هوای داخل یک محفظه رایانه رومیزی با شبیه سازی دینامیک سیالات محاسباتی انجام شده است. هدف بررسی فرایند خنک کاری واحد پردازش مرکزی (CPU) با توان های حرارتی ۸۰ و ۱۳۰ وات است. جریان هوای داخل محفظه رایانه که از مدل microATX انتخاب شده است از اجزای اصلی تولید کننده گرما مانند CPU، هارد دیسک درایو، سی دی درایو، فلاپی درایو، مموری کارت و پاور ساپلای یونیت تشکیل شده است؛ با توجه به میزان توان حرارتی تولیدی CPU با توان های ۸۰ و ۱۳۰ وات، از دو هندسه متفاوت برای گرماگیر (Heat sink) مستقیم و شعاعی استفاده شده است. ابتدا استقلال از شبکه محاسباتی و اعتبارسنجی حل انجام شد و پس از اطمینان از درستی حل عددی نتایج حل تحلیل شد. نتایج شبیه سازی نشان داد: تغییرات دمای پردازنده و سایر اجزاء نسبت خطی با افزایش توان حرارتی پردازنده (CPU) دارد. همچنین دمای هوای محیط تأثیر بسزایی در بیشینه دمای پردازنده دارد.

کلیدواژگان

دینامیک سیالات محاسباتی، خنک کاری پردازنده، شبیه سازی محفظه رایانه، گرماگیر

CFD SIMULATIONS OF THERMAL AND FLOW FIELDS INSIDE A DESKTOP PERSONAL COMPUTER CABIN

Mohammad Salehi¹, Ali Mirmohammadi²

1- Department of Mechanical Engineering, Shahid Rajaee Teacher Training University, Tehran, Iran.
2- Department of Mechanical Engineering, Shahid Rajaee Teacher Training University, Tehran, Iran
*P.O.B. 9188164586 Mashhad, Iran, msalehi2909@gmail.com

Abstract

In this paper, air flow analysis inside a desktop computer case is performed by simulating computational fluid dynamics. The purpose is to investigate the cooling process of the central processing unit (CPU) with thermal capacities of 80 and 130 watts. The airflow inside the computer enclosure, selected from the microATX model, consists of the main components of heat production such as CPU, hard disk drive, CD drive, floppy drive, memory card and power supply unit; According to the amount of thermal power produced by the CPU with 80 and 130 watts of power, two different geometries have been used for direct and radial heat sink. First, the independence of the computational mesh and the validation of the solution were performed, and after ensuring the correctness of the numerical solution, the results of the solution were analyzed. The simulation results showed that changes in CPU temperature and other components linearly increased with increasing CPU heat output. Also, the ambient air temperature has a significant effect on the maximum processor temperature.

Keywords

Computational fluid dynamics, CPU cooling, computer case simulation, heat sink

۱- مقدمه

واحد پردازش گرافیکی تأثیر مستقیم گذاشته و رفته رفته عملکرد سیستم بدتر می شود.

فارغ از این که پردازنده اینتل است یا ای ام دی، حداکثر حرارتی که سی پی یو می تواند تحمل کند بسته به مدل و نوع آن متفاوت خواهد بود. پردازنده های حال حاضر بازار به طور متوسط نباید بالای ۸۰ درجه ی سانتی گراد داغ شوند، و بهتر است حداکثر بین ۷۵ تا ۸۰ درجه کنترل شوند.

یکی از بهترین گزینه ها برای دفع مناسب این گرما استفاده از قطعاتی به نام گرماگیر است. مهم ترین ویژگی گرماگیر دفع گرما و خنک کنندگی است. گرماگیر قطعه ای فلزی با رسانایی گرمایی بالا است که بر روی قطعات الکتریکی یا الکترونیکی نصب می شود و گرما و حرارت تولید شده توسط قطعه را از طریق تبادل حرارتی با محیط اطرف و خنک کاری با هوا (در بعضی مدل ها آب) دفع می کند.

تحولات سریع در الکترونیک منجر به ریزپردازنده هایی با چگالی توان بالا شده است. این روند به دلیل افزایش فرکانس های کاری و اتلاف توان و کاهش اندازه محفظه های رایانه است، که سبب می شود فضای جریان هوایی که داخل سیستم گردش دارد محدودتر شود. بنابراین اهمیت مدیریت طراحی سیستم برای اطمینان از برآورده شدن الزامات طراحی حرارتی برای هر جزء، از جمله CPU، روز به روز افزایش می یابد. منظور از مدیریت طراحی حرارتی این است که اطمینان حاصل شود تمام اجزای سیستم در محدوده دمای عملکردی مجاز خود کار می کنند. داغ شدن بیش از حد رایانه سبب ایجاد خسارت به اجزای داخلی و تخریب عملکرد آن می شود و در آخر بازدهی و طول عمر سیستم روز به روز کاهش می یابد. در حقیقت ایجاد گرما در سیستم بر روی پردازنده و



۳- معادلات حاکم

معادلات سه بعدی، پایه، تراکم ناپذیر، جریان آشفته همراه با انتقال گرما از فرضیات مهم در محدوده سیستم هستند. سیالی هوا فرض شده است که مشخصات آن در کل دامنه محاسباتی ثابت فرض می شود. تاثیر تغییرات چگالی هوا در جهت عمودی با به کارگیری تقریب بوزینسک به حساب می آید، که تاثیر چگالی متغیر سیال در معادله مومنوم وارد می شود. باتوجه به فرضیات مذکور، معادلات حاکم بر پیوستگی، مومنوم و انرژی به شکل برداری به صورت معادلات زیر نوشته می شوند.

معادله پیوستگی:

$$\frac{\partial}{\partial x_i}(\rho \bar{u}_i) = 0 \quad (1)$$

معادله مومنوم:

$$\frac{\partial}{\partial x_i}(\rho \bar{u}_i \bar{u}_j) = -\frac{\partial \bar{p}}{\partial x_i} + \frac{\partial \tau_{ij}}{\partial x_j} + \rho g_i \quad (2)$$

که مولفه های تنش برشی با معادله (۳) داده می شوند.

$$\tau_{ij} = \left[\mu \left(\frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} + \frac{\partial \bar{u}_j}{\partial x_i} \right) \right] - \frac{2}{3} \mu \frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_i} \delta_{ij} \quad (3)$$

معادله انرژی:

$$\frac{\partial}{\partial x_i}(\rho \bar{u}_i h) = \frac{\partial}{\partial x_i}(k_{eff} \frac{\partial T}{\partial x_i}) + \sum_j h_j \bar{J}_j + S_h \quad (4)$$

برای مدل سازی آشفتگی نیز مدل معروف $\epsilon - k$ Realizable مورد استفاده قرار می گیرد. این مدل یک مدل نیمه تجربی مبتنی بر معادلات جابه جایی مدل برای انرژی جنبشی (k) آشفته و نرخ تلفاتش (ϵ) است. برای رفتار نزدیک دیواره از Non equilibrium wall functions استفاده می شود. دو معادله دیفرانسیلی که حاکم بر انتقال انرژی جنبشی اشفتگی (k) و نرخ تلفاتش (ϵ) هستند به این صورت استفاده شده اند:

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho k) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho k u_i) = \frac{\partial}{\partial x_i} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_i} \right] + G_k + G_b - \rho \epsilon \quad (5)$$

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho \epsilon) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho \epsilon u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\epsilon} \right) \frac{\partial \epsilon}{\partial x_j} \right] + C_{1\epsilon} \frac{\epsilon}{k} (G_k + G_{3\epsilon} G_b) - C_{2\epsilon} \rho \frac{\epsilon^2}{k} \quad (6)$$

G_K نشان دهنده تولید انرژی جنبشی آشفتگی با گرادیان سرعت متوسط است و از معادله (۷) محاسبه می شود:

$$G_k = -\rho \bar{u}_i^* \bar{u}_j^* \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \quad (7)$$

G_b تولید انرژی جنبشی آشفته با نیروی شناوری است که از معادله (۸) محاسبه می شود:

$$G_k = \beta g_i \frac{\mu_t}{\rho \tau_i} \frac{\partial T}{\partial x_i} \quad (8)$$

گرانروی جریان آشفته، μ_t ، با استفاده از k و ϵ از معادله (۹) محاسبه می شود:

$$\mu_t = \rho C_\mu \frac{k^2}{\epsilon} \quad (9)$$

گرماگیرها در طرح ها، اندازه ها و جنس های مختلفی تولید می شوند. شکل ظاهری گرماگیر طوری طراحی شده است که دارای تعداد زیادی پره بلند است؛ گاهی حتی روی این پره ها نیز آج هایی می گذارند تا سطح تماس گرماگیر با هوا بیشتر شود. فاصله ی این پره ها، قطر و هندسه آن ها، در عملکرد تاثیر می گذارند.

تلاش های قبلی برای شبیه سازی فرایند خنک کاری سه بعدی محفظه رایانه های رومیزی را می توان در چندین نشریه یافت.

Chang, Yu, Webb از نرم افزار IcpakAnsys برای محاسبه و شبیه سازی حداقل سرعت جریان هوا و حداقل اندازه گرماگیر برای خنک کردن پردازنده مرکزی ۳۰ وات یک رایانه رومیزی با یک فن در منبع تغذیه (power supply unit) برای الگوی جریان هوا در کابین استفاده کردند [۱]. در سال ۲۰۰۱، Yu, Webb از IcpakAnsys برای دستیابی به یک راه مطلوب برای خنک کاری محفظه رایانه رومیزی استفاده کردند که در آن از پردازنده ۸۰ وات استفاده می شد [۲]. این طراحی بر اساس کل اتلاف انرژی کابین برابر ۳۱۳ وات بود که شامل اتلاف توان اجزای کابین مانند حافظه، تراشه، کارت های AGP و PCI و وسایل جانبی بود. این ایده با یک فن کابین و یک فن منبع تغذیه (power supply unit) می توانست محفظه دارای تجهیزات الکترونیکی را خنک کند.

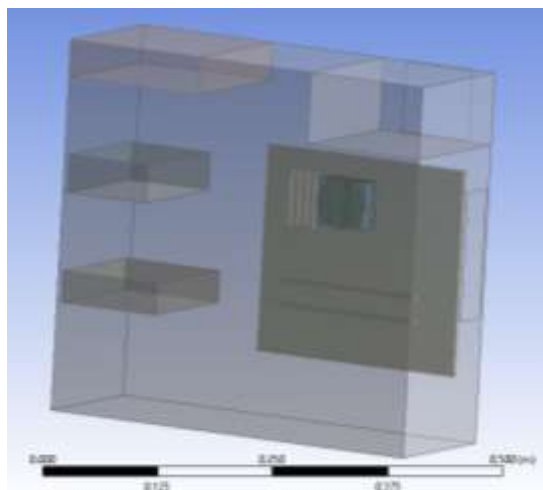
Hemanth, Balaji کاربرد دینامیک سیالات محاسباتی مجانبی (ACFD) را برای شبیه سازی حرارتی سیستم استفاده کردند [۳]. سیستم رایانه ای که آنها در نظر گرفتند از یک پردازنده ۸۰ وات پنتیوم ۴ و کلیه اجزای اصلی تولید کننده گرما تشکیل شده است. نتایج حاصل از شبیه سازی ها با رویکرد ACFD، برای دمای پردازنده از نظر پارامترهای مورد علاقه مهندسی مانند ابعاد تجهیزات، بازه رینولدز جریان و مقدار حجمی تولید گرما در تراشه مورد استفاده قرار گرفت.

M. Anandakrishnan, C. Balaji با کمک دینامیک سیالات محاسباتی هوای داخل یک محفظه رایانه را با دو پردازنده با توان های حرارتی ۸۰ و ۱۳۰ وات برای دو نوع گرماگیر بررسی نمودند و توانستند گرماگیر مناسب برای هر پردازنده به منظور کنترل دمای پردازنده در محدوده مجاز خود، بدست آورند [۴].

در این مقاله با استفاده از حل عددی جریان داخل محفظه رایانه تاثیر کاهش هزینه محاسباتی و همچنین افزایش دقت در نتایج بدست آمده مطالعه و اثر پارامترهای مختلف بر دمای اجزای داخلی محفظه رایانه بررسی می شود.

۲- بیان مساله

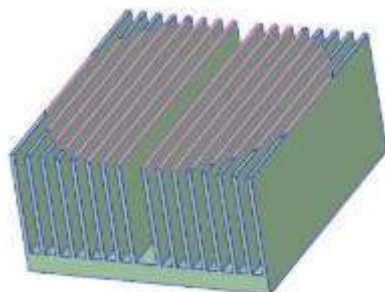
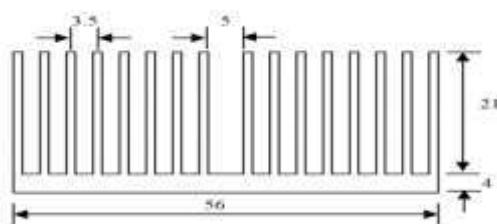
یک رایانه رومیزی دارای اتاقک میکرو ATX شبیه سازی می شود. عبارت اتاقک میکرو ATX یعنی اتاقکی که از مادربرد پشتیبانی می کند و با مشخصات رابط مادربرد میکرو ATX همخوانی دارد. شبیه سازی های cfd از سیستم رایانه رومیزی با دو نوع گرماگیر انجام می شوند. یکی گرماگیر مستقیم عمودیست که برای خنک کردن پردازنده پنتیوم 80 وات استفاده می شود. دومی یک گرماگیر شعاعی دارای پردازنده دو هسته ای ۱۸۰ وات است. مقادیر اتلاف گرمای مذکور بیشترین مقدار طراحی دمایی آن ها است که بر روی کاتالوگ آن ها نوشته شده است.



شکل ۲ شماتیک هندسه محفظه رایانه رومیزی

یک گرماگیر عمودی مستقیم دارای مشخصات محصول (کمپانی تجهیزات ترموفل [۱۵]) با ۱۶ پره با قطر 1mm و گام 3.5mm و پایه پره 4mm برای افزایش تبادل حرارت از پردازنده ۸۰ واتی مورد استفاده قرار می‌گیرد. شماتیکی از هندسه‌ی گرماگیر در شکل ۳ نشان داده شده است.

گرماگیر شعاعی همانطور که در شکل ۴ نشان داده شده، از ۳۶ پره شعاعی توکاری شده با ضخامت 1.5mm و ارتفاع 21mm تشکیل شده است. پایه‌ی پره دارای شعاع 90mm و ضخامت 4mm است. فرض شده که هر دو نوع گرماگیرها از آلومینیوم ساخته شده‌اند و مشخصات مواد بر این اساس انتخاب شده‌اند. انتقال حرارت تابشی از سینک در مدل عددی جاری ناچیز در نظر گرفته شده است.



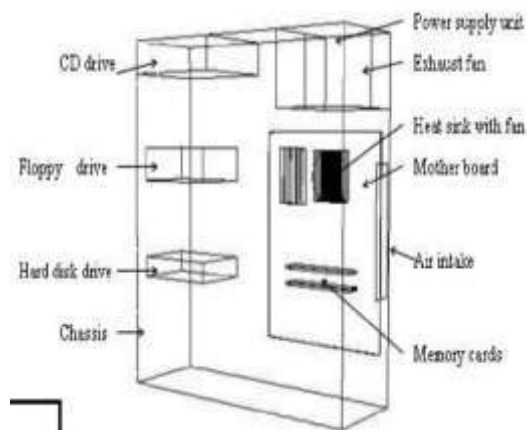
شکل ۳ شماتیک هندسه گرماگیر مستقیم

ثابت‌های $C_{1\varepsilon}$ و $C_{2\varepsilon}$ استفاده شده در معادله‌های فوق، دارای مقادیر $C_{1\varepsilon}=1.44$ و $C_{2\varepsilon}=1.92$ هستند. مقدار $C_{3\varepsilon}$ نیز با استفاده از عبارت $C_{3\varepsilon}=\tanh|v/u|$ تعیین می‌شود.

اعداد پرنتل آشفته برای k و ε به ترتیب با مقادیر $\sigma_k = 1.0$, $\sigma_\varepsilon = 1.3$ جایگذاری شده‌اند.

۴- مدل‌سازی

هندسه رایانه رومیزی مدل‌سازی شده در شکل‌های ۱ و ۲ نشان داده شده است. در این بررسی، اتاقک رایانه رومیزی به همراه اجزای بزرگ و اصلی آن مدل شده‌اند. گردش هوا در اتاقک با استفاده از دو فن انجام شده است. یک فن مستقیماً روی گرماگیر نصب شده و به طور کامل به خنک‌کاری پردازنده اختصاص داده شده است. دیگری یک فن اگزاست است که آن هم برای خنک‌کاری واحد تامین قدرت (power supply unit) استفاده شده است. تمام اجزای اتاقک شکل ساده شده‌ی اجزای واقعی هستند که هندسه آن با نرم‌افزار انسیس-ورک بنچ (space claim) ایجاد شده و شبکه‌بندی آن توسط محیط تولید شبکه نرم‌افزار فلوئنت (fluent meshing) صورت گرفته است.



شکل ۱ شماتیک هندسه محفظه رایانه رومیزی

ابعاد اتاقک و دیگر اجزای آن از یک اتاقک رایانه رومیزی استاندارد استفاده شده‌اند. اتاقک سیستم یک محفظه‌ی آلومینیومی مستطیل شکل به ارتفاع 450mm، طول 450mm و عرض 150mm است.

قسمت‌های بالایی، کناری و زیرین اتاقک، مرزها آدیاباتیکی به حساب می‌آیند که بدترین حالت ممکن را نشان می‌دهند. ضخامت محفظه ناچیز در نظر گرفته می‌شود. درایورهای هارد دیسک، فلاپی و سی دی و کارت‌های حافظه به عنوان منبع تولید حرارت با تولید گرمای حجمی یکنواخت در درونشان مدل شده‌اند. هیچ تولید گرمایی از سمت مادربرد و کارت اسلات‌ها در نظر گرفته نشده است، اگرچه جریان هوای داخل اتاقک محدودیت‌هایی را تحمیل می‌کند. هوای ورودی به صورت جریان فن ورودی با یک ضریب اتلاف مشخص مدل شده است. از آنجایی که یک صفحه‌ی سوراخ‌دار درون فن جریان قرار گرفته، افت فشار در طول فن باید در نظر گرفته شود. فرض شده که این افت فشار در فن متناسب با هد دینامیکی سیال است، البته با یک ضریب اتلاف که بصورت تجربی مشخص شده است. افت فشار در فن با مولفه نرمال سرعت به صورت معادله (۱۰) تغییر می‌کند.

$$\Delta P = \frac{1}{2} K_L \rho v^2 \quad (10)$$

که در آن K_L ضریب اتلاف بدون واحد است و در این مقاله مقدار آن با توجه به داده‌ی استخراج شده از *Idelchik(1986)* مقدار ۱.۳ در نظر گرفته شده است [۶]. شدت آشفتگی در ورودی ۵٪ تعیین شده که در واقع مقدار معمول پایینی برای سطح شدت آشفتگی در چنین کاربری‌هایی است. میزان چگالی هوا در دمای ورودی یعنی ۲۷ درجه سانتی‌گراد از جداول ترمودینامیکی محاسبه شده است، همچنین سرعت هوای ورودی برابر ۲.۵ متر بر ثانیه در نظر گرفته شده است.

ورودی به قسمت پاور به صورت پرش متخلخل مدل شده که سیال واسط متخلخل را یک "غشاء" نازک توصیف می‌کند. شرط مرزی پرش متخلخل (*Porous Jump*) برای شبیه‌سازی پوسته‌های نازک که در آن سرعت و افت فشار مشخص است، به کار گرفته می‌شود. در واقع این شرط مرزی، نمونه ساده شده و یک بعدی ناحیه متخلخل به صورت معادله (۱۱) است.

$$\Delta P = - \left(\frac{\mu}{\alpha} v + C_2 \frac{1}{2} \rho v^2 \right) \Delta m \quad (11)$$

که μ لزجت سیال آرام، α نفوذپذیری ناحیه متخلخل، C_2 ضریب پرش فشار، m سرعت عمود بر سطح متخلخل و Δm ضخامت ناحیه متخلخل است.

در این تحلیل طبق نتایج محاسبات تجربی، مقادیر زیر برای ضرایب شرط مرزی پرش متخلخل در نرم‌افزار استفاده شده است:

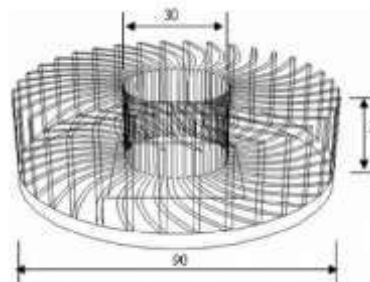
مقدار نفوذپذیری (Face Permeability)=10000000000

ضخامت ناحیه متخلخل (Porous Medium Thickness)=0.04

ضریب پرش فشار (Pressure Jump Coefficient)=20

مقدار مقاومت حرارتی (Thermal Contact Resistance)=0.1

فن گرماگیر به عنوان یک فن داخلی با منحنی عملکرد مشخص مدل شده است. منحنی تجربی فن که بر روابط بین فشار و دبی برای یک فن حاکم است،



شکل ۴ شماتیک هندسه گرماگیر شعاعی

مساحت پردازنده (CPU) $37 \times 37 \text{ mm}^2$ است و به صفحه‌ی پایه متصل شده است. در سیستم واقعی، پردازنده با یک گیره‌ی فولادی به گرماگیر متصل شده است. گرچه گیره در مدل عددی آورده نشده، چون انتظار نمی‌رود در نتایج محاسباتی تغییری ایجاد کند. فن گرماگیر یک فن داخلی مدور با قطر 60mm با منحنی عملکرد فن مشخص است. اندازه فن اگزاست $85 \text{ mm} \times 85 \text{ mm}$ است.

جدول ۱ ابعاد اجزای داخل محفظه رایانه

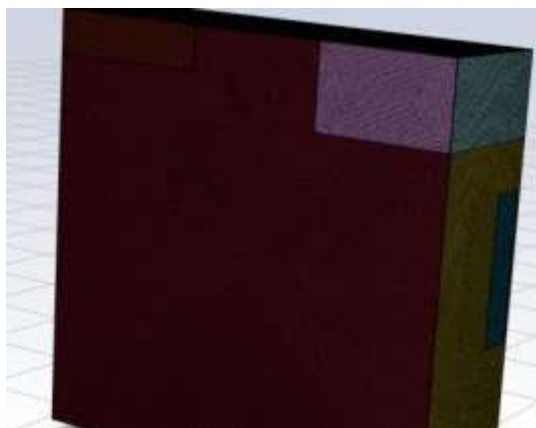
نام جزء داخل محفظه رایانه	ارتفاع × عرض × طول (mm)
سی دی درایو	$165.78 \times 150 \times 45.72$
فلاپی درایو	$100 \times 130 \times 45.72$
هارد دیسک درایو	$120 \times 130 \times 38.1$
پاور ساپلای یونیت	$142.1 \times 150 \times 87.5$
سی پی یو	$37 \times 3 \times 37$
مموری کارت‌های ۱ و ۲	$175 \times 5 \times 3$
مادربرد	$250 \times 3 \times 250$

همانطور که در جدول ۲ نشان داده شده است، مولفه‌های منبع گرما طوری مدل شده‌اند که به طور یکنواخت مقدار مشخصی گرما درون محفظه تولید می‌کنند. از آنجایی که واحد تامین قدرت (*power supply unit*) پایین پردازنده قرار گرفته است، فرض شده که اتلاف گرما درون این جز از سیستم تاثیر ناچیزی بر روی دمای CPU دارد. لذا در مدل عددی، اتلاف گرما درون محفظه تامین قدرت (*power supply unit*) در نظر گرفته نمی‌شود، بلکه بیشتر به صورت مقاومت سیالی مدل می‌شود.

جدول ۲ میزان اتلاف حرارتی اجزای محفظه رایانه

نام جز داخل محفظه رایانه	میزان اتلاف حرارتی (وات)
CPU	80,130
HDD	10
Floppy drive	5
CD Drive	10
Memory Cards	$2 \times 5 = 10$

۴-۲- شرایط مرزی



شکل ۵ شبکه لانه زنبوری (poly-hexcore) برای محفظه رایانه



شکل ۶ تولید شبکه برای محفظه رایانه با گرماگیر شعاعی



شکل ۷ تولید شبکه برای محفظه رایانه با گرماگیر مستقیم

جدول ۳ بررسی استقلال از شبکه

استقلال از شبکه		
تعداد سلول	ماکزیمم دمای CPU	تغییرات (%)
383063	347.44791	-
677104	347.0734	0.10779
854369	346.77642	0.08557

۷- اعتبارسنجی حل عددی

شبیه‌سازی عددی انتقال حرارت جابجایی اجباری از یک مکعب هم دما با نسبت ابعاد $\frac{H}{L} = 0.46$ در محدوده رینولدز بین $10 \leq Re \leq 5000$

از کاتالوگ تولید کننده فن گرفته می‌شود. (منحنی عملکرد فن‌ها از سایت شرکت [7] Sanyo Denki America Inc بر گرفته شده است.)

معادلات مربوط به شرط مرزی فن داخلی وارد شده در نرم‌افزار، که رابطه‌ای بین فشار و سرعت هوای ورودی به فن است، طبق نتایج بدست آمده زیر می‌باشد.

فن روبروی گرماگیر مستقیم:

$$\Delta P = 32.932 - 5V$$

فن روبروی گرماگیر شعاعی:

$$\Delta P = 100.21 - 15V$$

اگر است فن:

$$\Delta P = 30.971 - 16.358V$$

۵- روش حل

روش‌های حل CFD شامل: تفاضل محدود، المان محدود، حجم محدود و روش طیفی هستند. در نرم‌افزار فلوئنت، از روش حجم محدود برای حل معادلات مربوط به قسمت سیال و جامد همدسته استفاده می‌شود. در این بررسی از روش حلگر coupled استفاده شده است. روش حل کوپل شده یک دستگاه معادلات کوپل مومنوم و معادله پیوستگی را بر اساس فشار حل می‌کند. در نتیجه دیگر نیازی به حل معادله تصحیح فشار نخواهد بود. پس از حل میدان فشار و سرعت به صورت کوپل، بقیه معادلات نظیر انرژی و آشفتگی بصورت مجزا حل می‌شوند. برای معادلات مومنوم، انرژی و ... از دقت مرتبه دوم استفاده شده است.

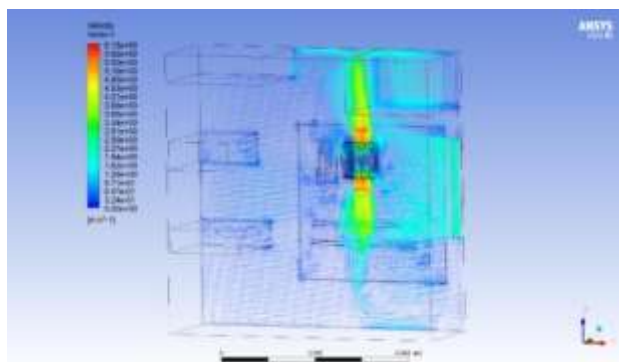
۶- بررسی استقلال حل از شبکه محاسباتی

برای بررسی استقلال از شبکه، محفظه رایانه رومیزی به همراه گرماگیر مستقیم مورد بررسی قرار گرفت. برای این هندسه از شبکه لانه زنبوری (Poly-hexcore) که همزمان قابلیت دستیابی به شبکه با سازمان مربعی و شبکه شش وجهی را دارد استفاده شده است. شبکه محاسباتی مورد استفاده در این مقاله، برای محفظه مورد نظر، در شکل‌های ۵-۷ نشان داده شده است. وقتی تعداد سلول‌های مورد استفاده در محیط تولید شبکه از ۶۷۷۱۰۴ به ۸۵۴۳۶۹ افزایش یافت، تنها تغییر 0.08 درصدی در ماکزیمم دمای CPU شبکه مشاهده شد. اما برای اطمینان بیشتر از دقت نتایج از همان ۸۵۴۳۶۹ سلول برای حل معادلات استفاده شده است، نتایج مطالعه استقلال از شبکه در جدول ۳ نشان داده شده است؛ همچنین بیشترین مقدار Y^+ دیواره در سطح گرماگیر 31.71 است.

بیشترین دمای CPU و دیگر اجزای درون سیستم که از شبیه سازی انجام شده برای پردازنده ۸۰ وات با گرماگیر مستقیم به دست آمده است در جدول ۶ ارائه شده اند. مقادیر بیشترین دمای محفظه CPU به خوبی با مقادیر داده شده در کاتالوگ کمپانی سازنده قابل مقایسه اند. دمای دیگر قطعات با توجه به دمای عملکردشان مناسب هستند. نگاشت های سرعت جریان هوا در یک صفحه موازی با مادربرد در حیطه ی سیستم در شکل ۹ نشان داده شده اند. الگوی سرعت جریان هوا نشان می دهد که هوا به خوبی میان گرماگیر و بالای کارت های حافظه در جریان است اما در مناطق دور از مادربرد جریان هوا ضعیف می شود. هوا از طریق فن ورودی با سرعت متوسط ۲.۵ متر بر ثانیه وارد اتاقک می شود. ماکزیمم سرعت جریان هوا داخل محفظه رایانه حدود ۶ متر بر ثانیه است.

جدول ۶ ماکزیمم دمای اجزای داخل محفظه رایانه با گرماگیر مستقیم

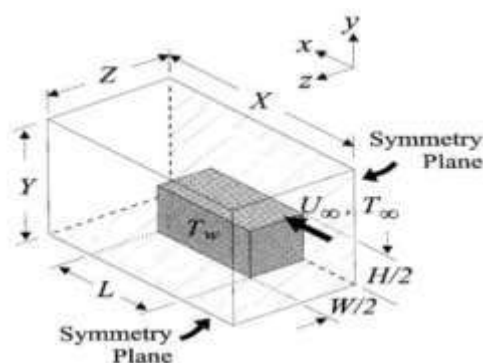
جز داخل محفظه رایانه	ماکزیمم دما (بر حسب کلونین)
CPU	346.77
Hard disk drive	316.95
Floppy drive	311.45
Cd drive	324.77
RAM1	332.49
RAM2	331.41



شکل ۹ نگاشت های سرعت جریان هوا داخل محفظه رایانه با گرماگیر مستقیم و توان پردازنده ۸۰ وات (صفحه به موازات مادربرد تعریف شده)

شکل ۱۰ توزیع دمای هوا را در یک صفحه موازی با مادربرد در محفظه سیستم نشان می دهد. هوا در دمای ۲۷ درجه سانتیگراد وارد سیستم می شود و درجه حرارت آن در طول مسیر جریان افزایش می یابد. در ورودی فن گرماگیر، آن را تا حدود ۳۱ درجه سانتیگراد گرم می کنند و دمای آن بیشتر می شود و در حالی که از روی پردازنده مرکزی عبور می کند گرم می شود و به ۵۰ درجه سانتیگراد می رسد.

انجام شده است. در تنظیمات شبیه سازی نرم افزار انسیس فلوئنت، چهار وجه مکعب به صورت هم دما و بدون لغزش مدل سازی شده اند و دو وجه کناری و پایینی طبق شکل ۸ بصورت متقارن در نظر گرفته شده اند. سرعت هوای ورودی برای رینولدزهای بین ۱۰ تا ۵۰۰ محاسبه گردیده و همچنین مرز خروجی بصورت فشار اتمسفر و دمای هوای ورودی و دمای وجوه مکعب در شرایط مرزی به ترتیب ۲۰ و ۴۰ درجه سانتیگراد فرض شده است. در جدول ۴ نسبت ابعاد مکعب با توجه به محدوده رینولدز بیان شده است.



شکل ۸ شماتیک هندسه مدل سازی شده در نرم افزار انسیس فلوئنت به همراه شرایط مرزی

جدول ۴ نسبت ابعاد هندسه مدل تحلیلی با توجه به محدوده رینولدز

Re	$\frac{X}{L}$	$\frac{Y}{L}$	$\frac{Z}{L}$
10	10	5	5
100	10	5	5
1000	5	1.5	1.5
5000	5	1.5	1.5

در جدول ۵ اعداد ناسلت بدست آمده از شبیه سازی با نتایج محاسبه شد توسط مدل تحلیلی Culham JR, Yovanovich MM, Teertstr مقایسه شده است [۷]. نتایج نشان می دهد که مقدار ناسلت بدست آمده در محدوده وسیعی از رینولدزها با مدل تحلیلی مطابقت دارد و حداکثر اختلاف ۳.۱٪ است.

جدول ۵ مقایسه ناسلت بدست آمده از شبیه سازی با مقدار ناسلت مدل

تحلیلی

Reynolds number	Nusselt number (analytical)	Nusselt number (present)	Error %
10	4.91	4.87	0.7
100	9.38	9.61	2.4
100	24.78	25.57	3.1
5000	53.31	53.95	2.1

۸- بررسی نتایج

۸-۱- نتایج توزیع هوا و سرعت برای گرماگیر مستقیم

جدول ۷ مقایسه تاثیر نتایج عملکرد توابع دیواره بر بیشینه دمای اجزای
محفظه رایانه با گرماگیر مستقیم و توان حرارتی پردازنده ۸۰ وات

جز داخل محفظه رایانه	ماکزیمم دما برای توابع دیواره مدل k-ε		
	Non- Equilibrium wall functions	Standard wall functions	Enhanced wall functions
CPU	346.77	349.98	347.35
Hard disk drive	316.95	318.34	322.07
Floppy drive	311.45	311.8	317.62
Cd drive	324.77	330.35	334.21
RAM1	332.49	337.27	334.35
RAM2	331.41	336.42	333.54

۲-۸- نتایج توزیع هوا و سرعت برای گرماگیر شعاعی

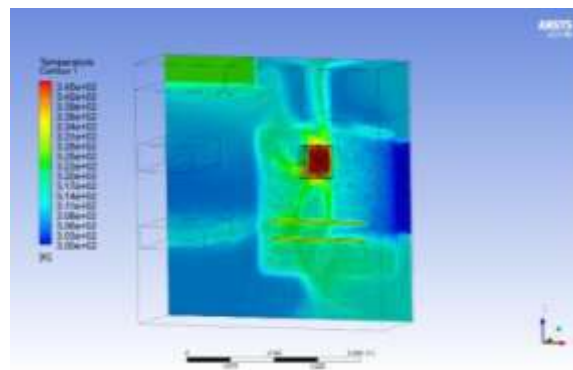
در این شبیه سازی، از یک گرماگیر با پره های شعاعی برای افزایش انتقال حرارت از پردازنده استفاده می شود. فن گرماگیر مورد بررسی دایره ای و قطر ۹۰ میلی متر با سرعت نامی ۴۰۰۰ دور در دقیقه و حداکثر دبی جریان هوا ۲.۵۴ متر مکعب در دقیقه است. جدول ۸ حداکثر دمای بدست آمده پردازنده و سایر اجزای محفظه رایانه را نشان می دهد. با استفاده از این نوع گرماگیر و فن، می توان دمای پردازنده را از ۱۰۱ درجه سانتیگراد تا ۷۳ درجه سانتیگراد خنک کرد.

جدول ۸ ماکزیمم دمای اجزای داخل محفظه رایانه با گرماگیر شعاعی و توان حرارتی پردازنده ۱۳۰ وات

جزء داخل محفظه رایانه	ماکزیمم دما (بر حسب کلون)
CPU	349.8
Hard disk drive	324.7
Floppy drive	322.03
Cd drive	331.45
RAM1	331.11
RAM2	329.86

شکل ۱۱ نداشت های سرعت جریان هوا روی مادربرد را برای پردازنده ۱۳۰ وات نشان می دهد که توسط یک گرماگیر با پره های شعاعی خنک شده است. با توجه به هندسه شعاعی پره، هوای اجباری خارج شده از گرماگیر به طور مساوی در تمام جهات بر روی مادربرد توزیع می شود. این به بهبود کلی حرکت هوا در کابین کمک می کند.

شکل ۱۲ توزیع دمای هوای داخل محفظه رایانه را با استفاده از گرماگیر شعاعی نمایش داده است که نشان می دهد، می توان با تغییر نوع هندسه گرماگیر میزان حداکثر دمای پردازنده و سایر اجزای سیستم را تا حد مطلوبی کنترل کرد.



شکل ۱۰ توزیع دمای جریان هوای داخل محفظه رایانه با گرماگیر مستقیم و توان پردازنده ۸۰ وات (صفحه به موازات مادربرد تعریف شده)

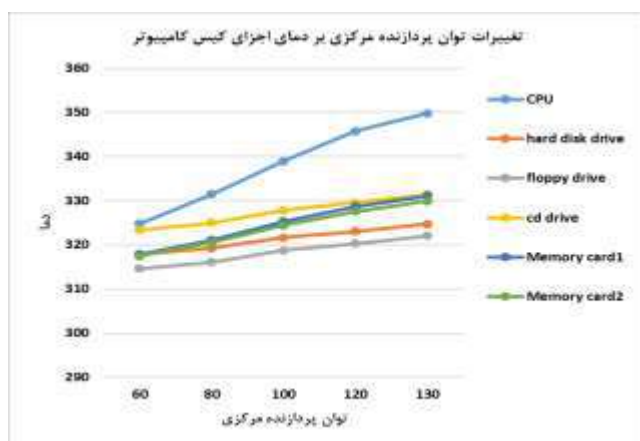
به منظور درک تاثیر عملکرد مدل های مختلف توابع دیواره آشفته گی بر روی نتایج، حالت های مختلف مورد مطالعه و آزمایش قرار گرفتند. جدول ۷ نتایج را با مدل های متفاوت با یکدیگر مقایسه می کند. از این بررسی مشخص شد که تمام حالات توابع دیواره مدل آشفته گی k-ε مقدار یکسانی از حداکثر دمای مورد پردازنده را نشان می دهند. از آنجا که مدل k-ε با تابع دیواره Nonequilibrium wall functions برای مطالعه جریان های پیچیده مانند آنچه در این مطالعه مشاهده می شود مناسب تر است و مقداری نزدیک به مقادیر داده شده توسط سازنده پردازنده (شرکت Intel) می دهد، از آن در شبیه سازی های بعدی استفاده شده است [۸].

قابلیت محاسبات بیشتر و نیاز به سرعت محاسبات عددی، تولید حرارت پردازنده ها را به طرز چشمگیری افزایش می دهد. نسخه های امروزی پردازنده ها تا ۱۳۰ وات توان حرارتی استفاده می شوند.

بر این اساس، شبیه سازی ها با توان حرارتی پردازنده با اتلاف گرما ۱۳۰ وات با همان گرماگیر عمودی نیز انجام شد، حداکثر دمای پردازنده در این حالت ۱۰۱ درجه سانتیگراد است که این مقدار کاملاً بالاتر از حداکثر دمای مجاز است که معمولاً در حدود ۷۰-۷۵ درجه سانتیگراد است.

یکی از روش های خنک کاری پردازنده، افزایش سرعت جریان هوا با افزایش سرعت دور فن است. برای شبیه سازی از یک فن با سرعت بالاتر (۷۶۰۰ دور در دقیقه) استفاده شد که یک مشکل در استفاده از فن با سرعت بالاتر افزایش سطح صدا است. بنابراین، افزایش بیشتر سرعت فن امکان پذیر نیست. روش احتمالی دیگر اصلاح هندسه گرماگیر است تا بتوان گرمای زیاد پردازنده را کنترل کرد و دمای آن را کاهش داد. برای این منظور، یک گرماگیر با پره های شعاعی به همراه یک فن با قطر ۹۰ میلی متری انتخاب شده است.

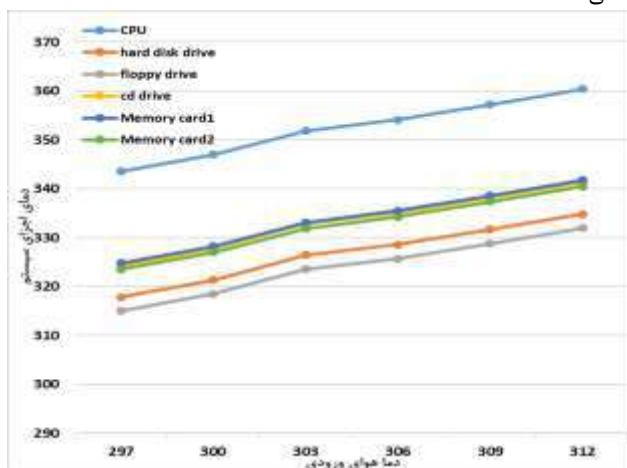
داشته می‌شوند. مشاهده می‌شود که حداکثر دمای پردازنده وابستگی خطی به میزان اتلاف توان دارد و سایر اجزاء نیز نسبت به اتلاف توان پردازنده حساسیت کمتری دارند. از شکل ۱۳، می‌توان دریافت که حتی در حالتی که تمام توان حرارتی پردازنده استفاده می‌شود، دمای پردازنده در حداکثر دمای مجاز قرار دارد.



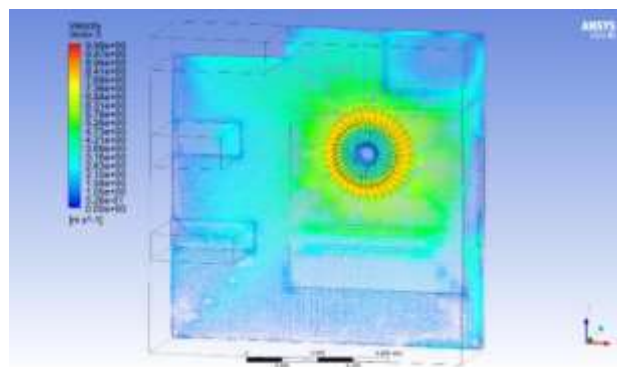
شکل ۱۳ تاثیر توان اتلاف حرارتی پردازنده بر دمای اجزای داخل محفظه رایانه با گرماگیر شعاعی و فن به قطر ۹۰ میلیمتر و دور 4000rpm و مساحت هوای ورودی 0.0063 مترمربع

۲-۴-۸- تاثیر دمای هوای ورودی

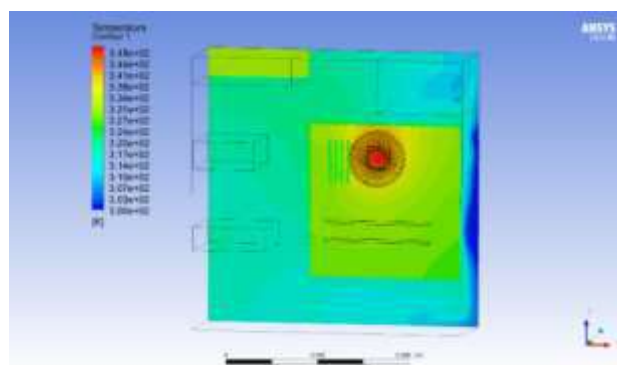
دمای هوای محیط که در آن سیستم باید کار کند بسته به شرایط آب و هوایی یا تغییرات جغرافیایی ممکن است متفاوت باشد. اثر دمای محیط بر دمای مورد پردازنده با تغییر دمای ورودی هوا از ۲۴ درجه سانتیگراد به ۳۹ درجه سانتیگراد مورد مطالعه قرار گرفت. خصوصیات هوا نیز بر این اساس تغییر می‌کند. شکل ۱۴ تغییر حداکثر دمای CPU و دمای سایر اجزاء با دمای هوای ورودی را نشان می‌دهد و می‌توان مشاهده کرد که این تغییرات تا حدودی خطی است.



شکل ۱۴ تاثیر دمای هوای ورودی بر دمای اجزای داخل محفظه رایانه با گرماگیر شعاعی و فن به قطر ۹۰ میلیمتر و دور 4000rpm و مساحت هوای ورودی 0.0063 مترمربع



شکل ۱۱ نگاشت‌های سرعت صفحه‌ای به موازات مادربرد داخل محفظه رایانه با گرماگیر شعاعی و توان حرارتی پردازنده ۱۳۰ وات



شکل ۱۲ توزیع دمای در صفحه‌ای به موازات مادربرد داخل محفظه رایانه با گرماگیر شعاعی و توان حرارتی پردازنده ۱۳۰ وات

۳-۸- بررسی اثر پارامترهای مختلف بر دمای اجزای داخل محفظه رایانه

تمام پارامترهای هندسی در این مطالعه ثابت هستند. دامنه پارامترهای در نظر گرفته شده برای این مطالعه در جدول ۹ آورده شده است.

جدول ۹ محدوده متغیرهای مورد بررسی برای مطالعه تاثیر آنها در دمای اجزای سیستم

متغیر مورد بررسی	محدوده
دمای هوای ورودی به محفظه (درجه سانتیگراد)	$24 \leq T_{\infty} \leq 39$
توان حرارتی پردازنده (وات)	$60 \leq Q \leq 130$

۱-۴-۸- تاثیر توان حرارتی پردازنده

پردازنده ممکن است حداکثر مقدار گرمای خود را در تمام مدت دفع نکند و مقدار آن بسته به کار محاسباتی که انجام می‌دهد متفاوت خواهد بود. شکل ۱۱ تغییر دمای پردازنده و دمای وسایل جانبی را به عنوان تابعی از اتلاف توان پردازنده نشان می‌دهد. این نمودار با تغییر مقدار اتلاف توان پردازنده در محدوده ۶۰ تا ۱۳۰ وات بدست می‌آید، در حالی که سایر پارامترها ثابت نگه



۹- نتیجه گیری

در این کار پژوهشی، شبیه سازی عددی جریان هوا و انتقال گرما در محفظه یک رایانه انجام شد. گرماگیر استفاده شده برای خنک کاری یک پردازنده اتلاف گرمای ۸۰ وات برای خنک کردن پردازنده دیگری با اتلاف حرارت بالاتر کافی نیست. از این رو، در پردازنده با اتلاف گرمای ۱۳۰ وات از یک گرماگیر با پره های شعاعی استفاده شد. همچنین مطالعه تاثیر پارامترها انجام شد و تاثیر پارامترهای مختلف بر روی حداکثر دمای مورد پردازنده و حداکثر دمای سایر اجزا مورد بررسی قرار گرفت. نتیجه گیری مهمی که می تواند از مطالعه حاضر گرفت به این صورت است.

۱- تغییرات دمای پردازنده نسبت خطی با افزایش توان حرارتی پردازنده (CPU) دارد.

۲- دمای سایر اجزای سیستم نیز همانطور که انتظار می رود با افزایش اتلاف توان پردازنده به صورت خطی افزایش می یابد.

۳- دمای هوای محیط تاثیر بسزایی در بیشینه دمای پردازنده دارد.

فهرست علائم

A	مساحت ورودی m^2
$C_{1\varepsilon}$	مقدار ثابت مدل آشفتگی k-e
$C_{2\varepsilon}$	مقدار ثابت مدل آشفتگی k-e
C_μ	مقدار ثابت مدل آشفتگی k-e
g	ثابت گرانش $(9.81 \frac{m}{s^2})$
h	انتالپی محسوس $(\frac{J}{kg K})$
K	انرژی جنبشی آشفتگی $(\frac{m^2}{s^2})$
k_l	ضریب افت فشار
N	سرعت فن (rpm)
P	فشار استاتیکی $(\frac{N}{m^2})$
ΔP	افت فشار $(\frac{N}{m^2})$
Pr_t	عدد پرانتل آشفتگی
Q	اتلاف گرمای پردازنده
S_k	منبع گرمای حجمی $(\frac{J}{m^3})$
t	زمان s
T	دما
u,v,w	بردارهای سرعت در راستای x,y,z
X,Y,Z	محورهای مختصات
Y^+	عدد بدون بعد، $\frac{\gamma u_\tau}{\vartheta}$

نماد های یونانی

β	ضریب انبساط حرارتی، $\frac{1}{k}$
ε	اتلاف انرژی جنبشی آشفتگی
μ	ویسکوزیته دینامیکی
μ_t	ویسکوزیته آشفتگی
ρ	چگالی
δ_ε	پرانتل آشفتگی برای ε
δ_k	پرانتل آشفتگی برای k

تنش برشی $\frac{N}{m^2}$
تنش برشی دیواره

τ

τ_w

مراجع

- [1] Chang JY, Yu CW, Webb RL (2000). Identification of Minimum Air Flow Design for a Desktop Computer Using CFD Modeling. Inter Society Conference on Thermal Phenomena, pp. 330–338.
- [2] Yu CW, Webb RL (2001). Thermal Design of a Desktop Computer System using CFD Analysis. Seventeenth IEEE SEMI-THERM Symposium, pp. 18–26
- [3] Hemanth BN, Balaji C (2007). Application of ACFD Approach to a System Level Thermal Simulation. International Journal of Heat and Technology 25:43–48.
- [4] M. Anandakrishnan & C. Balaji (2009) CFD Simulations of Thermal and Flow Fields Inside a Desktop Personal Computer Cabin with Multi-core Processors, Engineering Applications of Computational Fluid Mechanics, 3:2, 277-288, DOI: 10.1080/19942060.2009.11015271
- [5] Thermoflo Equipment Company, Inc. Product catalogue. www.thermaflo.com
- [6] Idelchik IE (1986). Handbook of Hydraulic Resistance. Hemisphere Publishing, New York, USA.
- [7] Culham JR, Yovanovich MM, Teertstra P (2001). Simplified Analytical Models for Forced Convection Heat Transfer From Cuboids of Arbitrary Shape. ASME, Journal of Electronic Packaging 123:182–188
- [8] Sanyo Denki America Inc. Product catalogue, SANYODENKI. www.sanyo-denki.com
- [9] Intel Corp. Intel Pentium 4, Dual Processor Data Sheets. www.intel.com (accessed on May 2, 2007).