Archive of SID

مجموعه مقالات اولین کنفرانس بین المللی تهویه مطبوع و تاسیسات حرارتی و برودتی
۳۱ اردیبهشت ۱۳۹۴، ایران، تهران، مرکز همایش‌های صدا و سیما
مجری: انجمن علمی مهندسی حرارتی و برودتی ایران
HVACconf-IRSHRAE-1-051

ارزیابی معماری توزیع هوای سیستم سرمایش برای تجهیزات یک مراکز داده مخابراتی در ایران

بهزاد نوروزی، دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی ارومیه؛ n.behzadmec@yahoo.com
محمد باقر محمد صادقی آزاد، استادیار گروه مکانیک، دانشگاه صنعتی ارومیه؛ m.sadeghiazad@uut.ac.ir
ربیع ناطقی، فارغ التحصیل کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک ، دانشگاه صنعتی سهند تبریز؛ rabi.nateghi@yahoo.com
فرید سپهریان آذر، دانشجوی دکتری مکانیک-تبدیل انرژی ، دانشگاه صنعتی ارومیه؛ sep.farid@yahoo.com

چکیده

در این مطالعه توزیع هوای سیستم سرمایش در یکی از مراکز داده مخابراتی ایران به روش دینامیک سیالات محاسباتی بررسی شده است. هدف از مطالعه ی توزیع هوا در مرکز داده ، پیدا کردن یک سیستم سرمایش مناسب از نظر سرمایش تجهیزات در مراکز داده می باشد. بدین منظور معیارهای عملکرد سرمایشی SHI (شاخص گرمای تولیدی)، RHI (شاخص گرمای برگشتی)، RCI (شاخص سرمایش راک) و RTI (شاخص دمای برگشتی) برای تمامی مدل ها بررسی شده است. با توجه به این معیارها و همچنین با توجه به کانتورهای دمایی بدست آمده یک مدل بهینه برای سیستم سرمایش در مرکز داده پیشنهاد شده است. همچنین برای سالن هایی که در آن ها سرمایش با استفاده از پکیج های پایین زن از طریق کف کاذب صورت می گیرد، برای جلوگیری از اتلاف انرژی راهکاری ارائه شده است.

کلمات کلیدی: سیستم سرمایش، توزیع هوا، مرکز داده مخابراتی، راک

مقدمه

مرکز داده به مکانی می گویند که برای قرار دادن تجهیزات کامپیوتری و اجزای مرتبط مانند سیستم های ذخیره اطلاعات و سیستم های ارتباطی، استفاده می شود. این تجهیزات معمولا شامل منابع تغذیه ، تجهیزات ارتباطی ، سیستم تهویه هوا، سیستم اطفاء حریق و دستگاه های امنیتی نیز می شود[۱]. سیستم های تهویه هوا که امروزه در مراکز داده استفاده می شوند باید بتوانند به صورت تمام وقت (۲۴ ساعت، ۷ روز هفته و کل طول سال) کار کنند. با رشد سریع صنعت ارتباطات، مراکز داده به عنوان پدیده متداولی هم به صورت عمومی و هم به صورت اختصاصی در آمده اند[۲]. انتشار گرما در سرور راک ها دائما در حال افزایش است. به همین دلیل سرمایش مرکز داده برای حفاظت از سیستم های کامپیوتری و افزایش کارکرد و طول عمر آنها، مهم است. بنابراین طراحی مناسب سیستم تهویه هوا در مراکز داده برای جلوگیری از تخریب دستگاه ها ناشی از گرمای زیاد اهمیت دارد[۳]. لذا برای اطمینان از عملکرد مناسب این سیستم ها، باید آنها را به میزان کافی خنک نگه داشت. هر سرور IT باید میزان مشخصی هوای سرد را با توجه به سرعت انتشار گرمای خود، دریافت کند. بنابراین راه حل تضمین عملکرد مناسب این تجهیزات این است که مطمئن باشیم هوای سرد به طور مناسبی در مرکز داده توزیع می شود و هوای رفت، نیاز های مرتبط با هر ناحیه را برآورده می کند[۲]. شارما و همکاران[۴] دو پارامتر بی بعد شاخص گرمای تولیدی (SHI) و شاخص گرمای برگشتی (RHI) را معرفی کردند که برای ارزیابی عملکرد دمایی مراکز داده استفاده می شوند. این شاخص ها روشی را فراهم می کنند تا بتوان جریان هوای همرفتی را در اتاق تجهیزات با کف کاذب بررسی کرد. بازده انرژی نه تنها بستگی به نوع سیستم های سرمایشی دارد، بلکه از چیدمان اتاق تجهیزات که باعث اختلاط هوای گرم و سرد می شود نیز تاثیر می پذیرد. هرلین[۵] میزان تاثیر سرمایش راک ها را مطالعه کرد و شاخص سرمایش راک (RCI) را که نشان دهنده ی میزان خنک کاری تجهیزات راک می باشد معرفی کرد. این معیار همچنین می تواند به خوبی برای طراحی مراکز داده جدید استفاده شود. شریواستاوا و همکاران [۶] پارامتر بی بعدی به نام شاخص تسخیر (CI) معرفی کردند که معیاری از عملکرد سرمایی در مرتبه راک ها است. هرلین[۷] مطالعه ای را بر روی شاخص دمای برگشتی (RTI) انجام داد که مقیاسی از سطح پایه جریان هوای عبوری یا سطح پایه جریان هوای برگشتی در مرکز داده است. هر دوی این موارد تاثیر بدی بر روی انرژی کل و بازده دمایی هوا در آن فضا دارد. نوه و همکاران[۸] از سه روش برای طراحی مراکز داده با راک هایی با بار ۵-۶ kW استفاده کردند. آنها در مراکز با تجهیزات ارتباطی، سه حالت : هوای ورودی از کف به همراه خروجی از سقف، هوای ورودی از بالا و خروجی از کف و هوای ورودی از بالا و خروجی از دیوار ها، را بررسی کردند. در دو این مورد اخیر نشان داده شد که حالت هوای ورودی از کف و خروجی از سقف عملکرد بهتری دارد. چو و همکاران[۹] عملکرد توزیع سیستم هوا برای کاهش مصرف انرژی در مراکز داده با تراکم بالا را ارزیابی کردند. آنها ۴۶ مدل مختلف جهت توزیع هوا را بررسی کردند و به این نتیجه رسیدند که دمای هوای خروجی از پکیج بیشترین تاثیر در بازدهی جریان دارد. آنها همچنین نشان دادند که با محفظه بسته کردن راهرو، هوای خروجی از پکیج را می توان تا ۲۲ ^{o}C افزایش داد بدون اینکه راندمان کاهش بیابد.

دو عامل جریان برگشتی و جریان عبوری باعث کاهش راندمان سیستم سرمایشی می شوند. به جریان گرم برگشتی به راهروی سرد، جریان برگشتی و به جریان سردی که بدون خنک کاری راک ها از راهروی سرد عبور می کند، جریان عبوری می گویند. این دو جریان در شکل ۱ برای سیستم سرمایشی پایین زن نشان داده شده اند. با بهبود معماری چیدمان راک ها (رعایت محل راهروهای سرد و گرم ، شکل ۱) و همچنین کنترل دماهای ورودی و خروجی راک ها و پکیج ها می توان دو عامل جریان برگشتی و جریان عبوری را به حداقل رساند.

در این مطالعه سالن دیتای مرکز pc ارومیه به عنوان نمونه مرکز داده مخابراتی ایران انتخاب و شبیه سازی گردیده و سعی شده است تا مصرف انرژی در مرکز داده با بهبود کارایی و بازدهی سرمایش و توزیع هوا، کاهش داده شود. با توجه به اینکه فاکتورهای طراحی بر بازدهی جریان هوای اتاق سرور IT اثر می گذارند، به بررسی انواع مختلف از شرایط فیزیکی مربوط به کانال کشی ، بالا زن و یا پایین زن بودن پکیج ها وسایر شرایط

www.Hvacconf.ir
www.SID.ir

Archive of SID

طراحی پرداخته شده و تاثیرات هر کدام از این فاکتورهای طراحی استخراج شده اند.

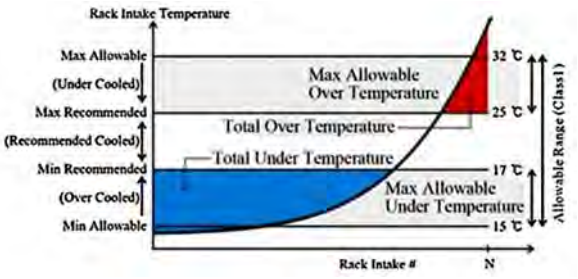
ب الف

شکل ۱: الف) جریان برگشتی ب) جریان عبوری

مطالعه ی عملکرد مرکز داده

شاخص سرمایش راک (RCI) :

توصیف کامل شاخص سرمایش راک توسط هرلین [۵] انجام شد. این شاخص معیاری است که میزان خنک کاری راک را نشان می دهد و شامل دو رابطه می باشد ، یک رابطه محدوده ی مجاز برای حداکثر دمای راک (RCI_{HI}) و یک رابطه محدوده ی مجاز برای حداقل دمای راک (RCI_{LO}) را نشان می دهد[۵].در شکل ۲ محدوده های دمایی مجاز و حداکثر و در جدول ۱ محدوده ی مناسب برای شاخص RCI_{HIGH} طبق استاندارد اشری [۱۰] نشان داده شده است. طبق این استاندارد RCI_{HIGH} بزرگتر از ۹۵٪ مناسب می باشد.



شکل ۲: محدوده ی دمایی مجاز و حداکثر راک طبق استاندارد اشری [۱۰]

$$RCI_{HIGH}=\left[1-\frac{Total\ over\ temperature}{Max\ allowable\ over\ temperature}\right]\times 100\% =\left[1-\frac{\sum(T_i-T_{max-rec})_{T_i>T_{max-rec}}}{n\times(T_{max-all}-T_{max-rec})}\right]\times 100\% \quad (۱)$$

جدول۱ . نرخ سرمایش راک (RCI_{HIGH} & RCI_{LOW})

ایده ال	٪۱۰۰
خوب	٪۹۶≤
قابل قبول	٪۹۱-٪۹۵
ضعیف	٪۹۰≥

شاخص RCI_{HIGH} مهمترین شاخص در طراحی تاسیسات مرکز داده می باشد به طوری که اگر این شاخص در محدوده ی مناسب نباشد نیازی به بررسی سایر شاخص ها نمی باشد یکی از روش های بهبود عملکرد این شاخص افزایش نرخ حجم هوای ورودی به راک ها می باشد که از معایب این امر نیز افزایش مصرف انرژی می باشد. . شاخص RCI_{LOW} مطابق رابطه ی ۲ تعریف می شود:

$$RCI_{LOW}=\left[1-\frac{Total\ under\ temperature}{Max\ allowable\ under\ temperature}\right]\times 100\% =\left[1-\frac{\sum(T_{min-rec}-T_i)_{T_i<T_{min-rec}}}{n\times(T_{min-rec}-T_{min-all})}\right]\times 100\% \quad (۲)$$

شاخص دمای برگشتی (RTI) :

این شاخص بیانگر نرخ جریان هوای خروجی از پکیج های سرمایشی به تجهیزات از جمله راک ها می باشد. به عبارتی این شاخص مدیریت هوای خروجی از تجهیزات سرمایشی به راک ها می باشد. همچنین شاخص دمای برگشتی ، وجود جریان برگشتی و یا جریان عبوری (شکل ۱) را نیز نشان می دهد. این شاخص طبق رابطه ی زیر تعریف می شود[۷] :

$$RTI=\left[1-\frac{T_{return}-T_{supply}}{\Delta T_{equipment}}\right]\times 100\% \quad (۳)$$

اگر مقدار شاخص RTI بزرگتر از ۱۰۰٪ باشد به معنای وجود جریان برگشتی و اگر مقدار این شاخص کمتر از ۱۰۰٪ باشد به معنای وجود جریان عبوری می باشد. بنابراین ایده آل ترین مقدار برای این شاخص ، ۱۰۰٪ می باشد. در عمل ، این شاخص هرگز مقدار ۱۰۰٪ را ندارد و تنها در صورت محفظه بسته نمودن راهروها می توان به مقدار ایده آل ۱۰۰٪ نزدیک شد.

شاخص گرمای برگشتی (RHI) و شاخص گرمای تولیدی (SHI) :

این دو شاخص که میزان اختلاط دو جریان هوای سرد ورودی به راک و جریان گرم خروجی از راک را نشان می دهد به صورت زیر تعریف می شوند [۴] :

$$SHI=\left(\frac{\delta Q}{Q+\delta Q}\right) \quad (۴)$$

$$RHI=\left(\frac{Q}{Q+\delta Q}\right) \quad (۵)$$

در روابط فوق ، Q مقدار کل حرارت منتشر شده از تمام راک ها می باشد و میزان افزایش آنتالپی هوای سرد قبل از وارد شدن به راک را نشان می دهد [۴] :

$$Q=\sum_j\sum_i m^r_{i,j}C_p\left(\left(T^r_{out}\right)_{i,j}-\left(T^r_{in}\right)_{i,j}\right) \quad (۶)$$

$$\delta Q=\sum_j\sum_i m^r_{i,j}C_p\left(\left(T^r_{in}\right)_{i,j}-T_{ref}\right) \quad (۷)$$

در روابط فوق ، $m^r_{i,j}$ دبی ورودی به راک i ام در ردیف j ام می باشد.

این دو شاخص با رابطه ی زیر به هم مربوط می شوند [۴] :

$$SHI+RHI=1 \quad (۸)$$

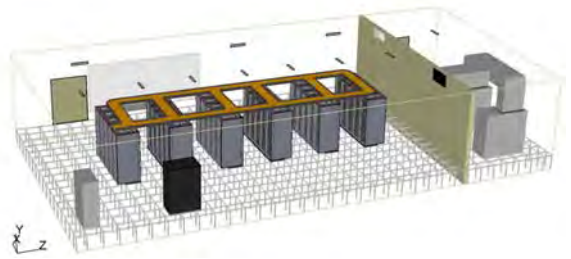
هر چقدر میزان RHI زیاد و SHI کم باشد به حالت ایده ال طراحی سیستم سرمایش برای مرکز داده نزدیک شده ایم. این حالت نشان دهنده ی میزان اختلاط کم هوای سرد با هوای گرم خروجی از راک ها می باشد. معمولا میزان RHI بزرگتر از ۰/۸ (٪۸۰) ایده ال می باشد.

www.SID.ir

Archive of SID

مدل سازی

برای مدل سازی و تحلیل مسئله از نرم افزار sigma DC۶ که یکی از نرم افزارهای تحلیل مرکز داده می باشد ، استفاده شده است. در این نرم افزار تمامی تجهیزات مورد استفاده در مرکز داده ، در جعبه های نرم افزار موجود می باشند و تمامی شاخص های ذکر شده به صورت خودکار محاسبه می شوند. در شکل زیر یکی از حالتهای مدل سازی شده ی مرکز داده نشان داده شده است:



شکل ۳: یکی از حالتهای مدل سازی شده برای مرکز داده

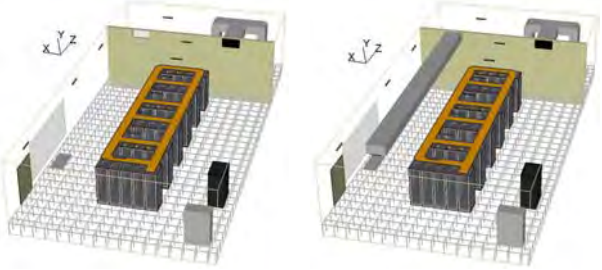
در جدول ۲ ابعاد و تجهیزات مورد استفاده در سالن و بار حرارتی تجهیزات به تفکیک نوشته شده است.

جدول ۲. ابعاد سالن و بار حرارتی تجهیزات

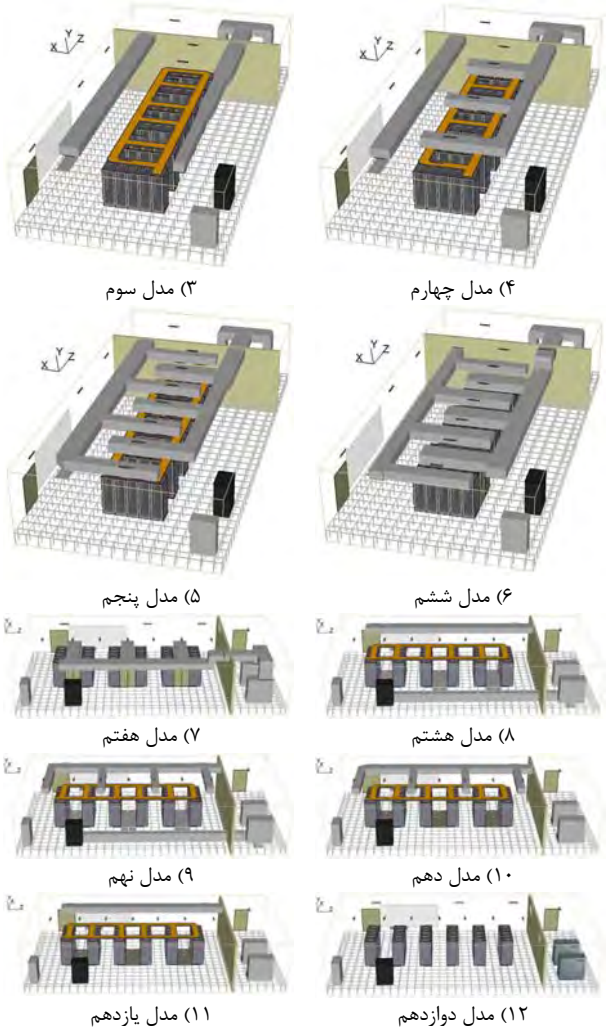
طول سالن	۲۰ متر
عرض سالن	۱۰ متر
ارتفاع سالن	۳/۵ متر
تعداد راک	۳۰ عدد
بارحرارتی هر راک	۳ kw
بار حرارتی سیستم خنک کننده (پکیج ها)	۱۶/۷۹ kw
بار حرارتی سیستم روشنایی	۲/۲ kw
بار حرارتی سایر سیستم ها	۴/۶ kw

با توجه به این که در سالن واقعی دو عدد پکیج 80 kw استفاده شده است، در مدل مورد مطالعه نیز این تجهیزات قرار داده شده اند و حالت بهینه ی قرار گیری راک ها و همچنین حالت بهینه ی توزیع سیستم سرمایش مطالعه شده است.

برای مطالعه توزیع سیستم سرمایش در سالن مورد نظر، حالتهای مختلف سیستم کانال کشی و همچنین قرار دادن راهروهای سرد در محفظه بسته بررسی شده اند.در شکل ۴، حالتهای بررسی شده نشان داده شده است.



۱) مدل اول ۲) مدل دوم



۳) مدل سوم ۴) مدل چهارم
۵) مدل پنجم ۶) مدل ششم
۷) مدل هفتم ۸) مدل هشتم
۹) مدل نهم ۱۰) مدل دهم
۱۱) مدل یازدهم ۱۲) مدل دوازدهم

شکل ۴: مدل های بررسی شده

مدل های ۱ تا ۷ به صورت بالازن می باشند یعنی خروجی پکیج ها برای تامین هوای سرد از بالا می باشد و سرمایش سالن از بالای سالن انجام می گیرد. مدل های ۸ تا ۱۲ به صورت پایین زن می باشند و خروجی هوای سرد پکیج ها از طریق کف کاذب سالن به پایین سالن منتشر می شود. مدل های ۶ و ۷ به صورت محفظه بسته می باشند، در این مدل ها راهروی سرد درون محفظه ی بسته ای قرار می گیرد تا از اتلاف انرژی برای سرمایش سایر فضاها جلوگیری شود و انرژی مصرف شده فقط برای سرمایش راک ها استفاده شود. در مدل ۱۲ که به صورت پایین زن می باشد هوای سرد از کف کاذب و از پایینِ راک وارد راک می شود. این حالت در اکثر مراکز داده ی ایران، که به صورت پایین زن از کف کاذب سرمایش صورت می گیرد، دیده می شود.

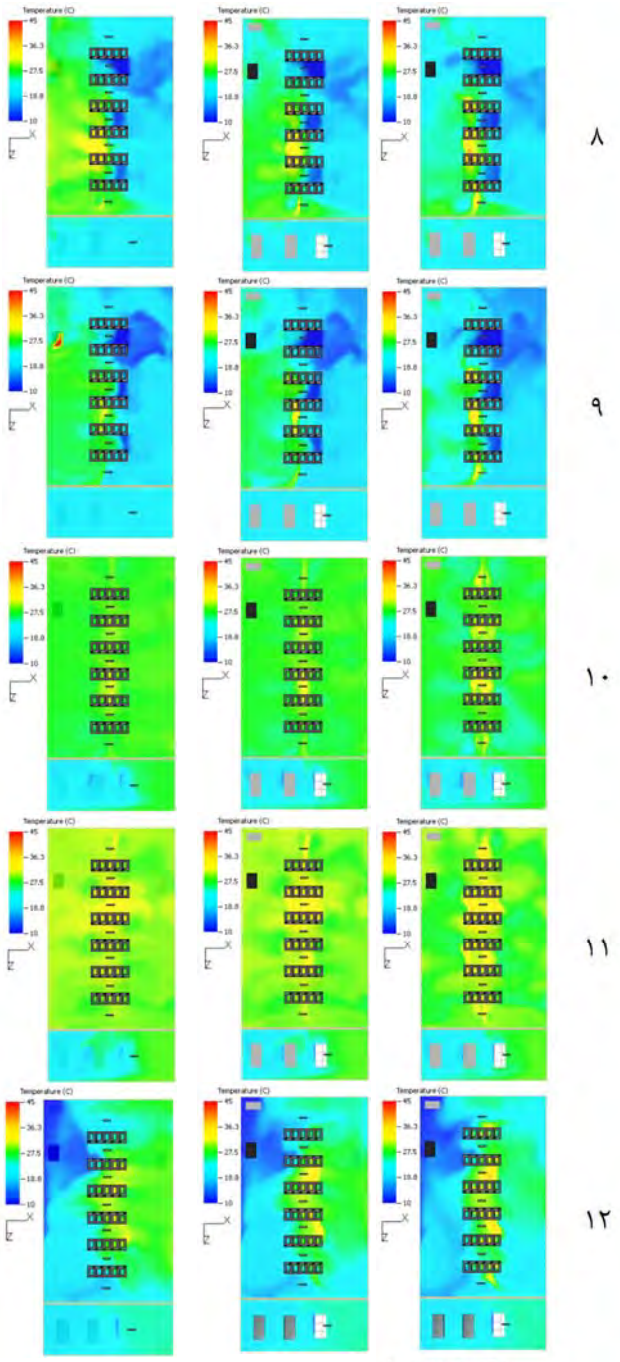
بحث بر روی نتایج

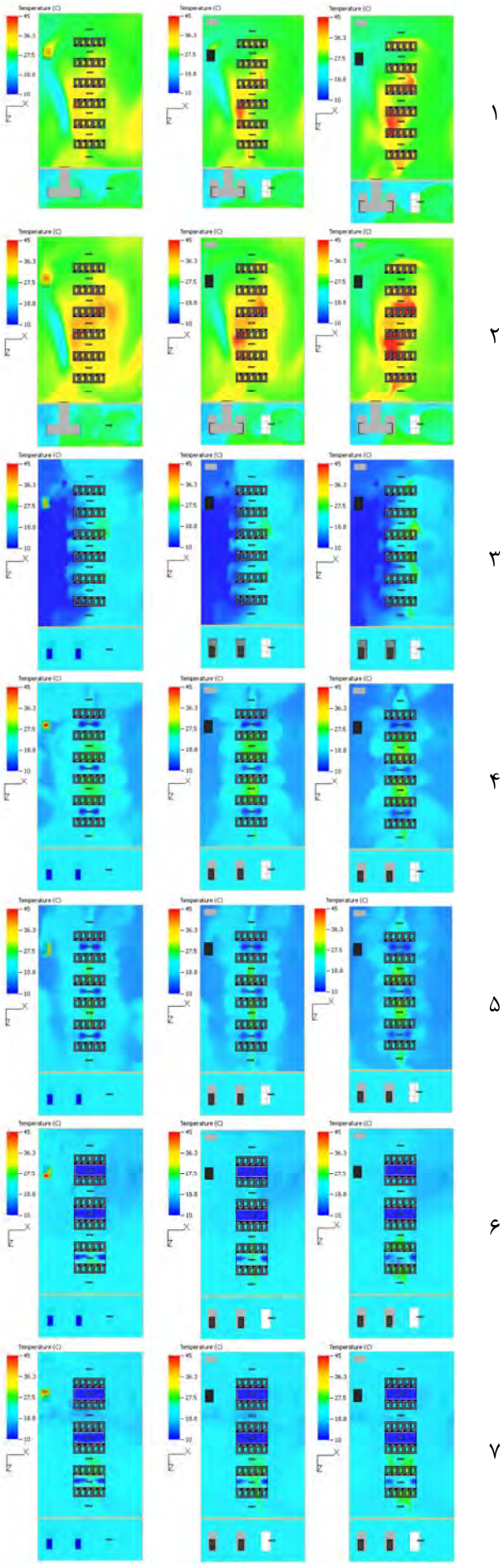
در شکل ۵ کانتورهای دمایی برای مدل های بررسی شده، رسم شده اند. کانتورهای دمایی درارتفاع های ۱ ، ۱/۵ و ۲ متری از کف رسم شده اند:

مدل	کانتور دما در ارتفاع ۱ متر	کانتور دما در ارتفاع ۱/۵ متر	کانتور دما در ارتفاع ۲ متر

www.SID.ir

Archive of SID





شکل ۵: کانتورهای دمایی برای مدل های بررسی شده

با توجه به شکل ۵، در مدل هـای ۳ و ۴ و ۵ حـداکثر سـرمایش (مینـیمم دما) در فضایِ مجاورِ کانالِ تامین هوای سرد می باشد. در این حالت انرژی مصرف شده به جای خنک کاری راک ها صرف سرمایش مناطقی می شود که نیازی به سرمایش ندارند یعنی انرژی تلف می شود. در مدل های ۶ و ۷ که به صورت محفظه بسته می باشـند، مینـیمم دمـا در درون محفظـه ی بسته در راهروی سرد مشاهده می شود که می تواند یک حالت بهینه برای سرمایش راک باشد. با مقایسه ی مدل های ۸ تا ۱۲ که بـه صـورت پـایین زن می باشند، می توان مشاهده نمود که ایجـاد پارتیشـن در کـف کـاذب برای هدایت سرمایش ایجاد شده توسط پکیج ها و همچنین تعبیه نمـودن خروجی هوای سرد در پایین راک، راهکار خوبی بـرای سـرمایش راک مـی باشد. ایجاد پارتیشن در کف کاذب باعث می شـود کـه انـرژی فقـط بـرای

www.SID.ir

Archive of SID

سرمایش مناطق مورد نظر مصرف شود و از اتلاف انرژی ناشی از سرمایش مناطقی که به سرمایش نیاز ندارند جلوگیری شود. در جدول ۳ مقادیر معیارهای عملکرد سرمایشی RCI (شاخص سرمایش راک) ، RTI (شاخص دمای برگشتی) ، SHI (شاخص گرمای تولیدی) و RHI (شاخص گرمای برگشتی) برای مدل های بررسی شده، نشان داده شده اند.

جدول ۳: معیارهای عملکرد سرمایشی برای مدل های بررسی شده

مدل	RCI_{HIGH}	RCI_{LOW}	RTI	RHI	SHI
۱	59.61 %	100 %	90.46 %	0.4264	0.5509
۲	24.53 %	100 %	91.08 %	0.4071	0.5746
۳	100 %	99.12%	95.98 %	0.6468	0.3612
۴	100 %	99.51%	97.68 %	0.6618	0.3481
۵	100 %	99.26%	97.55 %	0.6702	0.3373
۶	100 %	100%	97.98 %	0.819	0.1829
۷	100 %	100%	97.95 %	0.7967	0.2004
۸	98.52 %	98.48%	93.58 %	0.6368	0.3539
۹	99.43 %	99.35%	95.03 %	0.6487	0.3526
۱۰	99.22 %	9.37 %	93.42 %	0.6102	0.3797
۱۱	93.63 %	14.27 %	93.07 %	0.6057	0.3819
۱۲	94.99 %	94.59 %	93.8 %	0.4934	0.511

با توجه به جدول ۳، حالتهای ۶ و ۷ که راهروی سرد در محفظه بسته قرار دارد بهینه ترین حالتها می باشند. در حالت ۶ که برای برگشت جریان گرم به اتاق پکیج کانال جداگانه ای در نظر گرفته شده است، مقادیر ضرایب RHI و SHI ایده ال می باشند. همچنین مقادیر شاخص ها در حالتهای ۸ و ۹ که به صورت پایین زن با پارتیشن می باشند، نسبت به حالتهایی که به صورت پایین زن بدون پارتیشن می باشند بسیار بهتر می باشند. بنابراین در حالت سرمایش به صورت پایین زن از کف کاذب ایجاد پاتیشن راهکار خوبی برای افزایش راندمان می باشد.

نتیجه گیری

با توجه به کانتورهای شکل ۵ و مقادیر شاخص های عملکرد سرمایشی در جدول ۳، حالتهای ۶ و ۷ بهینه ترین حالتها می باشند. محفظه بسته نمودن راهروی سرد باعث افزایش راندمان و جلوگیری از اتلاف انرژی می شود. همچنین با ایجاد محفظه بسته به مقدار زیادی از جریان برگشتی و جریان عبوری (که باعث کاهش راندمان می شوند) جلوگیری می شود. همچنین با توجه به شکل ۵ و جدول ۳، در صورت ایجاد پارتیشن برای حالتهایی که سرمایش راک ها از طریق کف کاذب صورت می گیرد و جلوگیری از انتشار هوای سرد به تمامی کف، می توان از اتلاف انرژی جلوگیری کرد.

فهرست علائم

گرمای ویژه در فشار ثابت (kJ/kg K)	c_p
دبی (kg/s)	m
حرارت منتشر شده از راک	Q

زیرنویس‌ها

اندیس شماره ی راک	i
ورودی	in
اندیس شماره ی ردیف	j
خروجی	out
مرجع	ref

بالانویس‌ها

راک	r

مراجع

[1] Hassan N.M.S., Khan M.M.K., Rasul M.G., "Temperature monitoring and CFD Analysis of Data Centre" *Journal of the Procedia Engineering*, 2013, pp. 551–559.

[2] Cho J., Kim B.S., "Evaluation of air management system's thermal performance for superior cooling efficiency in high-density data centers" *Journal of the Energy and Buildings*, 2011, pp. 2145–2155.

[3] Priyadumkol J., Kittichaikarn C., "Application of the combined air conditioning systems for energy conservation in data center" J*ournal of the Energy and Buildings*, 2014, pp. 580–586.

[4] Sharma R.K., Bash C.E., Patel C.D., "Dimensionless Parameters for Evaluation of Thermal Design and Performance of Large scale Data Centers" *American Institute of Aeronautics and Astronautics (AIAA)*, 2002, pp. 3091–3101.

[5] Herrlin M.K., *"Rack cooling effectiveness in data centers and telecom central offices: the rack cooling index (RCI)"*, ASHRAE Transactions 111 (Part 2), American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc., Atlanta, GA, 2005.

[6] Shrivastava S.K., VanGilder J.W., Sammakia B.G., "Prediction of cold aisle end airflow boundary conditions using regression modeling", *IEEE Transactions on Components and Packaging Technologies*, 30, 2009.

[7] Herrlin M.K.,"Improved data center energy efficiency and thermal performance by advanced airflow analysis", *Proceedings of Digital Power Forum*, 2007, pp. 10–12.

[8] Noh H., Song K. and Chun S. K., "The cooling characteristic on the air supply and return flow system in the telecommunication cabinet room." *Proceedings of International Telecommunications Energy Conference (INTELEC)*, Vol. 33, No. 2, 1998, p. 777-84.

[9] Cho J., Yang J., Park W., "Evaluation of air distribution system's airflow performance for cooling energy savings in high-density data centers" *Energy and Buildings*, Vol. 68, 2014, pp. 270–279.

[10] TC 9.9, Mission Critical Facilities, Technology Spaces, and Electronic Equipment, Thermal Guidelines for Data Processing Environments, American Society of
Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers Inc., 2008.

www.SID.ir

Archive of SID

www.SID.ir