صرفه‌جویی اقتصادی انرژی مصرفی یک ساختمان با استفاده از سیستم ذخیره‌ساز برودتی آیس بانک

محمدرضا صفرپور خالدی
کارشناسی ارشد مکانیک (تبدیل انرژی)سرگروه تأسیسات مکانیکی دانشگاه علوم پزشکی مازندران، عضو سازمان نظام مهندسی ساختمان استان مازندران
mskhaledi@yahoo.com

۱- چکیده

بار سرمایشی یکی از بخش‌های عمده مصرف برق به‌ویژه در مناطق گرمسیری می‌باشد. برای تأمین بار سرمایشی مشترکان این مناطق در فصول گرم سال حدود نیمی از مصرف دیماند و انرژی الکتریکی اختصاص می‌یابد[۱]. یکی از روش‌های پیشنهادی در راستای اهداف مدیریت مصرف برای کنترل و بهبود منحنی بار این شبکه‌ها، کاهش بار پیک به کمک استفاده از سیستم‌های ذخیره‌سازی انرژی برودتی است[۲]. یکی از معروف‌ترین سیستم‌های ذخیره‌ساز انرژی برودتی، آیس بانک می‌باشد. آیس بانک در واقع همان چیلر بوده که دارای مخزنی برای نگهداری یخ، آب سرد، اتیلن گلیکول و سایر موارد مناسب و دو مبدل حرارتی، یکی مابین چیلر و مخزن ذخیره و دیگری مابین مخزن ذخیره و ساختمان و پمپ‌ها و شیرآلات مورد نیاز می‌باشد[۳]. در این پژوهش، ابتدا بار برودتی یک ساختمان نمونه به مساحت حدوداً ۵۰۰۰ متر مربع به‌طور دقیق توسط نرم افزار کریر (نسخه ۳/۴) مورد محاسبه قرار گرفته سپس با داشتن بار برودتی، چیلر مور نیاز پروژه انتخاب گردیده، در ادامه با استفاده از اطلاعات

> بار سرمایشی یکی از بخش‌های عمده مصرف برق به‌ویژه در مناطق گرمسیری می‌باشد.

موجود در کاتالوگ شرکت مربوطه، اطلاعات تکمیلی مربوط به عملکرد چیلر را در دماهای مختلف محیط، روزهای مختلف تابستان و دماهای مختلف آب سرد خروجی با استفاده از الگوریتم شبکه عصبی و نرم‌افزار متلب به‌دست آورده و میزان انرژی صرفه‌جویی شده و میزان صرفه اقتصادی حاصل شده، محاسبه می‌گردد.

۲- مقدمه

در این پروژه ابتدا به معرفی سیستم و بعد محاسبه بار برودتی و تعیین ظرفیت چیلر مناسب می‌پردازیم و در آخر مزایا و صرفه‌جویی‌های ناشی از کاهش دیماند و انرژی و انتقال بار به ساعات غیر پیک بار تشریح خواهد شد. با توجه به اینکه هزینه مصرف انرژی الکتریکی در ساعات پیک بار و حتی میان‌باری نسبت به ساعات کم‌باری بسیار بالاتر است و از طرفی ضریب عملکرد چیلر و در نتیجه توان الکتریکی مصرفی چیلر در ساعات کم‌باری (که معمولاً شب‌ها می‌باشد و دمای هوا کاهش محسوسی نسبت به روز دارد) بسیار کمتر خواهد بود، لذا توصیه می‌شود برودت مورد نیاز را در ساعاتی که به آن احتیاج نداریم و هزینه انرژی تولید آن پایین‌تر است تولید کرده و در ساعات با هزینه بالای انرژی الکتریکی، استفاده کنیم. جهت تحقق این خواسته می‌بایست ابتدا به صورت دقیق بار برودتی مورد نیاز ساختمان را محاسبه کنیم سپس با انتخاب چیلر مناسب، اطلاعات عملکردی دستگاه را از کاتالوگ مربوطه برداشت کرده، سپس جهت تکمیل آن با استفاده از اطلاعات هواشناسی مربوط به سه ماهه فصل گرم و یک الگوریتم پیش بینی قوی رفتار سیستم که در این پروژه الگوریتم شبکه عصبی می‌باشد به پیش بینی رفتار سیستم بر اساس دماهای مختلف شبانه‌روز و دماهای مختلف آب سرد خروجی از چیلر میپردازیم. در نهایت، انرژی الکتریکی صرفه‌جویی شده به دلیل کارکرد چیلر در شب و دمای پایین‌تر هوا و صرفه اقتصادی حاصل شده را محاسبه می‌کنیم. سپس صرفه اقتصادی حاصل‌شده ناشی از کاهش هزینه انرژی الکتریکی مصرف شده در شب نسبت به روز را محاسبه می‌کنیم و با صرفه اقتصادی حاصل شده در مرحله قبل جمع می‌کنیم. بدین ترتیب کل صرفه اقتصادی حاصل شده به دلیل استفاده از آیس بانک جهت ساختمان نمونه به دست خواهد آمد. در ضمن با توجه به استفاده کمتر از انرژی الکتریکی، کمک شایانی به بهبود عملکرد نیروگاه‌ها کرده‌ایم و قدمی در جهت کاهش آلودگی‌های زیست‌محیطی ناشی از عملکرد نیروگاه‌ها به دلیل کاهش گازهای خروجی از دودکش نیروگاه‌ها برداشته‌ایم.

۳- اهداف مطالعه

اهداف مورد نظر، تأثیر انتقال مصرف انرژی از ساعت‌های اوج بار و میان‌باری به ساعت‌های غیر اوج بار بر روی ضریب عملکرد، اثر تبرید و توان الکتریکی مصرفی متراکم‌کننده چیلر، کاهش هزینه‌های مصرف انرژی به دلیل انتقال مصرف از ساعات اوج بار و میان‌باری به ساعات کم‌باری و در نهایت صرفه اقتصادی حاصل شده از مجموع دو آیتم مطرح شده می‌باشد.

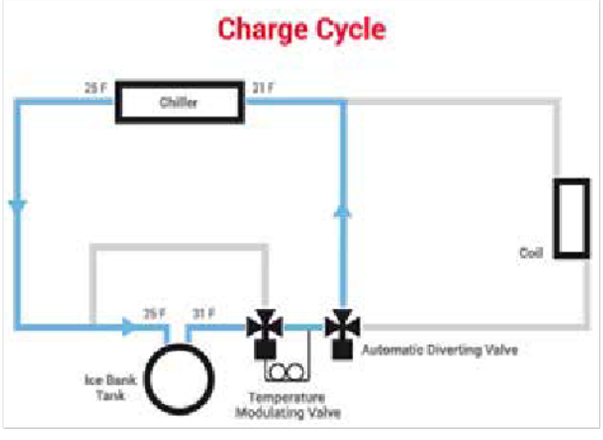
> هزینه مصرف انرژی الکتریکی در ساعات پیک بار و حتی میان‌باری نسبت به ساعات کم‌باری بسیار بالاتر است.

۴- آیس بانک

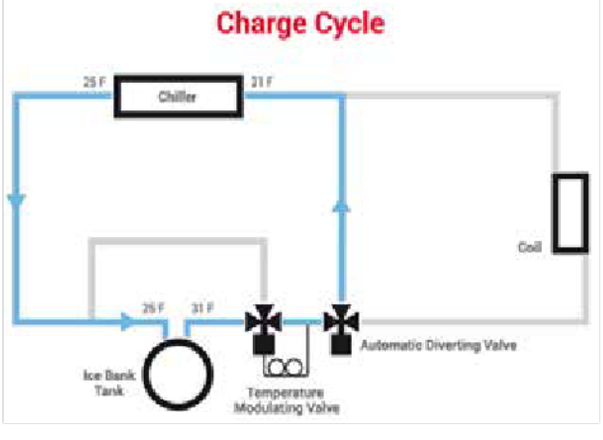
یکی از سیستم‌های نوین تهویه مطبوع و تولید آب سرد مورد نیاز سیستم، تولید و نگهداری یخ است. یخ می‌تواند آب سردی که در سیستم تهویه مطبوع به‌کار می‌رود را تولید کند، در این سیستم توسط یخ، آب سرد سیستم تهویه مطبوع تهیه می‌شود. هزینه و سرمایه‌گذاری اولیه این سیستم به مراتب از بقیه سیستم‌های تهویه مطبوع کمتر است. کاربرد اصلی این سیستم بیشتر برای فضاهایی است که در مدت محدودی از شبانه‌روز مورد استفاده قرار می‌گیرد، مثلاً ساختمان اداری که فقط حدود ۸ تا ۱۰ ساعت از شبانه‌روز مورد استفاده قرار می‌گیرد. به عبارتی فضا به طور دائمی مورد استفاده قرار نمی‌گیرد، بلکه استفاده از فضا به‌طور متناوب است. حداکثر میزان یخی که در این سیستم ذوب می‌شود وابسته به میزان بار برودتی محاسبه شده فضای مورد نظر است. معمولاً بار برودتی ساختمان بر حسب تن برودتی محاسبه می‌شود. برای مثال اگر ظرفیت سرمایی یک سیستم ۵۰ تن باشد حداکثر میزان مصرف یخ این سیستم ۵۰ تن برای ۲۴ ساعت خواهد بود. حال اگر سیستم تهویه مطبوع قرار باشد فقط برای ۸ ساعت در طول شبانه‌روز کار کند میزان یخ مورد نیاز متناسب با زمان کارکرد سیستم کاهش پیدا خواهد کرد (۷٫۱۶=۸×۵۰/۲۴). به عبارت دیگر میزان مصرف یخ معادل ۷٫۱۶ تن در طول روز خواهد بود. شایان ذکر است که مصرف واقعی یخ در طول روز این عدد نخواهد بود، بلکه این عدد حداکثر میزان مصرف یخ خواهد بود. بار برودتی واقعی به‌ندرت در وضعیت حداکثر و پیک خود قرار می‌گیرد. بنابراین در این سیستم نیز بار برودتی محاسبه شده در وضعیت حداکثر خود قرار ندارد و میزان مصرف یخ از محاسبات انجام شده بار سرمایشی که برای حالت پیک بار صورت گرفته کمتر خواهد بود. تقریباً متوسط مصرف یخ روزانه بین ۳۵ تا ۷۰ درصد حداکثر بار سرمایی محاسبه شده می‌باشد که البته ارائه دقیق درصد مصرف یخ به سیستم‌های کنترلی که طراح پیش‌بینی کرده و میزان گرمایی که در اثر ذوب یک پوند یخ جذب می‌شود (۱۴۴ BTU) وابسته است. حال اگر آب با دمای $55F^{\circ}$ از سیستم خارج شود هر پوند یخ میزان ۲۳ BTU بیشتر حرارت جذب می‌کند. به عبارت دیگر هر پوند یخ در هنگام ذوب شدن و سپس گرم شدن تا دمای $55F^{\circ}$ میزان گرمایی که جذب می‌کند ۱۴۴ BTU نیست بلکه (۱۴۴+۲۳ BTU) می‌باشد. حال اگر آبی که تبخیرکننده سیستم را ترک می‌کند دارای دمای $55F^{\circ}$ باشد وزن یخ مورد نیاز معادل (۱۴۴/۱۶۷) برابر ۲٫۸۶ درصد نسبت به حالتی که دمای آب $34F^{\circ}$ است خواهد شد. بنابراین اگر آب با دمای $55F^{\circ}$ دستگاه را ترک کند میزان مصرف یخ کاسته خواهد شد. حتی در بعضی مواقع آبی که در حال هدایت به سیستم فاضلاب است به داخل کویل پیش‌سردکن که هوای خارج از روی آن عبور می‌کند شده و باعث می‌شود

با طراحی و انتخاب یک آیس بانک مناسب در یک ساختمان اداری نمونه به صرفه‌جویی معادل ۴۱٪ در هزینه‌های انرژی چیلر دست پیدا خواهیم کرد.

این هوا تا حدودی سردتر شود در نتیجه دمای آب خروجی بالاتر می‌رود و این مسئله سبب کاهش مصرف یخ در سیستم خواهد شد. یکی از پیش‌بینی‌های لازم جهت صرفه‌جویی در مصرف یخ، عایق‌کاری و ایزوله کردن محفظه‌ای است که قالب‌های یخ در آن قرار می‌گیرد. این امر سبب جلوگیری از اتلاف حرارتی و صرفه‌جویی در میزان مصرف یخ خواهد بود.



شکل۱- نحوه ارتباط چیلر، آیس بانک و ساختمان در حالت شارژ انرژی آیس بانک و ساعات کم‌باری[۴]



شکل۲- نحوه ارتباط چیلر، آیس بانک و ساختمان در حالت تخلیه انرژی آیس بانک و ساعات پیک بار[۴]

۵- مزایای ذخیره‌سازی سرمایی

۵-۱- کاهش ابعاد و اندازه تجهیزات تولید سرما

به هنگام ذخیره‌سازی سرمایی، ابعاد و اندازه تجهیزات تولید سرما از بار حداکثر به بار میانگین کاهش می‌یابد. بدین‌معنی که به‌جای انتخاب تجهیزات تهویه مطبوع و تبرید با ظرفیت بالا برای چند ساعت کار در طول سال و حذف بار اوج، تجهیزات تبرید بر اساس بار میانگین انتخاب می‌شوند و اضافه بار از طریق ذخیره‌سازی سرمایی پاسخ داده می‌شود[۵].

۵-۲- صرفه‌جویی در سرمایه اولیه

این صرفه‌جویی می‌تواند به واسطه کاهش ابعاد و اندازه دستگاه‌های تبرید و نیز در برخی کشورها به سبب یارانه‌ای که به واسطه استفاده از ذخیره سرمایی از طریق شرکت تولیدکننده برق به پروژه اختصاص می‌یابد، انجام می‌شود.

۵-۳- کاهش دمای آب رفت

در پروژه‌هایی که در آن‌ها از ذخیره سرمایی با یخ استفاده می‌شود، از آنجا که دمای آب سردرفت به سیستم کاهش پیدا می‌کند می‌توان فضاها را توسط هوای سردتر خنک کرد. این امر خود به کاهش اندازه دستگاه‌های هواساز، فن کویل‌ها، لوله کشی‌های آب سرد و کانال‌های هوا می‌انجامد. در پروژه‌هایی که در یک زمان کم نیاز به سرمای زیاد می‌باشد، سیستم ذخیره سرمایی می‌تواند در کاهش هزینه‌های اولیه مؤثر باشد.

۵-۴- کاهش دیماند و هزینه‌های انشعاب برق پروژه

در پروژه‌هایی که تفاوت قیمت برق در ساعت‌های اوج و ساعت‌های غیر اوج زیاد است و نیز جاهایی که تعرفه دیماند زیاد می‌باشد، این روش می‌تواند صرفه‌جویی قابل ملاحظه‌ای به همراه داشته باشد.

۵-۵- صرفه‌جویی در مصرف انرژی

از ذخیره سرمایی بیشتر برای انتقال زمان کار دستگاه تبرید از ساعت‌های اوج به ساعت‌های غیر اوج استفاده می‌شود. این امر به سبب کاهش دمای آب ورودی به چگالنده، ضریب عملکرد سیستم را افزایش می‌دهد.

۵-۶- عملکرد سیستم

به هنگام استفاده از سیستم ذخیره سرمایی، حجم آب سیستم زیاد شده در نتیجه کارکرد چیلرها بهبود پیدا می‌کند. زیرا در این حالت پروفیل بار از عملکرد دستگاه‌های تولید سرما جدا می‌شود و این دستگاه‌ها می‌توانند با ضریب عملکرد بهتری کار کنند. این جداسازی انعطاف‌پذیری سیستم و اطمینان به آن را افزایش می‌دهد.

۵-۷- کاهش هزینه‌های مربوط به برق

در اغلب کشورها و شهرهای دنیا، تعرفه‌های برق در ساعت‌های مختلف روز فرق می‌کند. در ایران ساعت‌های ۲۴-۲۰ در نیم‌سال اول، ساعات پیک بار محسوب می‌شود. در این زمان هزینه هر کیلو وات ساعت برق از همین هزینه در ساعت‌های غیر اوج بیشتر است. این تفاوت قیمت می‌تواند در برخی شهرها زیاد باشد. هزینه‌های برق عموماً به هزینه هر کیلووات ساعت است و هزینه مربوط به دیماند تقسیم می‌شود. هزینه دیماند در هر دوره بر

به هنگام ذخیره‌سازی سرمایی، ابعاد و اندازه تجهیزات تولید سرما از بار حداکثر به بار میانگین کاهش می‌یابد.

اساس بالاترین دیماندی است که در آن دوره در مورد ساختمان مورد نظر ثبت می‌شود. زمان ثبت، کم و در محدوده یک ربع ساعت یا نیم ساعت است. شارژ دیماند بر اساس ضمانت نوع دیگری از اخذ دیماند می‌باشد. بر این اساس بالاترین دیماند در یک ماه به ۱۲ ماه بعدی تسری داده می‌شود. این شارژ هرماه صورت می‌گیرد، هر چند ممکن است که در آن ماه بیشترین دیماند از پیک سالیانه کمتر باشد. شارژ مربوط به مصرف بر اساس کل برق مصرفی به کیلووات ساعت در طی دوره‌ای که هزینه‌های برق از مشتریان گرفته می‌شود محاسبه و اخذ می‌گردد. طبق ادعای شرکت CALMAC که یکی از معتبرترین شرکت سازنده تجهیزات تهویه مطبوع به خصوص آیس بانک در دنیا می‌باشد، سیستم‌های ذخیره‌سازی انرژی به‌خصوص آیس بانک شاید برای کلیه صنایع و سازمان‌ها توصیه نشود، اما به هر حال مشتریانی که از آن استفاده کرده‌اند شاهد حداقل ۴۰٪ صرفه‌جویی در هزینه انرژی مصرفی خود بوده‌اند[۶].

۶- بحث و بررسی نتایج

با بررسی مشخصات فنی چیلر در دماهای مختلف شبانه‌روز، می‌بینیم که دماهای مختلف تأثیرات زیادی بر روی توان مصرفی متراکم‌کننده و اثر تبرید ایجاد شده دارند. در واقع هر چه دمای محیط پایین‌تر است، اثر تبرید بالاتر و توان الکتریکی مصرفی کمتری خواهیم داشت و مهم‌ترین علت این قضیه، سهولت و سرعت انتقال حرارت چگالنده به محیط بیرون می‌باشد. از طرفی با کاهش دمای آب رفت سیکل سرمایش از سمت چیلر، اثر تبرید و توان الکتریکی هر دو کمتر می‌شود. برای ساختمان نمونه که کاربری آن اداره دولتی می‌باشد دیدیم که صرفه‌جویی اقتصادی حاصل‌شده در طول دوره سه‌ماهه فصل گرم برابر با ۹۱۰۱۰۲۲۱ (نود و یک میلیون و یکصد و دو هزار و بیست و یک) ریال می‌باشد که رقم قابل توجهی است و از طرفی اگر هزینه برق مصرفی در طول سه‌ماهه فصل گرم را برای حالت کارکرد معمول چیلر حساب کنیم معادل ۱۵۴۰۵۴۷۳۱ (یکصد و پنجاه و چهار میلیون و پنجاه و چهار هزار و هفتصد و سی و یک) ریال می‌باشد. در واقع با استفاده از استقرار یک سیستم آیس بانک کارا در این ساختمان نمونه، به صرفه‌جویی اقتصادی حدود ۴۱٪ در هزینه‌های جاری برق مصرفی چیلر دست پیدا کرده‌ایم.

۷- جمع‌بندی

در این پروژه، صرفه‌جویی اقتصادی انرژی مصرفی یک ساختمان با استفاده از آیس بانک مورد بررسی قرار گرفت و دیدیم که با طراحی و انتخاب یک آیس بانک مناسب در یک ساختمان اداری نمونه به صرفه‌جویی معادل ۴۱ درصد در هزینه‌های انرژی چیلر دست پیدا خواهیم کرد. در محاسبات صورت‌گرفته، صرفه اقتصادی ناشی از کاهش بهای قدرت (دیماند) لحاظ نشده است و آن نیز میزان قابل توجهی خواهد بود. روش محاسبه بهای قدرت بدین‌شکل است که قدرت قرائت شده از کنتور را ملاک قرار می‌دهند مگر آن‌که قدرت قرائت شده از ۹۰ درصد قدرت قراردادی کمتر باشد که در این صورت ۹۰ درصد قدرت قراردادی مورد محاسبه قرار خواهد گرفت. در این پروژه چون در مصرف انرژی الکتریکی چیلر نیز صرفه‌جویی قابل ملاحظه‌ای داشته‌ایم بنابراین بهای قدرت کمتری نیز خواهیم داشت. مورد دیگری که در محاسبات دخیل نشده این است که بار برودتی محاسبه شده برای پیک بار سالیانه و در حالت حداکثر میزان مصرف می‌باشد که این حالت بسیار کم اتفاق می‌افتد و در بیشتر حالات، بار برودتی ساختمان نمونه کمتر از میزان محاسبه شده توسط نرم‌افزار می‌باشد و این یعنی این‌که درصد بیشتری از بار برودتی روز را می‌توانیم توسط آیس بانک و در شب تولید کنیم. در واقع صرفه‌جویی محاسبه شده حداقل میزان ممکن بوده و در اکثر روزها و ساعات مختلف فصل گرم صرفه‌جویی بیشتری خواهیم داشت. با توجه به فرایند آزادسازی یارانه‌های انرژی که منجر به افزایش هزینه‌های انرژی خواهد شد ما را بر آن خواهد داشت که هر چه بیشتر به سمت اجرای سیاست‌های صرفه‌جویی و مدیریت مصرف انرژی برویم. از طرفی همانطور که می‌دانیم میزان سوخت‌های فسیلی در کشورمان محدود است و می‌بایست به فکر فرزندان و آیندگانمان نیز باشیم. مسئله دیگر بسیار مهم که دلیل محکمی است جهت استفاده از راه‌کارهای صرفه‌جویی و مدیریت انرژی، محیط زیست و ضرورت کاهش آلودگی آن می‌باشد. از آن جایی که عمده سوخت مصرفی در کشور ما جهت تولید و استحصال انرژی از نوع فسیلی می‌باشد و یا در نیروگاه‌ها سوزانده می‌شود و یا در محل مصرف به صورت گاز سوزانده می‌شود و این سوختن منجر به انتشار گازهای حاصل از احتراق و آلوده شدن محیط زیست می‌شود، لذا کاهش مصرف انرژی الکتریکی یعنی کاهش آلودگی محیط زیست توسط نیروگاه.

۸- مراجع

[1] American Society of Heating, Refrigeration and Air-Conditioning Engineers, Inc.
ASHRAE Publications, 1791 Tullie Circle NE, Design Guide For Cool Thermal Storage
ASHRAE Publications, Atlanta, Georgia 1993.
[2] Electric Power Research Institute (EPRI) EPRI Distribution Center, 207 Coggins Drive.
[3] International Thermal Storage Advisory Council (ITSAC) 3769 Eagle Street, San Diego, CA 92103.
[4] www.calmac.com/icebank-energy-storage-model-c
[5] Y.H.Yau, Behzad Rismanchi, Department of Mechanical Engineering, University of Malaya, Kuala Lumpur, Malaysia, "A review on cool thermal storage technologies and operating strategies", Renewable and Sustainable Energy Reviews, Volume 16, Issue 1, January 2012, Pages 787-797.
[6] B. Rismanchi, R.Saidur, H.H.Masjuki, T.M.I.Mahlia, "Energetic, economic and environmental benefits of utilizing the ice thermal storage systems for office building applications", Energy and Buildings, Volume 50, July 2012, Pages 347-354.
[9] ASHRAE Handbook - Fundamentals - 1997
[10] (ASHRAE) American Society of Heating, Refrigeration and Air-Conditioning Engineers. Design Guide For Cool Thermal Storage, ASHRAE Publications, Atlanta, Georgia 1993.