

درصد زمانی کارکرد موتورخانه در درصدهای مختلف بار اوج تقریباً در تمامی شرایط آب‌وهوایی یکسان است. علاوه بر این اگر فرض کنیم طراحی این موتورخانه یکسان بوده است (به عنوان مثال در شرایط بار اوج و حداکثر دمای آب برج و دمای آب سرد می‌باشند) کاسته شدن از دمای حباب‌تر از دمای طراحی به واسطه شرایط گوناگون آب‌وهوایی و احتمال افزایش دمای آب سرد، طرح‌های یکسانی را برای بهینه‌سازی دما و جریان در هر یک از مناطق آب‌وهوایی به دست می‌دهد. این موضوع بسیار مهمی است چون علی‌رغم متفاوت بودن شرایط آب‌وهوایی محلی که در تعیین اندازه چیلرها و میزان ساعات کارکرد آنها در سال تأثیر دارند، پروفیل کارکرد موتورخانه‌ها در سرتاسر قاره آمریکای شمالی و بسیاری دیگر از نقاط جهان به هم شباهت دارند. حال از آنجایی که بازده کلی مصرف انرژی چیلرها بیشتر با توجه به پروفیل بار

(مانند شرایط آب‌وهوایی گرم منطقه کالیفرنیا) و ۲۰ درصد (مانند مناطق سردسیر مرزی نزدیک به کانادا) را در بر می‌گیرد؛ اما نکته‌ای که در این شکل به آن اشاره نشده این است که سیستمی که برای منطقه کالیفرنیا طراحی می‌گردد نیز باید ظرفیت اوج سرمایی معادل ۲۰ درصد بیش از مناطق مرزی نزدیک به کانادا داشته باشد و برج خنک‌کن آن باید برای دمای حباب‌تر بزرگ‌تری انتخاب شود؛ اما پس از اینکه تصحیحات اولیه مربوط به شرایط آب‌وهوایی انجام شدند، پروفیل‌های بار موتورخانه‌های در حال کار بسیار به یکدیگر شبیه خواهند بود. این موضوع به خوبی در پنج منحنی سمت چپ شکل (۱) پدیدار است. توجه داشته باشید که اگر چه ساعات کارکرد چیلرها (شکل ۱) در مناطق مختلف آب‌وهوایی با هم تفاوت دارند و انتخاب اندازه و ظرفیت تجهیزات برای تأمین بارهای مجموعه‌های یکسانی صورت می‌گیرد) اما

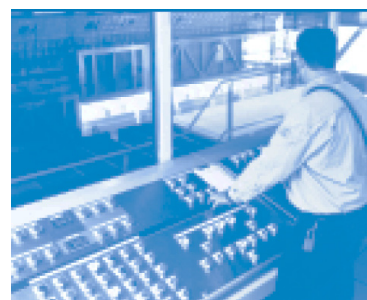
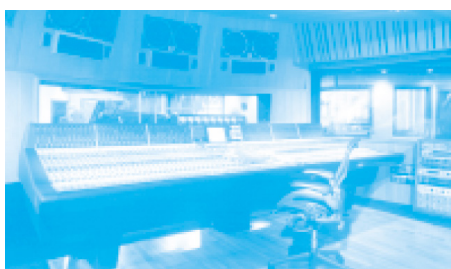
انتخاب اندازه تجهیزات مورد استفاده قرار می‌گیرند چون سیستم‌ها تنها مدت کوتاهی از عمر خود را در این شرایط سپری خواهند کرد بنابراین بازده در آن زمان نقش بسیاری کمی در اقتصاد عملکرد کلی موتورخانه خواهد داشت.

فرصت‌های جدید با فن‌آوری‌های پیشرفته

توصیفی که در بالا از پروژه شهر بیورتن (Beaverton) ارائه شده بدون توضیح درباره چگونگی به کارگیری فن‌آوری‌های مدرن در آن ناقص خواهد بود. یکی از جالب ترین فن‌آوری‌هایی که اکنون در دسترس طراحان است، محرک‌های دور متغیر برای موتورهای جریان متناوب می‌باشند (Drive Frequency Variable یا VFD) این تجهیزات امکانی ارزشمند برای بهبود ابعاد اقتصادی کارکرد در شرایط بار جزئی در اختیار قرار می‌دهند اما متأسفانه این قابلیت خیلی در طرح‌های تأسیساتی

آن‌ها تعیین می‌شود (درصد زمانی کارکرد تحت بارهای مختلف)، طراحی موتورخانه‌های مرکزی و رویکردی که مقدار کیلووات / تن برودتی سالانه مشخصی را در یک شرایط آب‌وهوایی تأمین نماید تقریباً همان مقدار کیلووات تن برودتی را در سایر شرایط آب‌وهوایی نیز به دست خواهد داد. اصل دوم و بسیار مهم دیگر در طراحی موتورخانه‌ها این است که چیلرها بخش اعظم ساعات کارکرد خود را در شرایط بار کم می‌گذرانند. این نکته به خوبی در شکل (۱) نشان داده شده است و می‌بینید که بخش اعظم ساعت کارکرد در شرایط بار کمتر از ۴۰ درصد بوده است. شیوه‌های سنتی طراحی تمایل به انتخاب تجهیزات و سیستم‌ها بر اساس مقادیر حداکثر بار دارند اما طراحی در پروژه بیورتن (Beaverton) با هدف بهینه ساختن عملکرد موتورخانه در شرایط بار جزئی صورت گرفته است. بار حداکثر و نقطه اوج تنها برای

است. خط پایینی در این شکل نشان‌دهنده چگونگی تغییر بازده کاری در نرخ جریان‌های مختلف برای یک فن یا پمپ سانتریفوژ معمولی که از تجهیزات مکانیکی کنترل جریان بهره می‌برند (مانند شیرهای تعدیلی و غیره) می‌باشد. این گونه تجهیزات مکانیکی معمولاً برای چیلرهای سرعت ثابت به کار برده می‌شوند تا ظرفیت آن‌ها را.



و تهویه مطبوع به کار برده نمی‌شود چون آن‌ها را جایگزین‌های مستقیم تجهیزات مکانیکی کنترل جریان می‌دانند. اگر VFD را فقط بدین منظور به کار ببریم تنها بخشی از پتانسیل کلی بهبود بخشی بازده آن‌ها را مورد استفاده قرار داده ایم. نموداری از بازده بار جزئی پمپ‌ها و فن‌هایی که از VFD استفاده می‌کنند در شکل (۲) آورده شده

بازده با کاهش بیشتر جریان به مقدار قابل توجهی افت می‌نماید. از قوانین تئوری پمپ‌ها و فن‌های سانتریفوژ می‌دانیم که نسبت میان توان و جریان از نوع توان سوم می‌باشد. این بدان معنی است که اگر مقتضیات جریان به نصف حداکثر طراحی کاهش یابد می‌توان جریان را با یک‌هشتم توان مورد

در بارهای جزئی کاهش داده و یا در فن‌ها و پمپ‌ها به کار گرفته می‌شوند تا جریان را در فواصلی که تقاضا برای آن کم است کاهش دهند. این تجهیزات اگر به درستی طراحی شوند می‌توانند سطحی ثابت از بازده را در حتی در شرایطی که بار تا ۵۰ درصد کاهش می‌یابد حفظ نمایند ولی پس از این حد،

اینکه بدانید که چرا کاربردهای VFD تنها به بهبود ناچیز بازده بار جزئی منجر می‌شوند، کاربردی را در نظر بگیرید که یک سیستم توزیع آب سرد جریان متغیر موجود که از پمپی جریان ثابت و شیر بای پس فشاری استفاده می‌نموده است اینک به VFD در موتور و سنسور فشار تفاضلی به جای شیر بای پس مجهز می‌شود که سرعت موتور را از طریق VFD کنترل می‌نماید. از آنجایی که مقتضیات هد فشاری مدار لوله‌ها تغییر چندانی نداشته است VFD با کاهش بار نخواهد توانست سرعت موتور را کند سازد چون با افت سرعت پمپ، هد فشاری سیستم نیز کاهش می‌یابد؛ بنابراین VFD مذکور نمی‌تواند سرعت موتور را از حدی که توسط ست پوینت فشار قطع هد تعیین می‌شود کاهش دهد و بدین ترتیب امکان بهره‌برداری از توان بالقوه VFD وجود نخواهد داشت. اگر

نیاز در نقطه طراحی ارائه نمود. پس می‌توان جریان ۵۰ درصدی را با بازدهی چهار برابر نقطه اوج و حداکثر تأمین نمود. اگرچه از ورود فن‌آوری VFD ها به صنعت بیش از یک دهه می‌گذرد اما بازده‌های بالا در شرایط بار جزئی معمولاً در کاربردهای عملی به دست نمی‌آیند چون طراحان VFD را غالباً برای کاربردهای فشار ثابت در نظر می‌گیرند. اگر VFD را در طراحی‌های چیلرها و پمپ‌های عادی بدین‌صورت به کار ببریم، کیفیت عملکرد در نرخ جریان‌های مختلف به صورت خط میانی در شکل (۲) خواهد بود. تفاوت میان خط پایینی و میانی بیانگر صرفه‌جویی بزرگی در مصرف انرژی شرایط بار جزئی است ولی در هر صورت نمی‌تواند معرف کل پتانسیل صرفه‌جویی انرژی نهفته در این فن‌آوری باشد که به صورت منحنی بالایی نشان داده شده است. برای



سانتریفوز که توسط کنترل کننده های سرعت و فشار متغیر به کار گرفته می شوند در بارهایی است که موتورخانه های سرمایشی عمده زمان خود را با آن ها می گذرانند؛ بنابراین می توان نتیجه گرفت که هزینه های راهبری سالیانه چنین رویکردهای کاری که اجازه می دهند فشار با جریان به گونه ای تغییر کند که پمپ ها امکان کارکردن در بالاترین بازده های بار جزئی خود را می یابند، قابل توجه خواهد بود. علاوه بر این، هر جز مصرف کننده انرژی در موتورخانه های دارای چیلرهای سانتریفوز، از برج خنک کن

کنترل کننده فشار تفاضلی را بر مقدار کمتری تنظیم نماییم مسلماً با اعتراض اپراتورها و بهره برداران مواجه خواهیم شد چون در این حالت برخی از بارها به دلیل حاکم بودن فشارهایی کمتر از فشار طراحی تأمین نخواهند شد؛ اما در هر حال اگر شبکه کنترل های DDC مسئولیت هدایت پمپ و شیرهای آب سرد را در بارهای سرویس گیرنده بر عهده داشته باشد می تواند فشار تغذیه را زمانی که هیچ یک از شیرهای کنترل بار کاملاً باز نیستند، تنظیم و تصحیح نماید. این رویکرد «شبکه ای» به کاربردهای VFD معمولاً به پروفیل های بازدهی مانند قسمت بالای شکل (۲) خواهد انجامید. همان طور که قبلاً نیز اشاره شد، بخش اعظم ساعات کارکرد سیستم های آب سرد در شرایط بار و جریان جزئی می باشد. شکل (۱ و ۲) را برای لحظه ای در کنار هم تصور بفرمایید. توجه کنید که بالاترین بازده های کاری تجهیزات

مربوطه آب سرد و آب خنک کن به گونه‌ای انتخاب شده‌اند که پمپ‌ها به طور اختصاصی برای چیلرها عمل نمی‌کنند. هدف اصلی در این شیوه طراحی تضمین عدم کاهش ظرفیت سیستم به کمتر از یک سوم تحت هر شرایطی و خرابی یکی از اجزا بوده است. هدف دیگر این بوده است که بدون متحمل شدن هزینه‌های اضافی و پیچیدگی بیش از حد برای قائل شدن پشتیبان برای سیستم‌های موجود بتوان در صورت خرابی تعدادی از اجزا و زیرمجموعه‌ها کار را دنبال نمود. در این طراحی یک مدار تولید آب سرد با جریان متغیر و سیستم توزیع آب سرد تغذیه در شهر و منطقه‌ها موجود بوده و به گونه‌ای عمل می‌کند که فشار میان هدرهای رفت و برگشت هر ساختمان خنثی باشد. این شیوه با موفقیت در سیستم‌های توزیع آب سرد به کار گرفته شده است. بدین ترتیب مقتضیات اندازه و ظرفیت موتورخانه تولیدکننده آب سرد کاهش

می‌باشد. شبیه‌سازی‌های انجام شده برای بارها و بازده‌های اجزا نشان می‌دهد که مصرف انرژی چنین موتورخانه‌ای که چیلرها و سایر اجزا آن توسط کنترل‌های شبکه مدیریت می‌شوند بسیار کمتر از مصرف انرژی عادی همان چیلرها و سیستم‌های توزیع وابسته به آن‌ها می‌باشد.

طراحی بهینه چیلرهای آب سرد

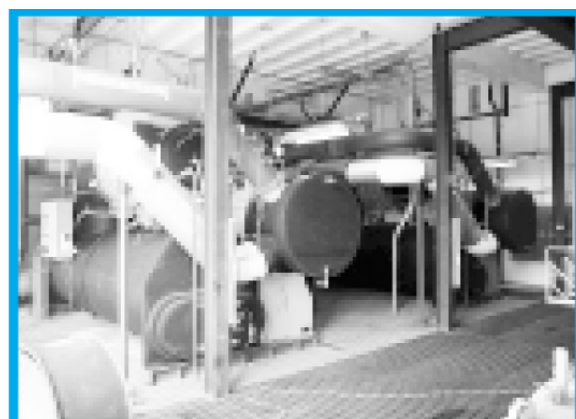
طراحی خاصی که برای موتورخانه بیورتن انتخاب شد شامل آرایش بسیار ساده‌ای برای تجهیزات بوده و عملکرد آن‌ها را توسط شبکه کنترل‌کننده‌ای که کلیه‌های بارهای سرویس‌گیرنده را زیر نظر دارد، مدیریت شده و دماها و جریان‌های متغیر آب سرد را برای برآورده ساختن شرایط بارها در کلیه زمان‌ها ارائه می‌نماید. طراحی شماتیک از مدارهای چیلرها و برج های خنک‌کن در شکل های (۳ و ۴) نشان داده شده است. سه چیلر هم‌ظرفیت همراه با هدرهای

به ساختمانی که پمپ آن از مدار خارج شده است رساند تا هنگامی که پمپ آن مجدداً وارد مدار گردد. بدین ترتیب با اتخاذ این رویکرد سیستم مکانیکی بسیار ساده‌ای در اختیار داریم که قابل اطمینان بوده و هزینه‌های زیاد نصب سیستم‌های پشتیبان را در بر ندارد؛ اما در هر صورت سیستم چیلرها باید به طور پیوسته در تمام طول سال کار کند تا آب سرد مورد نیاز را تأمین نماید. به کارگیری طراحی فشار خشی در شبکه توزیع موجب می‌شود تا توان اضافی برای پمپاژ آب سرد غیرضروری در دوره‌هایی که نیاز به آب سرد بسیار کم است صرف نگردد. عملکرد چیلرها به صورت مرحله‌ای اندیشیده شده‌اند چون مدارهای آب سرد و آب خنک‌کن از طریق شیرهای ایزولاسیون برقی کنترل می‌شوند. یک مبدل حرارتی نیز در موتورخانه تعبیه شده است تا آب خنک‌کن برج را در فصول و یا دوره‌های سرد سال تدارک ببیند.

می‌یابد چون طراحی آن بر اساس کنترل‌کننده‌های شبکه‌ای صورت گرفته است. شبکه کنترل‌کننده‌ها با بهره‌گیری از الگوریتم‌های کنترل دینامیک می‌توانند در زمان‌هایی که بارها با اوج خود می‌رسند، تأمین آن‌ها را به گونه‌ای انجام دهد که حداکثر ظرفیت مورد نیاز موتورخانه و چیلرها و سایر اجزا آن تا ۲۰ درصد کاهش یابد. پمپ‌های ثانویه جریان متغیر که در هر یک از ساختمان‌ها قرار داده شده‌اند، آب سرد را از هدرهای تغذیه به بارهای موجود در ساختمان می‌رسانند. سرعت پمپ ثانویه توسط موقعیت شیر کوئل‌های سرمایشی سرویس‌گیرنده و عوامل دیگر تعیین شده و برای تأمین هرچه دقیق‌تر بارها کنترل می‌شود. مدارهای پمپ‌های اولیه و ثانویه ناهمبسته یا دی کوپله نیستند بنابراین در صورت خرابی پمپ ثانویه می‌توان با افزودن بر فشار اصلی تغذیه جریان محدودی از آب سرد را



بهینه‌سازی بازده تجهیزات به جای اینکه با اتکا به تنظیم و تغییر ست پوینت‌های دما و فشار صورت گیرد از طریق نسبت‌های از پیش تعیین شده بارگذاری الکتریکی بهتر به دست خواهد آمد. سیستم کنترل شبکه‌ای موتورخانه این شهر جدید کلیه چیلرها، پمپ‌ها و برج‌های خنک‌کن را بر اساس نسبت‌های از پیش معلوم مصرف توان در محدوده نسبتاً وسیعی از دماها و بارها به کار می‌گیرد. به عنوان مثال سیستم DDC برای کاهش سرمایش به منظور تطابق با کاسته شدن بارها توان پمپ‌های آب سرد، چیلرها، پمپ‌های کندانسور و برج را با توجه به نسبت‌های مشخص مصرف توان کاهش می‌دهد. اجزا در شرایط بار



یک شیر بای پس در انتهای حلقه توزیع آب سرد قرار داده شده است تا در زمان‌هایی که نیاز به آب سرد کاهش می‌یابد باز شده و جریان را برای یکنواخت ماندن دما در حلقه به آن راه دهد.

عملکرد موتورخانه و چیلرها

موتورخانه شهر جدید بیورتن به طور خودکار توسط سیستم مدیریت DDC به کار گرفته می‌شود. عملکرد چیلرها، پمپ‌ها و فن‌های برج‌های خنک‌کن به طور خودکار هماهنگ می‌شود تا بالاترین بازده کاری در کلیه زمان‌ها به دست آید. یک نکته بسیار مهم در اینجا چگونگی اجرای شیوه و راه‌کاری است که بازده انرژی بهینه گردد. مطالعات نشان می‌دهد که

الگوریتم‌های ساده کنترلی توان کمتری دریافت کنند. بدین ترتیب کل سیستم‌ها و تجهیزات به صورتی کاملاً هماهنگ و یکپارچه در خدمت رویکرد بهینه‌سازی مصرف انرژی و افزایش بازده عمل خواهند کرد. عملکرد سیستم از لحاظ مصرف انرژی تجربه نشان داده است که موتورخانه‌ها و سیستم‌های توزیع عادی، مصرف کلی انرژی بین تا بیش از ۲ کیلووات برای هر تن آب سرد تحویل شده به بارها می‌باشد؛ اما موتورخانه شهر بیورتن بین تا کیلووات برای هر تن انرژی مصرف می‌کند. این رقم دربرگیرنده انرژی مصرفی چیلرها، برج‌ها، پمپ‌های کندانسور، پمپ‌های آب سرد اولیه و ثانویه می‌باشد. هنوز تا زمانی که چندین سال از عمر موتورخانه‌های سرمایش منطقه‌ای گذشته و سابقه‌ای در مورد کیفیت کارکرد آن‌ها جمع‌آوری نشده باشد نمی‌توان در مورد توفیق آن‌ها به صورت قطعی اظهارنظر نمود.



کامل در ۱۰۰ درصد توان طراحی خودکار خواهند کرد. کاسته شدن بار که از طریق کم شدن توان مورد نیاز پمپ‌های آب سرد برای تأمین فشار خنثی در سیستم توزیع آب سرد تشخیص داده می‌شود موجب خواهد شد تا محرک‌های الکتریکی چیلرها، پمپ‌های کندانسور و فن‌های برج خنک‌کن به واسطه