

حالات صرفه جویی سیستم های خنک سازی مرکز داده

خلاصه اجرایی

در اقلیم های خاص، برخی سیستم های خنک کننده با فعالیت در حالت صرفه جویی می توانند بیش از 70 درصد در هزینه های سالانه انرژی صرفه جویی کنند، که برابر با بیش از 15 درصد کاهش در PUE سالانه است. اما، حداقل 17 نوع متفاوت حالت صرفه جویی با تعاریف صنعتی غیردقیق وجود دارند که مقایسه، انتخاب یا تعیین آنها را سخت می کند. این مقاله، اصطلاحات و تعاریفی برای انواع مختلف حالات صرفه جویی فراهم می کند و عملکرد آنها را در برابر ویژگی های مرکز داده اصلی مقایسه می کند.

فهرست مطالب

مقدمه

هدف و کارکرد حالات صرفه جویی

انواع حالات صرفه جویی

مقایسه حالات متفاوت صرفه جویی

عواملی که بر فعالیت حالت صرفه جویی تاثیر دارند.

حذف یا کاهش حالات بدون صرفه جویی در سیستم های خنک سازی

نتیجه گیری

منابع

افزایش هزینه های انرژی و انگیزه سبز بودن، تقاضای بیشتری برای حفظ انرژی ایجاد کرده است. ظرفیت صرفه جویی در انرژی در حالت صرفه جویی در اقلیم های خاص، استفاده از آن را در محیط های IT جذاب کرده است. فعالیت در حالت صرفه جویی، با استفاده از هوای بیرون طی ماه های سردتر سال باعث صرفه جویی در انرژی میشود که به اجزای خنک سازی مبتنی بر مبرد، مانند چیلر و کمپرسور اجازه می دهد خاموش شوند یا با ظرفیت کمتر کار کنند. تا این اواخر، فعالیت در حالت صرفه جویی، گزینه یا حالت دوم عملیات در نظر گرفته می شد، ولی اکنون تبدیل به الزامی شده است که باید اهداف کارآمدی تعیین شده توسط اپراتورهای مرکز داده و یا استانداردهایی مانند ANSI/ASHAE Standard 90.1-2010، استاندارد انرژی برای ساختمان ها به جز ساختمان های مسکونی کم ارتفاع، را محقق کند. اپراتورهای مرکز داده در برخی اقلیم ها متوجه شدند که سیستم های خنک سازی می توانند از ابتدا در حالت صرفه جویی کار کنند که به حالات مبتنی بر مبرد (یعنی خنک سازی مکانیکی) اجازه می دهند به عنوان حالت دوم عملیات یا پشتیبانی کار کنند.

اگرچه مفهوم صرفه جویی در کل صنعت مرکز داده مشخص است، ولی کار کمی برای استانداردسازی اصطلاحات و تعاریف انجام شده است که باعث سردرگمی می شود. منبع اصلی سردرگمی در استفاده از عبارت صرفه جویی برای توصیف جزئی در سیستم خنک سازی یا یک زیرمجموعه از سیستم خنک سازی است. صرفه جویی، یک شیء نیست، بلکه حالت عملیات است.

در بالاترین سطح، سیستم خنک سازی می تواند از هوا، آب یا خنک کننده برای انتقال انرژی گرمایی از درون مرکز داده به بیرون استفاده کند. عبارت صرفه جویی هوایی و صرفه جویی آبی، اغلب برای توصیف سیستم های خنک سازی با حالت صرفه جویی یکپارچه به کار می روند. به دلیل نبود تعاریف استاندارد دیگر، این مقاله اصطلاحات. تعاریفی برای انواع مختلف حالات صرفه جویی پیشنهاد می کند که از آب یا هوا برای انتقال انرژی گرمایی به بیرون استفاده می کند. عملیات هر نوع حالت صرفه جویی توصیف می شود، و شش نوع به عنوان مفیدترین موارد برای مراکز داده تعیین می شوند. سپس این شش نوع حالات صرفه جویی در ویژگی های مختلف مقایسه می شوند.

این مقاله فرض می کند خواننده دانش کلی درباره انواع مختلف سیستم های رد گرمایی دارد. برای درک بهتر اجزای خنک سازی انواع مختلف سیستم های رد گرمایی، مقاله 59، انواع متفاوت تجهیزات تهویه هوای برای محیط های IT، را ببینید.

هدف و کارکرد حالات صرفه جویی

دستگاه ها و فناوری های خنک سازی بسیاری وجود دارد که برای خنک سازی مراکز داده به کار می روند. اما، همه این سیستم ها از برخی یا همه چهار جزء اصلی زیر استفاده می کنند:

- انتقال گرما: پنکه ها یا پمپ ها، سیال متحرک (مانند هوا یا آب)، که انرژی گرمایی را از مرکز داده به محیط بیرون حرکت می دهد.

- تبادل گرما: کویل ها یا دریچه ها که انرژی گرمایی را از یک جریان گرمایی به جریان بعدی جابه جا می کنند. در همه موارد، تبادل گرمایی نهایی با محیط بیرون وجود دارد.

- کمپرسور: سیستمی که از خنک کننده کم فشار و پرفشار برای وارد کردن انرژی گرمایی به جریان سربالایی از منطقه سرد (مرکز داده) به منطقه گرم (فضای بیرون در تابستان) استفاده می کند. خنک کننده پرفشار فشرده شده، در دمایی بسیار بالاتر از دمای بیرون است. این افزایش دما به گرمای درون مرکز داده اجازه می دهد به محیط بیرون حرکت کند.

- کمک تبخیری: برج های خنک کننده، فیلترهای مرطوب یا اسپری هایی که آب را تبخیر می کنند تا انتقال گرما به محیط بیرون تسهیل شود.

مرکز داده خنک شده با آب، از همه این اجزا برای خنک سازی مرکز داده استفاده می کند. انتقال گرما و کمپرسور، در فراهم کردن هوای خنک، انرژی الکتریکی مصرف می کنند و کمک تبخیری، آب مصرف می کند.

خنک سازی رایگان

حالات صرفه جویی گاهی خنک سازی رایگان نامیده می شود. اگرچه این عبارت برای توصیف هدف کلی حالات صرفه جویی مفید است، ولی باید به این نکته اشاره کرد. حالت صرفه جویی، کمپرسور در دستگاه خنک سازی را به صورت ناقص یا کامل، متوقف می کند. بیشتر سیستم هایی که از حالات صرفه جویی استفاده می کنند، بیشتر

وقت خود را در حالت توقف ناقص صرف می کنند، بنابراین بخشی از انرژی خنک سازی ذخیره می شود، ولی خنک سازی رایگان نیست. به علاوه، حتی وقتی حالت صرفه جویی در توقف کامل کمپرسور کار می کند، هنوز انرژی بسیاری در انتقال گرما با پنکه ها یا پمپ ها، و احتمالاً در سایر کارکردها مانند ایجاد رطوبت*، به کار می رود. حتی در این حالت صرفه جویی کامل، خنک سازی رایگان نیست.

* در حداقل یک طراحی، انتقال گرمای Yahoo chicken coop، با استفاده از طراحی ساختمان خاص، همرفت طبیعی را به کار می برد تا نیاز به پنکه های انتقال گرما را کاهش دهد یا از بین ببرد.

سیستم خنک سازی باید برای کار در بدترین شرایط، یعنی بار کامل مرکز داده و دمای بیرونی زیاد، طراحی شود. در بارهای کمتر مرکز داده و دمای بیرونی کم، سیستم باید کار کمتری برای خنک سازی مرکز داده انجام دهد. متأسفانه، دستگاه های مختلف در مجموعه خنک سازی، کمتر از ظرفیت خود به کار می روند. در این شرایط بازده عملیاتی ندارند. برای افزایش بازده تحت این شرایط، دستگاه های خنک سازی بهبود یافته اند تا محرک های سرعت مختلف، مرحله بندی و سایر کارکردها را دربرگیرند. با این حال، هنوز توان بسیاری لازم دارند. برای کمک به کاهش توان به کار رفته در طی شرایط مطلوب بار کم مرکز داده و دمای بیرونی کمتر، حالات صرفه جویی ایجاد شده اند.

در حالت صرفه جویی، کارکرد کمپرسور، به صورت کامل یا ناقص، متوقف می شود که مصرف انرژی آن را حذف می کند یا کاهش می دهد. وقتی دمای بیرونی بیشتر از دمای مرکز داده است، کمپرسور برای حرکت دادن انرژی در مرکز داده به محیط بیرون استفاده می شود. اما وقتی دما بیرون کمتر از دمای مرکز داده است، گرما بدون نیاز به افزایش دمای فراهم شده توسط کمپرسور، به بیرون حرکت می کند، بنابراین کارکرد آن غیرضروری است. بنابراین، تحت شرایط مطلوب، می توان کمپرسور را متوقف کرد، که انرژی بسیاری ذخیره می کند. به علاوه، برای سیستم هایی که از کمک تبخیری استفاده می کنند، اگر شرایط مطلوب باشند، می توان این کارکرد را خاموش یا متوقف کرد، که در آب صرفه جویی می کند.

ایجاد حالت صرفه جویی در سیستم خنک سازی مرکز داده، هزینه و پیچیدگی بیشتر ایجاد می کند و در موقعیت ها با شرایط آب و هوایی بسیار مطلوب، مانند ارتفاعات زیاد، توجیه نمی شود. اما این مورد تغییر کرده است و حالات صرفه جویی به این دلایل تقریباً در همه موقعیت ها، مفید در نظر گرفته می شوند:

- فعالیت مرکز داده در بار ناقص، مزیت حالات صرفه جویی را افزایش می دهد و طراحان بیشتری، تشخیص می دهد که مراکز داده، بخشی بسیاری از عمر خود را در بار سبک صرف می کنند. روند به سمت تغییر توان دینامیک تجهیزات IT، این تاثیر را تقویت می کند.

- روند به سمت فعالیت مراکز داده در دماهای بالاتر برگشت هوای IT، تاثیر مهمی بر درصد زمان فعالیت حالت صرفه جویی، مخصوصا در اقلیم های گرمتر دارد.

- بیشتر اجزای جدید حالات صرفه جویی اکنون در حالت صرفه جویی ناقص کار می کنند که مقدار انرژی ذخیره شده در همه موارد را افزایش می دهد.

- ابزار موجود برای تعیین انرژی ذخیره شده با اجرای حالات صرفه جویی، اکنون بهبود یافته اند و احتمالات صرفه جویی مهم را با ROI عالی پیش بینی می کنند.

- تجربه واقعی با حالات صرفه جویی و بهبود کنترل ها و سیستم های نظارت، تائید کرده اند که این حالات، تاثیر مضری بر قابلیت اطمینان مراکز داده ندارند.

این مفهوم توقف کارکرد کمپرسور است که در مرکز همه حالات صرفه جویی قرار دارد. نحوه اجرای این توقف (و مزایای به دست آمده) وابسته به طراحی دستگاه خنک کننده است، همانطور که در بخش های بعدی توضیح داده می شود.

انواع حالات صرفه جویی

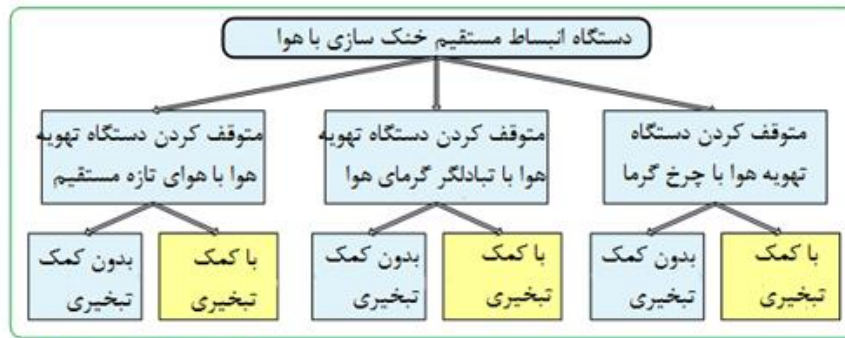
19 حالت اصلی صرفه جویی وجود دارد، و از این موارد، 15 مورد را می توان در مرکز داده تولید به کار برد (هر شش نوعی که از هوا استفاده می کنند و 9 نوعی که از آب استفاده می کنند). چهار نوع دیگر که از آب استفاده می کنند، در نظر گرفته نشدند چون آب متراکم تری را مستقیم وارد مرکز داده می کنند که مصرف سوخت در تجهیزات را افزایش می دهد. شکل 1، این 15 نوع حالت صرفه جویی را نشان می دهد. هر نوع در بخش های بعدی توصیف می شود. حالات مشخص شده با رنگ زرد، بعدا در این مقاله آنالیز می شوند.

برای مقایسه حالات صرفه جویی متفاوت، باید همه اجزای سیستم خنک سازی لازم برای فعالیت در آن حالت را در نظر گرفت. مثلا، گاهی مبادله گر گرمای صفحه و چارچوب در دستگاه چیلر با خنک سازی آبی، به صورت

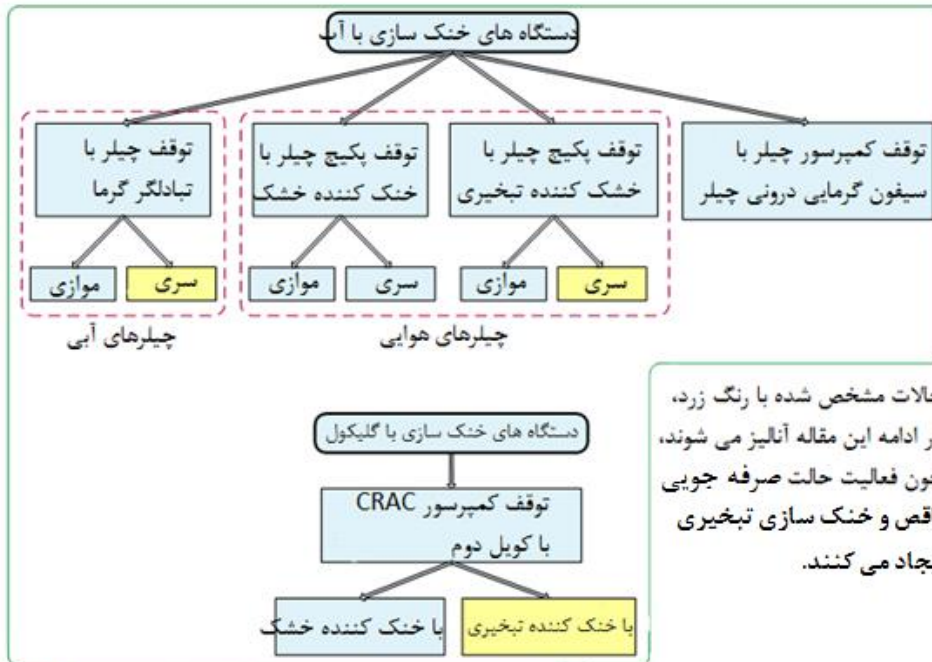
اشتباه، صرفه جویی در نظر گرفته می شود، که در حقیقت تنها جزئی است که به سیستم خنک سازی اجازه می دهد در حالت صرفه جویی فعالیت کند. در این مورد، برج خنک کننده، پمپ های متراکم ساز، پمپ های آب خنک، و دستگیره های هوای اتاق کامپیوتری (CRAH) همه برای فعالیت در حالت صرفه جویی لازم هستند. فعالیت در حالت صرفه جویی بدون یکی از این دستگاه ها، حتی در سردترین روز، غیرممکن است. به این دلیل است که ارجاع به صرفه جویی در مرکز داده اشتباه است و باید به حالات صرفه جویی عملیات سیستم خنک سازی اشاره کرد.

سری / موازی

حالات صرفه جویی را می توان به یکی از این دو روش طراحی و پیکربندی کرد: سری یا موازی. در پیکربندی سری، جزئی که کمپرسور را متوقف می کند (مثلا مبادله گر گرمای صفحه و چارچوب) به صورت سری با کمپرسور نصب می شود. این پیکربندی، حالت صرفه جویی ناقص را ممکن می کند که مبادله گر گرما، هوا یا آب را از قبل خنک می کند. این کار، انرژی گرمایی کلی را کاهش می دهد که کمپرسور باید رد کند، و مقدار زیادی انرژی صرفه جویی می کند. در پیکربندی موازی، جزئی که پمپ گرمایی را متوقف می کند به صورت موازی با پمپ گرمایی نصب می شود. این پیکربندی مانع فعالیت در حالت صرفه جویی می شود. این رویکرد همه یا هیچ، با فعالیت در حالت صرفه جویی ناقص، نمی تواند صرفه جویی بسیاری ایجاد کند.



حالت صرفه جویی با هوا



حالت صرفه جویی با آب

حالات مشخص شده با رنگ زرد، در ادامه این مقاله آنالیز می شوند، چون فعالیت حالت صرفه جویی ناقص و خنک سازی تبخیری ایجاد می کنند.

شکل 1: انواع حالات صرفه جویی

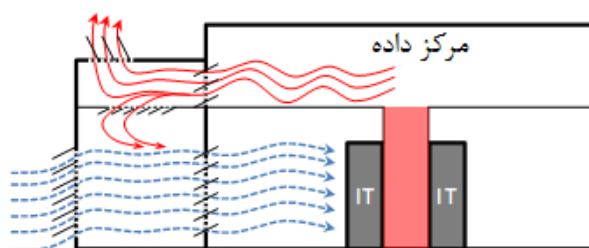
بخش های بعد، هر نوع حالت صرفه جویی را توصیف می کنند. هر بخش با فهرستی از همه اجزای ضروری برای فعالیت در حالت صرفه جویی شروع می شود (یعنی کاملاً بدون کمک تراکم بخار مکانیکی). همه توصیفات فرض می کنند که سیستم کنترل لازم است.

توقف دستگاه تهویه هوا به وسیله هوای تازه مستقیم

اجزای اصلی: پنکه ها، بادگیرها، میراگرها، فیلترها (پدهای محیط مرطوب و پمپ، وقتی با کمک تبخیری استفاده می شود).

حالت صرفه جویی هوای تازه (گاهی هوای مستقیم نامیده می شود)، وقتی شرایط هوای بیرونی در نقاط تعیین شده هستند، از پنکه ها و بادگیرها برای وارد کردن مقدار خاص هوای سرد بیرونی به وسیله فیلترها، و سپس مستقیماً به مرکز داده استفاده می کند، همانطور که در شکل 2 مشخص است. بادگیرها و میراگرها، مقدار هوای گرم خروجی که به بیرون خارج می شود و با هوای ورودی مرکز داده مخلوط می شود، کنترل می کند تا نقاط تعیین شده زیست محیطی را حفظ کند. اگرچه هوای ورودی فیلتر می شود، ولی این کار، مانع ورود ذرات ریز مانند دود و گازهای شیمیایی به مرکز داده نمی شود.

این نوع حالت صرفه جویی را می توان با کمک تبخیری نیز استفاده کرد که هوای بیرون، قبل از ورود به مرکز داده، از ماده شبکه مرطوب عبور می کند. در موقعیت های جغرافیایی خشک، کمک تبخیری می تواند دمای هوا را تا 19 درجه سانتیگراد (35 درجه فارنهایت) کاهش دهد، که باعث افزایش ساعات در حالت صرفه جویی می شود. این دقیقاً همان تاثیر خنک سازی است که وقتی افراد از اقیانوس خارج می شوند و به سمت نسیم اقیانوس می روند. دقت کنی که استفاده از کمک تبخیری با این نوع حالت صرفه جویی، رطوبت مرکز داده را افزایش می دهد، چون هوای تازه وارد شده به مرکز داده، از محیط تبخیری عبور می کند. کمک تبخیری در اقلیم های خشک بسیار مفید است. در بیشتر اقلیم های مرطوب، کمک تبخیری باید بر اساس ROI (برگشت سرمایه گذاری) ارزیابی شود. این نوع حالت صرفه جویی، عملیات حالت صرفه جویی ناقص را ممکن می کند.

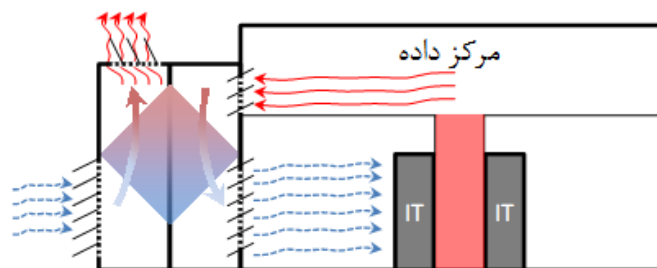


شکل 2: توقف دستگاه تهویه هوا با حالت هوای تازه مستقیم

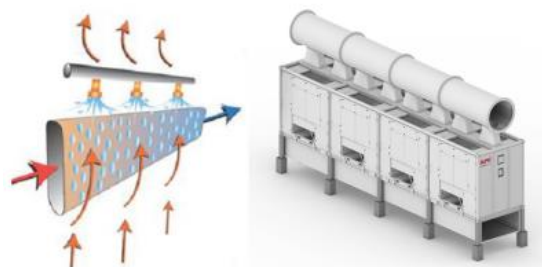
توقف دستگاه تهویه هوا به وسیله مبادله گر گرما

اجزای اصلی: پنکه ها، مبادله گر گرما صفحه ثابت هوا به هوا، (پدهای محیط مرطوب، پمپ، وقتی با کمک تبخیری استفاده می شود)

متوقف کردن دستگاه تهویه هوا با حالت مبادله گر گرما (که گاهی هوای غیرمستقیم نامیده می شود) از هوای بیرون برای خنک سازی غیرمستقیم داده استفاده می کند، وقتی شرایط هوای بیرون در نقاط تعیین شده باشد. این حالت از پنکه ها برای عبور دادن هوای سرد بیرون از یک مجموعه صفحه یا لوله استفاده می کند که هوای گرم مرکز داده را در سمت دیگر صفحات یا لوله ها خنک می کند و هوای مرکز داده را کاملا از هوای بیرون تفکیک می کند (شکل 3a). این نوع حالت صرفه جویی را می توان با کمک تبخیری نیز به کار برد که بیرون صفحات و لوله ها، آب اسپری می شود که دمای هوای بیرون و بنابراین هوای گرم مرکز داده را بیشتر کاهش می دهد. بر خلاف حالت صرفه جویی قبلی، کمک تبخیری در این مورد، رطوبت در هر مرکز داده را افزایش نمی دهد. شکل 3b تصویری از مبادله گر گرمای هوا به هوا با کمک تبخیری و مثالی از سیستم خنک سازی کامل با این نوع حالت صرفه جویی فراهم می کند. این نوع دستگاه، حالات صرفه جویی کامل و ناقص را ممکن می کند.



شکل 3a: توقف دستگاه تهویه هوا به وسیله حالت مبادله گر گرما



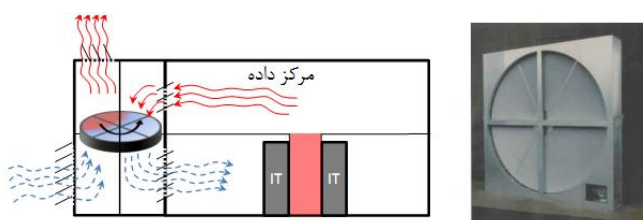
شکل 3b: تصویر مبادله گر گرما هوا به هوا با کمک تبخیری (چپ) و مثالی از سیستم خنک سازی کامل با

توقف دستگاه تهویه هوا به وسیله حالت مبادله گر گرما هوا (راست)

توقف دستگاه تهویه هوا به وسیله چرخ گرمایی

اجزای اصلی: پنکه ها، چرخ گرمایی (پدهای محیط مرطوب و پمپ، وقتی با کمک تبخیری استفاده می شوند).

توقف دستگاه تهویه هوا به وسیله حالت چرخ گرمایی از پنکه ها برای عبور دادن هوای سرد بیرون از مبادله گر گرما چرخشی استفاده می کند که شرایط هوای خشک تر فضای مرکز داده را مانند شکل 4، همراه با مثال چرخ گرمایی حفظ می کند. چرخ های گرمایی وابسته به مواد خاصی هستند که اجازه نمی دهند آلاینده ها، هوای مرکز داده را آلوده کنند. این نوع حالت صرفه جویی را می توان با کمک تبخیری نیز به کار برد که هوای بیرن، با حرکت از درون ماده شبکه مرطوب، بیشتر خنک می شود. این روش، حالات صرفه جویی کامل و ناقص را ممکن می کند.

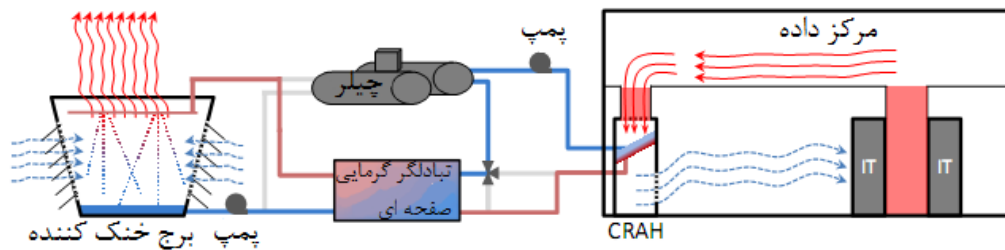


شکل 4: توقف دستگاه تهویه هوا به وسیله حالت چرخ گرمایی (چپ) و مثالی از چرخ گرمایی (راست)

توقف چیلر به وسیله دستگاه مبادله گر گرما

اجزای اصلی: برج خنک سازی، پمپ ها، دریچه ها، مبادله گر گرما صفحه و چارچوب، CRAH

توقف چیلر به وسیله حالت صرفه جویی مبادله گر گرما از کندانسور آب برای خنک سازی غیرمستقیم آب چیلر مرکز داده استفاده می کند، وقتی شرایط هوای بیرون در نقاط تعیین شده است. پمپ ها، آب متراکم شده را از مبادله گر گرمای صفحه و چارچوب عبور می دهند تا آب چیلر به کار رفته در CRAH ها بدون ترکیب با دو جریان آب دیگر، خنک شود، همانطور که در شکل 5 مشخص است. دریچه ها، چیلر را متوقف می کنند که وقتی مبادله گر گرما در وضعیت سری با چیلر قرار دارد، فعالیت ناقص را ممکن می کند. اگرچه در این مقاله بررسی نشده است، ولی این نوع حالت صرفه جویی از منبع آب بزرگ (مانند دریاچه) به عنوان منبع آب خنک استفاده می کند.



شکل 5: توقف چیلر با حالت مبادله گر گرما

توقف کمپرسور چیلر به وسیله سیفون گرمایی درونی

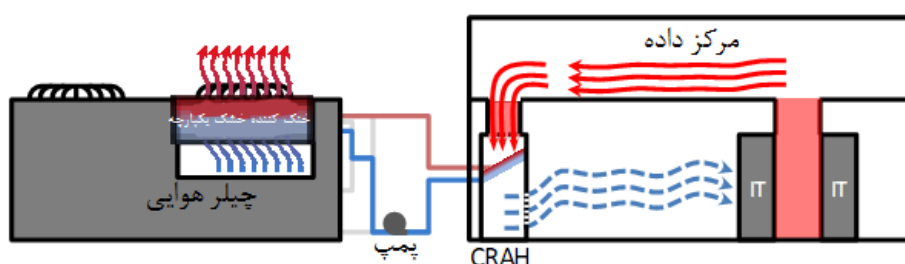
اجزای اصلی: برج خنک کننده یا خنک کننده خشک، چیلر با سیفون گرمایی، پمپ ها، دریچه ها، CRAH برخی چیلرها، حالت صرفه جویی سیفون گرمایی ارائه می کنند که وقتی شرایط هوای بیرون، در نقاط تعیین شده است، کمپرسور را خاموش می کند. در این حالت، چیلر مانند مبادله گر گرما ساده عمل می کند. اصل سیفون گرمایی باعث می شود مبرد گرم، وقتی سرد می شود به سمت کویل کندانسور سرد حرکت کند. بنابراین مبرد سرد برای برگشت به کویل تبخیر، وابسته به جاذبه یا پمپ است که در آنجا آب چیلر مرکز داده را خنک می کند. مبرد دوباره گرم می شود و چرخه تکرار می شود. ویژگی سیفون گرمایی، نیاز به مبادله گر گرما صفحه و چارچوب، در نوع قبلی این حالت صرفه جویی، را از بین می برد. اما این حالت صرفه جویی به چیلر اجازه نمی دهد در حالت صرفه جویی ناقص کار کند، چون وقتی حالت سیفون گرمایی فعال است، کمپرسور باید خاموش بماند.

توقف پکیج چیلر به وسیله خنک کننده خشک (یا خنک کننده تبخیری)

اجزای اصلی: خنک کننده خشک، دریچه ها، CRAH (پدهای محیط مرطوب، پمپ، وقتی با خنک کننده تبخیری استفاده می شود)

توقف پکیج چیلر به وسیله حالت صرفه جویی خنک کننده خشک، وقتی شرایط هوای بیرون در نقاط تعیین شده است، از مبادله گر گرما به نام خنک کننده خشک برای خنک سازی مستقیم آب چیلر مرکز داده استفاده می کند. پمپ ها، آب چیلر (معمولا مخلوط گلیکول) را به وسیله خنک کننده خشک حرکت می کنند که هوای

سرد بیرون، آب چیلر را خنک می کند که وارد CRAH می شود، همانطور که در شکل 6a مشخص است. درجه هایی که چیلر را متوقف می کنند، وابسته به سردی هوای بیرون اجازه می دهند خاموش شود یا بازده بهتری داشته باشد. عملیات حالت صرفه جویی ناقص فقط زمانی ممکن است که مبادله گر گرما در وضعیت سری با چیلر باشد. دقت کنید که خنک کننده خشک و کنترل ها در شکل 6a کاملاً در راهکار پکیج چیلر یکپارچه می شوند. این راهکار فرض شده برای این نوع حالت صرفه جویی است. این نوع راهکار، تاثیر کمتری دارد و در مقایسه با مجموعه میدانی همین اجزا، فعالیت حالت صرفه جویی قابل پیش بینی و کارآمدتری فراهم می کند. مثالی از راهکار پکیج چیلر در شکل 6b نشان داده شده است.



شکل 6a: توقف پکیج چیلر به وسیله حالت خنک کننده خشک



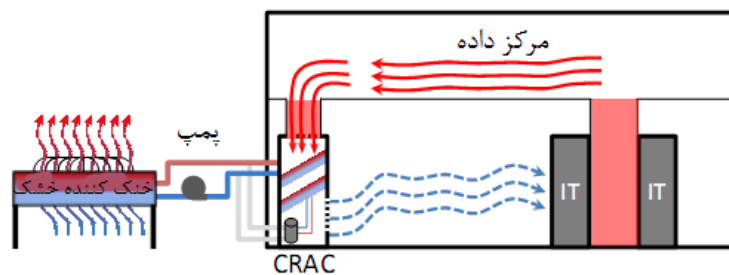
شکل 6b: مثال پکیج چیلر با خنک کننده خشک یکپارچه

این نوع حالت صرفه جویی را می توان با کمک تبخیری نیز استفاده کرد که در آن هوای بیرون با عبور از ماده شبکه مرطوب یا اسپری آب خودکار، بیشتر خنک می شود که دمای آب چیلر را بیشتر کاهش می دهد و تعداد ساعات فعالیت در حالت صرفه جویی را افزایش می دهد. این حالت لازم دارد که خنک کننده خشک با خنک کننده تبخیری تعویض شود.

توقف کمپرسور CRAC به وسیله کویل دوم

اجزای اصلی: خنک کننده خشک، پمپ ها، CRAC با کویل دوم (پدهای محیط مرطوب، پمپ، وقتی با خنک کننده تبخیری استفاده شود)

در این نوع حالت صرفه جویی، CRAC بسط مستقیم (DX) شامل کویل دوم مستقل است که در طی فعالیت حالت صرفه جویی از آب کندانسور استفاده می کند. وقتی شرایط هوای بیرون در نقاط تعیین شده است، پمپ ها آب کندانسور را از خنک کننده خشک عبور می دهند که هوای بیرون، آب کندانسور را خنک می کند که وارد کویل دوم در CRAC می شود (شکل 7). این حالت صرفه جویی، فعالیت ناقص را ممکن می کند و از کمک تبخیری استفاده می کند. این حالت لازم دارد که خنک کننده خشک با خنک کننده تبخیری تعویض شود. دقت کنید که برای خنک سازی آب کندانسور می توان از برج خنک کننده نیز استفاده کرد، ولی این کار الزامات تصفیه آب را افزایش می دهد، بنابراین برای کاربرد در مرکز داده در نظر گرفته نمی شود.



شکل 7: توقف کمپرسور CRAC به وسیله حالت کویل دوم

مقایسه حالات صرفه جویی متفاوت

حالت صرفه جویی باید از دامنه وسیعی از شرایط بیرونی برای حداکثرسازی تعداد ساعات حالت صرفه جویی و ذخیره انرژی استفاده کند. اما، در دوره های شرایط هوای بیرونی بسیار گرم، باید حداقل از یک حالت مبتنی بر مبرد (یعنی خنک سازی مکانیکی) برای حفظ شرایط محیطی مرکز داده و ذخیره انرژی استفاده کرد. دو ویژگی حالت صرفه جویی وجود دارند که به این کار کمک می کنند:

1. فعالیت حالت صرفه جویی ناقص که در آن کمپرسور در بار کاهش یافته کار می کند.

2. کمک تبخیری

ارزیابی سطح بالای هر 15 نوع حالت صرفه جویی ارائه شده در شکل 1، مشخص می کند که شش مورد از این 15 نوع، این دو ویژگی را دارند. جدول 1 این شش نوع حالت صرفه جویی را در برابر ویژگی های کیفی مختلف توصیه شده مقایسه می کند. خانه های آبی، بهترین نوع حالت صرفه جویی برای آن ویژگی خاص را نشان می دهند. جدول 2، شش نوع حالت صرفه جویی را در برابر ویژگی های کمی مختلف مقایسه می کند.

جدول 1: مقایسه کیفی بین انواع حالات صرفه جویی (خانه های آبی، بهترین عملکرد برای آن ویژگی را نشان

می دهند)

ویژگی حالت صرفه جویی	حالات صرفه جویی آبی			حالات صرفه جویی هوایی		
	توقف صرفه جویی تهویه هوا به وسیله تازه (تبخیری)	توقف دستگاه تهویه هوا به وسیله مبادله گر گرما (کمک تبخیری)	توقف دستگاه تهویه هوا به وسیله چرخ گرمایی (کمک تبخیری)	توقف چیلر به وسیله تبادگر گرمایی	توقف پکیج چیلر به وسیله خنک کننده تبخیری	توقف کمپرسور CRAC به وسیله کویل دوم (کمک تبخیری)
تراکم پذیری پوشش ساختمان	اصلاح پوشش ساختمان لازم است	اصلاح پوشش ساختمان لازم است	پوشش ساختمان مشکلی ندارد	پوشش ساختمان مشکلی ندارد	پوشش ساختمان مشکلی ندارد	
تونایی مقاوم سازی	مقاوم سازی سیستم های موجود، منطقی نیست.	مقاوم سازی سیستم های موجود، منطقی نیست.	مقاوم سازی سیستم های موجود، منطقی نیست.	اگر فضا وجود داشته باشد، عملی است.	اگر فضا وجود داشته باشد، عملی است.	
پیچیدگی کنترل ها	دستگاه های کمتر برای کنترل	دستگاه های کمتر برای کنترل	دستگاه های بیشتر برای کنترل	تعداد متوسط دستگاه برای کنترل	تعداد متوسط دستگاه برای کنترل	
کنترل رطوبت مرکز داده	وابسته به رطوبت بیرون	مستقل از رطوبت بیرون	مستقل از رطوبت بیرون	مستقل از رطوبت بیرون	مستقل از رطوبت بیرون	
عمر	40-20 سال	40-20 سال	15-10 در	20-10 سال	20-10 سال	

مفید	در مبادله گر گرما	در مبادله گر گرما	در مبادله گر گرما	در مبادله گر گرما	در مبادله گر گرما	در واحد خنک سازی
ریسک های دسترس ی - قطع آب سرد - کیفیت ضعیف هوا - اطفای حریق	آسیب پذیری لالا در برابر کیفیت هوای بیرون، قطع آب با عامل تمیز لازم است، اطفای حریق	ریسک خاموشی کم به دلیل قطع آب، بدون ریسک به دلیل کیفیت هوای ضعیف یا اطفای حریق	ریسک خاموشی کم به دلیل قطع آب، بدون ریسک به دلیل کیفیت هوای ضعیف یا اطفای حریق	زمان خاموشی به دلیل قطع آب برای برج خنک کننده	بدون خاموشی به دلیل قطع آب، کیفیت ضعیف هوا یا اطفای حریق	بدون خاموشی به دلیل قطع آب، کیفیت ضعیف هوا یا اطفای حریق
تاثیر	0.41ft ² /kW 0.038m ² /k W	0.788ft ² /k W 0.073 m ³ /kW	1.72ft ² /k W 0.16m ² /k W	1.94ft ² /k W 0.18m ² /k W	3.34ft ² /k W 0.31m ² /k W	2.02ft ² /k W 0.19m ² /k W
نیاز به پشتیبانی کامل در مورد کیفیت ضعیف هوای بیرون	پشتیبانی کامل در مورد کیفیت ضعیف هوای بیرون	اندازه ناقص برای آب و هوای شدید	اندازه ناقص برای آب و هوای شدید	اندازه ناقص برای آب و هوای شدید	اندازه ناقص برای آب و هوای شدید	اندازه ناقص برای آب و هوای شدید

تراکم پذیری پوشش ساختمان

توقف دستگاه تهویه هوا به وسیله هوای تازه، مبادله گر گرما هوایی، و چرخ گرمایی، همه کانال کشی هوایی از تجهیزات خنک سازی بیرونی به اتاق IT مرکز داده لازم دارند. در کل این مورد لازم دارد که ساختمان طراحی خاص با فضای کافی برای کانال کشی داشته باشد، یا به صورتی طراحی شود که اتاق IT مستقیماً به فضای بیرونی مناسب برای تجهیزات خنک سازی اتصال داشته باشد. حالات صرفه جویی که از لوله ها استفاده می کنند، در گزینه های نصب خود، انعطاف پذیری بیشتری دارند چون لوله کشی آب، گرما را به فضای فیزیکی بسیار کوچکتری منتقل می کند که می توان با روش های فعلی انجام داد.

توانایی مقاوم سازی

هدف اصلی در کاربرد مقاوم سازی، استفاده دوباره از زیربنای خنک سازی موجود تا حد ممکن است. مقاوم سازی سیستم خنک سازی سنتی با توقف دستگاه تهویه هوا به وسیله حالت صرفه جویی هوای تازه مستقیم، غیرممکن است، چون زیربنای خنک سازی موجود، نامناسب است (سیستم سنتی از آب استفاده می کند، در حالی که سیستم دیگر از هوا استفاده می کند). در مرکز داده عادی با استفاده از واحدهای CRAH یا CRAC، سه روش برای مقاوم سازی حالت صرفه جویی و استفاده مجدد از تجهیزات موجود وجود دارد.

"سیستم کنترل برای سیستم های خنک سازی مهندسی شده استاندارد با حالت صرفه جویی یکپارچه، همراه با سخت افزار ایجاد می شود. این کار باعث می شود سیستم کنترل معتبرتر از سیستم کنترل سفارشی برای نصب سیستم خنک سازی در محیط باشد."

اولین و رایج ترین روش، اضافه کردن مبادله گر گرما است که چیلر آبی را متوقف می کند (یعنی توقف چیلر به وسیله حالت صرفه جویی مبادله گر گرما). این کار معمولاً نیازمند نصب مبادله گر گرما صفحه و چارچوب نزدیک چیلر، با کنترل و دریچه توقف مرتبط است. مبادله گر گرما، بسیار کوچکتر از چیلر است، بنابراین اغلب فضای کافی برای مبادله گر گرما وجود دارد.

روش دوم، اضافه کردن مبادله گر گرما است که چیلر هوایی را متوقف می کند (یعنی توقف پکیج چیلر به وسیله حالت صرفه جویی خنک کننده تبخیری). این کار معمولاً نیازمند نصب خنک کننده تبخیری نزدیک چیلر، با کنترل ها و دریچه های توقف مرتبط است. تاثیر خنک کننده تبخیری کلی، وابسته به آب و هوا، بسیار بیشتر از چیلر است، بنابراین فضای کافی لازم است.

روش سوم، اضافه کردن مبادله گر گرما است که کمپرسور را در سیستم DX خنک شده با گلیکول متوقف می کند (یعنی توقف کمپرسور CRAC به وسیله حالت صرفه جویی کوئل دوم). انجام این کار بسیار سخت تر و غیرعملی است، چون کوئل دوم باید درون جایگاه واحد خنک سازی قرار بگیرد. مقاوم سازی این نوع سیستم خنک سازی معمولاً نیازمند تعویض کل واحد CRAC کلی با واحد شامل کوئل دوم است.

پیچیدگی کنترل ها

انتقال بین حالت صرفه جویی و حالت مبتنی بر مبرد، بسیار پیچیده است و باعث قطع موقتی خنک سازی در طی انتقال می شود. در نهایت، قابلیت اطمینان این انتقال، مبتنی بر کنترل ها است. سیستم کنترل برای سیستم های خنک سازی مهندسی شده استاندارد با حالت صرفه جویی یکپارچه، همراه با سخت افزار ایجاد می شود. این کار باعث می شود سیستم کنترل معتبرتر از سیستم کنترل سفارشی برای نصب سیستم خنک سازی در محیط باشد.

توقف دستگاه تهویه هوا به وسیله مبادله گر گرما یا حالات صرفه جویی چرخ گرما، ساده ترین سیستم کنترل را دارد. پیچیده ترین سیستم کنترل حالت صرفه جویی، به دلیل انتقال صفر بین دمای کم آب کندانسور مورد نیاز مبادله گر گرمای صفحه و چارچوب و دمای زیاد آب کندانسور مورد نیاز چیلر، توقف چیلر به وسیله مبادله گر گرمایی است.

کنترل رطوبت مرکز داده

یک نوع حالت صرفه جویی در جدول 1، هوای بیرون را از هوای درون مرکز داده جدا می کند. بنابراین رطوبت مرکز داده تحت تاثیر حالت صرفه جویی نیست، حتی وقتی سطح رطوبت بیرون زیاد است. اما، توقف دستگاه تهویه هوا با حالت صرفه جویی هوای تازه مستقیم، هوای بیرون را مستقیماً وارد مرکز داده می کند که تعداد ساعات در حالت صرفه جویی در اقلیم های مرطوب را کاهش می دهد. اگرچه کنترل رطوبت ممکن است، ولی انرژی اضافی به کار رفته، صرف جویی انرژی از حالت صرفه جویی را جبران می کند.

عمر مفید

سیستم های خنک سازی که از آب برای انتقال انرژی گرمایی استفاده می کنند، عمر مفید کمتری از سیستم خنک سازی با هوا دارند. عامل محدودکننده برای سیستم های خنک سازی که از کمک تبخیری استفاده می کنند، سطوح در معرض آب هستند. در کل، عمر مفید هر سیستم خنک سازی، تحت تاثیر مقدار ننگه داری انجام شده بر روی آن است.

مقررات و حالات صرفه جویی

حالات صرفه جویی معمولاً در طراحی مرکز داده در نظر گرفته می شوند. مشتری، بر اساس دیدگاه خود از هزینه ها و منافع، می تواند تصمیم بگیرد، آیا می خواهد قابلیت های حالت صرفه جویی را به کار ببرد. اما، روندی برای قانونی کردن حداقل الزامات عملکرد در مراکز داده جدید وجود دارد، و این الزامات به صورت صریح یا ضمنی، نیازمند اجرای حالات صرفه جویی است.

قانون اصلی که بر این مسئله تاثیر دارد، AN-SI/ASHRAE Standard 90.1-2010، استاندارد انرژی برای ساختمان ها به جز ساختمان های مسکونی کم ارتفاع، است. این استاندارد، حداقل الزامات عملکرد را برای عملکرد انرژی ساختمان ها تعیین می کنند و اخیراً به مراکز داده گسترش یافته است. اگرچه ASHRAE، نهاد قانونی برای اجرای استانداردها نیست، بیشتر سازمان های قانونی شامل دولت آمریکا و قوانین ساختمان محلی، این استاندارد را به کار برده اند. به علاوه سازمان هایی که الزامات ساختمان های سبز را تعیین می کنند، مانند استاندارد LEED از شورای ساختمان سبز آمریکا، ASHRAE 90.1 را به عنوان مبنای حداقل برای عملکرد انرژی به کار بردند.

برای بیشتر مراکز داده که از راهنماهای ASHRAE پیروی می کنند، ASHRAE 90.1، سیستم خنک سازی مرکز داده اصلی را تعریف می کند که برای ایجاد حداقل الزام عملکرد به کار می رود. این مبنای سیستم آب خنک با حالت صرفه جویی توقف چیلر به وسیله مبادله گر گرمای سیال است. اگرچه 90.1، سیستم دقیق را توصیف نمی کند، ولی هر سیستمی که در مرکز داده به کار رود، باید عملکرد این سیستم اصلی را محقق کند که شامل حالت صرفه جویی است. این مورد نشان می دهد که تقریباً هر مرکز داده جدید باید نوعی حالت صرفه جویی داشته باشد.

ریسک های دسترسی

همه انواع حالات صرفه جویی در معرض تهدیدات بیرونی مانند توفان، گردباد و زلزله هستند. اما، تهدیدهای دیگری وجود دارند که باید در نظر گرفته شوند:

- قطع شدن آب خنک کننده: قطع شدن منبع آب شهری می تواند به دلیل پروژه های ساخت و ساز نزدیک مرکز داده، به وسیله قطع برنامه ریزی شده یا نشده، اتفاق می افتد. چون چیلرهای آبی معمولا وابسته به برج های خنک کننده هستند که به صورت مداوم کار می کنند، توقف چیلر به وسیله مبادله گر گرما، بیشترین آسیب پذیری را دارند. این تهدید معمولا با نصب مخزن ذخیره آب با اندازه کافی برای قطع 24 ساعته یا بیشتر، برطرف می شود. احتمال تهدید قطع خنک سازی در مرحله کمک تبخیری سایر انواع حالات صرفه جویی، کمتر است چون باید با شرایط هوای خشک و گرم بیرون تطبیق داشته باشد.

سیستم هایی که برای فراهم کردن خنک سازی در کل سال، وابسته به کمک تبخیری هستند، در معرض قطع آب خنک سازی هستند. این مورد را می توان با نصب پشتیبانی آب توصیف شده یا افزایش اندازه سیستم خنک سازی مکانیکی برای تحمل 100 درصد بار، توصیف کرد.

- کیفیت ضعیف هوا: حالات صرفه جویی که هوای بیرون را مستقیم وارد مرکز داده می کنند، تهدیدی برای تجهیزات IT هستند. برخی از فیلترهای هوا در این سیستم های خنک سازی در فیلترکردن ذرات در دامنه میکرون، به اندازه میکروارگانیزم ها، موثر هستند. اما، تحت تهدید خاکستر آتشفشانی، دود از آتش سوزی نزدیک، یا توفان ماسه، حالات صرفه جویی هوای تازه باید به خنک سازی مبرد تغییر کند، چون فیلترها سریعاً مسدود می شوند. این تهدید معمولا با نصب دستگاه چیلر اضافی با توانایی فراهم کردن بار گرمایی برای کل مرکز داده برطرف می شود. در حالات صرفه جویی که از محیط مرطوب برای کمک تبخیری استفاده کردیم، پدها در معرض ته نشینی ذرات هستند. در این موارد، باید بعد از تهدید، پدها را تعویض کرد.

ASHRAE مقاله و کتابی با موضوع آلودگی گازی و ذرات در محیط های داده دارد. این مقاله و کتاب، جزئیاتی درباره حالات خطا فراهم می کنند که با آلودگی گازی و ذرات ایجاد می شوند، مخصوصاً در کاربردهای حالت صرفه جویی هوای تازه مستقیم در مناطق صنعتی. هم چنین راهنمایی برای مواد مجاز و شرایط عملیاتی برای تضمین فعالیت بدون مشکل فراهم می کنند.

- اطفای حریق درون مرکز داده: مراکز داده که برای سیستم های اطفای حریق وابسته به عامل تمیز هستند (یعنی ECARO-25, INERGEN, FM200)، باید فضای مرکز داده را درزبندی کنند تا غلظت مناسب عامل تمیز برای اطفای موثر حریق داشته باشند. برای این کار، باید همه میراگرهای هوا و درها بسته شوند که برای

حالات صرفه جویی که از هوای تازه مستقیم به مرکز داده استفاده می کنند، مشکل ایجاد می کند. مانند تهدید کیفیت ضعیف هوا، این تهدید با تضمین این موضوع برطرف می شود که سیستم مکانیکی توانایی تحمل 100 درصد بار گرمایی مرکز داده را دارد.

تاثیر

تاثیر سیستم های خنک سازی متفاوت، فضای همه اجزا را دربرمی گیرد، شامل اجزای لازم برای حالت صرفه جویی و واحدهای خنک سازی در مرکز داده. تاثیر با ظرفیت مرکز داده تعیین شده (یعنی حداکثر بار IT که مرکز داده می تواند پشتیبانی کند)، نرمال می شود. توقف دستگاه تهویه هوا به وسیله سیستم خنک سازی هوای تازه مستقیم، کمترین تاثیر را دارد. تاثیر توقف دستگاه تهویه هوا به وسیله سیستم خنک سازی مبادله گر گرما، به دلیل اضافه شدن مبادله گرمای هوا به هوا، کمی بیشتر است. توقف دستگاه تهویه هوا با سیستم خنک سازی چرخ گرما، بیشترین تاثیر را بین حالات صرفه جویی هوایی دارد و تقریباً به اندازه دستگاه چیلر آبی با برج خنک کننده است.

الزامات حالت مبرد پشتیبان

اگرچه در سیستم خنک سازی می توان از حالت خنک سازی مبتنی بر مبرد خودداری کرد و کاملاً از حالت صرفه جویی استفاده کرد، ولی این کار ریسک خاموشی را افزایش می دهد و برای مراکز داده تولیدی با دسترسی زیاد توصیه نمی شود. به علاوه، تعداد کمی از موقعیت ها در سراسر جهان، در کل سال هوای سرد دارند. و از این مناطق، تعداد بسیار کمتری، دسترسی، خطوط فیبر نوری، منبع نیروی کار و سایر منابع لازم را برای فعالیت یک مرکز داده دارند. بنابراین در بیشتر موارد، حالت صرفه جویی حداقل حالت پشتیبانی مبتنی بر مبرد ناقص لازم دارد تا در گرم ترین روزهای سال کمک کند. هرچه مبادله گرما، تبادل بیشتری انجام دهد که در حالت صرفه جویی اتفاق می افتد، احتمال بیشتری وجود دارد که حالت مبتنی بر مبرد کامل لازم باشد.

مثلاً، مرکز داده با حالت صرفه جویی توقف چیلر به وسیله مبادله گرما، انرژی گرمایی را در سه نقطه مبادله می کند: در CRAH، در مبادله گر گرمای صفحه و چارچوب، و در برج خنک کننده. برای این که مرکز داده،

هوای 20 درجه سانتیگراد (68 درجه فارنهایت) برای سرورها در فعالیت حالت صرفه جویی 100 درصد فراهم کند، حداکثر دمای خیس بیرون باید در کل سال حدود 2 درجه سانتیگراد (35 درجه فارنهایت) یا کمتر باشد. اگر چیلر در 50 درصد ظرفیت طراحی تنظیم شود، حداکثر دمای خیس بیرون باید در کل سال حدود 7 درجه سانتیگراد (45 درجه فارنهایت) یا کمتر باشد، که هنوز برای موقعیت مرکز داده عملی، بسیار کم است. به این دلیل این نوع حالت صرفه جویی، چیلر با فعالیت کامل برای سیستم مکانیکی پشتیبان لازم دارد.

حالت صرفه جویی توقف دستگاه تهویه هوا با هوای تازه مستقیم، تبادل گرما ندارد، چون هوای بیرون مستقیماً وارد مرکز داده می شود. این یعنی، می تواند همه سال، در مناطق خشک تر، با سیستم خنک سازی مکانیکی با ظرفیت 50 درصد کار کند. اما، به دلیل ریسک کیفیت هوا که بررسی شد، و نیاز به کنترل رطوبت، سیستم مکانیکی با ظرفیت کامل لازم است. اگرچه حالت صرفه جویی توقف دستگاه تهویه هوا به وسیله مبادله گرما می هوا، تبادل گرما دارد، ولی از مسائل ریسک کیفیت هوا و کنترل رطوبت، و بنابراین سرمایه و هزینه عملیاتی سیستم مکانیکی کامل جلوگیری می کند.

در آینده که دستگاه های مجازی، اجازه می دهند فرایندهای مهم به سایر مراکز داده منتقل شوند، انتظار می رود برخی مراکز داده کاملاً در حالت صرفه جویی بدون پشتیبانی مبرد کار کنند. انتظار می رود آستانه دمای ورودی تجهیزات IT در آینده افزایش یابد که احتمال فعالیت دائمی حالت صرفه جویی را افزایش می دهد.

جدول 2: مقایسه کمی بین انواع حالات صرفه جویی

ویژگی حالت صرفه جویی	حالات صرفه جویی هوایی			حالات صرفه جویی آبی		
	توقف دستگاه تهویه هوا	توقف دستگاه تهویه هوا به وسیله مبادله گرما (کمک تبخیری)	توقف دستگاه تهویه هوا به وسیله چرخ گرمایی (کمک تبخیری)	توقف چیلر به وسیله تبادلگر گرمایی	توقف پکیج چیلر به وسیله خنک کننده تبخیری	توقف کمپرسور CRAC به وسیله کویل دوم (کمک تبخیری)
مصرف سالانه آب	100gal 3791	1262000gal 47770001	257000gal 9730001	7000000gal 260000001	128000gal 4850001	128000gal 4850001

2.0 دلار در وات	2.3 دلار در وات	3.0 دلار در وات	2.8 دلار در وات	2.4 دلار در وات	2.2 دلار در وات	هزینه سرمایه کل سیستم خنک سازی
92 درصد	100 درصد	100 درصد	83 درصد	75 درصد	75 درصد	هزینه نگه داری سالانه سیستم
960974	736954	589221	377625	340365	737506	انرژی خنک سازی کلی
4918	5301	4705	5990	7074	5723	ساعات سالانه حالت صرفه جویی کامل
3800	1773	3604	2770	1686	صفر	ساعت سالانه حالت صرفه جویی ناقص
1.39	1.34	1.31	1.26	1.25	1.34	برآورد سالانه PUE

مصرف سالانه آب

حالات صرفه جویی به کار رفته با برج های خنک کننده، به دلیل تبخیر آب در برج خنک کننده، بیشترین مصرف آب را در مقایسه با سایر حالات صرفه جویی دارند. علت این است که فرایند تبخیر در کل سال همواره اتفاق می افتد. برج های خنک کننده تقریباً 40 گالن در دقیقه/100 تن ظرفیت خنک سازی (151.4 لیتر در دقیقه) مصرف می کنند. جزء کمک تبخیری سایر حالات صرفه جویی، آب بسیار کمتری مصرف می کند چون فقط در طی دوره های گرمتر سال از فرایند کمک تبخیری استفاده می کند.

اقتصاد کمک تبخیری

هزینه خنک کننده های تبخیری و کمک تبخیری در کل شامل هزینه مواد، مصرف آب و تصفیه آب است. این هزینه ها باید در زمان تصمیم گیری برای سیستم خنک سازی مرکز داده در نظر گرفته شوند. کمک تبخیری در اقلیم های خشک مانند لاس وگاس و دبی، بیشترین تاثیر را دارد. هزینه خنک کننده تبخیری باید در برابر اثربخشی آن در اقلیم ها با رطوبت بیشتر، متعادل شود. ممکن است هزینه بیشتر از صرفه جویی در انرژی سیستم خنک سازی، صرف خنک سازی تبخیری شود.

هزینه سرمایه سیستم خنک سازی کلی

هزینه سرمایه شامل مواد، نیروی کار برای نصب و هزینه های طراحی، و همه درآمدهای پروژه مرتبط با سیستم خنک سازی کلی به صورت دلار در وات از بار IT است. مثلاً، در حالت صرفه جویی توقف چیلر به وسیله مبادله گر گرما، چیلر نیز در هزینه سرمایه در نظر گرفته می شود. در حقیقت، این سیستم خنک سازی، به دلیل هزینه اضافی برج خنک کننده، لوله کشی، پمپ ها و سیستم کنترل مصرف، بالاترین هزینه سرمایه را نسبت به سایر سیستم ها دارد. طراحی و اجرای این سیستم کنترل، هزینه قابل توجهی دارد چون بیشتر اجزا از فروشندگان متفاوت تامین می شوند که کدگذاری سفارشی، آزمایش، تأیید و تنظیم لازم دارند تا تضمین کنند سیستم خنک سازی کلی، قابل اطمینان است و صرفه جویی موردانتظار را ایجاد می کند. هزینه تنظیم این سیستم در یک سال یا بیشتر گسترش می یابد. این آنالیز، این هزینه ها را به عنوان مخارج سرمایه بررسی کرد، ولی می توان

آنها را مخارج عملیاتی نیز در نظر گرفت. سیستم خنک سازی با حالت صرفه جویی توقف چیلر به وسیله خنک کننده تبخیری، تقریباً 23 درصد هزینه کمتری دارد چون اجزای رد گرمایی و درجه تنظیم لازم ندارد. اما، PUE کل مرکز داده به دلیل بازده کمتر سیستم، بدتر است.

فرضیات جدول 2

ظرفیت مرکز داده: 1000kW (بدون افزونه)

موقعیت: سن لوئیس، میزوری، آمریکا

بار کلی IT: 500kW

خنک سازی ردیفی (حالات صرفه جویی آب)

سقف چکه ای (حالات صرفه جویی هوا)

محدودیت هوای گرم (همه حالات)

پنکه های CRAH با سرعت متغیر

متوسط دما در سرورها: 13.9 درجه سانتیگراد/25 درجه فارنهایت

متوسط دمای ورودی: 24 درجه سانتیگراد/75 درجه فارنهایت

حداکثر هوای ورودی سرور با رطوبت نسبی 55 درصد

حداکثر نقطه شبنم: 10 درجه سانتیگراد/60 درجه فارنهایت

نسبت خنک کننده به جریان های IT: 120 درصد

دلتای T طراحی چیلر آبی: 6.7 درجه سانتیگراد/12 درجه فارنهایت

COP*IPLV چیلر: 9

حداکثر دمای آب برج: 4.4 درجه سانتیگراد/40 درجه فارنهایت، محدود به هیتر برای جلوگیری از یخ زدگی

دامنه طراحی برج خنک کننده: 5.6 درجه سانتیگراد/10 درجه فارنهایت

هزینه نگه داری سالانه سیستم خنک سازی کلی

سیستم چیلر/برج خنک سازی، سیستم خنک سازی پرکاربردی در مراکز داده است و به عنوان محک خوبی برای

هزینه نگه داری سایر سیستم های خنک سازی عمل می کند. بنابراین، هزینه های نگه داری سالانه در جدول 2

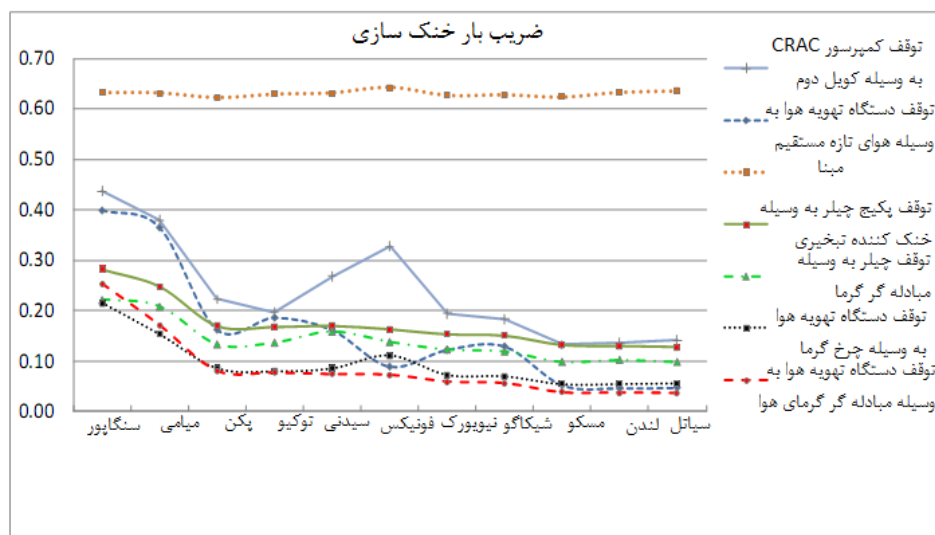
به صورت درصد سیستم چیلر/برج خنک سازی ارائه شده اند. نگه داری سالانه شامل نگه داری همه اجزای سیستم خنک سازی برای همه حالات عملیات شامل حالت صرفه جویی است. مثلا، در حالت صرفه جویی مبادله گر گرما، چیلر نیز در هزینه نگه داری در نظر گرفته می شود. سیستم های خنک سازی با حالات صرفه جویی مبتنی بر هوا، هزینه نگه داری کمتری از حالات صرفه جویی دارند که تعداد اجزای بیشتری دارند و پیچیده تر هستند.

انرژی خنک سازی کلی

مجموع انرژی سالانه مصرف شده توسط سیستم خنک سازی کلی است. حالت صرفه جویی با بیشترین هزینه انرژی، توقف کمپرسور CRAC به وسیله کویل دوم است. این مورد به دلیل جریمه انرژی داشتن سیستم های خنک سازی توزیعی است. حالت صرفه جویی با کمترین مصرف انرژی، توقف دستگاه تهویه هوا به وسیله مبادله گر گرما است. توقف دستگاه تهویه هوا به وسیله چرخ گرمای هوا، کمی انرژی بیشتر مصرف می کند.

محک زمی مصرف انرژی حالت صرفه جویی به سیستم برج خنک کننده/چیلر آبی نیز مفید است، چون بیشتر مراکز داده 1MW و بزرگتر از این سیستم استفاده می کنند. سیستم اصلی، خنک سازی محیط بدون محدودیت، بدون حالت صرفه جویی، دمای تامین آب چیلر 7.2 درجه سانتیگراد (45 درجه فارنهایت) و سرعت ثابت پنکه های CRAH را فرض می کند. با استفاده از این محک، شکل 8، عوامل بار خنک سازی (CLF) انواع حالت صرفه جویی را در برابر دستگاه چیلر آبی محک در 11 شهر مقایسه می کند که اغلب مراکز داده بزرگ در این شهرها قرار دارند. CLF بخشی از PUE اختصاص یافته به سیستم خنک سازی مرکز داده است.

همه حالات صرفه جویی، صرفه جویی انرژی خنک سازی در سیستم خنک سازی کلی فراهم می کنند. حالت توقف دستگاه تهویه هوا به وسیله مبادله گر گرما، با متوسط 381385kWhrs، کمترین مصرف انرژی خنک سازی را تقریبا در همه اقلیم ها فراهم می کند. این مورد، در مقایسه با متوسط مصرف انرژی خنک سازی 2761262kWhrs، 86 درصد صرفه جویی انرژی نشان می دهد. حالت توقف دستگاه تهویه هوا به وسیله چرخ گرما نیز عملکرد خوبی دارد.



شکل 8: ضرایب بار خنک سازی برای حالات صرفه جویی در مقایسه با شرایط مبنا

ساعات سالانه: حالت صرفه جویی کامل

تعداد ساعات در هر سال که هر نوع حالت صرفه جویی در 100 درصد حالت صرفه جویی کار می کند. این آنالیز مبتنی بر مرکز داده 1MW در بار IT 50 درصد است که در سن لوئیس، میزوری، آمریکا قرار دارد (تعداد ساعات وابسته به جغرافیا است). حالت صرفه جویی توقف دستگاه تهویه هوا به وسیله هوای تازه مستقیم، به دلیل شرایط رطوبت و نقطه شبنم لازم در مرکز داده، حداقل تعداد ساعات حالت صرفه جویی کامل را فراهم می کند. حالت صرفه جویی توقف دستگاه تهویه هوا به وسیله مبادله گر گرما، 7074 ساعت حالت صرفه جویی کامل فراهم می کند.

ساعات سالانه: حالت صرفه جویی ناقص

فعالیت حالت صرفه جویی ناقص زمانی اتفاق می افتد که حالت صرفه جویی، به دلیل شرایط بیرونی، نمی تواند مرکز داده را خنک کند و از کمپرسور کمک لازم دارد. این ویژگی بسیار مهمی برای هر حالت صرفه جویی است، چون تعداد کمی از موقعیت ها در سراسر جهان، فعالیت 100 درصدی در حالت صرفه جویی دارند. در برخی موقعیت ها، ساعات حالت صرفه جویی ناقص، بسیار بیشتر از حالت صرفه جویی کامل است که باعث صرفه

جویی انرژی بیشتر از فعالیت ناقص می شود. حالت صرفه جویی توقف دستگاه تهویه هوا به وسیله هوای تازه مستقیم، به دلیل شرایط رطوبت لازم در مرکز داده، حداقل تعداد ساعات حالت صرفه جویی ناقص لازم دارد.

برآورد PUE سالانه

اثر بخشی مصرف برق (PUE)، نسبت انرژی کلی مصرف شده مرکز داده در مقایسه با انرژی کلی مصرف شده در تجهیزات IT است. این برآورد سالانه مبتنی بر زیربنای برق است. حالت صرفه جویی توقف کمپرسور CRAC به وسیله کویل دوم، بیشترین (یعنی بدترین) PUE سالانه برابر با 1.39 را دارد. حالت صرفه جویی توقف دستگاه تهویه هوا به وسیله مبادله گر گرما، کمترین PUE برابر با 1.25 را در سن لوئیس فراهم می کند. با در نظر گرفتن اقلیم ها در شکل 8، حالت صرفه جویی توقف دستگاه تهویه هوا به وسیله مبادله گر گرما، کمترین PUE را در همه اقلیم ها، با متوسط 1.34، فراهم می کند. این مقدار، قبض انرژی 30 درصد کمتر برای مرکز داده را در مقایسه با متوسط PUE (1.92) سیستم مبنای نشان می دهد. عواملی که بر فعالیت حالت صرفه جویی تاثیر دارند.

عوامل بسیاری وجود دارند که بر تعداد ساعات حالت صرفه جویی موجود با یک حالت صرفه جویی خاص، تاثیر دارند. عامل اصلی، موقعیت جغرافیایی مرکز داده است. اما، طراحی و نقاط تنظیم سیستم خنک سازی مرکز داده نیز تاثیر قوی دارند.

موقعیت جغرافیایی

استفاده از حالت صرفه جویی کاملا وابسته به موقعیت جغرافیایی مرکز داده است. شرایط فصلی مکان تعیین می کنند آیا استفاده از حالت صرفه جویی عملی است. ASHRAE، آزمایشگاه ملی انرژی تجدیدپذیر (NREL)، و سازمان ملی اقیانوس و اتمسفر (NOAA)، چند مورد از منابعی هستند که برای ارزیابی تعداد ساعات حالت صرفه جویی، داده هواشناسی فراهم می کنند. این داده معمولا داده صندوق نامیده می شود چون داده هوا در فواصل دمایی ذخیره می شود. با استفاده از داده آب و هوای یک موقعیت خاص، می توان تعداد ساعات حالت صرفه جویی را محاسبه کرد.

نقاط تنظیم سیستم خنک سازی

دو روش بنیادی برای افزایش ساعات حالت صرفه جویی وجود دارند: 1) جابه جایی مرکز داده به اقلیم سردتر و 2) افزایش دمای طراحی ورودی سرور. گزینه اول مشخصاً برای مراکز داده موجود غیرواقعی است. گزینه دوم، واقعی است و در مراکز داده جدید و موجود انجام می شود. در حقیقت، نسخه ASHRAE Standard 2008 TC9.9، حداکثر دمای ورودی سرور (خشک) را از 25 درجه سانتیگراد (77 درجه فارنهایت) به 27 درجه سانتیگراد (80.6 درجه فارنهایت) افزایش داد. اما، مقدار افزایش دمای ورودی IT وابسته به میزان تفکیک جریان های هوای سرد و گرم است.

تفکیک جریان های هوای گرم و سرد

جریان های هوای گرم و سرد در مراکز داده عادی، به دلیل طرح بندی و فعالیت های مدیریت هوای ضعیف، با هم ترکیب می شوند. اگر نقاط تنظیم خنک سازی در این طرح به 27 درجه سانتیگراد (80.6 درجه فارنهایت) افزایش یابد، در زمان ورود هوا به ورودی سرور، دما نزدیک به 32 درجه سانتیگراد (90 درجه فارنهایت) است. به این دلیل است که نقاط تنظیم سیستم خنک سازی کمتر از دمای ورودی سرور هستند.

به منظور افزایش نقاط تنظیم سیستم خنک سازی و بنابراین ساعات حالت صرفه جویی، باید جریان های گرم و سرد را تفکیک کرد. این مورد را می توان با سیستم های محدودیت بخش سرد و محدودیت بخش گرم، انجام داد. اما، محدودیت بخش گرم، ساعات حالت صرفه جویی بیشتری ایجاد می کند و بنابراین در طراحی های جدید ترجیح داده می شود. این موضوع در مقاله 135، تاثیر محدودیت بخش گرم و سرد بر دما و بازده مرکز داده، بیشتر بررسی می شود. هر مرکز داده که از حالت صرفه جویی استفاده می کند، با کاربرد سیستم محدودیت، شاهد افزایش بازده خواهد بود. سرمایه گذاری بر حالت صرفه جویی بدون سرمایه گذاری بر سیستم محدودیت، ارزش کمی دارد.

حذف یا کاهش حالات بدون صرفه جویی در سیستم های خنک سازی

حالات صرفه جویی، از گذشته به عنوان ویژگی صرفه جویی انرژی اضافی در نظر گرفته می شوند که سیستم خنک سازی اصلی را تکمیل می کنند. بیشتر طراحی ها به صورتی ایجاد می شوند که بتوان حالت صرفه جویی را خاموش کرد و مرکز داده هنوز در حالت خنک سازی پایه کار کند. اما، با افزایش بهینه سازی طراحی های مرکز داده، حالت صرفه جویی، تبدیل به حالت اصلی فعالیت می شود. چند احتمال جدید برای بهبود بیشتر اثربخشی هزینه مرکز داده عبارتند از:

1. اگر در طراحی، حالت صرفه جویی ناقص، حتی در بدترین شرایط ممکن باشد، به صورتی که سیستم کمپرسور اصلی برای بار کامل مرکز داده لازم نباشد، آنگاه احتمال کاهش اندازه سیستم کمپرسور اولیه، صرفه جویی در هزینه و بهبود بازده وجود دارد.

2. اگر در طراحی، حالت صرفه جویی کامل، حتی در بدترین شرایط ممکن باشد، آنگاه می توان حذف کامل سیستم کمپرسور اولیه را در نظر گرفت و مرکز داده را همیشه در حالت صرفه جویی فعال کرد.

3. اگر در طراحی، حالت صرفه جویی کامل، به جز برای چند شرایط بد، ممکن باشد، آنگاه می توان استفاده از کنترل ها در سیستم های IT را در نظر گرفت که وقتی شرایط بیرونی بد اتفاق می افتد، بار IT را پوشش می دهد و می توان سیستم کمپرسور را حذف کرد. این کنترل ها با مدیریت برق متمرکز، یا با جابه جایی بارهای IT به مکان متفاوت، عملکرد سرور را محدود می کنند.

اجرای مشخصات طراحی که استفاده از سیستم کمپرسور را کاهش می دهند یا حذف می کنند، سیستم های خنک سازی مرکز داده بسیار کارآمد ایجاد می کنند. مقاله 136، مدول های خنک سازی با بازده بسیار بالا برای مراکز داده، رویکردی جدید را برای خنک سازی مراکز داده بررسی می کند که تقریباً نیمی از انرژی روش های سنتی را استفاده می کند، ولی هنوز تناسب بیشتر، دسترسی و راحتی نگه داری فراهم می کند.

نتیجه گیری

در گذشته، حالات صرفه جویی سیستم خنک سازی در بیشتر مراکز داده جدی گرفته نمی شدند. این مورد به دلیل هزینه کمتر الکتریسیته، دمای ورودی کمتر تجهیزات IT، و نبود مقررات آلاینده های کربنی بود. امروزه، استانداردهای مانند ANSI-ASHRAE Standard 90.1-2010 و مقرراتی مانند تعهد کاهش کربن بریتانیا، مراکز داده را مجبور به کاهش مصرف انرژی می کنند. حالات صرفه جویی خاص، ابزار موثری برای کاهش مصرف انرژی در بیشتر اقلیم ها هستند. اپراتورهای مرکز داده در برخی اقلیم ها متوجه شده اند که حالات صرفه جویی می توانند به عنوان سیستم خنک سازی اولیه فعال شوند که به سیستم مکانیکی اجازه می دهند به عنوان سیستم ثانویه یا پشتیبان کار کنند.

در اقلیم های خاص، برخی حالات صرفه جویی می توانند بیش از 70 درصد در هزینه های سالانه انرژی سیستم خنک سازی صرفه جویی کنند که برابر با 15 درصد کاهش در PUE سالانه است. اما، با حداقل 15 نوع متفاوت حالات صرفه جویی با تعاریف صنعتی بی دقت، ایجاد اصطلاحاتی برای توصیف انواع متفاوت حالات صرفه جویی، به منظور مقایسه، انتخاب یا تعیین حالات صرفه جویی ضروری است. اصطلاحات و تعاریف پیشنهادی در این مقاله همراه با مقایسه های کیفی و کمی در انواع متفاوت حالات صرفه جویی، به مراکز داده برای گرفتن تصمیمات بهتر کمک می کند.




 **The Different Types of Air Conditioning Equipment for IT Environments**
White Paper 59

 **Impact of Hot and Cold Aisle Containment on Data Center Temperature and Efficiency**
White Paper 135

 **Ultra high efficiency cooling modules for large data centers**
White Paper 136

 **Browse all white papers**
whitepapers.apc.com

 **Browse all TradeOff Tools™**
tools.apc.com