

کنترل کیفیت در بیمارستان

(جایزه دوم در بخش ساختمان‌های موجود بهداشتی و درمانی در 2013 ASHRAE AWARD TECHNOLOGY)

نویسنده: Michael Fullerton, P.E., Member ASHRAE

مترجم: حسین عبدی - کارشناس ارشد مهندسی مکانیک abdi@greenhvac.ir



مرکز درمانی کلمبوس ایالت جورجیا با وسعت ۷۰۰۰۰۰ فوت مربع (۶۵۰۳۰ مترمربع) که طی یک برنامه بلندمدت در ۷ سال کلیه تاسیسات زیربنایی خود را تعویض نمود.

مقدمه:

تعویض تاسیسات زیربنایی یک بیمارستان که به طور دائم در حال سرویس‌دهی است تنها با یک برنامه زمانبندی دقیق امکان‌پذیر است. مرکز بیمارستانی و درمانی کلمبوس ایالت جورجیا با وسعت ۷۰۰ هزار فوت مربع (۶۵۰۳۰ مترمربع)، برنامه توسعه استراتژیک خود را در ۱۸ فاز و در طول ۷ سال اجرا نمود. هدف از اجرای این برنامه ارتقای درجه Energy Star از درجه ۲۴ به ۷۵ پس از اتمام پروژه بود. موضوع فاز ۲ این پروژه تبدیل سیستم سرمایشی موجود از سیستم جریان ثابت به سیستم جریان متغیر بود. در نهایت با حفظ چیلر شماره ۳ در پروژه، چیلرهای ۱ و ۲، مبدل صفحه‌ای موجود و پمپ‌های مرتبط با آن تعویض گردیدند.

بیمارستان دارای دو سیستم گرمایش مستقل بود. اولین سیستم گرمایشی، دارای دو مبدل حرارتی بخار و سه پمپ جریان ثابت بود که در سال ۱۹۸۰ نصب شده بودند. سیستم دوم، شامل یک مبدل حرارتی بخار با دو پمپ جریان ثابت بود که در سال ۱۹۹۳ نصب گردیده بود.

ساختمان در یک نگاه

مرکز درمانی

مکان: کلمبوس ایالت جورجیا، آمریکا

مالک: سیستم خدمات درمانی منطقه کلمبوس

کاربری: بیمارستان

شامل: مرکز OR، اتاق‌های تروما، CT، اتاق‌های آزمایش، اتاق

بیماران، مرکز اورژانس تروما سطح ۲

کارمندان / افراد مقیم: ۴۱۳ تختخواب

سطح ناخالص: ۶۵۰۳۰ مترمربع

فضای تهویه شده: ۶۵۰۳۰ مترمربع

درصد اشغال و سکونت در فضا: ۱۰۰٪

تاریخ تکمیل و بهره برداری: دسامبر ۲۰۰۹

همچنین سیستم بخار دارای دو دستگاه بویلر فایرتیوب با ظرفیت ۴۰۰ اسب بخار (۳۹۲۴ کیلووات) بود که در سال ۱۹۸۱ نصب شده‌اند. دیگ‌های بخار، ۱۵۰ پوند بخار با نرخ ۱۵۰۰۰ پوند در ساعت را برای استفاده در رطوبت زن‌ها، استریل‌کننده‌ها و گرمایش آب تولید می‌نمودند.

سیستم سرمایش، گرمایش و تولید بخار توسط فایبرگلاس عایق شده بود. برای بیشتر لوله‌های تاسیساتی برچسب‌های راهنما وجود نداشتند و لایه خارجی عایق لوله‌ها در اثر گذشت سال‌ها از بین رفته بود.

در سیستم سرمایش جدید، چیلرهای شماره ۱ و ۲ تعویض شدند. چیلر شماره ۱، تبدیل به یک چیلر ۶۰۰ تن تبرید (۲۱۱۰ کیلووات) آب خنک مجهز به تکنولوژی پمپ حرارتی شد که امکان تولید همزمان آب سرد و گرم را دارد. چیلر شماره ۲ نیز با یک چیلر ۱۲۰۰ تن (۴۲۲۰ کیلووات) سانتریفوژ آب خنک و موتور فرکانس متغیر جایگزین شد. چیلر شماره ۳ نیز بدون تغییر در سیستم باقی ماند و به عنوان پشتیبان مورد استفاده قرار گرفت.

چیلر شماره ۱ از مبرد R-134 و چیلر شماره ۲ از مبرد R-123 استفاده می‌نماید. لوله‌کشی نیز مطابق سیستم Variable Primary

علاوه بر تغییرات در سیستم سرمایش، تغییراتی نیز در سیستم گرمایش پروژه اعمال گردید. پمپ‌های آب گرم به موتورهای دور متغیر تجهیز شده و مبدل‌های بخار سیستم، تعویض گردیدند و تمامی این تغییرات باید در شرایطی اتفاق می‌افتاد که بیمارستان در حالت سرویس‌دهی باشد. چیلر شماره ۱ که مجهز به تکنولوژی پمپ حرارتی^۱ بود و به طور همزمان آب سرد ۴۲ درجه فارنهایت (۶ درجه سلسیوس) و آب گرم ۱۵۰ درجه فارنهایت (۶۶ درجه سلسیوس) را تأمین می‌نماید، در بیمارستان نصب گردید. استفاده از این تکنولوژی درجه Energy Star را از عدد ۲۴ به ۵۸ افزایش داد. به این ترتیب از تولید ۳۳۸۸ تن دی‌اکسیدکربن سالانه نیز پیشگیری گردید.

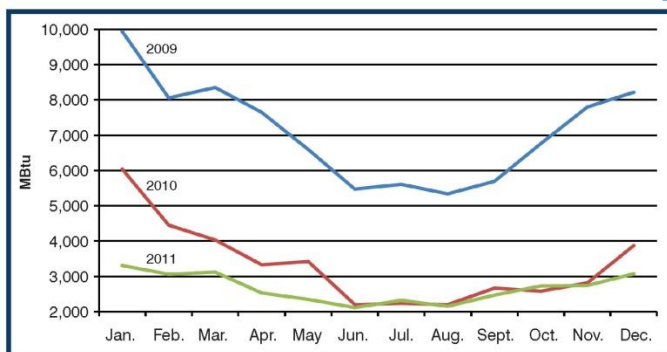
سیستم قبلی بیمارستان شامل سه دستگاه چیلر بود. چیلر شماره ۱، از نوع سانتریفوژ آب خنک با ظرفیت ۶۵۰ تن تبرید (۲۲۸۶ کیلووات) که در سال ۱۹۸۰ نصب شده بود. چیلر شماره ۲، از نوع سانتریفوژ آب خنک با ظرفیت ۷۵۰ تن تبرید (۸۰۴۰ کیلووات) که در سال ۱۹۸۰ نصب شده بود و چیلر شماره ۳، از نوع سانتریفوژ آب خنک با ظرفیت ۱۲۸۰ تن تبرید (۴۵۰۲ کیلووات) که در سال ۱۹۹۳ نصب شده بود. چیلرهای ۱ و ۲ از مبرد R-12 و چیلر شماره ۳ از مبرد R-123 استفاده می‌نمودند. طراحی سیستم به گونه‌ای بود که هر چیلر دارای پمپ‌های آب سرد مجزایی باشد و علاوه بر پیش‌بینی شیرهای تنظیم جریان، لوله‌کشی‌ها برای سیستم با جریان ثابت انجام شده بود. چیلر ۱ و ۲ به صورت سری با یکدیگر و چیلر ۳ به صورت موازی با دو چیلر دیگر پیش‌بینی شده بود، ضمن آنکه یک دستگاه مبدل صفحه‌ای نیز به طور موازی با چیلرها برای استفاده از سیستم سرمایش Free cooling^۲ نصب گردیده بود. مجموعه چیلرها نیز فاقد سیستم مانیتورینگ مبردها بودند.

یادداشت مترجم: در سیستم سرمایش Free cooling با استفاده از دمای هوای محیط بار سرمایش چیلرها را کاهش می‌دهند. در ساختمان‌های بزرگ تجاری در فصل زمستان، در حالی که فضاهای پیرامونی ساختمان نیاز به گرمایش دارند فضاهای میانی ساختمان نیاز سرمایشی دارند و چیلرها می‌بایست در فصول سرد نیز روشن باشند. در این سیستم با استفاده از روش‌های مخلف، به جای استفاده از چیلرها، از دمای محیط خارج برای سرمایش آب در سیستم استفاده می‌شود که این موضوع سبب کاهش بار سرمایشی چیلر و کاهش مصرف انرژی می‌گردد.

انجام تعمیرات به ۱۴ فاز مجزا تقسیم شده بود تا دفعات و زمان خاموش شدن سیستم به حداقل برسد. مدارک تهیه شده نهایی شامل نقشه‌های لوله‌کشی با زمانبندی‌های مربوطه بود که برای پیمانکاران بسیار سودمند بود. این نقشه‌ها با استفاده از نرم‌افزارهای BIM^۳ تهیه شدند.

در نهایت هزینه قبض‌های بیمارستان با سیستم Energy Star تطبیق داده شد. در سال ۲۰۰۹ انرژی مورد نیاز پروژه ۲۷۰ kBtu/ft^2 بوده است. در سال ۲۰۱۱ میزان مصرف انرژی به ۱۸۶ kBtu/ft^2 (۲۱۱۲۴۰۲ $\text{kJ/m}^2.\text{yr}$) کاهش یافت که سبب شد درجه Energy Star پروژه به ۵۸ ارتقا یابد. در مجموع مصرف انرژی مجموعه از سال ۲۰۰۹ تا ۲۰۱۱ حدود ۳۱٪ کاهش یافت.

در حال حاضر چیلر مجهز به پمپ حرارتی تمام آب گرم مورد نیاز مجموعه را تامین می‌نماید و تنها نیاز مصارف آشپزخانه، استریلیزه‌کننده‌ها و رطوبت‌زن‌ها توسط سیستم بخار تامین می‌گردد. استفاده از چیلر مجهز به پمپ حرارتی سبب شد تا میزان مصرف گازی که برای گرمایش مجموعه مورد استفاده قرار می‌گرفت کاهش یابد. (شکل ۱)



شکل ۱- مصرف گاز بیمارستان

در سیستم قبلی، هواساز بیمارستان توانایی تامین هوا با دمای ۵۵ درجه فارنهایت (۱۳ درجه سلسیوس) را نداشت. به همین دلیل تیم نگهداری مجبور شده بود برای خنک نگاه داشتن ساختمان دریاچه ورودی هوای تازه را مسدود نماید. سیستم سرمایش جدید اکنون این توانایی را دارد که بر علاوه تهویه هوای تازه، دمای هوای خروجی از هواساز را در محدود ۵۵ درجه فارنهایت حفظ نماید، در نتیجه دریاچه ورود هوای تازه مجدداً باز گردید. علاوه بر این فشار هوای داخل ساختمان نیز کنترل‌پذیر گردید. سیستم به گونه‌ای برنامه‌ریزی شد که پالس‌های ارسالی از لابی‌های ورودی ساختمان، اتاق انتظار و فضای پذیرش بیماراران امکان ایجاد تغییر در فشار ساختمان را نداشته باشند.

اصلاح شد و پمپ‌های جدید سرمایشی مجهز به موتورهای فرکانس متغیر نصب گردیدند.

یادداشت مترجم: یکی از روش‌های لوله‌کشی و اتصال چیلرها سیستم اولیه جریان متغیر (Variable Primary System) است که در آن برای تغذیه چیلر از پمپ‌های دور متغیر در ورودی چیلر استفاده می‌گردد.

از مزایای این سیستم می‌توان به هزینه‌های نصب و راه‌اندازی پایین‌تر، اشغال فضای کمتر، کاهش توان مصرفی پمپ‌ها و صرفه جویی در مصرف انرژی اشاره نمود.

برای مطالعه و اطلاعات بیشتر از طریق لینک زیر به مقاله ASHRAE در همین زمینه مراجعه نمایید.

<http://bookstore.ashrae.biz/journal/download.php?file=taylor.pdf>

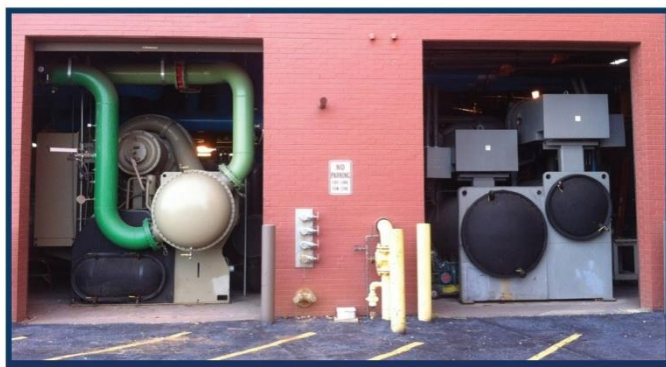
تمامی شیرهای تنظیم جریان از مسیرها حذف شدند. چیلر مجهز به پمپ حرارتی، به گونه‌ای در مدار قرار گرفت که بسته به نوع عملکردش بتواند در دو حالت سری و موازی عمل نماید. در شرایطی که چیلر در حالت پمپ حرارتی قرار دارد به صورت سری در مدار قرار گرفته و زمانی که چیلر در حالت سرمایشی (چیلر) قرار دارد به صورت موازی وارد مدار می‌گردد. سیستم جدید مانیتورینگ مبرد نیز برای چیلرها نصب گردید.

دو سیستم مجزای گرمایش بیمارستان نیز با یکدیگر ترکیب گردید و به یک سیستم تبدیل شد. دو مبدل بخار با مبدل‌های جدید جایگزین گردیدند. سه پمپ جریان ثابت با موتورهای فرکانس متغیر جایگزین شدند و شیرهای سه راهه از سیستم حذف گردیدند. مبدل بخار و پمپ‌های سیستم دوم نیز از مجموعه حذف شدند. آب گرم تولید شده توسط چیلر مجهز به پمپ حرارتی نیز با لوله‌کشی به طور موازی به مبدل‌های بخار انتقال داده شد. به این ترتیب حجم بخار مورد نیاز توسط بویلرهای فایرتیوب کاهش یافت و به ۷۵ پوند رسید.

لوله‌کشی جدید سرمایش، گرمایش و بخار با عایق فایبرگلاس عایق شد. در عایق‌کاری جدید لوله‌های هر سیستم با روکش PVC و رنگ خاص و برچسب جداگانه مشخص شدند. برچسب‌های جدید نصب شده روی لوله‌ها شامل سایز لوله، جهت جریان و سیال موجود در لوله می‌باشد.

تاریخ برای هر فاز روی مدارک و نقشه‌های مربوطه درج شدند و در نتیجه هزینه‌های این بخش به ۱۰۰ هزار دلار محدود گردید. پروژه بسیار موفقیت‌آمیز اجرا شد. زمان خاموشی‌ها کمتر از میزان پیش‌بینی شده بود. پیمانکاران نیز می‌دانستند که در هر فاز دقیقاً چه عملیاتی باید انجام گیرد. هواسازها در زمانی که دما و رطوبت در محدوده مناسب قرار دارد، در حالت اقتصادی (Economic mode) کار می‌کنند. پیش از این سیستم، چیلرهای قدیمی به صورت دستی و از روی دستگاه کنترل می‌شد و مانیتورینگ و گرافیک‌های کامپیوتری موجود فقط برای مشاهده دمای قسمت‌های مختلف سیستم کاربرد داشت. بیشتر کنترلرها و فعال‌کننده‌های موجود نیز

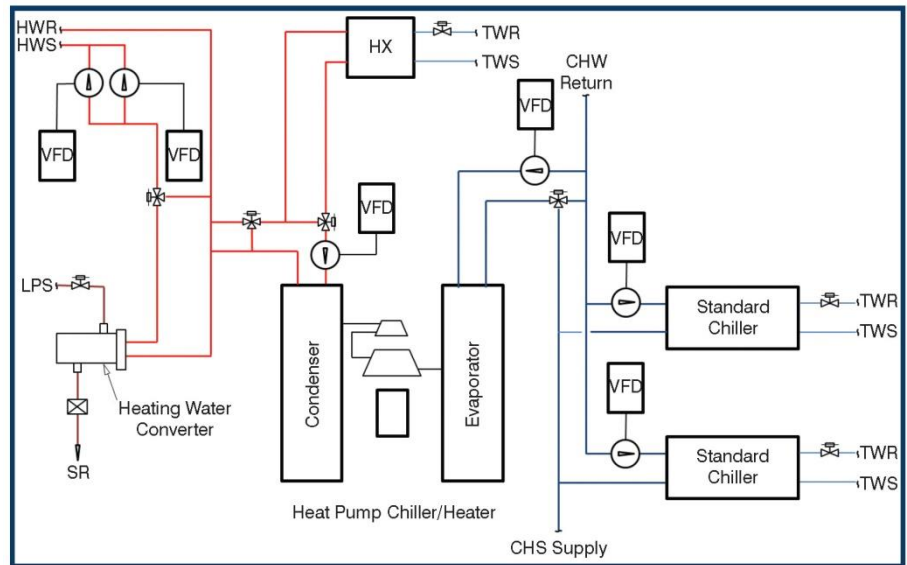
غیرقابل استفاده شده بودند. به عنوان بخشی از این پروژه کنترلرهای مجموعه بر اساس قابلیت‌های جدید سیستم BACnet ارتقا یافتند. به این ترتیب تمامی نقاط تحت کنترل سیستم از طریق مرکز کنترل قابل مشاهده است. سیستم کنترلی در حال حاضر به صورت اتوماتیک عمل نموده و بهره‌برداران می‌توانند عملکرد سیستم را از منزل مشاهده نمایند و راهبری سیستم را از طریق اینترنت انجام دهند.



شکل ۳- نصب تجهیزات موتورخانه در فضای محدود

قرارداد منعقد شده جهت چیلرهای جدید شامل تعمیر و نگهداری بلندمدت می‌باشد که به این ترتیب از حجم تعمیر و نگهداری مورد نیاز مجموعه کاسته شد. استفاده از روکش‌های PVC در سیستم سبب شد تا تجهیزات تمیزتر باقی بمانند. تمامی شیرهای موجود در موتورخانه با برچسب‌هایی که اطلاعات فنی شیر و عملکرد آن را مشخص می‌نماید نشانه‌گذاری گردیدند. این برچسب‌ها تعمیرات و نگهداری از سیستم را ساده‌تر نمود.

این پروژه همچنین شامل نصب چیلر مجهز به پمپ حرارتی برای تامین آب سرد و آب گرم بود. (شکل ۲) در تاسیسات بیمارستانی، تامین ظرفیت بیشتر از حد نیاز توسط تاسیسات از اهمیت ویژه‌ای



برخوردار است. اضافه شدن چیلر مذکور ظرفیت اضافی تامین آب گرم و آب سرد را برای مجموعه ایجاد نمود. این چیلر نقش کلیدی در افزایش درجه Energy Star ساختمان ایفا می‌نماید.

شکل ۲- دیاگرام لوله‌کشی چیلر مجهز به پمپ حرارتی
یکی دیگر از نوآوری‌های انجام شده در این پروژه استفاده از BIM و تهیه مدارک زمانبندی پروژه بود تا زمان خاموش شدن سیستم‌های سرمایش و گرمایش به حداقل ممکن کاهش یابد. بیشتر پروژه‌ها در زمان‌هایی مثل پایان هفته و عصرها خارج از سرویس هستند که می‌توان جهت خاموشی و تعمیرات از این زمان‌ها استفاده نمود اما در این پروژه این امکان وجود نداشت. از طرفی دفعات تعویض هوا، دما و رطوبت نیز پارامترهای مهم در کاهش آلودگی و جلوگیری از توزیع میکروب در فضاهای بهداشتی هستند. به همین دلیل بازسازی تاسیسات پروژه به ۱۴ فاز تقسیم شد تا زمان‌های خاموشی سیستم کاهش یابد و بعد از اتمام هر فاز و پیش از آغاز فاز بعدی، کارکرد سیستم مورد بررسی و کنترل کیفیت قرار گرفت. یکی دیگر از دلایل استفاده از BIM حصول اطمینان از قرارگیری کلیه تاسیسات، لوله‌کشی‌ها و تجهیزات در فضای موتورخانه بود.

مدارک زمانبندی همچنین در اجرای تعهدات پیمانکاران سودمند بود چرا که نشان می‌داد سیستم نمی‌تواند برای مدت بیش از مقدار تعیین شده خاموش و از سرویس‌دهی خارج باشد. مهندسین و کارفرما نیز در هر فاز و در زمان خاموشی سیستم با دقت و طبق برنامه زمانبندی عمل می‌نمودند. تمامی زمان‌های خاموشی با ذکر

شماره چیلر	چیلرهای قدیمی			چیلرهای جدید		
	1	2	3	1	2	3 Reused
ظرفیت (تن)	650	750	1250	600	1250	1250
مبرد	R-12	R-12	R-123	R-134A	R-123	R-123
دمای اواپراتور	48.5/42	56/48.5	56/42	52/42	51.95/42	56/42
دمای کندانسور	85/94.2	85/95	85/95	145/155	85/94.3	85/95
kW	543	576	813	895	709	813
kW/ton	0.84	0.77	0.65	1.49*	0.57	0.65
نوع آرایش	سری	سری	موازی	موازی	موازی	موازی

* این عدد شامل تولید آب گرمایش ۱۵۵ درجه فارنهایت به علاوه آب سرمایش ۴۲ درجه فارنهایت می‌باشد

۲۷۰،۱۹۱ دلار، نرخ بازگشت سرمایه برای جبران این اختلاف کمی بیشتر از ۱/۵ سال می‌باشد.

این پروژه همچنین با تعویض مبرد R-12 چیلرهای قدیمی یا مبرد R-134a برای چیلر ۱ و R-123 برای چیلر ۲ نقش مهمی در کاهش ریسک اثرات زیست محیطی داشته است. سیستم مانیتورینگ مبرد نیز بر اساس الزامات استاندارد ASHRAE 15:2009 نصب گردید. در سال ۲۰۰۹ ساختمان بیمارستان ۵۴۱۳ تن دی اکسیدکربن تولید نموده بود در حالی که در سال ۲۰۱۱ این حجم به حدود ۲ تن کاهش یافت.

مجموع هزینه‌های پروژه حدود ۲،۵ میلیون دلار برآورد گردید. هر دو چیلر قدیمی ۱ و ۲ که تعویض گردیدند در محدوده پایان عمر خود قرار داشتند. به این ترتیب با فرض این که این دو چیلر باید به هر دو تعویض می‌شدند، بیشترین هزینه عمده پروژه جهت تبدیل چیلر شماره ۱ از یک چیلر استاندارد سانتریفوز، به یک چیلر مجهز به پمپ حرارتی بود. تفاوت هزینه بین این دو نوع چیلر حدود ۴۵۰ هزار دلار بود. پس از خرید و استفاده از چیلر مجهز به پمپ حرارتی، مجموع هزینه انرژی مصرف شده ساختمان در سال ۲۰۰۹ معادل ۲،۰۸۴،۲۰۰ دلار و مجموع هزینه انرژی در سال ۲۰۱۰ معادل ۱،۸۱۴،۰۰۹ دلار بوده است. به این ترتیب با تقسیم اختلاف هزینه این دو نوع چیلر بر میزان صرفه‌جویی انجام شده یعنی عدد

منبع: ASHRAE Journal, vol. 55, no. 7, July 2013 –P. 34-38

- ¹ Heat Pump Chiller
² Free Cooling
³ Building Information Modeling
⁴ Actuators