اولین کنفرانس بین‌المللی گرمایش، سرمایش و تهویه مطبوع
ایران، تهران، خرداد ۱۳۸۸

شبیه سازی و بهینه سازی جریان هوا در دیتا سنترها

مهدی گلخنی زواره ، فرزاد جعفر کاظمی

کارشناس مکانیک سیالات، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران جنوب؛ mahdi.golkhani@gmail.com
استادیار، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران جنوب؛ fj_kazemi@azad.ac.ir

چکیده

در این مقاله پس از معرفی اجمالی شبیه سازی جریان هوا در محیط های بسته و عوامل مهم تاثیر گذار بر عملکرد سایت های دیتاسنتر، شبیه سازی و بهینه سازی جریان هوا در یک سایت نمونه را مورد بررسی و تحلیل قرار می دهیم. برای این منظور سایت مورد نظر را در سه حالت مختلف از نظر ورودی ها و خروجی های جریان شبیه سازی نموده و عملکرد هر نمونه را از نظر نحوه حرکت جریان،کنترل شرایط سایت و وجود مناطق داغ، مکان های دارای جریان چرخشی یا راکد بررسی نموده و در نهایت مدل بهینه را از بین مدل های شبیه سازی شده انتخاب می نماییم.

کلمات کلیدی: شبیه سازی جریان هوا، دیتا سنتر ها، دینامیک سیالات محاسباتی، بهینه سازی.

مقدمه

مطالعه روی جریان هوا و بررسی و شبیه سازی الگوی جریان هوا در سالهای اخیر، با توجه به ضرورت بهینه سازی مصرف انرژی و نیاز به داشتن محیط هایی با تهویه کنترل شده اهمیت بیشتری پیدا نموده است.

به طور کلی به دو صورت می توان جریان هوا را در محیط های بسته شبیه سازی و بررسی نمود، یکی به روش تجربی است که علاوه بر پیچیده بودن بسیار پرهزینه می باشد و در بعضی موارد که مطالعه روی مدل هایی با شکل های هندسی مختلف صورت می گیرد با توجه به زمان پروژه غیر ممکن می باشد.

روش دوم شبیه سازی جریان به کمک رایانه می باشد که در سالهای اخیر با توجه به پیشرفت های نرم افزاری و سخت افزاری بسیار مورد توجه قرار گرفته است. در این روش به کمک کد های دینامیک سیالات محاسباتی، به سرعت و با دقت قابل قبول می توان جریان هوا را در حالت های مختلف شبیه سازی، و نتایج حاصله را با هم به صورت گرافیکی مقایسه و نقش عوامل تاثیر گذار روی مدل را بررسی نمود.

از عوامل تاثیر گذار روی حرکت جریان هوا در محیط های بسته می توان به شکل هندسی اتاق (خصوصاً اگر اتاق دارای پارتیشن باشد)، نوع و محل ورودی ها و خروجی های جریان هوا، منابع حرارتی داخلی، و عوامل کنترل نشده ای مثل نفوذ هوای خارجی از بین منافذ اتاق اشاره نمود.[۱-۴]

تا کنون مدل های مختلفی از نظر چیدمان سایت و نحوه ورود و خروج جریان هوا برای دیتا سنترها پیشنهاد شده است که هرکدام دارای مزایا و معایبی می باشند [۵]، و در این مقاله با استفاده از نرم افزار Fluent به بررسی و شبیه سازی سه شکل مرسوم جریان هوا در یک نمونه سایت دیتا سنتر می پردازیم و با استفاده از نتایج شبیه سازی مدل بهینه را انتخاب می نماییم.

۱- سرمایش و الزامات شرایط محیطی دیتا سنتر ها :

پایین نگاه داشتن دما یکی از الزامات داشتن کارایی بالا برای سایت های دیتا سنتر می باشد. و مانند سایر تجهیزات الکترونیکی با پایین آمدن دما به علت کمتر شدن مقاومت الکتریکی سرعت مدارات الکترونیکی سرورها بالا رفته و علاوه بر راندمان بالاتر، قطعات دیرتر خراب می شوند، به طور کلی با افزایش هر ۱۰ درجه سانتیگراد در دمای محیط ۵۰ درصد کاهش قابلیت اطمینان در قطعات الکترونیکی داریم و برعکس؛ و از طرف دیگر افزایش دما، می تواند رطوبت سایت را به کمتر از حد قابل قبول برساند. به همین منظور دمای این سایت ها باید بین ۱۸ تا ۲۴ درجه سانتیگراد نگه داشته شود و مناطق دما بالا در سایت به حداقل ممکن برسد.[۷،۶]

یکی از فاکتور های مهم دیگر در دیتا سنتر ها میزان رطوبت نسبی می باشد.که میزان بهینه آن با توجه به مسائل ایمنی سیستم بین ۴۵-۵۰ درصد می باشد، البته بیشتر سرورها و تجهیزات الکترونیکی می توانند به راحتی در رطوبت نسبی بین ۲۰ -۸۰ درصد کارکنند امّا میزان رطوبت بهینه یاد شده به دلایل فنی زیر مورد استفاده قرار می گیرد :

- تخلیه الکترواستاتیکی : تخلیه الکترواستاتیکی به علت پایین بودن رطوبت نسبی، باعث اختلال های تناوبی در تجهیزات الکتریکی و به خصوص نیمه هادی ها شده و حتی می تواند باعث خرابی و از بین رفتن این تجهیزات شود، تخلیه الکترواستاتیکی در طوبت نسبی کمتر از ۳۵ در صد به راحتی ایجاد می شود و در محدوده های پایین تر می تواند باعث اشکالات اساسی در سیستم شود.
- خوردگی : در رطوبت های بالا با توجه به امکان چگالش بخار آب روی سطوح فلزی سایت، خوردگی این سطوح بالا می رود.
- افزایش زمان کاری سیستم وقتی که سیستم کنترل شرایط محیطی خراب شود : با انتخاب میزان بهینه یاد شده، در شرایطی که سیستم کنترلی دچار ایراد شود، زمانی که سیستم می تواند بدون عیب به کارخود ادامه دهد افزایش می یابد.

نگه داشتن شرایط محیطی ثابت برای این سایت ها یکی از الزامات مهم می باشد، به طوری که داشتن یک سایت همیشه گرم از داشتن سایتی با نوسان دمایی و رطوبتی بالا بهتر می باشد.[۸]

تغییرات دمایی و رطوبتی بالا می تواند علاوه بر ایجاد مسائلی مثل خوردگی و مشکلات رطوبتی، باعث کاهش عمر مفید قطعات به دلیل سخت کار کردن سیستم با تغییرات نوسانی محیط شود. به همین منظور در یک بازه زمانی یک ساعته کاری سیستم، تغییرات دمایی نباید بیش از ۵/۵ درجه سانتیگراد باشد و نیز رطوبت نسبی در این بازه نباید بیش از ۱۰ درصد تغییر نماید.

۲-مدل فیزیکی سایت :

در این مقاله یک سایت نمونه را به ابعاد 12m×5.5m×3.66m که پلنومی به ارتفاع 0.45m از کف زمین جهت ورودی هوا دارد، با شرایط ثابت (از نظر منابع تولید گرمای داخلی، میزان جریان هوا و بار سرمایشی) در سه حالت مختلف مطابق جداول۱و۲ مورد بررسی و شبیه سازی قرار می گیرد.

جدول ۱- سایز و ظرفیت منابع حرارتی در دیتاسنتر

منابع حرارتی	اندازه	توان حرارتی	تعداد
Server Cabinet (Rack) With 450 CFM internal fan in sides	0.92m×0.61m×2.31m	3000 W	10
High Density Server Cabinet (HDRack) With 1000 CFM internal fan in sides	0.92m×0.61m×2.31m	7000 W	10
PDU (power distribution unit) With 1.21m×0.61m inlet grille from raised floor plenum	1.21m×0.61m×1.21m	3600 W	2

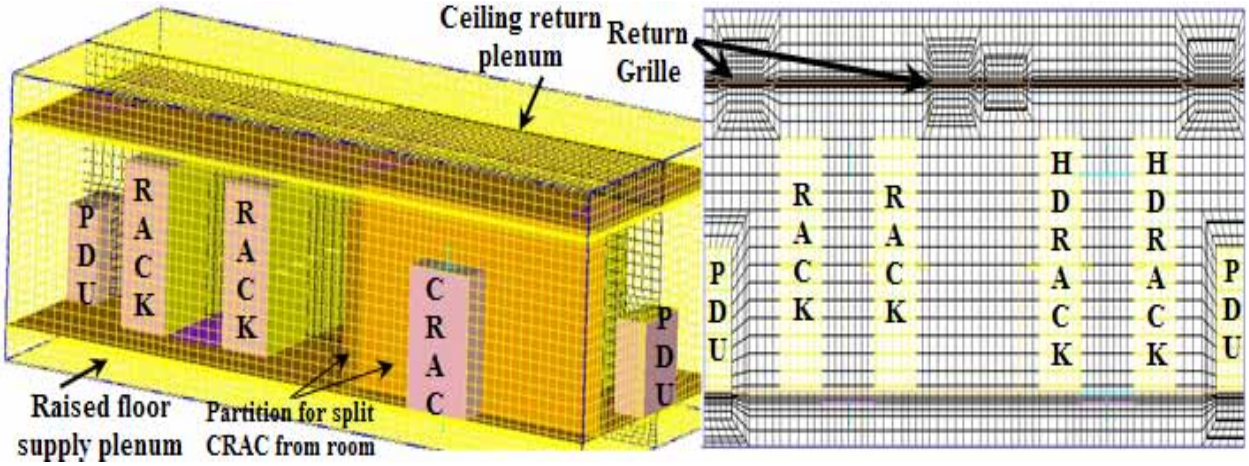
جدول ۲ – حالات مختلف مدل سازی

#	Celing return plenum	CRAC unit (computer room air conditioning unit)	Inlet Grille	Return Grille
A	NO	One 12450 CFM Supply air T=12˚c	# 20 0.6m×0.6m	NO
B	NO	Tow equal 6225 CFM Supply air T=12˚c	# 20 0.6m×0.6m	NO
C	YES Height= 0.61 m	Tow equal 6225 CFM Supply air T=12˚c and separated CRAC from room	# 20 0.6m×0.6m	# 8 0.8m×1.4m

۳- مدل محاسباتی :

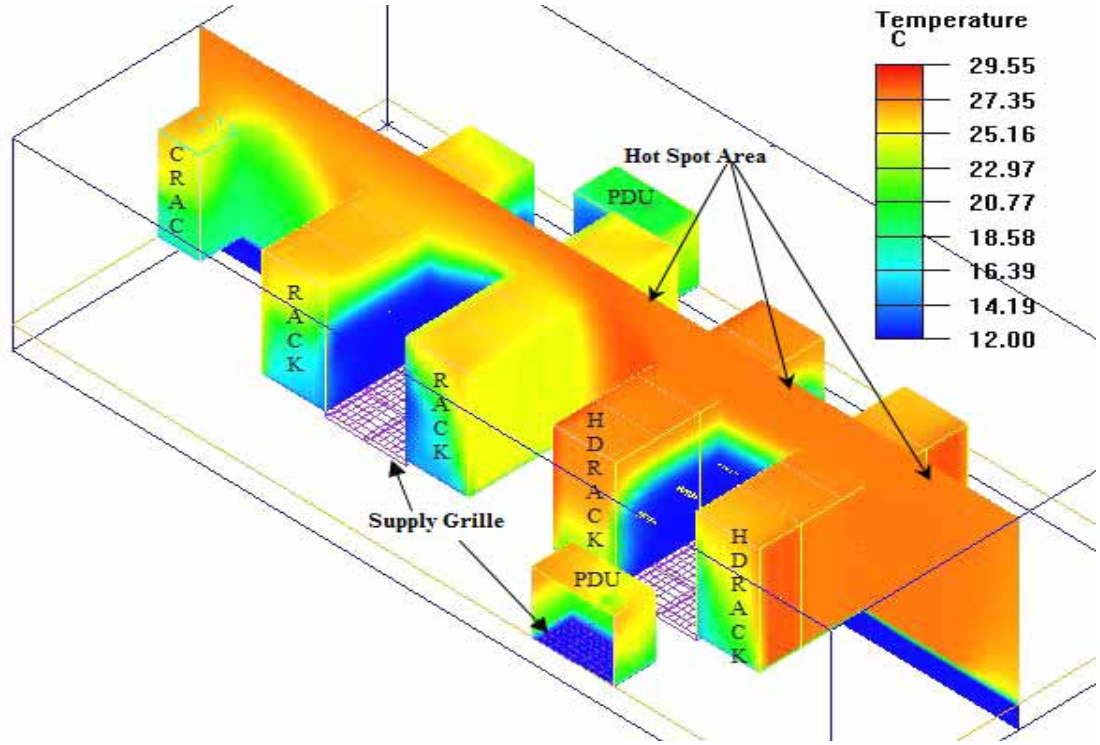
در این مقاله پس از مدل سازی سایت و تعریف شبکه بندی برای فضای مسئله، به کمک نرم افزار Fluent و با استفاده از مدل جریان مغشوش Zero-Equation حل عددی مدل صورت گرفته است.

مدل Zero-Equation در حقیقت یک مدل جبری بوده و فرض اساسی این مدل بر این است که نرخ تولید اغتشاش محلی با نرخ پخش اغتشاش تقریباً یکسان می باشد. بنابراین در این مدل جابجایی اغتشاش در نظر گرفته نمی شود. بدیهی است که این موضوع با فیزیک بیشتر جریان ها مخالفت می نماید، با این حال این مدل از نظر ریاضیاتی ساده و استفاده از آن در کد های محاسباتی نسبتاً راحت می باشد[۹]؛ به همین جهت چون در این تحقیق رفتار کلی جریان برای ما مهم می باشد، از این مدل جهت حل عددی جریان استفاده می نماییم.

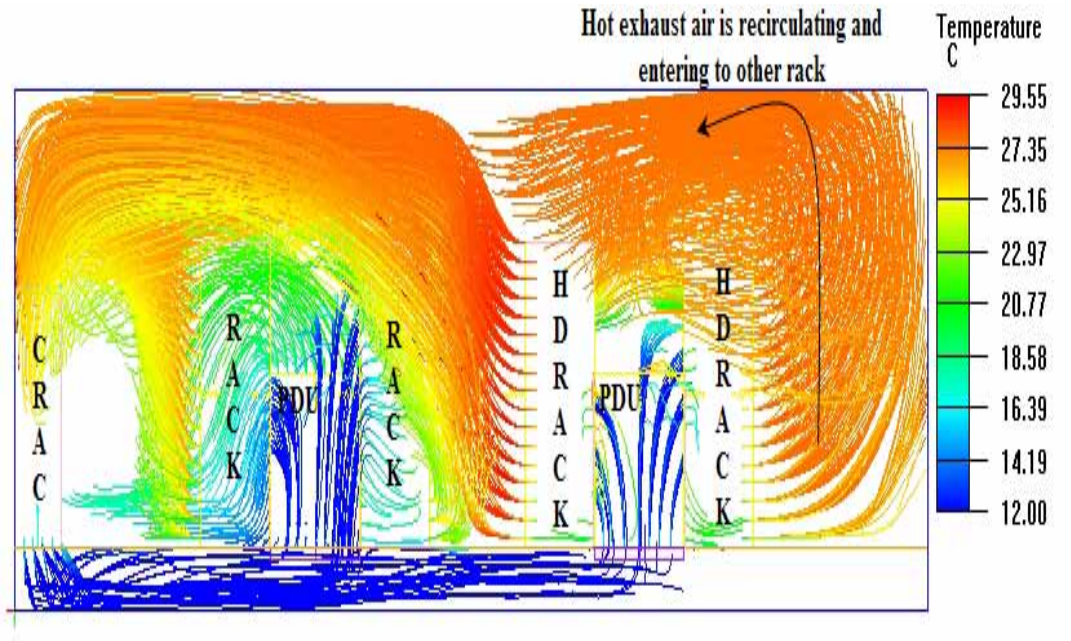


شکل ۱ – مدل فیزیکی و نحوه شبکه بندی فضای مسئله مدل C

۴- نتایج شبیه سازی :



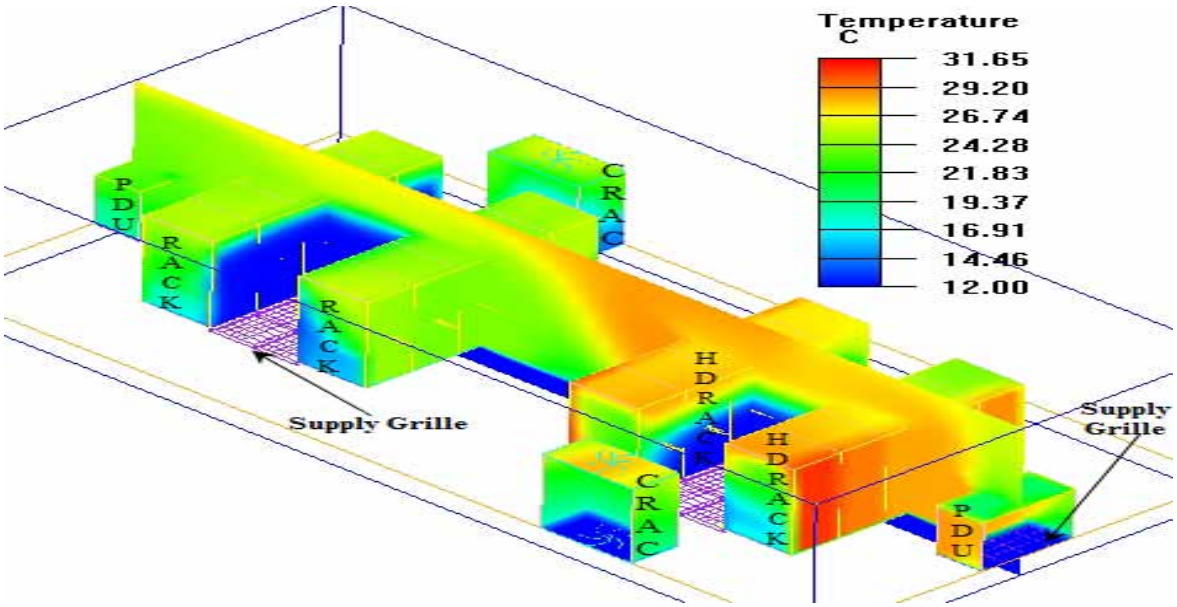
شکل ۲ – طیف تغییرات دما در صفحه میانی و سطح تجهیزات سایت A



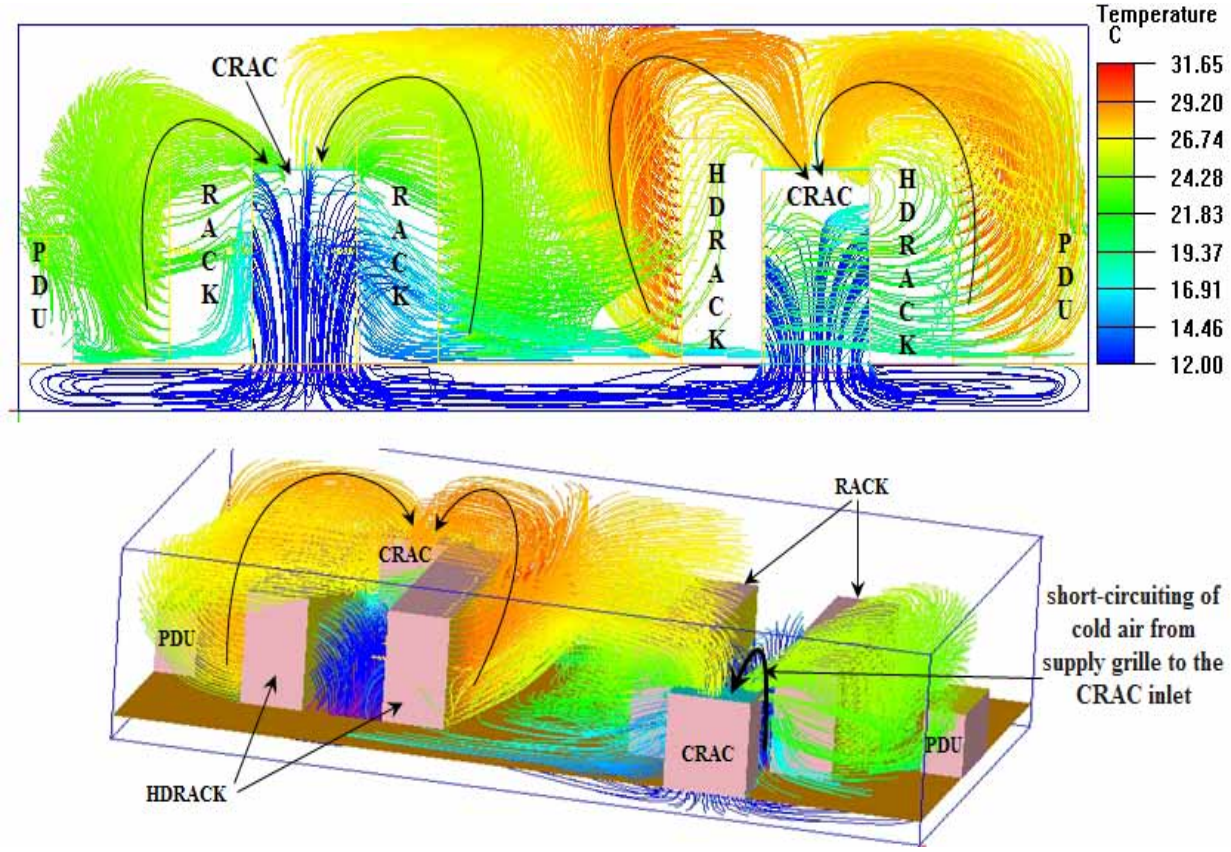
شکل ۳ - الگوی حرکتی و دمایی جریان هوا در سایت A

در شکل ۲ طیف تغییرات دما در صفحه میانی و سطح تجهیزات سایت A و در شکل ۳ الگوی حرکتی و دمایی جریان هوا در سایت A نمایش داده شده است.

از شکل های ۲ و ۳ می توان به این موضوع پی برد که در این مدل (A)، علاوه برداشتن تعداد زیاد مناطق دما بالا و ایجاد گردابه در جریان هوا، برگشت جریان دما بالای خارج شده از HDRack ها به سرورهای مجاور ایجاد می شود؛ که علاوه بر ایجاد مشکلات دمایی و رطوبتی در سایت،کنترل سایت را از نظر نوسانی نبودن دما و رطوبت مشکل و مصرف انرژی را در این سایت بالا می برد.



شکل ۴ - طیف تغییرات دما در صفحه میانی و سطح تجهیزات سایت B



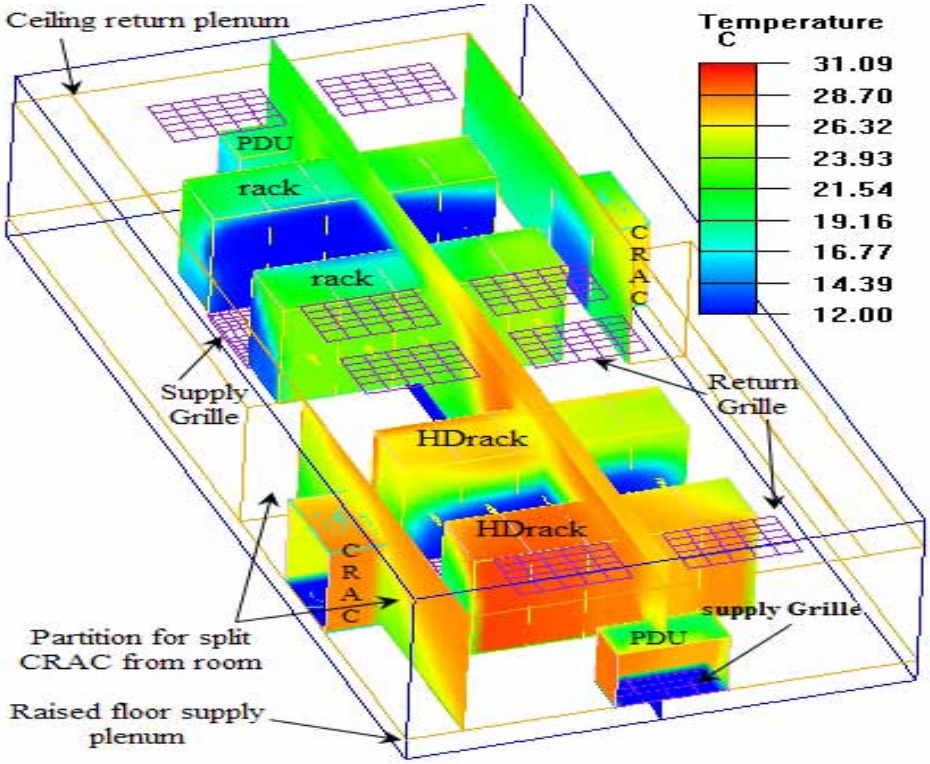
شکل ۵ - الگوی حرکتی و دمایی جریان هوا در سایت B

در شکل های ۴ و ۵ نتایج شبیه سازی جریان برای مدل B نشان داده شده است که این مدل در واقع همان مدل A بوده با این تفاوت که در این مدل دو CRAC همسان، با ظرفیت مساوی خنک کننده مدل A، در دو طرف طولی سایت و در جهت دریچه های ورودی هوا قرار گرفته است.

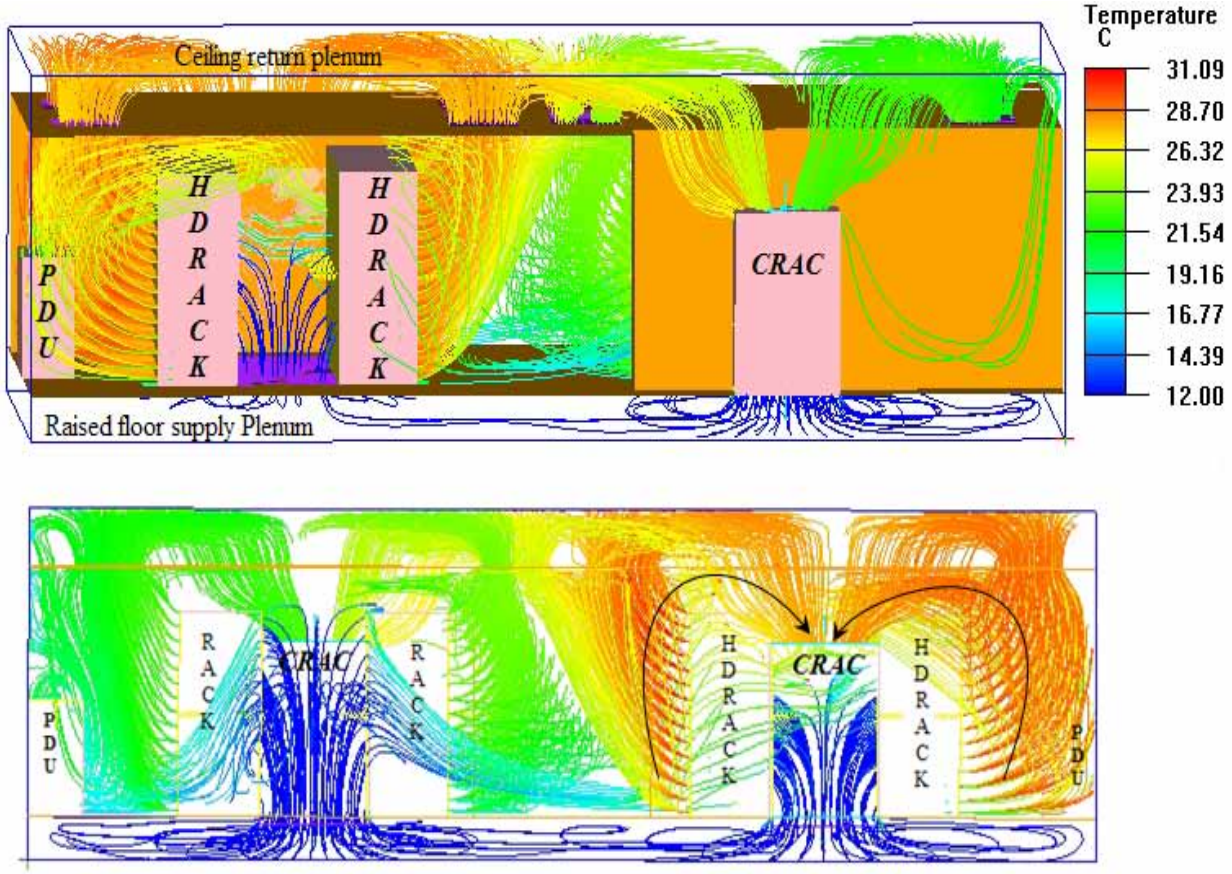
یکی از تغییرات مهمی که در این مدل صورت گرفته است، افزایش فاصله بین خروجی های دو سرور میانی می باشد، به طوری که حداقل ترکیب جریان های دما بالا و دما پایین را قبل از ورود به CRAC ایجاد شود. و همان طور که از شکل ۴و۵ پیداست، افزایش فاصله بین سرور های میانی و گذاشتن دو سیستم خنک سازی برای سرور های دما بالا و پایین، سبب کمتر شدن ترکیب جریان های دما پایین و دما بالای خروجی از سرور ها می شود، که این امر برکاهش دمای عمومی سایت بسیار مؤثر می باشد.

از شکل ۵ پیداست که در مدل B جریان های گردابی و برگشت جریان های گرم خروجی از یک سرور به سرورهای مجاور هنوز قابل توجه می باشد ولی کمتر شده است.

یکی از مشکلات دیگر این دو مدل (A,B)، به وجود آمدن مسیر کوتاه برای ورود جریان های سرد از دریچه های ورودی هوای تازه به CRAC می باشد که این امر موجب می شود سیستم کنترلی خنک کننده میزان رطوبت و بار سرمایشی را کاهش داده، در حالی که رطوبت نسبی سایت پایین و دمای سایت بالا می باشد و سیستم را به سمت نوسانی بودن میل می دهد.



شکل ۶ - طیف تغییرات دما در صفحه میانی و سطح تجهیزات سایت C



شکل ۷ - الگوی حرکتی و دمایی جریان هوا در سایت C

مدل C همان مدل B می باشد، با این تفاوت که در مدل C با اضافه نمودن یک پلنوم سقفی با هشت دریچه (برای برگشت جریان هوا از سقف سایت) و جدا نمودن سیستم های خنک کننده از سایت به وسیله پارتیشن (با توجه به شکل های ۶و۷)، به وضوح کاهش مناطق دما بالا، جریان های گردابی، کمتر شدن ورود جریان های گرم خارج شده از سرور ها به یکدیگر و همچنین کمتر شدن ترکیب جریان های سرد و گرم موجود در سایت، نسبت به مدل های A وB مشخص می باشد.

در این مدل به دلیل جدا بودن سیستم های خنک کننده از سایت و ترکیب کامل جریان های ورودی به CRAC (کمتر شدن گرادیان دمایی سیال در ورودی به CRAC)، کنترل شرایط لازم برای سایت ساده تر بوده و نوسانات دمایی و رطوبتی به حداقل می رسند. و نیز برای کم تر شدن برخورد دو جریان خروجی از سرورهای میانی سایت و جلوگیری از برگشت جریان های گرم به سرور های مجاور، فاصله بین سرور های میانی در این سایت مانند مدلB افزایش یافته، به طوری که کمترین اثر گذاری جریان ها بر هم به وجود آید.

به طور کلی برای کاهش مصرف انرژی و افزایش راندمان سایت همیشه باید نکات زیر را رعایت نمود[۱۰] :

۱. به حداقل رساندن برگشت جریان های گرم به ورودی سرورها.
۲. به حداقل رساندن ترکیب جریان های گرم و سرد قبل از ورود به سیستم های خنک کننده.
۳. به حداقل رساندن مسیر های کوتاه برای برگشت جریان های سرد از دریچه های ورودی سایت به سیستم خنک کننده .

نتیجه گیری و جمع بندی :

در این مقاله سعی شد با استفاده از روش دینامیک سیالات محاسباتی در شبیه سازی جریان هوا، برخی از تغییراتی که با عوض نمودن مسیر جریان در سایت اتفاق می افتد را (با توجه به مهم بودن شرایط محیطی در دیتاسنترها و پیچیده بودن رفتار فیزیکی این سایت ها در مقابل تغییرات هندسی و چیدمان تجهیزات) بررسی و نقاط ضعف و قوت طرح را مشخص نماییم.

از آنجا که در دیتاسنترها انرژیی که صرف خنک سازی سایت می شود ۳۰-۵۰ در صد بیشتر از انرژی پردازشی مورد نیاز سرورها می باشد و با توجه به گسترش روز افزون این محیط ها حتی صرفه جویی ۵ درصدی انرژی می تواند سهم بسیار قابل توجهی در کاهش مصرف انرژی سالیانه داشته باشد.

البته هر یک مدل های بررسی شده در این مقاله و سایر مدل های پیشنهادی می توانند (با توجه به نوع سرور های سایت از نظر حرارت تولیدی و نحوه ورود و خروج جریان هوا و چیدمان سایت) بر دیگر مدل ها ارجحیت داشته باشد. در این مسیر، شبیه سازی جریان هوا در این سایت ها و بررسی رفتار شرایط محیطی با تغییر در چیدمان تجهیزات و مسیر جریان هوا، می تواند علاوه بر صرفه جویی در مصرف انرژی، راندمان پردازشی و عمر سیستم را با توجه به حساسیت سیستم به شرایط محیطی بالا ببرد.

مراجع

[1]C. Me´ndez, J.F. San Jose´, J.M. Villafruela, F.Castro**,** ‘‘Optimization of a hospital room by means of CFD for more efficient ventilation’’**,**Energy & Buildings, 2007.

[2]Liang Zhou, Hongyu Huang, Amid Shakeri, Soheil Rastan,Ben Stach ,Karen Pero ,Edward Morofsky, Fariborz Haghighat, ‘‘INDOOR ENVIRONMENT IN AN OFFICE FLOOR WITH NOZZLE DIFFUSERS: A CFD SIMULATION’’ Ninth International IBPSA Conference,Montréal, Canada, August 2005.

[3]Hee-Jin Park, Dale Holland, ‘‘The efect of location of a convective heat source on displacement ventilation: CFD study’’, Building and Environment 36 , 2001.

[4] Chen, Q.Y. and W.Xu., ‘‘A Zero-equation Turbulence Model for Indoor Airflow Simulation’’, Energy and Building (28). 1998.

[5] R. R. Schmidt,E. E. Cruz,M. K. Iyengar, ‘‘Challenges of data center thermal management’’,IBM J. RES. & DEV. VOL. 49 NO. 4/5 JULY/SEPTEMBER. 2005.

[6] M. Norota, H. Hayama, M. Enai, and M. Kishita, ‘‘Research on Efficiency of Air Conditioning System for Data Center’’,Proceedings of the IEICE/IEEE International Telecommunications Energy Conference (INTELEC), pp.147–151, October 2003.

[7] Rob Snevely ., ‘‘Enterprise Data Center Design and Methodology’’, Prentice Hall PTR, 2002.

[8] Douglas Alger., ‘‘Build the Best Data Center Facility for Your Business’’, Cisco Press . 2005

[9] K.A.Hoffmann,S.T.Chiang,‘‘Computational fluid dynamics volume III ,Engineering Education system 2000.

[10] American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE) , ‘‘DATA PROCESSING AND ELECTRONIC OFFICE AREAS’’ASHRAE HVAC Applications, 2007.