بررسی خنک‌کاری اجزای داخل محفظه رایانه با شبیه‌سازی عددی جریان هوای داخل آن

محمد صالحی\*1، علی میرمحمدی2

1-دانشجو، مکانیک سیالات، دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی، تهران

2-استادیار، مهندسی مکانیک، دانشگاه تربیت دبیر شهید رجائی، تهران

مشهد، صندوق پستی 9188164586، msalehi2909@gmail.com

چکیده

در این مقاله، تحلیل جریان سیال هوای داخل یک محفظه رایانه رومیزی با شبیه‌سازی دینامیک سیالات محاسباتی انجام شده است. هدف بررسی فرایند خنک‌کاری واحد پردازش مرکزی (CPU) با توان‌های حرارتی 80 و 130 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 توان‌های 80 و 130 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 شبیه‌سازی 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.

**کلی**د‌واژگ**ان**

دینامیک سیالات محاسباتی، خنک‌کاری پردازنده، شبیه‌سازی 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

1- مقدمه

تحولات سریع در الکترونیک منجر به ریزپردازنده‌هایی با چگالی توان بالا شده است. این روند به دلیل افزایش فرکانس‌های کاری و اتلاف توان و کاهش اندازه محفظه‌های رایانه است، که سبب می‌شود 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 جز، از جمله CPU، روز به روز افزایش می‌یابد. منظور از مدیریت طراحی حرارتی این است که اطمینان حاصل شود تمام اجزای سیستم در محدوده دمای عملکردی مجاز خود کار می‌کنند. داغ شدن بیش از حد رایانه سبب ایجاد خسارت به اجزای داخلی و تخریب عملکرد آن می‌شود و در آخر بازدهی و طول عمر سیستم روز به روز کاهش می‌یابد. در حقیقت ایجاد گرما در سیستم بر روی پردازنده و واحد پردازش گرافیکی تاثیر مستقیم گذاشته و رفته رفته عملکرد سیستم بدتر می‌شود.

فارغ از این که پردازنده‌ اینتل است یا اِی‌ام‌دی، حداکثر حرارتی که سی‌پی‌یو می‌تواند تحمل کند بسته به مدل و نوع آن متفاوت خواهد بود. پردازنده‌های حال حاضر بازار به طور متوسط نباید بالای 80 درجه‌ی سانتی‌گراد داغ شوند، و بهتر است حداکثر بین 75 تا 80 درجه کنترل شوند.

یکی از بهترین گزینه‌ها برای دفع مناسب این گرما استفاده از قطعاتی به نام گرماگیر است. مهم‌ترین ویژگی گرماگیر دفع گرما و خنک کنندگی است. گرماگیر قطعه‌ای فلزی با رسانایی گرمایی بالا است که بر روی قطعات الکتریکی یا الکترونیکی نصب می‌شود و گرما و حرارت تولید شده توسط قطعه را از طریق تبادل حرارتی با محیط اطرف و خنک‌کاری با هوا (در بعضی مدل‌ها آب) دفع می‌کند.

گرماگیرها در طرح‌ها، اندازه‌ها و جنس‌های مختلفی تولید می‌شوند. شکل ظاهری گرماگیر طوری طراحی شده است که دارای تعداد زیادی پره‌ی بلند است؛ گاهی حتی روی این پره‌ها نیز آج‌هایی می‌گذارند تا سطح تماس گرماگیر با هوا بیشتر شود. فاصله‌ی این پره‌ها، قطر و هندسه آن‌ها، در عملکرد تاثیر می‌گذارند.

تلاش‌های قبلی برای شبیه‌سازی فرایند خنک‌کاری سه‌بعدی محفظه رایانه‌های رومیزی را می‌توان در چندین نشریه یافت.

Chang, Yu , Webb از نرم‌افزار IcepakAnsys برای محاسبه و شبیه‌سازی حداقل سرعت جریان هوا و حداقل اندازه گرماگیر برای خنک کردن پردازنده مرکزی 30 وات یک رایانه رومیزی با یک فن در منبع تغذیه (power supply unit) برای الگوی جریان هوا در کابین استفاده کردند [1]. در سال 2001، Yu , Webb از IcepakAnsys برای دستیابی به یک راه مطلوب برای خنک‌کاری محفظه رایانه رومیزی استفاده کردند که در آن از پردازنده 80 وات استفاده می‌شد [2]. این طراحی بر اساس کل اتلاف انرژی کابین برابر 313 وات بود که شامل اتلاف توان اجزای کابین مانند حافظه، تراشه، کارت‌های AGP و PCI و وسایل جانبی بود. این ایده با یک فن کابین و یک فن منبع تغذیه (power supply unit) می‌توانست محفظه دارای تجهیزات الکترونیکی را خنک کند.

Hemanth,Balaji کاربرد دینامیک سیالات محاسباتی مجانبی (ACFD) را برای شبیه‌سازی حرارتی سیستم استفاده کردند [3]. سیستم رایانه‌ای که آنها در نظر گرفتند از یک پردازنده 80 وات پنتیوم 4 و کلیه اجزای اصلی تولید کننده گرما تشکیل شده است. نتایج حاصل از شبیه‌سازی‌ها 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 توان‌های حرارتی 80 و 130 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 [4].

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 می‌شود.

2- بیان مساله

یک رایانه رومیزی دارای اتاقک میکرو ATX شبیه‌سازی می‌شود. عبارت اتاقک میکرو ATX یعنی اتاقکی که از مادربرد پشتیبانی می‌کند و با مشخصات رابط مادربرد میکرو ATX همخوانی دارد. شبیه‌سازی‌های cfd از سیستم رایانه رومیزی با دو نوع گرماگیر انجام می‌شوند. یکی گرماگیر مستقیم عمودیست که برای خنک کردن پردازنده پنتیوم 80 واتی استفاده می‌شود. دومی یک گرماگیر شعاعی دارای پردازنده دو هسته‌ای 180 واتی است. مقادیر اتلاف گرمای مذکور بیشترین مقدار طراحی دمایی آن‌‌ها است که بر روی کاتالوگ آن‌ها نوشته شده است.

3- معادلات حاکم

معادلات سه‌بعدی، پایا، تراکم‌ناپذیر، جریان آشفته همراه با انتقال گرما از فرضیات مهم در محدوده‌ی سیستم هستند. سیالی هوا فرض شده است که مشخصات آن در کل دامنه محاسباتی ثابت فرض می‌شوند. تاثیر تغییرات چگالی هوا در جهت عمودی با به کارگیری تقریب بوزینسک به حساب می‌آید، که تاثیر چگالی متغیر سیال در معادله مومنتوم وارد می‌شود. باتوجه به فرضیات مذکور، معادلات حاکم بر پیوستگی، مومنتوم و انرژی به شکل برداری به صورت معادلات زیر نوشته می‌شوند.

معادله پیوستگی:



معادله مومنتوم:



که مولفه‌های تنش برشی با معادله (3) داده می‌شوند.



*معادله انرژی:*



برای مدل‌سازی آشفتگی نیز مدل معروف Realizable مورد استفاده قرار می‌گیرد. این مدل یک مدل نیمه تجربی مبتنی بر معادلات جابه‌جایی مدل برای انرژی جنبشی (k) آشفته و نرخ تلفاتش ( است .برای رفتار نزدیک دیواره از Non equilibrium wall functions استفاده می‌شود. دو معادله‌ی دیفرانسیلی که حاکم بر انتقال انرژی جنبشی اشفتگی(k) و نرخ تلفاتش هستند به این صورت استفاده شده‌اند:



نشان دهنده تولید انرژی جنبشی آشفتگی با گرادیان سرعت متوسط است و از معادله (7) محاسبه می‌شود:



تولید انرژی جنبشی آشفته با نیروی شناوری است که از معادله (8) محاسبه می‌شود:



گرانروی جریان آشفته ،، با استفاده از k و از معادله (9) محاسبه می‌شود:

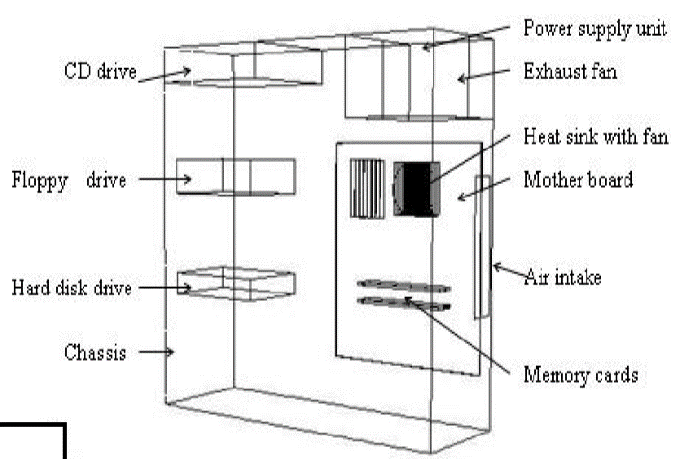


ثابت‌های و استفاده شده در معادله‌های فوق، دارای مقادیر   
1.44= و 1.92= هستند. مقدار نیز با استفاده از عبارت tanh|v/u|= تعیین می‌شود.

اعداد پرنتل آشفته برای k و به ترتیب با مقادیر جایگذاری شده‌اند.

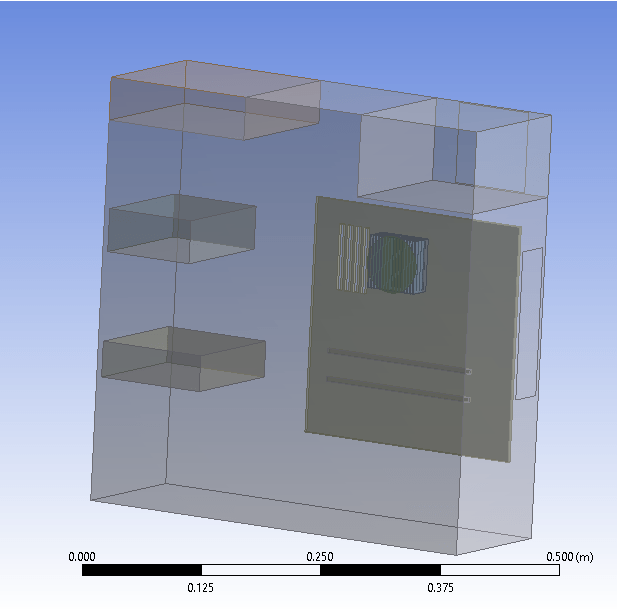
4- مدل‌سازی

*هندسه رایانه رومیزی مدل‌سازی شده در شکل های 1و2نشان 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 مستقیما 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.*

**

شکل1 شماتیک هندسه محفظه رایانه رومیزی

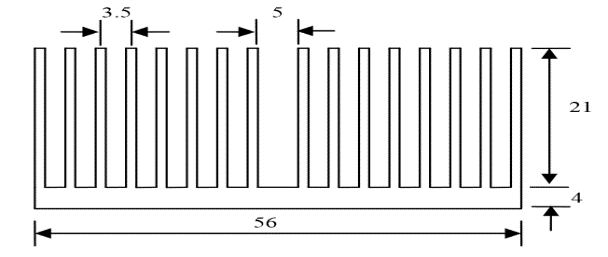
*ابعاد اتاقک و دیگر اجزای آن از یک اتاقک رایانه رومیزی استاندارد استفاده شده‌اند. اتاقک سیستم یک محفظه‌ی آلومینیومی مستطیل شکل به ارتفاع 450mm، طول 450mm و عرض 150mm است.*

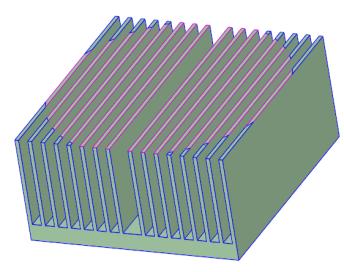


شکل2 شماتیک هندسه محفظه رایانه رومیزی

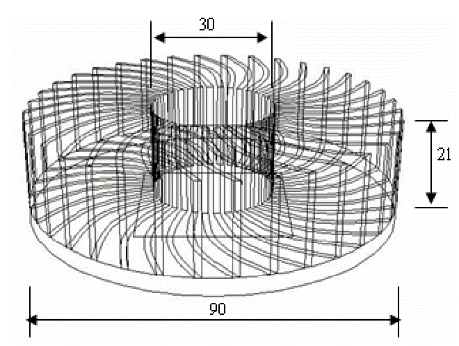
*یک گرماگیر عمودی مستقیم دارای مشخصات محصول (کمپانی تجهیزات ترموفل [5]) با 16 پره با قطر 1mm و گام 3.5mm و پایه پره 4mm برای افزایش تبادل حرارت از پردازنده 80 واتی مورد استفاده قرار می‌گیرد. شماتیکی از هندسه‌ی گرماگیر در شکل3 نشان داده شده است.*

*گرماگیر شعاعی همانطور که در شکل4 نشان داده شده، از 36 پره شعاعی توکاری شده با ضخامت 1.5mm و ارتفاع 21mm تشکیل شده است. پایه‌ی پره دارای شعای 90mm و ضخامت 4mm است. فرض شده که هر دو نوعِ گرماگیرها از آلومینیم ساخته شده‌اند و مشخصات مواد بر این اساس انتخاب شده‌اند. انتقال حرارت تابشی از سینک در مدل عددی جاری ناچیز درنظر گرفته شده است.*





شکل3 شماتیک هندسه گرماگیر مستقیم



شکل4 شماتیک هندسه گرماگیر شعاعی

*مساحت پردازنده (*CPU*) 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 اورده نشده، چون انتظار نمی‌رود در نتایج محاسباتی تغییری ایجاد کند. فن گرماگیر یک فن داخلی مدوّر با قطر 60mm با منحنی عملکرد فنِ مشخص است. اندازه فن اگزاست است.*

*جدول 1 ابعاد اجزای داخل محفظه رایانه*

|  |  |
| --- | --- |
|  | *نام جزء داخل محفظه رایانه* |
|  | *سی دی درایو* |
|  | *فلاپی درایو* |
|  | *هارد دیسک درایو* |
|  | *پاور ساپلای یونیت* |
|  | *سی پی یو* |
|  | *مموری کارت‌های 1و2* |
|  | *مادربرد* |

*همانطور که در جدول2 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 برروی دمای CPU دارد. لذا در مدل عددی، اتلاف گرما درون محفظه تامین قدرت (power supply unit) درنظر گرفته نمی‌شود، بلکه بیشتر به صورت مقاومت سیالی مدل می‌شود.*

*جدول 2 میزان اتلاف حرارتی اجزای محفظه رایانه*

|  |  |
| --- | --- |
| *میزان اتلاف حرارتی (وات)* | *نام جز داخل محفظه رایانه* |
| *80,130* | CPU |
| *10* | HDD |
| *5* | Floppy drive |
| *10* | CD Drive |
|  | Memory Cards |

2-4- شرایط مرزی

*قسمت‌های بالایی، کناری و زیرین اتاقک، مرزها آدیاباتیک 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 درنظر 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 درنظر 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 (10) تغییر می‌کند.*



*که در آن ضریب اتلاف بدون واحد است و در این مقاله مقدار آن با توجه به داده‌ی استخراج شده از Idelchik(1986) مقدار 1.3 درنظر گرفته شده است [6]. شدت آشفتگی در ورودی 5% تعیین شده که در واقع مقدار معمول پایینی برای سطح شدت آشفتگی در چنین کاربری‌هایی است. میزان چگالی هوا در دمای ورودی یعنی 27 درجه سانتی‌گراد از جداول ترمودینامیکی محاسبه شده است، همچنین سرعت هوای ورودی برابر 2.5 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 (11) است.*



*که µ لزجت سیال آرام، α نفوذ‌پذیری ناحیه متخلخل، C2 ضریب پرش فشار، m سرعت عمود بر سطح متخلخل و m∆ ضخامت ناحیه متخلخل است.*

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

*=*10000000000*(*Face Permeability**)***مقدار نفوذپذیری*

(Porous Medium Thickness)=0.04ضخامت ناحیه متخلخل

(Pressure Jump Coefficient)=20ضریب پرش فشار

(Thermal Contact Resistance)*=*0.1*مقدار مقاومت حرارتی*

*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، از کاتالوگ تولید کننده‌ی فن گرفته می‌شود. (منحنی عملکرد فن‌ها از سایت شرکت Sanyo Denki America Inc*[7] *برگرفته 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:*

فن روبروی گرماگیر شعاعی:

اگزاست فن*:*

5- روش حل

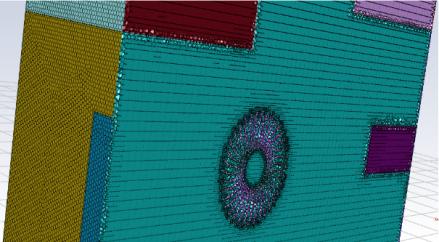
*روش‌های حل CFD شامل: تفاضل محدود، المان محدود، حجم محدود و روش طیفی هستند. در نرم‌افزار فلوئنت، از روش حجم محدود برای حل معادلات مربوط به قسمت سیال و جامد هندسه استفاده می‌شود. در این بررسی از روش حلگر coupled استفاده شده است. روش حل کوپل‌شده‌ یک دستگاه معادلات کوپل مومنتوم و معادله پیوستگی را بر اساس 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 مومنتوم، انرژی و ... از دقت مرتبه دوم استفاده شده است.*

6- بررسی استقلال حل از شبکه محاسباتی

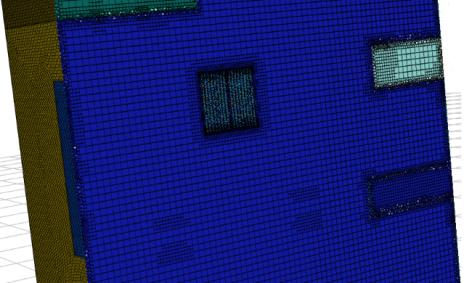
برای بررسی استقلال از شبکه، محفظه رایانه رومیزی به همراه گرماگیر مستقیم مورد بررسی قرارگرفت. برای این هندسه از شبکه لانه زنبوری (Poly-hexcore) که همزمان قابلیت دستیابی به شبکه باسازمان مربعی و شبکه شش وجهی را دارد استفاده شده است. شبکه محاسباتی مورد استفاده در این مقاله، برای محفظه مورد نظر، در شکل‌های 5-7 نشان داده شده است. وقتی تعداد سلول‌های مورد استفاده در محیط تولید شبکه از 677104 به 854369 افزایش یافت، تنها تغییر 0.08 درصدی در ماکزیمم دمای CPU شبکه مشاهده شد. اما برای اطمینان بیشتر از دقت نتایج از همان 854369 سلول برای حل معادلات استفاده شده است، نتایج مطالعه استقلال از شبکه در جدول3 نشان داده شده است؛ همچنین بیشترین مقدار y+ دیواره در سطح گرماگیر 31.71 است.



شکل5 شبکه لانه زنبوری (poly-hexcore)برای محفظه رایانه



شکل 6 تولید شبکه برای محفظه رایانه با گرماگیر شعاعی



شکل 7 تولید شبکه برای محفظه رایانه با گرماگیر مستقیم

جدول3 بررسی استقلال از شبکه

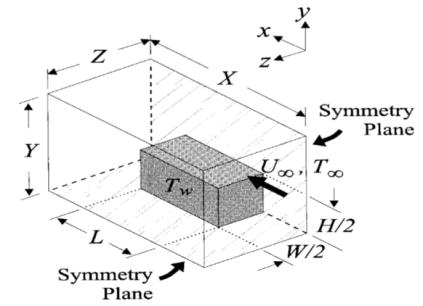
|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| ستقلال از شبکه | | |
| تعداد سلول | مااکزیمم دمای CPU | تغییرات(%) |
| 383063 | 347.44791 | - |
| 677104 | 347.0734 | 0.10779 |
| 854369 | 346.77642 | 0.08557 |

***7- اعتبارسنجی حل عددی***

*شبیه‌سازی عددی انتقال حرارت جابجایی اجباری از یک مکعب هم دما با نسبت ابعاد در محدوده‌ی رینولدز بین انجام شده است. در تنظیمات شبیه‌سازی نرم‌افزار انسیس فلوئنت، چهار وجه مکعب به صورت هم دما و بدون لغزش مدل‌سازی شده‌اند و دو وجه کناری و پایینی طبق شکل8 بصورت متقارن در نظر گرفته شده‌اند.*

سرعت هوای ورودی برای رینولدزهای بین 10 تا 500 محاسبه گردیده و همچنین مرز خروجی بصورت فشار اتمسفر و دمای هوای ورودی و دمای وجوه مکعب در شرایط مرزی به ترتیب 20 و 40 درجه سانتی‌گراد فرض شده است.

در جدول4 نسبت ابعاد مکعب با توجه به محدوده رینولدز بیان شده است.



شکل 8شماتیک هندسه مدل‌سازی شده در نرم‌افزار انسیس فلوئنت به همراه شرایط مرزی

جدول4 نسبت ابعاد هندسه مدل تحلیلی با توجه به محدوده رینولدز

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  |  |  | Re |
| 5 | 5 | 10 | 10 |
| 5 | 5 | 10 | 100 |
| 1.5 | 1.5 | 5 | 1000 |
| 1.5 | 1.5 | 5 | 5000 |

در جدول5 اعداد ناسلت بدست آمده از شبیه‌سازی با نتایج محاسبه شد توسط مدل تحلیلیCulham JR, Yovanovich MM, Teertstr ، مقایسه شده است [7]. نتایج نشان می‌دهد که مقدار ناسلت بدست آمده در محدوده وسیعی از رینولدزها با مدل تحلیلی مطابقت دارد و حداکثر اختلاف 3.1% است.

جدول 5 مقایسه ناسلت بدست آمده از شبیه‌سازی با مقدار ناسلت مدل تحلیلی

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

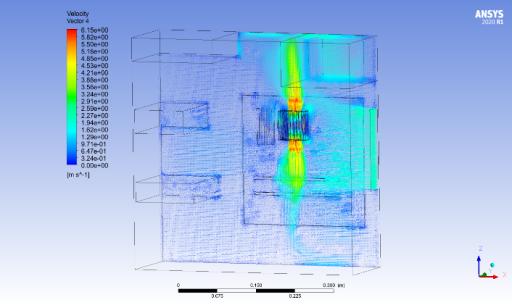
8- بررسی نتایج

8-1- نتایج توزیع هوا و سرعت برای گرماگیر مستقیم

بیشترین دمای CPU و دیگر اجزای درون سیستم که از شبیه‌سازی انجام شده برای پردازنده 80 واتی با گرماگیر مستقیم به دست آمده است در جدول6 ارائه شده‌اند. مقادیر بیشترین دمای محفظه CPU به خوبی با مقادیر داده شده در کاتالوگ کمپانی سازنده قابل مقایسه‌اند. دمای دیگر قطعات با توجه به دمای عملکردشان مناسب هستند. نگاشت‌های سرعت جریان هوا در یک صفحه موازی با مادربرد در حیطه‌ی سیستم در شکل9 نشان داده شده‌اند. الگوی سرعت جریان هوا نشان می‌دهد که هوا به خوبی میان گرماگیر و بالای کارت‌های حافظه در جریان است اما در مناطق دور از مادربرد جریان هوا ضعیف می‌شود. هوا از طریق فن ورودی با سرعت متوسط 2.5 متر برثانیه وارد اتاقک می‌شود. ماکزیمم سرعت جریان هوا داخل محفظه رایانه حدود 6 متر بر ثانیه است.

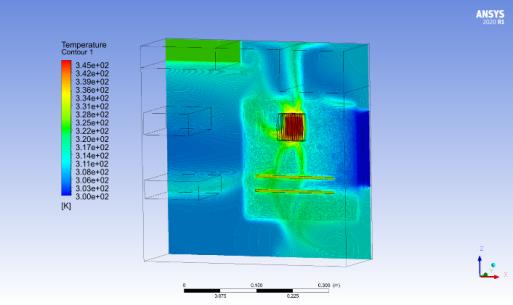
جدول 6 ماکزیمم دمای اجزای داخل محفظه رایانه با گرماگیر مسقیم

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



شکل 9 نگاشت‌های سرعت جریان هوا داخل محفظه رایانه با گرماگیر مستقیم و توان پردازنده 80 وات (صفحه به موازات مادربرد تعریف شده)

شکل 10توزیع دمای هوا را در یک صفحه موازی با مادربرد در محفظه سیستم نشان می‌دهد. هوا در دمای 27 درجه سانتیگراد وارد سیستم می‌شود و درجه حرارت آن در طول مسیر جریان افزایش می‌یابد. در ورودی فن گرماگیر، آن را تا حدود 31 درجه سانتیگراد گرم می‌کنند و دمای آن بیشتر می‌شود و در حالی که از روی پردازنده مرکزی عبور می‌کند گرم می‌شود و به 50 درجه سانتی‌گراد می‌رسد.



شکل 10توزیع دمای جریان هوای داخل محفظه رایانه با گرماگیر مستقیم و توان پردازنده 80 وات (صفحه به موازات مادربرد تعریف شده)

به منظور درک تاثیر عملکرد مدل‌های مختلف توابع دیواره آشفتگی بر روی نتایج، حالت‌های مختلف مورد مطالعه و آزمایش قرار گرفتند. جدول 7 نتایج را با مدل‌های متفاوت با یکدیگر مقایسه می‌کند. از این بررسی مشخص شد که تمام حالات توابع دیواره مدل آشفتگی k-ε مقدار یکسانی از حداکثر دمای مورد پردازنده را نشان می‌دهند. از آنجا که مدل k-ε با تابع دیوار Nonequilibrium wall functions برای مطالعه جریان‌های پیچیده مانند آنچه در این مطالعه مشاهده می‌شود مناسب‌تر است و مقداری نزدیک به مقادیر داده شده توسط سازنده پردازنده (شرکت Intel) می‌دهد، از آن در شبیه‌سازی‌های بعدی استفاده شده است [8].

قابلیت محاسبات بیشتر و نیاز به سرعت محاسبات عددی، تولید حرارت پردازنده‌ها را به طرز چشمگیری افزایش می‌دهد. نسخه‌های امروزی پردازنده‌ها تا 130 وات توان حرارتی استفاده می‌شوند.

بر این اساس، شبیه‌سازی‌ها باتوان حرارتی پردازنده با اتلاف گرما 130 وات با همان گرماگیر عمودی نیز انجام شد، حداکثر دمای پردازنده در این حالت 101 درجه سانتیگراد است که این مقدار کاملاً بالاتر از حداکثر دمای مجاز است که معمولاً در حدود 70-75 درجه سانتی‌گراد است.

یکی از روش‌های خنک‌کاری پردازنده، افزایش سرعت جریان هوا با افزایش سرعت دور فن است. برای شبیه‌سازی از یک فن با سرعت بالاتر (7600 دور در دقیقه) استفاده شد که یک مشکل در استفاده از فن با سرعت بالاتر افزایش سطح صدا است. بنابراین، افزایش بیشتر سرعت فن امکان‌پذیر 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 پره‌های شعاعی به همراه یک فن با قطر 90 میلی‌متری انتخاب شده است.

جدول 7 مقایسه تاثیر نتایج عملکرد توابع دیواره بر بیشینه دمای اجزای محفظه رایانه با گرماگیر مستقیم و توان حرارتی پردازنده 80 وات

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

8-2- نتایج توزیع هوا و سرعت برای گرماگیر شعاعی

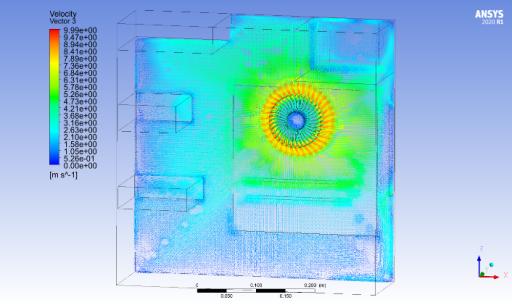
در این شبیه‌سازی، از یک گرماگیر با پره‌های شعاعی برای افزایش انتقال حرارت از پردازنده استفاده می‌شود. فن گرماگیر مورد بررسی دایره‌ای و قطر 90 میلی‌متر با سرعت نامی 4000 دور در دقیقه و حداکثر دبی جریان هوا 2.54 متر مکعب در دقیقه است. جدول 8 حداکثر دمای بدست آمده پردازنده و سایر اجزای محفظه رایانه را نشان می‌دهد. با استفاده از این نوع گرماگیر و فن، می‌توان دمای پردازنده را از 101 درجه سانتیگراد تا 73 درجه سانتیگراد خنک کرد.

جدول 8 ماکزیمم دمای اجزای داخل محفظه رایانه با گرماگیر شعاعی و توان حرارتی پردازنده 130 وات

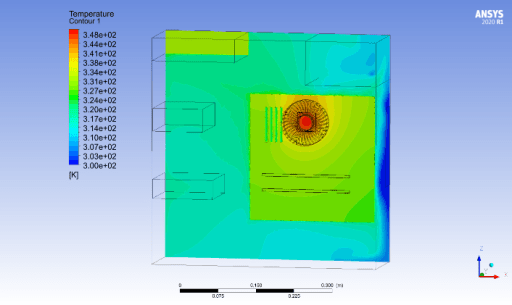
|  |  |
| --- | --- |
| ماکزیمم دما (بر حسب کلوین) | جزء داخل محفظه رایانه |
| 349.8 | CPU |
| 324.7 | Hard disk drive |
| 322.03 | Floppy drive |
| 331.45 | Cd drive |
| 331.11 | RAM1 |
| 329.86 | RAM2 |

شکل11 نگاشت‌های سرعت جریان هوا روی مادربرد را برای پردازنده 130 وات نشان می‌دهد که توسط یک گرماگیر با پره‌های 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 می‌شود. این به بهبود کلی حرکت هوا در کابین کمک می‌کند.

شکل12 توزیع دمای هوای داخل محفظه رایانه را با استفاده از گرماگیر شعاعی نمایش داده است که نشان می‌دهد، می‌توان با تغییر نوع هندسه گرماگیر میزان حداکثر دمای پردازنده و سایر اجزای سیستم را تا حد مطلوبی کنترل کرد.



شکل11 نگاشت‌های سرعت صفحه‌ای به موازات مادربرد داخل محفظه رایانه با گرماگیر شعاعی و توان حرارتی پردازنده 130 وات



شکل12توزیع دمای در صفحه‌ای به موازات مادربرد داخل محفظه رایانه با گرماگیر شعاعی و توان حرارتی پردازنده 130 وات

8-3- بررسی اثر پارامترهای مختلف بر دمای اجزای داخل محفظه رایانه

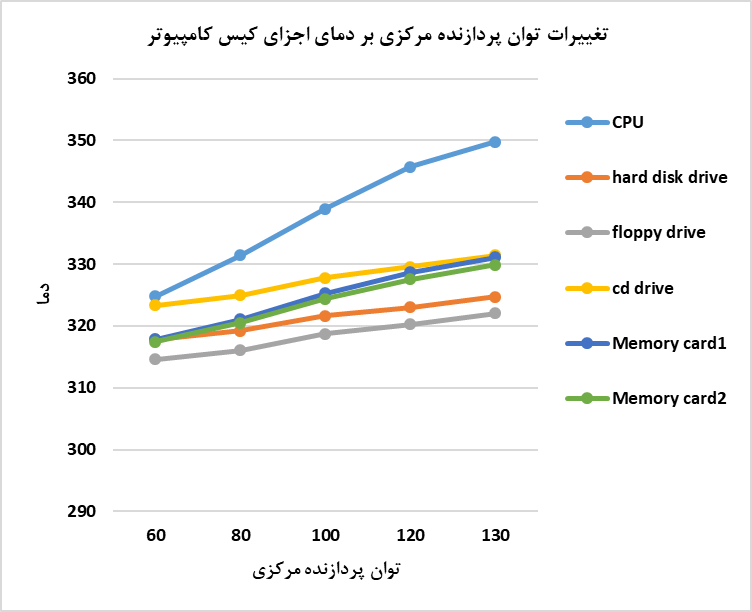
تمام پارامترهای هندسی در این مطالعه ثابت هستند. دامنه پارامترهای در نظر گرفته شده برای این مطالعه در جدول 9 آورده شده است.

جدول 9 محدوده متغیرهای مورد بررسی برای مطالعه تاثیر آنها در دمای اجزای سیستم

|  |  |
| --- | --- |
| محدوده | متغیر مورد بررسی |
|  | دمای هوای ورودی به محفظه  (درجه سانتی‌گراد) |
|  | توان حرارتی پردازنده (وات) |

8-4-1- تاثیر توان حرارتی پردازنده

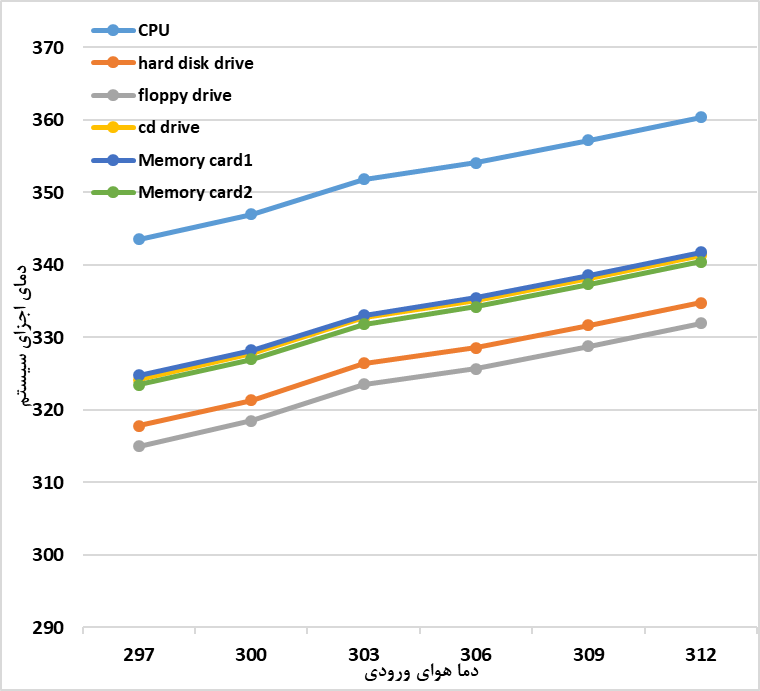
پردازنده ممکن است حداکثر مقدار گرمای خود را در تمام مدت دفع نکند و مقدار آن بسته به کار محاسباتی که انجام می‌دهد متفاوت خواهد بود. شکل11 تغییر دمای پردازنده و دمای وسایل جانبی را به عنوان تابعی از اتلاف توان پردازنده نشان می‌دهد. این نمودار با تغییر مقدار اتلاف توان پردازنده در محدوده 60 تا 130 وات بدست می‌آید، در حالی که سایر پارامترها ثابت نگه 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 13، می‌توان دریافت که حتی در حالتی که تمام توان حرارتی پردازنده استفاده می‌شود، دمای پردازنده در حداکثر دمای مجاز قرار دارد.



شکل 13 تاثیر توان اتلاف حرارتی پردازنده بر دمای اجزای داخل محفظه رایانه با گرماگیر شعاعی و فن به قطر 90 میلیمتر و دور 4000rpm و مساحت هوای ورودی0.0063 مترمربع

8-4-2-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 24 درجه سانتیگراد به 39 درجه سانتیگراد مورد مطالعه قرار گرفت. خصوصیات هوا نیز بر این اساس تغییر می‌کند. شکل 14 تغییر حداکثر دمای CPU و دمای سایر اجزا با دمای هوای ورودی را نشان می‌دهد و می‌توان مشاهده کرد که این تغییرات تا حدودی خطی است.



شکل 14 تاثیر دمای هوای ورودی بر دمای اجزای داخل محفظه رایانه با گرماگیر شعاعی و فن به قطر 90 میلیمتر و دور 4000rpm و مساحت هوای ورودی0.0063 مترمربع

9- نتیجه‌گیری

در این کار پژوهشی، شبیه‌سازی عددی جریان هوا و انتقال گرما در محفظه یک رایانه انجام شد. گرماگیر استفاده شده برای خنک‌کاری یک پردازنده اتلاف گرمای 80 وات برای خنک کردن پردازنده دیگری با اتلاف حرارت بالاتر کافی نیست. از این رو، در پردازنده با اتلاف گرمای 130 وات از یک گرماگیر با پره‌های شعاعی استفاده شد. همچنین مطالعه تاثیر پارامترها انجام شد و تأثیر پارامترهای مختلف بر روی حداکثر دمای مورد پردازنده و حداکثر دمای سایر اجزا مورد بررسی قرار گرفت. نتیجه‌گیری مهمی که می‌تواند از مطالعه حاضر گرفت به این صورت است.

1. تغییرات دمای پردازنده نسبت خطی با افزایش توان حرارتی پردازنده (CPU) دارد.
2. دمای سایر اجزای سیستم نیز همانطور که انتظار می‌رود با افزایش اتلاف توان پردازنده به صورت خطی افزایش می‌یابد.
3. دمای هوای محیط تأثیر بسزایی در بیشینه دمای پردازنده دارد.

فهرست علائم

|  |  |
| --- | --- |
| A | مساحت ورودی |
|  | مقدار ثابت مدل آشفتگیی k-e |
|  | مقدار ثابت مدل آشفتگیی k-e |
|  | مقدار ثابت مدل آشفتگیی k-e |
| g | ثابت گرانش() |
| h | آنتالپی محسوس(( |
| K | انرژی جنبشی آشفتگی(( |
|  | ضریب افت فشار |
| N | سرعت فن (rpm) |
| P | فشار استاتیکی() |
|  | افت فشار() |
|  | عدد پرانتل آشفتگی |
| Q | اتلاف گرمای پردازنده |
|  | منبع گرمای حجمی |
| t | زمان s |
| T | دما |
| u,v,w | بردارهای سرعت در راستای x,y,z |
| X,Y,Z | محورهای مختصات |
|  | عدد بدون بعد، |
| نماد های یونانی | |
|  | ضریب انبساط حرارتی، |
|  | اتلاف انرژی جنبشی آشفتگی |
|  | ویسکوزیته دینامیکی |
|  | ویسکوزیته آشفتگی |
|  | چگالی |
|  | پرانتل آشفتگی برای |
|  | پرانتل آشفتگی برای |
|  | تنش برشی |
|  | تنش برشی دیواره |

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](http://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](http://www.sanyo-denki.com)

[9]Intel Corp. Intel Pentium 4, Dual Processor Data Sheets. www.intel.com (accessed on May 2, 2007).