

بررسی و انتخاب انواع سیستمهای مختلف آیس بانک ICE BANK
(مخزن ذخیره سرمایی COOL THERMAL STORAGE)

www.shakhdair.ir

www.shakhta.ir

4.....	مقدمه.....
5.....	چکیده.....
6.....	علائم و اصطلاحات بکار گرفته شده.....
7.....	فصل اول - معرفی کلی.....
7.....	تعریف و معرفی مخزن ذخیره سرمایی (Cool Thermal Storage).....
۱۰.....	بحث ترمودینامیکی درباره مخزن ذخیره.....
۱۴.....	موارد کاربرد و استفاده مخزن ذخیره.....
17.....	فصل دوم - پارامترهای اصلی طراحی.....
17.....	محاسبه پروفیل بار سرمایی.....
20.....	انواع مختلف مخازن ذخیره سرمایی.....
۲۴.....	تجهیزات.....
۳۱.....	انواع استراتژی های کاری.....
۴۸.....	بررسی اقتصادی طرح.....
55.....	فصل سوم - مقایسه سیستم های مختلف مخزن ذخیره.....
58... (External Melt Ice-On-Coil System)	فصل چهارم - روش یخسازي بروی کویل (خارجی).....
65..... (Ice Harvesting System)	فصل پنجم - توضیحی کوتاه در مورد روش یخسازي مستقیم.....
66.....	فصل ششم - توضیحی کوتاه در مورد روش مخزن آب سرد.....
68.....	ضمیمه A - مثالی کاربردی در استفاده از مخزن ذخیره در صنایع لبنیات.....

مقدمه

بحث استفاده از مخازن ذخیره سرمایی (Cool Thermal Storage) از سالهای 1970 و 1980 آغاز گردید. در این زمان نیروگاه های تولید انرژی الکتریکی متوجه ضرورت کاهش پیک مصرف انرژی برای سهولت و حتی پیشرفت در امر تولید و توزیع شده بودند و در خیلی از موارد بخصوص در روزهای گرم سال، مقدار ما کینم مصرف انرژی در یک پروژه بیشتر به سهم دستگاهها و تجهیزات تهویه مطبوع اختصاص داشت.

در بررسی انجام شده در ایالات متحده مشخص گردید که در بسیاری از ایالتها تبرید در تابستان بیش از 35٪ کل برق مصرفی را بخود اختصاص داده است. (در نتیجه صحبت بر سر بهینه سازی میلیاردها دلار هزینه انرژی مصرفی می باشد).

در نتیجه صنعت به این امر توجه نمود که اگر بتوان تبرید را در زمان غیر یک مصرف انرژی به طریقی ذخیره نمود و بعداً مورد استفاده قرار داد بار مصرفی زیادی از دوش شبکه در زمان پیک مصرف برداشته خواهد شد و در نتیجه ظرفیت بیشتری برای مصارف دیگر در طول این زمان در دست خواهد بود و همچنین از ظرفیت اوقات غیر پیک مصرف انرژی نیز بطور کامل استفاده خواهد گردید.

در نتیجه بسیاری از شرکتها و نیروگاههای تولید کننده انرژی الکتریکی از راههای مختلف از جمله با تغییر تعرفه خود، اضافه کردن مبالغ قابل توجهی به قیمت مصرف در زمان پیک مصرف انرژی، تعیین مبلغی اضافه برای مصرف کننده بر اساس مقدار ماکزیمم انرژی مصرفی در طول یک ماه (هزینه دیمانند (Demand) (و نه براساس مقدار کل انرژی مصرفی) و حتی تعیین وامها و سوبسید هایی برای ترغیب مصرف کننده ها به انتقال پیک مصرف انرژی خود به ساعتهای غیر پیک، سعی در انتقال قسمتی از انرژی الکتریکی از ساعات پیک مصرف به ساعات غیر پیک نمودند.

مخزن ذخیره یکی از این راههاست که کارکرد چیلرها را که از پرمصرف ترین دستگاههای تهویه مطبوع می باشند به ساعات دلخواه موکول می نماید. در اکثر موارد نیز هزینه ای که از کم کردن سائز چیلر صرفه جویی می گردد برای ساختن یک مخزن یا خرید آن کافی می باشد.

امیدواریم این پایان نامه به مهندسين و پیمانکاران و صاحبان صنایع در بررسی، آنالیز و هم چنین انتخاب روش مناسب و با طراحی یک مخزن ذخیره (سرمایی) کمک نماید.

در این پایان نامه به بررسی انواع سیستمهای مختلف ایجاد یک آیس بانک (Ice Bank) یا یک مخزن ذخیره سرمایی (Cool Thermal Storage) پرداخته می شود. روشهای مختلفی که مورد بررسی قرار می گیرند عبارتند از :

1 - روش یخسازای بروی کویل (خارجی) (External Melt Ice-on-Coil Storage Storage System)

2 - روش یخسازای بروی کویل (داخلی) (Internal Melt Ice-on-Coil Storage Storage System)

3 - روش کپسولهای یخ یا توپهای یخ (Encapsulated Ice)

4 - روش نمک های اوتکتیک (Eutectic Salt Phase-Change Materials)

با استفاده از منابع معتبر سعی شده است تا تمام نکات قابل توجه و ضروری جهت ایجاد یک سیستم با مخزن ذخیره و همچنین نقاط قوت و ضعف هر روش مورد بحث و بررسی قرار گیرد.

چند مثال کاربردی در چگونگی انجام محاسبات و تخمین سائز مخزن مورد نیاز آورده شده است .

علائم و اصطلاحات بکار گرفته شده

مخزن ذخیره سرمایی : Cool Thermal Storage

ASHRAE
HVAC & R

شارژ مخزن

تخلیه مخزن

تکنولوژی مخزن

ARI

تن-ساعت (منظور از تن - ساعت حاصلضرب تناژ مورد نیاز ساختمان در تعداد ساعاتی است که این بار مورد نیاز می باشد)

www.shakhta.ir

فصل اول - معرفی کلی

مقدمه

همانطور که ذکر گردید بحث استفاده از مخازن ذخیره گرمایی و سرمایی از سال 1980 آغاز گردیده و تاکنون بسیاری از فواید استفاده از مخازن ذخیره در تعدیل نرخ و هزینه مصرف انرژی و کوچک تر کردن ساینز تجهیزات مورد نیاز روشن گردیده است. یکی دیگر از مصارف مخزن ذخیره، استفاده از آیس بانک (Ice Bank) جهت داشتن سیال مبرد با دمای ثابت 32°F (0°C) می باشد که در صنایع غذایی و صنایع لبنیات و پاستوریزاسیون بسیار حائز اهمیت است چون در این صنایع زمان و درجه حرارت محصول بسیار مهم است در یک پروسه سرمایش کنترل شده، تنها سیستمی که بتواند در تمام مدت پروسه یک سیال سرد با دمای ثابت و یکنواخت تامین نماید، یک سیستم آیس بانک (Ice Bank) می باشد در طول فصل به کلیه مزایای یک سیستم با مخزن ذخیره به تفصیل پرداخته خواهد شد.

قیمتهایی که در این پایان نامه برحسب دلار آمریکا ذکر شده اند براساس قیمتهای سال 1992 میلادی می باشند. در غیر این صورت سال مربوط به آن ذکر خواهد گردید.

(در این پایان نامه هر جا صحبت از مخزن ذخیره می گردد منظور همان مخزن ذخیره سرمایی است.)

1-1 تعریف و معرفی مخزن ذخیره سرمایی (Cool Thermal Storage)

مخزن ذخیره، گرما را از ماده مبرد در طول مدت زمانی که به سرمایش کمتری نیاز است گرفته و این سرمای باصطلاح ذخیره شده در مبرد (سیال سرد یا یخ) در زمان دیگری جهت تکمیل بار سرمایی محل مورد استفاده قرار می گیرد. این ماده مبرد می تواند آب سرد، یخ یا نمک اوتکتیک (Eutectic salt) باشد.

به بیان ساده تر مثل اینکه چیلر در طول شب (یا هر زمان دیگر که به تبرید احتیاج نباشد یا به مقدار کمی مورد نیاز باشد) به کار بپردازد و یک مخزن پر از آب سرد یا پر از یخ ایجاد نماید و در طول روز (یا در زمان دیگری که پیک بار سرمایی مورد نیاز رخ می دهد) این مخزن برای تأمین بار سرمایی محل استفاده قرار می گیرد.

بنابراین یک سیستم با مخزن ذخیره در کل همان بار سرمایی را جوابگو خواهد بود که یک سیستم بدون مخزن ذخیره تأمین خواهد نمود اما در مقابل با ظرفیت لحظه ای پایین تر.

اما در واقع اصلاً چرا کار لازم است؟

اولین فایده ای که این کار دارد کوچک شدن ساینز چیلر به نصف و حتی در برخی موارد کمتر می باشد و این بمعنای کاهش هزینه اولیه خواهد بود.

علت اینکه چنین کاری ممکن خواهد بود این است که در حالت اجرای سیستم با مخزن ذخیره زمانی زیادی در دست خواهد بود تا چیلر بتواند ذخیره سرمایی لازم جهت گذراندن پیک بار سرمایی را اندوخته نماید؛ در این حالت ممکن است یک چیلر کوچک بتواند یک پیک سرمایی بزرگ را از سر بگذراند.

البته این نکته نیز قابل توجه است که در برخی موارد همان هزینه ای که از کوچک شدن چیلر صرفه جویی می شود تماماً صرف ساختن مخزن ذخیره می گردد.

بررسی این مورد بسته به شرایط پروژه و پروفیل بار سرمایی محل از هر پروژه به پروژه دیگر تفاوت می کتد در پروژه های بزرگ که کوچک کردن سایز چیلرها باعث کم شدن تعداد آنها می شود، معمولاً ساخت مخزن ذخیره هزینه کمتر از مقدار صرفه جویی شده خواهد داشت و از نظر هزینه اولیه ساخت مخزن بسیار مناسب خواهد بود.

دومین فایده سیستمهای با مخزن ذخیره این است که چیلرها مجبور نخواهند بود تا در گرمترین ساعات روز با بازده پایین به کار پردازند و در مقابل در ساعات شب با پایین بودن دمای کندانسیگ (Condensing) در بازده بسیار بالاتری کار خواهند نمود و این از نظر مصرف انرژی گامی در جهت صرفه جویی در مصرف خواهد بود .

فایده دیگر استفاده از مخزن ذخیره کاهش هزینه های مصرف انرژی است؛ زیرا قیمت برق مصرفی در تمام ساعات روز یکسان نیست و برای تشویق مصرف کنندگان به انتقال مصرف خود به ساعات غیر پیک مصرف انرژی، قیمت برق در ساعاتی که مصرف کم است، بسیار پایین می باشد.

این حرکت اخیراً در ایران نیز آغاز شده و اداره برق کنتور دو تعرفه ای و سه تعرفه ای را به هر مشتری متقاضی واگذار می نماید. علاوه بر این در تعرفه های مصارف خانگی، قیمت انرژی بر حسب مقدار مصرف بطور تصاعدی بالا می رود به این معنی که چون در این ساعات تمام وسایل مصرف کننده روشن هستند و مقدار ماکزیمم مصرف انرژی بسیار بالا می باشد؛ این باعث می گردد تا بازای هر kWh کیلووات-ساعت برق مصرفی، مبلغ زیادی توسط اداره برق تعیین گردد در صورتیکه اگر در مورد چیلرها بخصوص چیلرهای تراکمی بتوان کار آنها را به ساعات دیگری منتقل نمود، مقدار ماکزیمم مصرف کاهش چشمگیری خواهد داشت و در نتیجه باعث می گردد تا برق مصرفی برای دیگر موارد نیز با تعرفه پایین تری محاسبه گردد.

در تعرفه های صنعتی نیز با اینکه قیمت هر kWh کیلووات-ساعت برق مصرفی ثابت می باشد اما در مقابل هزینه دیمانند (Demand) تعریف می گردد که مبلغی را بازای ماکزیمم kW کیلووات مصرفی به مبلغ برق مصرفی مصرف کننده می افزاید؛ در نتیجه جهت جلوگیری از بالا رفتن این هزینه (جریمه) دیمانند (Demand) بهتر آن است که حتی الامکان کارکرد چیلر ها را به ساعاتی که دستگاههای دیگر خاموش هستند منتقل نمود..

علاوه بر این کارکرد چیلرها بصورت نیم بار (Part Load) معمولاً با کاهش بازده همراه می باشد و در یک سیستم بئون مخزن ذخیره به این علت که ساعات پیک بار سرمایی فقط مدت زمان کوتاهی می باشد لذا در بقیه موارد کمپرسور بصورت نیم بار (Part Load) کار می کند که این باعث هدر دادن انرژی می گردد و مجموع این انرژی ها در طول یکسال مقدار قابل توجهی خواهد گردید. در سیستم مخزن ذخیره کمپرسور بصورت تمام بار کار خواهد کرد تا مخزن را شارژ نماید؛ لذا در اکثر موارد کمپرسورها با حداکثر بازده خود بکار خواهند پرداخت .

در سیستمهای دارای مخزن ذخیره بعلاوه پایین تر بودن دمای سیال تغذیه (Supply) با کوچکتر کردن سایز لوله کشی و اندازه پمپها در هزینه این تجهیزات و همچنین انرژی مصرفی برای پمپاژ صرفه جویی خواهد گردید . بعلاوه بعلاوه پایین بودن دمای هوای توزیعی، اندازه دستگاههای هواساز نیز (بعلاوه کاهش مواردی مورد نیاز) کاهش خواهد یافت و طبیعتاً قیمت اولیه و انرژی مصرفی آنها نیز کمتر خواهد بود.

همچنین صدای ناشی از توزیع هوا در اتاقها بخصوص در محلهایی که سکوت بسیار اهمیت دارد (بیمارستانها و کتابخانه ها و ...) به حداقل ممکن خواهد رسید.

استفاده از مخزن ذخیره در سیستمهای با چیلر تراکمی اغلب موجب می گردد که با کوچکتر شدن سایز چیلر تعداد کمپرسورهای آن نیز کاهش یابد و برای مثال از 4 کمپرسور 3 کمپرسور (و یا حتی کمتر) برسد . در این صورت چون کمپرسور از اجزای

گرانقیمت یک چیلر می باشد و بازای حذف هر کمپرسور 2 تا 3 میلیون تومان در یک چیلر 20 میلیون تومانی (حدود 10 تا 15 درصد قیمت کل) در هزینه خرید چیلر صرفه جویی خواهد شد، لذا بررسی امکان ایجاد یک مخزن ذخیره ضروری بنظر می رسد.

البته مخزن ذخیره نیز نقاط ضعفی دارد.

یکی از آنها اینکه در سیستمهای بدون مخزن چون چیلر برای پیک بار آنهم در گرمترین ساعت روز انتخاب می شود لذا اگر این پیک طولانی شود و یا به هر علت تغییری در پروفیل بار محل بوجود بیاید احتمال اینکه چیلر نتواند جوابگوی بار باشد بسیار کم است. اما در سیستم مخزن ذخیره وضع بسیار حساس است و طراحی باید با شناخت دقیق پروفیل ساعت - ساعت بار مورد نظر باشد و اگر پروفیل بار تغییرات زیادی داشته باشد مثلا نقطه پیک بار طولانی تر از حد معمول شود ذخیره مخزن به پایان رسیده و سیستم دیگر نمی تواند جوابگوی بار باشد. به بیان دیگر سیستمهای با مخزن ذخیره در برابر تغییر پروفیل بار بسیار حساس هستند و ضریب اطمینان اضافه زیادی ندارند

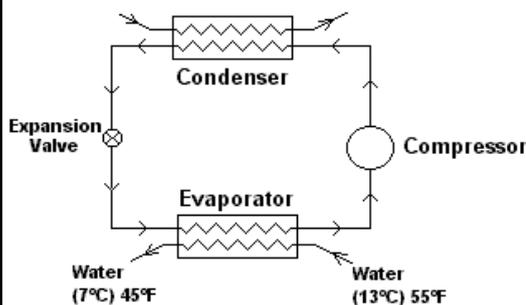
نقطه ضعف دیگر این سیستمها این است که در مخازن ذخیره (بجز مخازن ذخیره ای که مستقیما آب سرد را ذخیره می نمایند) چون چیلر مربوطه ناچار به ایجاد یک مخزن یخ می باشد، ناچار است در دمای زیر صفر کار کند. در حالت معمول چیلر برای تهیه آب سرد در دمای 46°F (8°C) تا 54°F (12°C) کار می کند اما اگر قرار باشد که یک مخزن یخ درست شود باید چیلر سیالی با دمای حدود 23°F (-5°C) ایجاد نماید تا این سیال بتواند با استفاده از مبدل حرارتی یا روشهای دیگر باعث انجماد آب موجود در مخزن ذخیره گردد.

(توجه: سیال مورد استفاده در این سیستم (سیال در گردش در اواپراتور چیلر) نمی تواند آب خالص باشد و برای اینکه بتواند دماهای زیر صفر را نیز تحمل کند باید به آب تا درصد مشخصی (برای مثال 30%) اتیلن گلیکول اضافه نمود در نتیجه آب در گردش در سیستم لوله کشی یک سیستم با مخزن ذخیره محلول آب و اتیلن گلیکول خواهد بود.)

اما در بحث ترمودینامیکی این موضوع مشخص است که کاهش دمای اواپراتور باعث پایین آمدن بازده سیکل تبرید (پایین آمدن COP) خواهد شد و این دقیقا نقطه ضعف دوم سیستمهای مخزن ذخیره می باشد که دارای بازده کمتری نسبت به سیستم های بدون مخزن ذخیره می باشند. البته به این نکته نیز باید توجه نمود که کاهش دمای کندانسینگ در شب باعث بالا رفتن بازده (بالا رفتن COP) و جبران ضرر ناشی از کاهش دمای اواپراتور خواهد گردید بررسی دقیقتر این مورد در زیر آمده است.

WWW.SPLAID.COM

2-1 بحث ترمودینامیکی در باره مخزن ذخیره



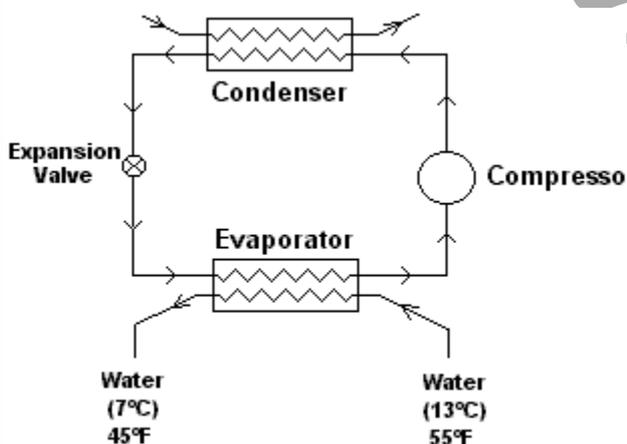
شکل 1-1 - شکل شماتیک یک سیکل تبرید

در ترمودینامیک ذکر شده است که پمپ حرارتی یا یخچال دستگاهی است که با گرفتن کار گرما را از یک منبع سرد به منبع گرم ببرد. (شکل 1-1) در این پروسه هر چه اختلاف دمای منبع سرد و گرم کمتر باشد این انتقال گرما آسان تر بوده و کار کمتری مصرف خواهد نمود. (آنتروپی کمتری نیز ایجاد خواهد شد). برای سیکلهای تبرید بجای بازده عبارت COP یا ضریب عملکرد تعریف می شود:

$$\text{COP} = \frac{Q_c}{W} = \frac{Q_c}{Q_H - Q_c} = \frac{T_c}{T_H - T_c}$$

Carnot Cycle

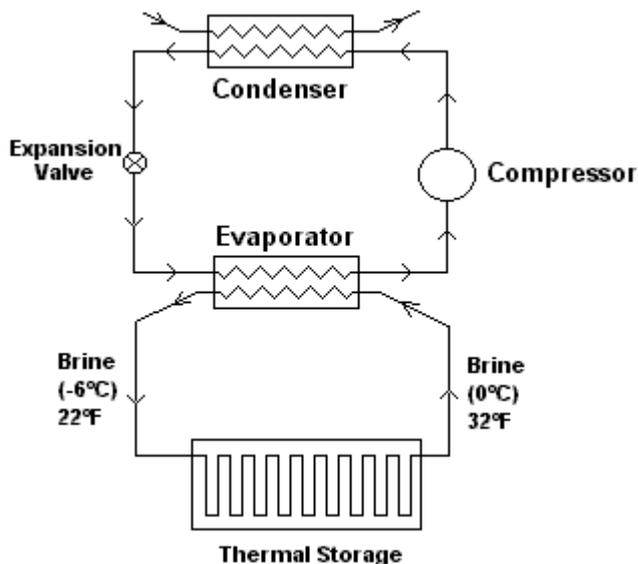
عبارت آخر با فرض اینکه سیکل تبرید یک سیکل کارنو (Carnot) است نوشته شده، اما فقط جهت مقایسه می باشد. آنچه که مسلم است مطلوبست که کار بسیار کمی مصرفی شود و Q_c زیادی جابجا گردد پس COP باید تا حد امکان بزرگ باشد در نتیجه هر چه اختلاف T_c و T_H کمتر باشد، این هدف بهتر محقق می گردد مصرف شدن کار کمتر نیز به معنی صرفه جویی در انرژی مصرفی خواهد بود.



شکل 2-1 شکل شماتیک شرایط آب ورودی و خروجی اواپراتور چیلر در حالت بدون مخزن ذخیره

در بحثی که انجام شد ذکر شد که چیلر در واقع اجرا کننده یک سیکل تبرید کامل است که باید گرما را از منبع سرد (از آبی که قرار است سرد شود) در اواپراتور گرفته و آنرا به محیط بدهد. اگر مخزن ذخیره ای در کار نباشد چیلر فقط باید آب برای مثال 55°F (13°C) را به 45°F (7°C) برساند. (این دما، دمای معمول کاری در HVAC می باشد) (شکل 2-1) در نتیجه دمای متوسط محیطی را که اواپراتور باید با آن مبادله گرمایی انجام دهد را می توان همان 50°F (10°C) در نظر گرفت. اما در حالتی که مخزن ذخیره وجود داشته باشد، چیلر باید مخزن را شارژ نماید و این یعنی اینکه آب در گردش باید به دمایی زیر صفر برسد تا بتواند در مخزن ایجاد یخ نماید.

(این آب در واقع محلول آب و اتیلن گلیکول 30% است تا از یخ زدن آن جلوگیری شود و این محلول می تواند باعث انجماد آب موجود در مخزن و ایجاد یخ در آن و در نتیجه شارژ مخزن گردد.)



در این حالت چون اواپراتور چیلر باید در واقع محلول آب و گلیکول را از دمای 32°F (0°C) به 22°F (-6°C) برساند، دمای متوسط محیطی که اواپراتور چیلر باید با آن مبادله گرمایی انجام دهد -3°C ($+0$) / 2 یا 27°F در نظر گرفته می شود در نتیجه دمای منبع سرد (TC) حدود 13°C یا 23°F نسبت به حالت قبل کاهش یافته است و این در حالی است که دمای کندانسور (Condenser) تقریباً ثابت است. (زیرا کندانسور یا مستقیماً توسط هوایی که به کمک فن از روی آن عبوری می کنند خنک می گردد و یا با عبور آب که در برجهای خنک کن به کمک روش سرمایش تبخیری (Evaporative Cooling) خنک گردیده است.)

شکل 1-3 شکل شماتیک شرایط آب (آب و گلیکول) ورودی و خروجی در حالت با مخزن ذخیره (در حال شارژ مخزن)

در نتیجه عبور آب یا هوا از روی کویل‌های کندانسور، گاز مبرد R-22 یا هر گاز مبرد دیگر تقطیر شده و بطرف شیر انبساط (Expansion Valve) می رود. در هر دوی این حالتها دمای کندانسور بسته به دمای آب یا هوای عبوری می باشد و این دو نیز کاملاً وابسته به دمای هوای محیط می باشند؛ پس در نتیجه در یک محیط معین کاری، دمای منبع گرم (T_H) برای حالت با مخزن و یا بدون مخزن یکسان می باشد. در نتیجه چون T_H ثابت می باشد، اما T_C در حالت کار با مخزن ذخیره در حدود 13°C یا 23°F کاهش می یابد، مشخص است که اختلاف T_H و T_C در حالت کار با مخزن بیشتر بوده و در نتیجه COP در حالت با مخزن کمتر می باشد.

چون ظرفیت چیلرها براساس حالت معمول کاری محاسبه می گردد در نتیجه گفته می شود که ظرفیت کار با مخزن چیلرها یا ظرفیت یخساز آنها در حدود 60 تا 70٪ درصد ظرفیت معمول آنها می باشد برای مثال یک چیلر که در حالت معمول کاری $(45^{\circ}\text{F} \rightarrow 55^{\circ}\text{F})$ 100 ton تبرید ظرفیت برودتی دارد در حالت شارژ مخزن بیش از 60 تا 70 تن نمی تواند ارائه دهد. اما در واقع این تمام ماجرا نیست.

در نگاهی دقیق تر باید به این نکته نیز توجه شود که عمل شارژ مخزن معمولاً در زمانی انجام می گیرد که نیاز به بار سرمایی وجود ندارد و این معمولاً در ساعات شب برای مثال 12 شب تا 6 صبح تعیین می گردد در این وقت از شبانه روز دمای محیط بسیار پایین بوده و به میزان 15°C درجه سانتیگراد خنک تر از ساعات گرم روز برای مثال 12 ظهر تا 5 بعدازظهر (که چیلر در صورت نبودن مخزن ناچار بود در آن ساعات با حداکثر ظرفیت کار کند) می باشد در واقع مخزن ذخیره به سیستم کمک می نماید تا بجای آنکه در ساعاتی با دمای منبع گرم (T_H) برای مثال 40°C بکار بیپردازد، در ساعاتی با دمای منبع گرم 25°C بکار مشغول شود و این بدین معنی است که T_H و T_C 15°C درجه سانتیگراد بهم نزدیک تر می شوند پس بنابراین در واقع درست است که با وارد شدن مخزن به سیستم، در قسمت اواپراتور، همانطور که گفته شد 13°C به ضرر سیکل تمام می شود اما با عوض شدن زمان کاری 15°C به سیکل کمک خواهد شد.

همانطور که مشاهده گردید بررسی و آنالیز دقیق یک سیستم با مخزن ذخیره به پارامترهای زیادی از جمله شرایط آب و هوایی و اقلیمی محل اجرایی پروژه بستگی مستقیم خواهد داشت.

در نقاطی از جهان که اختلاف درجه حرارت شب و روز زیاد می باشد امید اینکه بتوان از سیستم با مخزن ذخیره بازده بالاتری گرفت، همانطور که ذکر شد، بسیار زیاد است اما این ویژگی در همه جا وجود ندارد. در ضمن همیشه امکان ماکول کردن و تأمین کل بار مورد نیاز از ساعت 12 شب تا 6 صبح موجود نیست و موارد دیگری که همه و همه باید در بررسی دقیق طرح و اجرای یک سیستم مخزن ذخیره مورد توجه قرار گیرند.

در کشورهای خاورمیانه و همچنین در ایران با توجه به اینکه اختلاف دمای شب و روز بسیار زیاد است، (بطور متوسط 15°C) امکان سنجی ایجاد پروژه های مخزن ذخیره سرمایی از پتانسیل بالایی برخوردار می باشد.

در جدول 1-1 اختلاف دمای شب و روز شهرهای مختلف ایران ذکر گردیده است. در مقدار متوسطی (میانگین) که بین شهرهای ایران گرفته شد عدد 15°C یا 27°F بعنوان متوسط کشوری اختلاف درجه حرارت گرمترین و سردترین ساعت روز

ارتفاع ارتفاع Elevation no	دما دما Temperature (eerged)	اختلاف دما اختلاف دما Dry Bulb Daily Range				مقدار مقدار Quantity
		درجه درجه yrD bluB	درجه درجه Dry Bulb Daily Range	درجه درجه teW bluB	درجه درجه yrD bluB	
Ft	($^{\circ}$)	($^{\circ}\text{F}$)	($^{\circ}\text{F}$)	($^{\circ}\text{F}$)	($^{\circ}\text{F}$)	
0	37	31	13	70	90	ناقص
0	37	24	22	83	90	عنوان
1600	31	40	27	84	116	ارتفاع
4500	29	17	32	76	105	ارتفاع
5400	37	3	31	72	95	ارتفاع
3100	36	16	31	75	100	مقدار
4900	36	2	37	75	97	مقدار
3800	36	23	25	79	105	ارتفاع
5000	35	9	33	72	100	ارتفاع
4500	36	15	28	74	96	ارتفاع
4500	35	20	30	70	95	ارتفاع
5000	30	22	35	70	100	مقدار
3000	34	25	33	78	113	مقدار
4600	29	28	31	77	105	مقدار
4300	36	17	31	76	102	ارتفاع
3150	34	24	29	83	110	ارتفاع
5800	30	15	33	72	100	ارتفاع
400	37	30	19	85	102	
3104	36	12	29	67	96	ارتفاع
5500	35	14	38	63	95	ارتفاع
4000	32	20	28	76	105	مقدار

ارتفاع ارتفاع Elevation no	دما دما Temperature (eerged)	اختلاف دما اختلاف دما Dry Bulb Daily Range				مقدار مقدار Quantity
		درجه درجه yrD bluB	درجه درجه Dry Bulb Daily Range	درجه درجه teW bluB	درجه درجه yrD bluB	
Ft	($^{\circ}$)	($^{\circ}\text{F}$)	($^{\circ}\text{F}$)	($^{\circ}\text{F}$)	($^{\circ}\text{F}$)	
7	30	39	32	81	115	ارتفاع
5780	34	8	30	70	97	مقدار
4400	38	9	27	72	93	ارتفاع
5200	33	14	29	68	100	ارتفاع
66	31	37	35	80	115	مقدار
1870	27	37	29	84	115	مقدار
0	37	32	15	82	92	مقدار
4600	34	13	42	65	100	ارتفاع
0	37	32	15	82	90	ارتفاع
30	27	50	16	90	105	مقدار
43	27	47	15	98	110	ارتفاع
40	30	45	15	86	110	مقدار
46	29	43	16	87	105	مقدار
4800	33	17	30	74	103	ارتفاع
4500	38	18	24	86	95	مقدار
4000	35	22	27	74	100	مقدار
20	25	50	12	90	104	
0	28	55	16	90	105	مقدار
4000	33	26	33	78	105	ارتفاع
0	30	45	35	80	115	مقدار
500	32	30	31	79	115	ارتفاع

جدول 1-1 شرایط و تغییرات دمایی تابستان و زمستان برای شهرهای مهم ایران

بدست آمد. اما چون سردترین ساعت روز بطور معمول ساعت 5 صبح است و گرمترین ساعت روز ساعت 3 یا 4 بعدازظهر می باشد، در ساعات دیگر دمای محل از این مقدارهای مینیمم و ماکزیمم بترتیب بیشتر و یا کمتر می باشد. لذا برای در نظر گرفتن یک بازه زمانی چند ساعته که چیلر باید در طول آن به عمل شارژ مخزن پردازد، بهتر است که اختلاف دمای ساعات کاری شب و روز، (برای مثال شب 12 شب تا 6 صبح در مقایسه با روز در ساعات 12 ظهر تا 5 بعدازظهر) 10°C تا 12°C در نظر گرفته شود. دمای هر ساعت روز را نیز می توان بصورت رابطه ای از درصد اختلاف گرمترین و سردترین ساعت روز (ساعت 15 و ساعت 5) بیان نمود. بنا به این روش دمای هر ساعت از روز را می توان با کم کردن درصد مشخصی از اختلاف دمای روزانه از دمای گرمترین ساعت روز بدست آورد. این مقادیر در جدول 1-2 آورده شده آمد.

Hour	%
1	87
2	92
3	96
4	99
5	100
6	98
7	93
8	84

Hour	%
9	71
10	56
11	39
12	23
13	11
14	3
15	0
16	3

Hour	%
17	10
18	21
19	34
20	47
21	58
22	68
23	76
24	82

برای مثال اگر مطابق جدول 1-1 دمای هوای تهران در گرمترین ساعت روز در ساعت 3 بعد از ظهر (38°C) 100°F باشد و دامنه تغییرات دمای تهران 27°F (15°C) باشد، با این روش دمای هوا در ساعت 5 صبح (85°C) 73°F خواهد بود و بهمین ترتیب دمای هوا در ساعت 13، 97°F (36°C) و در ساعت 23، 80°F (27°C) خواهد بود.

جدول 1-2 درصد تغییرات دمای روزانه

در توضیح بیشتر این مطلب به فصل 26 هندبوک (ASHRAE Handbook – Fundamentals 1993) مراجعه شود.

نتیجه گیری: اینکه بطور کلی گفته شود که بازده یک سیستم با مخزن ذخیره بالاتر یا پایین تر از یک سیستم بدون مخزن ذخیره است صحیح نیست و همان طور که شرح داده شد باید تمام موارد را از جمله دماهای کاری پروژه، وضعیت و دمای هوا و اختلافات دمای هوای شب و روز و دیگر پارامترها را برای بدست آوردن نتیجه با یکدیگر مقایسه نمود.

1-3 موارد کاربرد و استفاده مخزن ذخیره

استفاده از مخزن ذخیره برای انواع کاربردهای مسکونی - تجاری - تولیدی و کارخانجات صنعتی متداول بود و محدود به مورد خاصی نمی باشد.

اما این حرف نیز درست نیست که گفته شود برای هر پروژه ای طراحی یک مخزن ذخیره سودمند است بلکه طراحی مخزن ذخیره برای پروژه هایی توجیه اقتصادی و عملی دارد که از ویژگیهای خاصی برخوردار باشند که این ویژگیها در ادامه توضیح داده خواهند شد اما بطور کلی یک طراح باید از این نکته اطلاع داشته باشد که کاربرد مخزن ذخیره فقط محدود به موارد مسکونی یا فقط محدود که موارد تولیدی نمی شود و بررسی هر پروژه باید جداگانه با کمک بررسی پروفیل بار سرمایه‌ی مورد نیاز انجام گردد.

معمولا طراحی مخزن ذخیره برای پروژه ها و سیستم هایی انجام می گردد که جزء یکی از دسته بندی های زیر قرار گیرند.

1- ماکزیمم بار سرمایه‌ی مورد نیاز بطرز قابل ملاحظه بالاتر از میزان متوسط بار مورد نیاز باشد.

این مورد در خیلی از موارد مسکونی صادق می باشد به این ترتیب که در طول روز فقط چند ساعت به بار سرمایه‌ی بالایی نیاز است و بعد از آن با خنک شدن هوا به بار سرمایه‌ی بسیار کمی احتیاج می باشد.

در ساختمانهای اداری تجاری نیز که افراد بطور دائم در محل حضور ندارند و فقط در ساعات کاری واحد مورد نظر، احتیاج به تامین بار سرمایه‌ی محل می باشد، استفاده از مخزن ذخیره می تواند بسیار موثر باشد.

در صنعت نیز در بسیاری از کاربردها احتیاج به یک بار سرمایه‌ی بالا در طول یک زمان کوتاه می باشد و بعد از آن نیز نیازی به آن وجود ندارد. برای مثال در صنایع غذایی در صنعت پاستوریزاسیون شیر لازم است که مخازن شیر در مدت کوتاهی بسرعت سرد شوند. (جهت از بین بردن باکتری ها) در این صورت برای یک بازه زمانی کوتاه به دهها تن بار سرمایه‌ی نیاز می باشد. در این حالت خریداری یک چیلر بسیار بزرگ و گرانبه که فقط برای این مدت کوتاه مورد استفاده قرار گیرد و در بقیه موارد خاموش باشد، انتخاب چندان مناسبی نخواهد بود و بجای آن یک چیلر کوچک همراه با یک مخزن ذخیره می تواند کاملا جوابگوی بار مورد نظر باشد به این ترتیب که چیلر یک روز کامل فرصت دارد تا مخزن ذخیره را شارژ نماید و بعد از تخلیه مخزن مجددا برای روز بعد فعالیت چیلر آغاز می گردد.

بطور کلی هر چه نسبت مقدار پیک بار به مقدار متوسط بار بیشتر باشد، پتانسیل کاهش هزینه ها از جمله هزینه های اولیه و هزینه های کارکرد بالاتر خواهد بود.

2- تعرفه برق مصرفی طوری است هزینه دیمانند (Demand) آن هزینه ای که بر اساس ماکزیمم مصرف محاسبه گشته و به هزینه برق مصرفی اضافه می گردد بسیار بالا است و یا در صورت مصرف بالا تعرفه های سنگین را شامل می گردد و یا تفاوت بارز قیمت بین ساعات پیک و غیرپیک مصرف انرژی وجود دارد و یا وامها و سوبسیدهای ویژه ای به سازندگان و استفاده کنندگان از مخزن ذخیره پرداخت می گردد.

مخزن ذخیره در این موارد کمک می نماید تا قسمت زیادی و یا کل ساعات کاری چیلرها، برجهای خنک کن و پمپهای آنها به ساعات غیرپیک مصرف انرژی الکتریکی منتقل شوند و در نتیجه باعث کاهش قابل توجه هزینه مصرف انرژی و در نهایت صرفه جویی هزینه زیادی در طول یکسال کاری گردند.

3- یک سیستم موجود تبرید باید گسترش یا اضافه ظرفیت پیدا کند.

در برخی موارد که برای مثال ساختمان بعد از مدتی گسترش می یابد و یا فضاهایی به آن اضافه می گردد بار سرمایی محل اضافه شده و باعث می شود تا سیستم تهویه مطبوع و دستگاههای قبلی دیگر نتوانند بخوبی جوابگوی بار مورد نظر باشند . اضافه کردن یک مخزن در واقع این اجازه را می دهد که قسمتی از ظرفیت سیستم که الان در ساعت‌های کمی بار سرمایی بلا استفاده مانده است، استفاده گردد. همچنین اضافه کردن چیلرهایی دیگر بخصوص در سیستمهای بزرگ مانند مجتمع های ساختمانی یا دانشگاهها هزینه ای بسیار فراتر از اضافه کردن یک مخزن ذخیره خواهد داشت.

4- در محلها یا پروژه هایی که یک تانک یا یک مخزن قابل استفاده جهت تبدیل آن به مخزن ذخیره موجود است. در برخی موارد بخصوص پروژه های صنعتی بعضا مخزان بلا استفاده ای وجود دارند که می توانند بعنوان مخزن ذخیره مورد استفاده قرار گیرند. حتی مخزن آب آتش نشانی واحد مربوطه می تواند با کمی تغییرات برای ذخیره کردن آب سرد مورد استفاده قرار گیرد و در واقع بصورت دو منظوره از آن استفاده شود در اینگونه موارد قسمت زیادی از هزینه مخزن ذخیره صرفه جویی خواهد گردید و این کمک زیادی به اقتصادی تر شدن طرح ایجاد مخزن ذخیره خواهد نمود.

5- ایجاد سرمایش برای کشور با مکانی مورد نظر است که تجهیزات و دستگاههای سرمایشی در آنجا بسیار گران می باشند. در برخی کشورها که تجهیزات سرمایشی مانند چیلر باید از خارج وارد شوند و قیمت تمام شده آنها بالا خواهد بود خریداری یک چیلر با ظرفیت پایین صرفه جویی قابل توجهی ایجاد خواهد نمود که می توان قسمتی از آن را صرف ساختن مخزن ذخیره نمود.

6- در محلها یا پروژه هایی که انرژی الکتریکی محدود است و یا فقط برای ساعت‌های مشخصی از روز قابل دستیابی است و یا اینکه مصرف بیش از مقدار موجود انرژی مجاز نیست و یا منوط به اضافه کردن ترانس ها و تجهیزات گران قیمت دیگر می باشد [سکوها نفتی و ...] اضافه کردن یک مخزن ذخیره می تواند مشکل را حل کرده و از هزینه های بالا جهت ایجاد انرژی الکتریکی اضافه جلوگیری نماید.

7- در مواردی که به ظرفیت تبرید اضافه بر نیاز و ذخیره نیاز باشد. برای مثال در پروژه ای باید همواره 300 ton-hour تن-ساعت بار سرمایی ذخیره (حتی برای مثال با قطع شدن برق) وجود داشته باشد. برای نمونه در اتاقهای نگهداری سرورها و کامپیوترهای بزرگ و یا لابراتورها و یا مکانهای کشت محصولات کشاورزی و یا پرورش گل و گیاه غیره که در صورت بالا رفتن دما از حد مشخصی دچار آسیب خواهند شد، همواره باید یک مخزن شارژ شده آماده استفاده وجود داشته باشد.

در مواردی نیز مخزن ذخیره باید طوری طراحی گردد که در صورت خراب شدن چیلر تا تعمیر و راه اندازی مجدد آن بتواند بار مورد نیاز را تامین نماید تا قسمتهای حساس دچار صدمه نشوند.

8- در مواردی که تصمیم به تعویض گازهای مبرد مضر به حال محیط زیست مانند R-22 و دیگر مبردهای مشابه گرفته می شود، معمولا تعویض این گازها با جایگزین های معادل آنها که برای لایه ازن بی خطر هستند، باعث کاهش ظرفیت چیلر و کمپرسورهای آن خواهد گردید. اما در خیلی از موارد سیستم اجازه چنین کاهش ظرفیتی را به علت بالا بردن بار سرمایی مورد نیاز نمی دهد؛ لذا ممکن است تصمیم به تعویض چیلر و یا خرید یک چیلر کوچک کمکی دیگر گرفته شود که در هر دوی این موارد نیاز به هزینه کردن وجه زیادی جهت ارتقاء سیستم خواهد بود؛ در صورتیکه با اضافه کردن یک مخزن ذخیره به راحتی ظرفیت کاهش یافته قابل جبران بوده و حتی مخزن می تواند ظرفیتی بیش از مقدار اولیه چیلر در نقاط پیک بار سرمایی در اختیار سیستم قرار دهد .

9- در مواردی که لازم است توزیع هوا و یا توزیع آب در گردش با دمای پایین تری انجام شود.

در مخازن ذخیره ای که از یخسازی در آنها استفاده می شود می توان به آسانی دمای هوای تغذیه یا Supply را تا 10°F (6°C) و حتی کمتر کاهش داد. در چنین سیستمی می توان اندازه پمپ ها، لوله کشی، هواسازها و کانال کشی را کاهش داد و این باعث صرفه جویی در قیمت اولیه تاسیسات خواهد گردید. برای مثال دمای هوای تغذیه می تواند بین $42\sim 49^{\circ}\text{F}$ ($6\sim 9^{\circ}\text{C}$) طراحی گردد. در این صورت هزینه های دراز مدتو هزینه های انرژی مصرفی کارکرد هواسازها و تجهیزات بعثت کاهش هوادهی، کاهش قابل توجهی پیدا خواهد نمود و هزینه های اولیه کانال کشی و سایر موارد بخصوص در ساختمانهای با تعداد طبقات بالا کاهش پیدا خواهد کرد.

همچنین در خیلی از موارد بار سرمایی محل مورد نظر اضافه گردیده اما برای مثال ظرفیت چیلر در حداکثر ظرفیت خود می باشد در نتیجه تنها راه اضافه کردن ظرفیت چنین سیستمی اضافه کردن یک مخزن ذخیره و ایجاد آب و با سیال سرد با دمای پایین تر می باشد تا هوای تغذیه که از هواسازها خارج می گردد دارای دمای پایین تری باشد.

در موارد دیگری دیده شده که بار سرمایی محل درست برآورد نشده است و بعد از اتمام پروژه، با از سرگذراندن اولین تابستان مشخص می گردد که ظرفیت تبرید انتخاب شده کافی نبوده است؛ اما برای مثال چیلر خریداری شده و تمام کار نصب و راه اندازی تاسیساتی به پایان رسیده است؛ لذا تنها راه اصلاح چنین سیستم هایی اضافه کردن یک مخزن ذخیره می باشد تا علاوه بر برخورداری از مزایای مخزن ذخیره مشکل اصلی کمبود ظرفیت تبرید نیز مرتفع گردد .

در موارد دیگری دیده شده که به علت کوچک بودن ساینز کانال کشی، تامین هوادهی لازم برای محل مورد نظر با اشکال مواجه گردیده؛ بخصوص اگر بار سرمایی محل کمتر از میزان واقعی برآورد شده باشد و یا بعدا بار سرمایی مورد نیاز به دلایلی از جمله گسترش بنا و یا هر دلیل دیگری؛ افزایش یافته باشد، مشکل دو چندان می گردد. در این گونه موارد که کانال کشی در ساینز مناسب انجام نشده، معمولا با قوی تر کردن فن دمنده هواساز نمی توان خیلی به حل مشکل کمک نمود؛ زیرا با افزایش سرعت هوادهی برای تأمین حجم هوادهی مورد نیاز، افت فشار نیز که با توان دوم سرعت متناسب است بطور چشمگیری افزایش خواهد یافت و این بدین معنی است که برای ایجاد یک حجم نه چندان زیاد هوادهی از درون کانال های کوچک باید یک فن بسیار بزرگ و پر سر و صدا انتخاب نمود که دو مشکل سر و صدا مصرف برق بالا در طول سال، به سیستم اضافه خواهد نمود و علاوه بر این، همه این موارد در صورتی عملی است که هواساز مورد نظر اجازه نصب چنین فن بزرگی را در درون خود بدهد . در صورتی که با اضافه کردن مخزن ذخیره علاوه بر برخورداری از مزایای استفاده از مخزن با کاهش دمای هوای تغذیه، بدون تغییر هوادهی می توان بار سرمایی محل را جوابگو شد. در این صورت نه مصرف برق بالاتر خواهد رفت و نه سر و صدای بیش از اندازه باعث ایجاد مزاحمت برای ساکنان خواهد گردید.

در چنین مواردی مانند موارد فوق معمولا استفاده از یک مخزن ذخیره نسبت به استفاده از چیلر دمای پایین و بدون مخزن ترجیح داده می شود.

فصل دوم - پارامترهای اصلی طراحی

مقدمه

در این فصل به معرفی موضوعات لازم جهت طراحی یک مخزن ذخیره سرمایی پرداخته می شود. در این مبحث به بررسی عمومی مخزن ذخیره سرمایی بطور مستقل از نوع تکنولوژی مورد استفاده و ماده بکار رفته پرداخته می شود.

در این فصل به بررسی موارد زیر پرداخته می شود:

- 1- محاسبه پروفیل بار سرمایی
- 2- انواع مخازن ذخیره سرمایی
- 3- پارامترهای تجهیزات بکار رفته
- 4- استراتژی های کاری و کنترلی
- 5- تعامل تجهیزات با یکدیگر و با سیستم کل ساختمان یا محل
- 6- تخمین اندازه طرح و سیستم و مخزن
- 7- بررسی اقتصادی
- 8- کارکرد و نگهداری
- 9- راه اندازی و اجرا

1-2 محاسبه پروفیل بار سرمایی

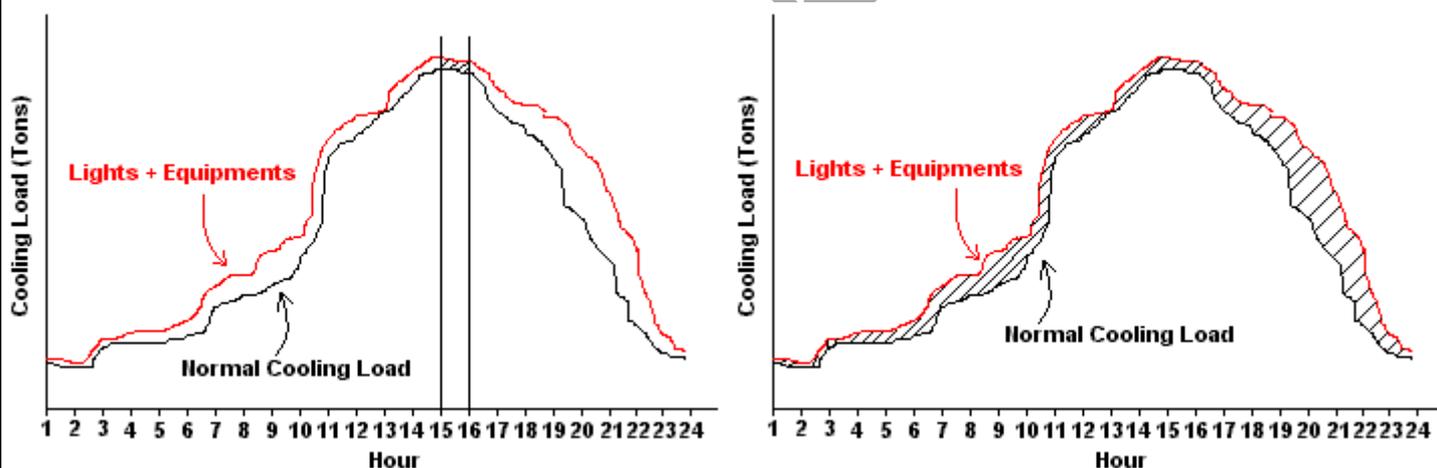
در طراحی سیستمهای معمولی و بدون مخزن ذخیره تنها محاسبه پیک بار سرمایی مورد نیاز (برای محلهای مسکونی در گرمترین روز سال و در گرمترین ساعت روز) برای انتخاب چیلر و طراحی سیستم کافی می باشد؛ اما در طراحی سیستمها با مخزن بدست آوردن پروفیل بار ساعت به ساعت روزانه درست به همان اندازه مقدار پیک بار روزانه دارای اهمیت می باشد. در نهایت با داشتن پروفیل بار روزانه و تعیین یک استراتژی کاری معین است که می توان سایز چیلر و مخزن ذخیره را محاسبه نمود.

در صورتی که نیاز باشد تا برای پیک بار سرمایی در مصارف صنعتی مانند سردکردن ناگهانی شیر در صنعت شیر پاستوریزه مخزن ذخیره طراحی گردد، معمولاً در این گونه موارد با داشتن مقدار سرمای مورد نیاز در طول یک بازه زمانی مشخص، پروفیل بار مورد نظر به آسانی مشخص می گردد؛ اما در موارد مسکونی پروفیل بار باید با توجه به پارامترهای مختلف از جمله شرایط دمایی هوای محل و شرایط خود بنا و تعداد افراد ساکن، وضعیت تابش خورشید و عوامل دیگر بصورت ساعت به ساعت محاسبه گردد. محاسبه بار سرمایی یک محل یک پروسه طولانی همراه با جدول خوانی های فراوان می باشد که توسط مهندسان تهویه مطبوع انجام می گیرد و توضیح آن از حیطه اهداف این بحث خارج می باشد. چون محاسبه بار سرمایی مورد نیاز بدین روش، برای هر ساعت از محل مورد نظر، بسیار دشوار و وقت گیر می باشد لذا اکثر مهندسان ترجیح می دهند در محاسبه پروفیل بار ساعت به ساعت محل مورد نظر از نرم افزارهای ویژه ای که در این زمینه وجود دارند از جمله CARRIER Hourly Analysis Program (HAP) و یا دیگر برنامه های موجود استفاده نمایند.

برای اطلاعات بیشتر در زمینه محاسبه پروفیل بار نیز می توان به ASHRAE Handbook – Fundamentals 1993 Chapter 26 و همچنین دیگر کتابهای تهویه مطبوع مراجعه نمود. همچنین بحثهایی نیز در مورد محاسبه بار را می توان در Mackie and Reeves (1988) و Fields and Knebel (1991) یافت .

در محاسبه پروفیل بار باید این نکته را در نظر داشت که در صورتی که پروفیل بار به کمک یک نرم افزار کامپیوتری انجام می شود، پروفیل بار بصورت دقیق و با در نظر گرفتن تمام بارهای جزئی از جمله نورها و چراغ ها و گرمای حاصل از وسایل الکتریکی داخل بدست خواهد آمد، اما در صورتی که طراح بدون استفاده از برنامه کامپیوتری اقدام به محاسبه بار در هر ساعت از گرمترین روز سال بپردازد، توجه به نکات زیر اهمیت دارد:

در محاسبه پیک بار سرمایی، در سیستمهای بدون مخزن ذخیره، بارهای جزئی مانند لامپ ها و تجهیزات الکتریکی مانند کامپیوترها و دیگر وسایل شاید چندان مهم نباشند و بدون محاسبه آنها نیز تقریب خوبی از پیک بار سرمایی مورد نیاز بدست خواهد آمد؛ اما طراح باید به این نکته توجه کند که برای طراحی سیستم با مخزن ذخیره مجموع این بارها در طول 24 ساعت کسر قابل توجهی از نیاز به بار سرمایی مورد نیاز را در بر می گیرد و دیگر نمی توان از آن صرفنظر نمود. در سیستم بدون مخزن ذخیره مهم این است که در گرمترین ساعت روز چند تن تبرید مورد نیاز است اما در یک سیستم مخزن ذخیره مهم این است که در طول یک روز کامل چند تن - ساعت بار مورد نیاز است . بنابراین همانطور که در شکل 1-2 دیده میشود در محاسبه اثر لامپها و گرمای حاصل از تجهیزات الکتریکی، (شکل سمت چپ) لحاظ کردن اثر آنها تاثیر کمی بر مقدار پیک بار مورد نیاز که هدف طراح در این طرح است، می گذارد، در صورتیکه در طراحی سیستم با مخزن ذخیره، همانطور که در شکل 1-2 (سمت راست) ملاحظه می شود مجموع (انتگرال) قسمت هاشور زده شده می تواند تا چند تن-ساعت نیز برسد.



شکل 1-2 مقایسه اثر بار ناشی از لامپها و وسایل گرمای الکتریکی در در حالت محاسبه حالت بدون مخزن (شکل سمت چپ) و حالت با مخزن (شکل سمت راست) (شکل شماتیک بوده و دارای مقیاس نیست).

در Gatley and Riticher (1985) فهرست کاملی از وسایل گرمازا که می توانند تأثیر قابل توجهی بر پروفیل کلی بار مورد نیاز بگذرانند آورده شده است.

همین مساله نیز در مورد "بارهای موقت" (Pull down loads) وجود دارد . منظور از این بارها، بارهایی است جزو قسمت ثابت بار سرمایی نیستند، اما در مواقعی به وجود می آیند که دستگاههای تهویه مطبوع کار نمی کنند. برای مثال در سیستمهایی که فقط در طول مدت زمانی که افراد در آن حضور دارند به ایجاد سرمایش می پردازند، مانند سینماها یا جلسات و یا سالن های کنفرانس بار حرارتی حاصل شده در طول مدت زمان غیرفعال بودن ساختمان ناچاراً باید در طول یکی دو ساعت اول شروع به

کار سیستم های تهویه در ابتدای روز تامین گردد. در طراحی سیستمهای بدون مخزن ذخیره این بارها تاثیری روی سائز چیلر و یا دستگاههای تهویه مطبوع نخواهند گذاشت، اما در سیستمهای با مخزن ذخیره نمی توان از آنها صرفنظر نمود. زیرا قسمتی از ذخیره مخزن را مصرف خواهد نمود.

خصوصاً باید توجه شود که در سیستمهایی که آخر هفته احتیاج به کار ندارند، (ادارات و ساختمان های دولتی)، در روز اول هفته (شنبه) دارای بالاترین "بار موقت" (Pull down loads) می باشند؛ در نتیجه درست در روز شنبه صبح تمام انرژی که در طول 2 روز گذشته از طریق تابش خورشید جذب ساختمان شده و یا بار گرمایی دستگاههایی که احیاناً در طول مدت روشن بوده و در داخل تولید گرما نموده اند، باید توسط چیلر یا مخزن شارژ شده جواب داده شوند و طراح باید این مقادیر بار را در نظر داشته باشد تا سیستم بتواند پیک بار مورد نیاز را که در ساعت های بعد اتفاق می افتد از سر بگذراند.

همچنین خیلی از ساختمانها و ادارات دستگاههای تهویه مطبوع خود را بعد از ظهر قبل از آنکه تابش خورشید به وجوه ساختمان به پایان برسد خاموش نمایند. این تابش مستقیم خورشید روز بعد تبدیل به یک بار موقت (Pull down load) برای سیستم خواهد گردید. طراح باید به این نکات بخصوص اگر شبیه سازی ها با برنامه کامپیوتری انجام می گیرد، کاملاً دقت داشته باشد.

برای مقابله با این بارهای موقت یکی از راهها این است که چیلرها را روز شنبه صبح زودتر استارت نمایند و یا ظرفیت اضافه ای برای مخزن ذخیره برای بارهای موقت در نظر گرفته شود که در طول مدت زمان آخر هفته شارژ گردد.

همچنین در آخر هفته به این علت که در طول 2 روز بر اثر ورود هوای نفوذی میزان رطوبت نسبی تغییر کرده است، صبح روز شنبه هنگام شروع به کار سیستمها باید پیش بینی مقدار گرمای نهان حاصل از تقطیر آب بروی کویلها بخصوص در مواردی که دمای هوای تغذیه پایین در نظر گرفته شده است، توسط طراح انجام شده باشد.

کامپیوترهای شخصی یکی از دستگاههایی است که بار گرمایی قابل توجهی به سیستم اضافه می کند. بیشتر ادارات در حال حاضر طوری هستند که به ازای هر نفر یک سیستم کامپیوتر شخصی در آنها وجود دارد. (Wilkins et al. (1991 نشان داد که اگر چه بار گرمایی واقعی دستگاهها حدود نصف مقدار نامی قدرت الکتریکی آنهاست، با این وجود باید در حدود $1.75 \sim 2.5 \text{ W/ft}^2$ برای یک اداره مجهز به کامپیوتر جهت بار گرمایی کامپیوترها در نظر گرفته شود. همچنین اگر کامپیوترها در طول مدت زمانی که ساختمان تعطیل می باشد روشن هستند، بار آنها باید در محاسبه پروفیل بار در نظر گرفته شود. معمولاً در سیستم های مجهز به مخزن ذخیره بهتر است که برای کامپیوترها امکان کاهش مصرف و Stand By در هنگام غیرفعال بودن در نظر گرفته شود.

همچنین در پروفیل بار باید گرمای حاصل از پمپاژ و همچنین تلفات حرارتی خود مخزن نیز در نظر گرفته شود، زیرا درست است که این بارها در محاسبه پیک بار سرمایی در طراحی یک سیستم بدون مخزن ذخیره بسیار کوچک هستند و می توان از آنها صرفنظر نمود، اما در طراحی یک سیستم با مخزن ذخیره مجموع این گرمای حاصل شده در طول یک سیکل کاری 24 ساعته مقدار قابل توجهی خواهد شد که دیگر قابل صرفنظر کردن نیست.

تلفات حرارتی مخزن عمدتاً بصورت انتقال حرارت هدایت (Conduction) و بطور تقریبی به میزان 1 تا 5٪ ظرفیت کل مخزن در هر روز می باشد؛ اما اگر مخزن هیچگونه عایقی نداشته باشد ممکن است این مقدار بیشتر شود. همچنین در مواردی که دمای محیط بسیار بالا است و یا اینکه وجه های مخزن در معرض تابش آفتاب قرار داشته باشند این مقادیر افزایش می یابند. در صورت تمایل به محاسبه دقیق تر می توان مقدار انتقال حرارت را از سطح مخزن و ضرایب انتقال حرارت و دمای ماده مبرد داخل مخزن و دمای محیط بدست آورد.

+ پروفیل بار موجود

در کاربردهایی که مخزن ذخیره قرار است به یک سیستم تهویه موجود اضافه شود، اندازه گیری بار موجود روش بهتر و دقیق تری نسبت به تخمین زدن بار می باشد. برای این منظور می توان از منابع زیر استفاده نمود:

- 1- برنامه کنترلی و زمانی که برای کارکرد چیلر و یا دیگر دستگاهها در نظر گرفته شده است.
- 2- برنامه کاری چیلر و یا دیگر دستگاهها که متوسط اپراتورها اجرا می شود.
- 3- اندازه گیری مستقیم بار در یک بازه چند روزه و یا حتی چند هفته ای در حدود و نزدیکی شرایط طراحی

4- مدل کامپیوتری بر پایه اطلاعات جمع آوری شده در طول زمان های غیر پیک و اجرای آن در شرایط هوای طراحی

توجه به این نکته لازم است که در اندازه گیری مستقیم، نباید هیچکدام از پارامترها را مطابق پارامترهای از قبل طراحی شده فرض نمود و اینطور تصور کرد که این مقادیر احتیاجی به اندازه گیری ندارند. برای مثال اینکه تصور نمود دبی پمپها مطابق مقدار طراحی شده است و نیازی به اندازه گیری ندارد، درست نیست؛ زیرا همواره بر اثر اختلاف افت فشار مدار واقعی با مدار محاسبه شده، دبی پمپ نیز دستخوش تغییر می گردد. همچنین باید از کالیبره بودن دستگاههای اندازه گیری استفاده شده اطمینان حاصل شود. در اکثر موارد استفاده از هر دو مورد اندازه گیری بار و همچنین مدل کردن جداگانه بهترین و تخمینها را از بار محل بدست می دهد.

2-2 انواع مختلف مخازن ذخیره سرمایی

تقسیم بندی مخازن ذخیره سرمایی را می توان به انواع مختلفی انجام داد.

یک تقسیم بندی میتواند بر اساس ماده مبرد [منظور سیالی است که در داخل مخزن ذخیره به گردش در می آید نه Refrigerant] انجام گردد. تقسیم بندی دیگر براساس نوع انرژی مصرفی و در نهایت یک تقسیم بندی دیگر براساس تکنولوژی خود مخزن ذخیره انجام می گردد.

در تقسیم بندی اول، مخازن ذخیره به 3 دسته ذخیره کننده آب سرد، یخ و نمک اوتکتیک تقسیم بندی می شوند.

در تقسیم بندی دوم مخازن ذخیره به 4 دسته مصرف کننده انرژی الکتریکی، گاز طبیعی، بخار و یا گرمای بازیابی شده از سیستمهای دیگر تقسیم بندی می گردند. منظور از مصرف کننده انرژی، چیلر یا واحد مبرد مربوط به اینگونه مخازن می باشد.

در تقسیم بندی سوم تکنولوژی های مختلف مورد استفاده در مخزن ذخیره عبارتند از: یخساز بر روی کویل (Ice on Coil)،

روش کپسول یخ (Encapsulated Ice)، روش بسته های نمک اوتکتیک (Eutectic Salt)،

مخازن یخ ساز (Ice Harvester) و در نهایت مخازن ذخیره آب سرد.

2-2-1 ماده مبرد مخزن

همانطور که ذکر شد منظور از ماده مبرد مخزن سیال ذخیره شده در مخزن است و منظور Refrigerant نمی باشد. این ماده می تواند آب، یخ و یا نمک اوتکتیک تغییر فاز دهنده باشد.

الف) آب سرد

در مخازن ذخیره که به ذخیره کردن خود آب سرد می پردازند، مخزن در واقع از ظرفیت حرارتی محسوس (Sensible) آب که مقدار آن $1 \text{ Btu/lb } ^\circ\text{F}$ یا همان 4.184 kJ/kg K است، جهت ذخیره برای سرمایش استفاده می کند.

حجم مخزن بستگی به میزان اختلاف درجه حرارت بین آب خروجی از مخزن و برگشتی به آن دارد. اختلاف درجه حرارت 11°C یا 20°F معمولاً ماکزیمم مقدار عملی برای خیلی از واحدها می باشد، البته سیستمهایی با اختلاف درجه حرارت حتی بالاتر 17°C یا 30°F نیز اجرا گردیده است.

همچنین حجم مخزن ذخیره، از میزان جداسازی که در مخزن بین آب سرد و آب گرم برگشتی ایجاد شده اثر می پذیرد.

کوچکترین مخزن قابل اجرای عملی فضایی در حدود 10.7 ft^3 بازای هر تن - ساعت ($0.086 \text{ m}^3/\text{kWh}$) در حالت اختلاف دمایی رفت و برگشت 20°F (11°C) احتیاج دارد. اگر بتوان مخزن را با اختلاف درجه 30°F (17°C) اجرا نمود فضای مورد نیاز به 7 ft^3 بازای هر تن - ساعت ($0.056 \text{ m}^3/\text{kWh}$) خواهد رسید.

آب سرد معمولا در دمایی حدود 39°F تا 42°F (4°C تا 6°C) ذخیره می گردد. این درجه حرارت بطور مستقیم با چیلرهای معمولی سازگار می باشد. دمای آب برگشت نیز باید تا حد کافی بالا نگه داشته شود تا حداکثر استفاده از مخزن بشود. این موارد ممکن است باعث شود تا طراح، کمی از شرایط عادی کاری، پارامترها را بالاتر یا پایین تر در نظر بگیرد.

ب) یخ

مخازن ذخیره یخ از گرمای نهان ذوب آب 144 Btu/lb (335 kJ/kg) استفاده می کنند. حجم مخزن بستگی به نسبت نهایی مقدار یخ به مقدار آب در حالت شارژ کامل مخزن دارد که معمولا بین 2.4 ft^3 تا 3.3 ft^3 بازای هر تن - ساعت (0.02 to $0.03 \text{ m}^3/\text{kWh}$) بسته به تکنولوژی های مختلف این روش، تغییر می نماید.

انرژی در واقع از آب گرفته شده و آنرا منجمد می کند. برای این کار چیلر باید سیال سردی در دمای بین 15°F تا 26°F (-3 to 9°C) ایجاد نماید تا این سیال بتواند برای مثال از طریق یک مبدل حرارتی آب اطراف خود را به یخ تبدیل کند.

اما این دما پایین تر از دمای معمول کاری چیلرهای تجاری در مصارف تهویه مطبوع می باشد. برای این منظور چیلرهای معمول را می توان در دمای پایین تر برای کار تنظیم نمود و بجای آب جهت جلوگیری از یخ زدن خود سیال در گردش، می توان از محلول آب و گلیکول 30% استفاده نمود و یا در غیر این صورت از دستگاههای ویژه یخساز استفاده نمود.

در هر صورت باید برای ایجاد یخ یا از سیال ثانویه که در واقع همان مخلوط آب و اتیلن گلیکول است و یا هر محلول ضدیخ زدگی دیگری استفاده نمود و یا از لوله هایی که داخل آنها گاز مبرد R-22 یا هر گاز مبرد دیگری برای ایجاد یخ در طرف دیگر مبدل حرارتی استفاده نمود. استفاده از مخزن ذخیره یخ این فایده را نیز دارد که بعلت پایین بودن دمای سیال تغذیه یا Supply هوای ایجاد شده تغذیه که از روی کویل های هواساز خارج می شود نیز دارای دمای بسیار پایینی خواهد بود و اختلاف درجه حرارت حدود 14°C یا 25°F را می توان بین رفت و برگشت ایجاد نمود که دارای فواید زیادی (از جمله کاهش هوادهی CFM مورد نیاز و کاهش مصرف برق هواسازها و کاهش صدای ناشی از عبور هوا در مجموعه و فواید دیگری که همه بررسی خواهند گردید) خواهد بود.

ج) نمک اوتکتیک

نمک اوتکتیک با فرمولاسیون های مختلف در بسته های کوچک تولید می شود که در دماهای مشخصی ذوب شده و یا یخ می بندد فرمولاسیون معمول و متداول برای مخزن ذخیره، مخلوطی از نمکهای ارگانیک (آلی)، آب و افزودنی های پایدار کننده می باشد که مخلوط حاصل در دمای حدود 47°F (8.3°C) منجمد می گردد. این مواد در بسته های کوچک پلاستیکی بسته بندی شده اند که به همان صورت در داخل مخزن چیده می شوند و از بین آنها آب عبور می نماید.

حجم مخزن در این روش در حدود 6 ft^3 بازای هر تن - ساعت ($0.048 \text{ m}^3/\text{kWh}$) که شامل لوله کشی هدرها و بسته های نمک اوتکتیک و آب موجود در داخل مخزن نیز می باشد.

47°F (8.3°C) بودن دمای تغییر فاز اینگونه نمکها اجازه استفاده از چیلرهای معمول و متداول صنعت تهویه مطبوع را می

دهد اما چون دمای خروجی از مخزن کمی بالاتر از دمای متعارف کاری چیلرها که معمولا 45°F (7°C) است، می باشد؛ باید طراح در طراحی قسمت های مختلف و محاسبه بار سرمایی کویلها به این نکته توجه داشته باشد.

اخیرا (1993) نوع جدیدی از نمک اوتکتیک با فرمولاسیون متفاوت بدست آمده که در 41°F (5°C) منجمد می گردد. در این صورت دمای 41°F تا 43°F (5 to 6°C) خروجی از مخزن این نوع نمک اوتکتیک با همه انواع کویل های هواساز متداول در صنعت تهویه مطبوع همخوانی خواهد داشت.

برای دماهای پایین تر نیز می توان از مخلوط های دیگر نمک اوتکتیک استفاده نمود که با کمک افزودنی هایی دمای انجماد آنها به 28°F (-2°C) و حتی 12°F (-11°C) رسیده است.

2-2-2 تقسیم بندی مخازن ذخیره از نظر نوع انرژی مصرفی

برای تامین انرژی یک سیستم سرمایش می توان از الکتریسیته، گاز طبیعی، بخار و یا گرمای بازیابی شده از سیکل‌های بازیابی (Cogeneration) استفاده نمود. چون بیشتر سیستم‌های موجود از الکتریسیته برای چیلرهای تراکمی جهت سرمایش استفاده می کنند، بهمین جهت تاکید بیشتر این بحث بر این نوع چیلرها خواهد بود. چیلرهای تراکمی می توانند همچنین با توربین های بخار و یا موتورهای گاز سوز احتراق داخلی به کار پردازند. از چیلرهای جذبی نیز می توان در یک سیستم با مخزن ذخیره کمک گرفت.

انتخاب استراتژی کاری در سیستم های با مخزن ذخیره که با چیلرهای تراکمی راه اندازی شده به وسیله موتورهای گاز سوز کار می کنند و یا به کمک توربین به گردش در می آیند، با حالت چیلرهای تراکمی متداول که مستقیماً از انرژی الکتریکی استفاده می کنند، متفاوت خواهد بود؛ زیرا در چیلرهای تراکمی الکتریکی هدف کاهش هزینه های مصرف برق می باشد، که در نوع های دیگر ذکر شده چنین مساله ای وجود ندارد.

چیلرهای جذبی نیز می توانند در یک سیستم با مخزن ذخیره مورد استفاده قرار گیرند. اما از آنجا که بیشتر چیلرهای جذبی (سیکل آب - لیتیم برومید (Li-Br)) از نظر دمای پایین کاری خود محدودیت دارند و نمی توانند دمای آب سرد خروجی را به کمتر از 40°F تا 41°F (4 to 5°C) برسانند، می توانند فقط برای استفاده در مخزن های "آب سرد" و یا "مخزن های نمک اوتکتیک" و یا بعنوان پیش سرد کن برای یک سیستم دیگر بکار روند. البته چیلرهای جذبی که از آمونیاک (سیکل کاری آب - آمونیاک) استفاده می کنند، می توانند تا 51°F (-46°C) دما را پایین آورند.

چیلرهای جذبی می توانند به وسیله شعله مستقیم حاصل شده از گاز طبیعی (و یا دیگر سوخت‌های فسیلی) و یا بصورت غیرمستقیم به کمک بخار و یا گرمای بازیابی شده از پروسه های دیگر کار کنند.

در صورتی که مخزن ذخیره مانند موارد ذکر شده در بالا در یک سیستم که به کمک یک منبع انرژی غیر از انرژی الکتریکی کار می کند، طراحی شده باشد، در طراحی استراتژی کاری و زمان بندی ها، نکته های زیر قابل توجه هستند:

□ ساعت‌هایی که انرژی مورد نظر در دسترس می باشد (برای مثال در بازیابی گرما از یک فرایند دیگر بابدزمان در دسترس بودن این گرما تعیین گردد).

□ نرخ تعیین شده و یا نرخ برحسب زمان انرژی مصرفی مورد نظر.

□ میزان در دسترس بودن یا امکان ایجاد دستگاه‌های تبرید دیگری که با انرژی الکتریکی کار می کنند.

□ هزینه تمام شده انرژی الکتریکی در صورتی که سیستم ناچاراً از آن استفاده نماید.

□ پروفیل مصرف انرژی الکتریکی توسط دستگاهها

در نهایت با ذکر چند مثال به موارد کاربرد مخزن ذخیره با دستگاه‌های غیرالکتریکی اشاره می شود:

+ یک توربین بخار و یا یک سیستم تبرید جذبی که با بخار کار می کند، در زمانهایی که نیاز به بخار و یا استفاده از آن کم است می تواند به ایجاد سرمایش و ذخیره آن در مخزن پردازد. این سرمایش ذخیره شده می تواند تمام بار مورد نیاز و یا قسمتی از آنرا (برای مثال در زمانهایی که بار از مقدار قابل جوابگویی توسط سیستم سرمایش بدون مخزن، بیشتر شود) تامین نماید و یا حتی طوری تنظیم شود که در زمانهای پیک مصرف انرژی که قیمت انرژی الکتریکی مصرفی بالا است، بجای چیلر اصلی وارد مدار گردد.

+ سیستم مورد نظر یک چیلر متصل شده به یک موتور احتراق داخلی و یا یک توربین باشد و جهت کوچک تر کردن هر چه بیشتر چیلر و موتور یا توربین گرداننده، از یک مخزن ذخیره و استراتژی کاری (Load Leveling) (استراتژی های کاری در ادامه فصل

توضیح داده خواهند شد.) استفاده شود. در این صورت حتی در زمانهایی که بار مورد نظر کمتر از ظرفیت چیلر است، موتور یا توربین گرداننده چیلر در حالت بار کامل و با حداکثر ظرفیت و بازده به کار می پردازند.

+ سیستمهای تبرید جذبی که گرمای مورد نیاز خود را از گرمای بازمیابنده از نیروگاه یا از مخازن زباله سوزی و یا هر پروسه دیگری که فقط در زمانهای مشخصی قادر به ایجاد گرما می باشد، دریافت می کنند و در نتیجه ناچار می باشد تا سرمایه‌اش ایجاد شده را تا زمان مورد نیاز ذخیره نمایند.

3-2-2 تکنولوژی های مختلف مخزن ذخیره

انواع تکنولوژی های مختلف که در مخزن ذخیره استفاده می شوند بصورت زیر می باشند:

1 - سیستم یخساز بر روی کویل (خارجی) : (External Melt Ice-On-Coil)

یخ در قسمت بیرون لوله هایی تشکیل می شود که بصورت مارپیچ در آب قرار گرفته اند. در داخل لوله ها سیال مبرد بصورت گاز فرئون (R-22) یا [آمونیاک] یا سیال دیگری در دمای زیر صفر مانند مخلوط آب و اتیلن گلیکول در حرکت می باشد. یخ ایجاد شده بر روی لوله ها در زمان مورد نیاز، با عبور آب از روی آنها ذوب گردیده و آب عبوری را سرد می نماید.

2 - سیستم یخساز بر روی کویل (داخلی) : (Internal Melt Ice-On-Coil)

در این روش نیز مانند روش قبل یخ در قسمت بیرونی لوله ها توسط عبور یک سیال با دمای زیر صفر (محلول آب و اتیلن گلیکول) از داخل لوله ها، تشکیل می گردد. در زمان مورد نیاز آب و یا همان محلول آب و اتیلن گلیکول که برای مثال در اثر گردش در کویلهای هواساز گرم شده به داخل لوله ها فرستاده می شود تا سرد گردد. یخهای ایجاد شده نیز بتدریج ذوب می گردند.

3 - سیستم یخساز کپسول یخ : (Encapsulated Ice)

منظور از کپسول در اینجا بسته های پلاستیکی کوچکی می باشند که در درون آنها آب وجود دارد. این کپسولها در داخل یک مخزن قرار می گیرند و در زمانی که سیال سرد از میان آنها عبور می کند، آب درون آنها یخ می زند و سپس در زمان مورد نیاز با عبور آب در گردش در سیستم از روی آنها، یخ آنها ذوب شده و آب عبوری را سرد می نمایند.

4 - سیستم نمک اوتکتیک یا ماده تغییر فاز دهنده : (Eutectic salt phase change material)

سیستم تغییر فاز دهنده نمک اوتکتیک در زمان عبور آب سرد و گرم بترتیب منجمد و ذوب می گردد. معمولاً بسته های نمک اوتکتیک و یا مواد تغییر فاز دهنده دیگر به سادگی در یک مخزن قرار گرفته و آب از دور آنها بر گردش در می آید.

6 - سیستم یخسازی : (Ice Harvesting)

یخ در اوپراتور یک دستگاه یخساز تشکیل شده و بطور مرتب در یک مخزن پر از آب ریخته می شود.

6 - مخزن ذخیره آب سرد : (Chilled Water Storage)

آب سرد شده، در داخل یک مخزن جهت استفاده آبی ذخیره می گردد .
آب سرد توسط جلوگیری از جریان جابجایی طبیعی و یا با استفاده از تکنیک های دیگر از آب گرم برگشتی جدا نگه داشته می شود.

مزیت روش اخیر جدا شدن مخزن یخ از قسمت یخساز می باشد که انعطاف بیشتری در محل نصب تجهیزات اوپراتور به دنبال دارد و دیگر از اتلاف انرژی که جهت برفک زدایی (Defrost) در سیستمهایی مانند (Ice Harvester) وجود دارد، صحبتی نیست . اما باید توجه کرد که این روش تجهیزات ویژه خود را طلب می کند و کماکان قیمت اجرای آن بسیار بالا می باشد اخیراً (1993) روش تغییر شکل یافته ای از این روش در حال بررسی است که شبیه روش Ice Slurry نیز می باشد و به روش Slippery Ice (یخ لغزنده) مشهور است. در این روش افزودنی هایی به آب اضافه می شود که باعث می گردد هنگام تشکیل یخ، یخ براحتی از اوپراتور جدا گردد؛ در نتیجه سیستم دیگر احتیاجی به برفک زدایی (Defrost) نخواهد داشت. تحقیقات اخیر به روی این نکته متمرکز گردیده تا ترکیبی از افزودنی ها ایجاد نماید که همان خاصیت جداسازی سریع را داشته باشند و نقطه انجماد آنها هم تا حد امکان پایین باشد.

برای اطلاعات بیشتر در زمینه تکنولوژی Ice Slurry به (Sukhwal et al., 1987), (Graham et al., Winters and Kooy, 1991) و (Heavener, 1986) مراجعه شود.

2-3 تجهیزات

تجهیزات یک سیستم مخزن ذخیره عبارتند از تجهیزات اولیه سرمایه با اضافه یک مخزن و در نهایت تعدادی ابزار و تجهیزات کنترلی.

2-3-1 تجهیزات سرمایه

مهمترین اجزاء سرمایه یک سیستم چیلرها و کندانسورها می باشند که انتخاب آنها به دماهای مورد نیاز، ظرفیت مورد نیاز، بازده کاری و قیمت آنها بستگی خواهد داشت.

+ چیلرها

بیشتر سیستمهای مخزن ذخیره از چیلرهای یکپارچه استفاده می کنند. (Packaged Chillers) [چیلرهای تراکمی معمولاً براساس نوع کمپرسور خود طبقه بندی می گردند که می توان از انواع آنها به چیلرهای با کمپرسور رفت و برگشتی (Reciprocating)، پیچی (Rotary Screw)، سانتریفوژ (Centrifugal) و اسکرول (Scroll) اشاره نمود . چیلرهای دیگر نیز مانند چیلرهای جذبی نیز در انواع مختلف وجود دارند.
در جدول 2-1 مقایسه ظرفیتانواع چیلرهای مختلف آورده شده است.

Type of Chiller	Capacity Range			
	Models Available		Typical Selection Range	
	Tons	kW	Tons	kW
Reciprocating	<25~450	<90~1600	<25~150	<90~530
Screw	25~1250	90~4400	50~500	180~1800
Centrifugal	80~10000	280~35000	200~2000	700~7000
Scroll	<20~60	<70~210	20~60	70~210
Absorbtion	40~1600	140~5600	200~1600	700~5600

جدول 1-2 - مقایسه ظرفیتهای انواع چیلرهای مختلف

توجه: منظور از kW کیلووات در جدول بالا، بیان کردن ظرفیت تبرید برحسب کیلووات است نه کیلووات برق مصرفی

یکی از پارامترهای بسیار مهم در چیلرهایی که برای سیستم مخزن ذخیره انتخاب می گردند، دمای سیال خروجی از آنها می باشد یک مخزن ذخیره بسته به نوع آن، دمای کاری در حدود $15\text{ to }26^{\circ}\text{F}$ ($9\text{ to }-3^{\circ}\text{C}$) جهت ایجاد یخ نیاز خواهد داشت، چیلرهای رفت و برگشتی (Reciprocating) و پیچی (Screw) براحتی می توانند محدوده زیادی از دمای خروجی را پوشش دهند و معمولاً در سازگاری با مخازن ذخیره مشکل خاصی نخواهند داشت. چیلرهای سانتریفوژ نیز می توانند برای یک سیستم مخزن ذخیره بکار روند؛ اما برای کار در شرایط پایدار، انتخاب آنها باید با دقت خاصی برای شرایط کاری پروژه انجام شود. برای اطلاعات بیشتر در زمینه انتخاب صحیح چیلرهای سانتریفوژ به (Harmon and Yu 1991) مراجعه شود. کمپرسورهای اسکرو (Scroll) و پیچی (Screw) نیز علاوه بر اینکه نسبت به کمپرسورهای رفت و برگشتی انعطاف بیشتری در دمای مکش کمپرسور [و نهایتاً دمای تعیین شده برای اواپراتور] دارند از نظر نگهداری نیز نسبت به کمپرسورهای رفت و برگشتی دارای مزیت می باشند.

از چیلرهای جذبی سیکل لیتیم برومید (Li-Br) بعلاوه محدود بودن مینیمم دمای کاری به 40°F (4.4°C) نمی توانند در مصارف مخزن ذخیره جهت یخساز بکار روند. [اما همچنان می توان از آنها در مخزن ذخیره نوع "آب سرد" استفاده نمود]. چیلرهای جذبی آمونیاکی بعلاوه داشتن توانایی در ایجاد دماهای پایین تا -51°F (-46°C) برای مصارف مخزن ذخیره مناسب می باشند، اما معمولاً بصورت یکپارچه نمی باشند. (Packaged)

بالاترین بارزه را چیلرهای با کمپرسور سانتریفوژ دارا هستند و بعد از آن چیلرهای رفت و برگشتی و پیچی دارای بازده بالاتری می باشند. بین چیلرهای رفت و برگشتی و پیچی معمولاً کمپرسورهای پیچی در شرایط کاری یکسان بازده بالاتری نسبت به نوع رفت و برگشتی نشان می دهند. کمپرسورهای پیچی در حالت نیم بار (Part Load) بازده کمتری نسبت به نوع رفت و برگشتی دارند، اما قابلیت تغییر ظرفیت آنها بیش از کمپرسورهای رفت و برگشتی می باشد. برای مقایسه بازده بین انواع مختلف کمپرسورها به جدول 2-2 رجوع شود.

Type of Chiller	Typical Rating (Ordinary Conditions) (4 to 7°C) 40 to 44°F		Ice Making	
	kW/Ton	COP	kW/Ton	COP
	Centrifugal	0.6 ~ 0.7	5.9 ~ 5	0.85 ~ 1
Reciprocating and Screw	0.65 ~ 0.85	5.4 ~ 4.1	0.9 ~ 1.2	3.9 ~ 2.9
Scroll	0.85 ~ 1.15	4.1 ~ 3.1	1.2 ~ 1.3	2.9 ~ 2.7
Absorbtion	-	1 ~ 0.65	-	-

جدول 2-2 - مقایسه بازده کاری انواع چیلرهای مختلف

ظرفیت چیلرها در حالت یخساز به 60% تا 70% درصد ظرفیت عادی کاهش می یابد و این بعلاوه پایین بودن دمای اواپراتور در حالت یخساز [اختلاف زیاد دمای منبع سرد و منبع گرم در سیکل تبرید] می باشد. توضیح مفصل این مطلب در فصل اول بخش 2-1 ذکر گردید.

همچنین در بررسی جداول کاری هر کمپرسور (Rating Table) که توسط شرکت سازنده ارائه می شود، باید به این نکته توجه شود که طبق استاندارد (Air-conditioning and Refrigeration Institute) ARI (Air-conditioning and Refrigeration Institute) عددهای ذکر شده برای ظرفیت چیلر توسط سازنده می تواند تا حدود 5% تفرانس داشته باشد. در انتخاب چیلر برای مصارف مخزن ذخیره، طراح معمولاً پیش بینی کاهش 5 درصدی ظرفیت چیلر را در محاسبات و انتخاب چیلر می نماید.

چیلرها بطور مفصل در فصل 35 و 38 از ASHRAE Handbook – System and Equipment (1992) همچنین فصل 42 از ASRAE Handbook – Refrigeration (1994) توضیح داده شده اند.

+ کندانسورها

کندانسورهای چیلر می توانند آبی (Water-Cooled) و یا هوایی (Air-Cooled) و یا بصورت کندانسور تبخیری (Evaporative Condenser) باشند. کندانسورهای آبی توسط آب برج خنک کن می شوند و کندانسورهای هوایی نیز با دمیدن هوا از روی کویل‌های کندانسور که درون آنها گاز میرد (فریون) در حالت سوپرهیت قرار دارد، حرارت را دفع می کنند. در کندانسورهای تبخیری نیز هوا از روی کویل‌ها عبور داده می شود و علاوه بر آن آب نیز روی کویل‌ها پاشیده می شود تا با تبخیر آب، نرخ انتقال حرارت از گاز میرد بهبود پیدا کند.

ظرفیت یک کندانسور هوایی (Air-Cooled) به دمای حباب خشک هوای (Dry Bulb Air Temp.) مورد نظر بستگی دارد اما ظرفیت کندانسورهای آبی (Water-Cooled) و کندانسور تبخیری بیشتر وابسته به دمای حباب مرطوب هوای (Wet Bulb Air Temp.) محل مورد نظر است و به همین علت دمای کندانسینگ در این نوع کندانسورها پایین تر از نوع هوایی می باشد [چون کندانسور آبی مستقیماً با یک برج خنک کن در ارتباط است و برج خنک کن نیز بصورت سرمایه‌ش تبخیری دمای آب را پایین می آورد] و مشخص است که کندانسور تبخیری در این بین دارای پایین ترین دمای کندانسینگ است، زیرا گرما مستقیماً از میرد به آب تبخیر شونده منتقل می گردد؛ اما در کندانسور آبی و برج خنک کن، رسیدن به دمای حباب مرطوب هوای محل با اضافه شدن یک مرحله اضافه انتقال حرارت به آب در حال گردش، همراه خواهد بود.

نگهداری سیستم‌های کندانسور هوایی آسان تر از سیستم‌های آبی و یا تبخیری می باشد، زیرا دیگر مدار گردش آب در کار نیست و هزینه های نگهداری یک سیستم کندانسور آبی با برج خنک کن از دو مورد دیگر بیشتر است؛ زیرا هزینه های تمیز کردن لوله های کندانسور نیز به هزینه های رسیدگی به برج خنک کن اضافه می گردد. در کندانسور تبخیری نیز کویل‌ها در معرض رسوب گیری قرار دارند و در نتیجه عملیات لازم بروی آب (Water Treatment) ضروری بنظر می رسد.

بحث انتخاب کندانسور برای سیستم مخزن ذخیره کاملاً مشابه این بحث برای یک سیستم بدون مخزن می باشد؛ با این تفاوت که در سیستم با مخزن ذخیره، به این علت که سیستم در ساعتهای زیادی از طول شب مشغول به کار می باشد، در طول این مدت دمای پایین محیط، امکان پایین آمدن دمای کندانسینگ را می دهد. از آنجا که دمای حباب خشک هوا کاهش بیشتری نسبت به دمای حباب مرطوب هوا می یابد، در نتیجه برتری کندانسورهای آبی و تبخیری بر کندانسور هوایی تا حد زیادی کاهش می یابد. در فصل های 36 و 37 از ASHRAE Handbook – System and Equipment (1992) راجع به کندانسورها و برج‌های خنک کن بطور مفصل بحث شده است.

ماده میرد

ماده میرد که در چیلرهای سیستم های با مخزن ذخیره استفاده می شود کاملاً مشابه مواد میرد مورد استفاده در سیستم های بدون مخزن می باشد. چیلرهای معمول جهت یخساز می معمولاً از میردهای فشار بالا مانند R-22 و R-117 (همان آمونیاک NH3 می باشد) استفاده می کنند.

کنترل چیلر

بحث کنترل در سیستم‌های مخزن ذخیره با سیستم های بدون مخزن تفاوت دارد و دلیل آن وجود بیش از یک استراتژی کاری در زمانهای مختلف می باشد. بجز در تکنولوژی مخزن ذخیره "آب سرد" دمای سیال خروجی از چیلر در زمان شارژ مخزن با حالت

جوابگویی مستقیم بار توسط چیلر، تفاوت دارد؛ در نتیجه چیلری که برای چنین سیستمی انتخاب می گردد باید بتواند به کمک دریافت یک سیگنال کنترلی، نقطه کاری خود را جهت تغییر دمای سیال خروجی، تغییر دهد. در برخی از استراتژی های کاری ظرفیت یا دمای خروجی از چیلر باید جهت استفاده بهتر از مخزن و یا مینیمم کردن هزینه برق مصرفی، بطور پیوسته در طول عمل شارژ یا تخلیه تغییر داده شود در این موارد بهتر است که از کنترل ظرفیتهایی که بصورت پیوسته ظرفیت را تغییر می دهند استفاده شود.

2-3-2 بدنه مخزن ذخیره

اولین ویژگی یک مخزن ذخیره داشتن مقاومت لازم جهت تحمل فشار هیدرواستاتیک آب یا مخلوط آب و یخ و یا هر ماده دیگری که در آن است، می باشد.

این مخزن باید آب بندی شده باشد و هیچگونه نشتی قابل اندازه گیری در طول زمان نداشته باشد. همچنین باید در برابر خوردگی مقاوم باشد. مخزنهایی که بیرون از بنا نصب می گردند، باید در برابر هوا نیز مقاوم باشند و آب یا بخار آب نیز نتواند به زیر پوشش عایق حرارتی بیرون مخزن نفوذ نماید.

مخازن ذخیره ای که در زیرزمین دفن می گردند، باید قابلیت تحمل فشار ناشی از وزن خاک رو و اطراف خود را داشته باشند. همچنین در صورتی که از سطح زمینی که تانک زیر آن نصب گردیده، قرار است بعنوان پارکینگ روباز یا فضای سبز زمین تنیس و یا حتی جای نشست و برخاست هلیکوپتر و یا هر مورد دیگری استفاده شود، باید مخزن طوری طراحی گردد که در اثر اعمال اینگونه بارها صدمه نبیند. علاوه بر این مخزنهای تماماً دفن شده در خاک و یا حتی تا نیمه دفن شده، باید در برابر فشار هیدرواستاتیک ناشی از آبهای زیرزمینی که در زمانی که تانک خالی بوده و آب آن تخلیه گردیده، به بدنه تانک وارد می شود، مقاومت نمایند.

مخزنهای ذخیره معمولاً به شکل مکعب مستطیل و یا بصورت استوانه طراحی می گردند.

در تکنولوژی های مخزن ذخیره "آب سرد" و "Ice Harvester" نوع، ابعاد و هندسه مخزن بر مقدار ظرفیت سرمایش قابل استفاده آن، تأثیر می گذارد. در مورد ابعاد و هندسه این مخزن ها در فصل های بعد صحبت خواهد شد.

تلفات حرارتی مخزن نیز در حدود 1 تا 5 درصد ظرفیت کل مخزن در هر روز می باشد و البته بستگی به مساحت مؤثر مخزن و ضرایب انتقال حرارت دیواره های مخزن و همچنین دمای ماده مبرد موجود در مخزن و ضریب انتقال حرارت هدایتی (Thermal Conductivity) ماده عایق اطراف مخزن خواهد داشت.

جهت بدست آوردن یک تخمین و تقریب از مقدار تلفات حرارتی از دیواره مخزن، می توان از رابطه زیر استفاده نمود:

$$Q = UA(T_{out} - T_{in})$$

که در آن Q مقدار تلفات حرارت بر حسب Btu/hr یا W و U ضریب انتقال حرارت مخزن بر حسب Btu/hr² Ft² یا W/m² K و A مقدار مساحت مخزن بر حسب m² یا Ft² و T_{in} و T_{out} نیز به ترتیب دمای محیط بیرون از مخزن و دمای ماده موجود در مخزن بر حسب °F یا °C می باشد.

در مخازن ذخیره که در زیر زمین دفن می شوند، ضریب انتقال حرارت خاک باید تخمین زده شود. در جدول 17 از فصل 22 ASHRAE Handbook – Fundamentals (1993) لیست ضرایب انتقال حرارت هدایتی انواع خاکهای مختلف از 4 تا 13 (0.58 ~ 1.9 W/m.K) آورده شده است.

مخازنی که در بیرون از بنا نصب می گردند، باید دارای یک Vapor Barrier [احتمالاً منظور عایق ضد رطوبت و همچنین جلوگیری کنند از تقطیر بخار آب موجود در هوا بروی سطوح خارجی مخزن می باشد] . و همچنین عایق ضد نفوذ هوا بروی عایق حرارتی خود مخزن (که در خیلی از موارد پشم شیشه است) باشند. در مورد مخازنی که در معرض تابش مستقیم نور خورشید قرار دارند، در اینگونه موارد گرمای حاصل از تابش خورشید مقدار قابل توجهی بار حرارتی به مخزن تحمیل می نماید. در اینگونه موارد توصیه می گردد که [یا از سایبان استفاده شود و یا] حداقل از پوششهای رنگ روشن و یا دارای حالت رفلکس استفاده شود، تا مقدار حرارت جذب شده از خورشید به حداقل برسد.

مخازن ذخیره می توانند از جنسهای مختلف از جمله فلزی، بتونی، فایبرگلاس و پلاستیکی ساخته شوند. بدون توجه به جنس آن، مخزن باید در محل بدون هیچگونه نشستی راه اندازی شود و در صورتی که نشستی قابل اندازه گیری وجود داشته باشد، پیمانکار پروژه بدون تحمیل هزینه ای اضافه برای کارفرما موظف به تعمیر آن می باشد.

مخازن فلزی

از مخازن فلزی در ظرفیت های مختلفی استفاده می گردد. مخازن بزرگ از ظرفیتهای چند صد هزار تا میلیونها گالن [هر گالن 3.78 لیتر] ظرفیت، با جوش دادن ورقهای فلزی (Steel) ایجاد می گردد. مخازن کوچکتر به ظرفیتهای 9 تا 90 متر مکعب (300 to 3000 ft³) معمولاً از ورقهای گالوانیزه با پروفیلهای نگارنده و تقویتی ساخته می شوند. همچنین مخازن استوانه ای تحت فشار نیز معمولاً در اندازه های 11 تا 210 متر مکعب (400 to 7500 ft³) ایجاد می گردند.

مخزنهای بزرگ که در محل ساخته می شوند معمولاً به وسیله حفاظتهای ضد خوردگی داخلی یا خارجی، پوششهای عایق بندی خارجی، عایق محافظت در برابر هوا و سقف های کاذب محافظت می گردند. مخزنهایی که بالای سطح زمین نصب می گردند معمولاً دارای یک فنداسیون بتونی می باشند.

مؤسسه استاندارد طرحهای آبی آمریکا (AWWA The American Water Works Association Standards) D100-84 (1984) و D102-78 (AWWA 1978) درباره مخازن و حفاظت خوردگی آنها بطور مفصل بحث می نماید.

مخزنهای عایق بندی نشده و در معرض ها هر 15 تا 20 سال یکبار احتیاج به رنگ آمیزی مجدد جهت جلوگیری از خوردگی خواهند داشت. مخزنهای ذخیره عایق بندی شده احتیاج به رنگ آمیزی مجدد ندارند اما لازم است تا از سالم بودن عایق ضد رطوبت (Vapor Barrier) جهت جلوگیری از تقطیر شدن بخار آب بروی وجوه خارجی مخزن اطمینان حاصل شود. برای دیواره داخلی مخزن نیز بهتر است با از پوشش اپوکسی (Epoxy Coating) استفاده شود و یا عملیات لازم روی آب انجام گیرد (Water Treatment)؛ در غیر این صورت دیواره داخلی نیز در معرض خوردگی قرار خواهد گرفت. مخزنهای کوچکتر معمولاً از جنس ورق گالوانیزه و بصورت عایق بندی شده تهیه می گردند. این مخازن معمولاً به شکل مستطیل بوده و داخل یا خارج از بنا نصب می گردند. مخازن ذخیره که در زیر زمین دفن گردند (در خیلی از موارد بصورت استوانه ای هستند) باید دارای حفاظت کاتدی مثبت جهت جلوگیری از ایجاد خوردگی باشند.

مخازن بتونی

مخازن می توانند بصورت پیش ساخته باشند و یا در محل ساخته شوند. بتون های پیش ساخته باید بصورت پیش فشرده (Pre-Stressed) باشند و مخزنهای بتونی ریخته شده در محل نیز باید بصورت پیش فشرده (Pre-Stressed) و یا بصورت بتون مسلح (Reinforced Concrete) اجرا گردند. مخازن پیش ساخته بتونی معمولاً در اندازه های حدود 1 میلیون گالن (3800 متر مکعب) و یا بیشتر، اقتصادی تر می باشند. مخزنهای اجرا شده در محل نیز می توانند با پی (فنداسیون) ساختمان با هم بتون ریزی شوند تا هزینه اجرای آنها کاهش یابد.

در Chow 1987 در مورد طراحی و انتخاب محدوده مخازن بتونی، بطور مفصل بحث شده است. مخزنهای بزرگ پیش ساخته بتونی اغلب بشکل استوانه ای هستند و دارای پایه های مناسب برای نصب می باشند. مخازن کوچکتر هم بصورت استوانه ای و هم بصورت مکعب مستطیل وجود دارند. یک مخزن استوانه ای از نظر سازه ای و توزیع تنش بهتر از یک مخزن مکعب مستطیل عمل می نماید و در معرض همان ممان خمشی (Bending Moment) کمتری قرار می گیرد و علاوه بر این دارای نسبت مساحت به حجم کمتری نسبت به مخزن مکعب مستطیل می باشد. [این نسبت نشان دهنده میزان تلفات حرارتی از مخزن می باشد].

مخزنهای پیش ساخته بزرگ اغلب طبق استاندارد (AWWA 1986) AWWA Standard D100-84 & D110-86, Type III که به توضیح کامل مراحل ساخت می پردازد، ساخته می شوند. رعایت این استاندارد باعث می شود که مقدار نشستی از مخازن به حداقل ممکن برسد. البته در مخزن ذخیره سرمایی در نهایت نباید مقدار نشستی قابل اندازه گیری ای وجود داشته باشد. در Fiorino (1991) در مورد یک مخزن 10000 متر مکعبی پیش ساخته از بتون پیش فشرده همراه یک ورق فلزی (Steel) جهت

جلوگیری از نشتی توضیح داده شده است که بطور عملی مقدار نشتی صفر برای آن بدست آمده است. همچنین بسیاری از مخازن بتونی برای استفاده مخزن ذخیره سرمایی محتوی آب یا یخ و یا نمک اوتکتیک، بدون داشتن نشتی اجرا شده اند.

در واقع پیش فشرده کردن بتون خاصیت مقاومت در برابر نفوذ آب را در آن افزایش می دهد و این عمل با تحت فشار قرار دادن بتون در مرحله ساخت صورت می گیرد. برای اینکه بتون کاملا در برابر نفوذ آب ایزوله گردد، حرکت نسبی اجزای درون سازه در اثر فشار بالا در مرحله ساخت باید ممکن شود و برای این مورد باید کنترل دقیقی در مراحل ساخت بتون اعمال گردد تا یک بتون با کیفیت بالا بدست آید. (Chow 1987)

بتون های پیش فشرده باید بتوانند شوکهای دمایی را حتی تا مقدار 30°F (17°C) و یا بیشتر تحمل کنند. (منظور تغییر درجه حرارت بطور ناگهانی به مقدار حدود 30°F می باشد) اغلب، بتونهای ریخته شده در محل بیشتر در معرض احتمال شکست و ترک بر اثر تغییر ناگهانی دما هستند و در نتیجه باید در پرکردن اولیه مخزن یا شارژ اولیه کاملا دقت نمود و همواره در شارژ مخزن برای اولین بار دمای مخزن باید بطور تدریجی حتی در طول چند روز! پایین آورده شود تا به نقطه طراحی برسد تا احتمال ترک در اثر استرس های بوجود آمده به حداقل برسد.

مخزن بدلیل وجود عایق در اطراف آن بعد از سرد شدن به سرعت گرم نمی شود و این بدین معنی است که در مخزن های روزانه، در تمام فصل تابستان یا در موارد صنعتی چون مخزن هر روز مشغول به کار می باشد، دمای دیواره بتونی همواره در همان حدود آب یا یخ داخل مخزن می باشد. اما در مواردی که سیستم برای مدت طولانی خاموش بوده است و دمای مخزن به دمای محیط برگشته است، در این صورت شارژ ناگهانی مخزن با حداکثر ظرفیت امکان ایجاد ترک در دیواره مخزن را به همراه دارد. لذا در تمام مواردی که سیستم برای مدت طولانی خاموش می باشد، [مقدار این مدت بستگی به پارامترهای زیادی از جمله میزان عایق کاری مخزن، نسبت مساحت به حجم مخزن و... دارد] [بهر حال بیش از چند روز] بهتر است در موقع شارژ مخزن دقت کافی انجام شود و مخزن بتدریج سرد گردد.]

ساخت مخازن بتونی در محل پروژه مستلزم این می باشد که مراحل کار توسط یک مهندس سازه که در امور مخازن دارای تجربه است انجام گردد. طراحی و استفاده از مواد مناسب و همچنین ساخت مخزن باید مطابق استاندارد موسسه بتون امریکا (American Concrete Institute Standards 318-83 (ACI 1986) and 350R-83 (ACI 1983) باشد.

در برخی موارد، برخی از بتونهای ریخته شده در محل بصورت بتون مسلح (نه بتون پیش فشرده) بعد از مدتی دچار نشتی می گردند. در این موارد نشتی ها عموماً بطرز مناسبی ترمیم می گردند؛ اما این کار معمولاً هزینه بالایی نیز در بر دارد. نشتی ها به وسیله خمیرها یا چسب های آب بندی (Pressure grouting, Sealants, Liners) ترمیم می گردند. در مخازن بزرگ معمولاً توصیه می گردد که این مخازن دارای دو یا چند قسمت باشند. این امر کمک می نماید تا در مواقع نشتی، کل مخزن از مدار خارج نشود. همچنین در موارد دیگری مانند تمیز کردن مخزن یا موارد اضطراری دیگر، احتیاج به خارج کردن کل مخزن از مدار نمی باشد.

چسبهای آب بندی (Sealants) [که بصورت رنگ روی یک سطح زده می شوند.] اطمینان کافی جهت جلوگیری از نشت ایجاد می کنند؛ اما در مقابل به قیمت تمام شده مخزن می افزایند. در مخازن ذخیره مانند مخزن ذخیره "آب سرد" و "یخساز (Ice Harvester)" که نسبتاً تخلیه آنها ساده می باشد، شاید اجرای پوشش ضد نشتی (Lining) تمام داخل مخزن زیاد ضروری بنظر نرسد و بهتر است که در صورت امکان در پروسه ساخت دقت شود و اکتفا به همان دقت ساخت کافی خواهد بود. اما در مواردی که در مخزن کویل وجود دارد (مانند روشهای یخساز بر روی کویل (Ice on Coil)) و یا درون مخزن بسته های محتوی نمک اوتکتیک (روش نمک اوتکتیک) و یا کپسولهای محتوی مایع (روش کپسولهای یخ)، وجود دارند و تخلیه مخزن و دسترسی به محل نشتی از داخل بسیار مشکل است، پوشش ضد نشتی (Lining) از توجیه قوی تری برخوردار است.

مخازن پلاستیکی

مخزنهای پلاستیکی برای مخازن ذخیره اغلب بصورت تکه های مجزا هستند که در محل برون هم سوار می شوند. این مخازن می توانند از فایبرگلاس ساخته شده باشند. مخازن ذخیره که در معرض تابش مستقیم نور خورشید هستند باید از جنس پلاستیک مقاوم در برابر اشعه ماورابنفش (UV) بوده و یا دارای یک پوشش ویژه تیره رنگ باشند؛ تا از اثر تخریبی اشعه ماورابنفش خورشید

در امان بمانند. میزان بازدهی و کارایی مخازن ذخیره پلاستیکی باید از روی پروژه ها و تجربه های قبلی سازنده و ضمانت واحد تولیدی آنها مورد ارزشیابی قرار گیرد. این مخزنها علاوه بر داشتن مقاومت کافی در برابر فشار آب باید از لحاظ نفوذ پذیری آب و نشتی در حد قابل قبول باشند و همچنین در برابر خوردگی و یا پوسیدگی در برابر هوا مقاومت بالایی داشته باشند.

2-3-3 بحث کنترل و تجهیزات

در مقایسه با سیستم های بدون مخزن ذخیره، سیستمهای دارای مخزن احتیاج به یک سری قسمتهای کنترلی اضافه خواهند داشت؛ زیرا همواره مقدار موجودی شارژ مخزن باید توسط سیستمهای کنترلی مدیریت و کنترل گردد. ابزارهای کنترل لازم برای اندازه گیری میزان موجودی ذخیره مخزن در هر تکنولوژی مخزن ذخیره متفاوت است که در فصلهای بعدی در بخش مربوط به هر تکنولوژی، توضیح داده خواهد شد. ابزارهای لازم جهت اندازه گیری نرخ شارژ و تخلیه مخزن نیز برای یک مخزن ضروری است. به این معنی که حداقل احتیاج به دو ترموستات جهت اندازه گیری دمای آب ورودی و خروجی از مخزن و یک دبی سنج منبع جهت اندازه گیری مقدار جریان عبوری از مخزن می باشد. یک سیگنال صوتی یا زنگ در مواقعی که ذخیره مخزن در زمان غیرمتعارف خود در حال اتمام می باشد، باید این مساله را به اپراتورها اطلاع دهد و همچنین در مواردی که شارژ مخزن ذخیره به مقدار کافی نمی رسد نیز می توان اپراتورها را با ایجاد صدای بوق یا زنگ مطلع نمود .

در کل کنترل پیچیده ای جهت کارکرد صحیح مخزن ذخیره نیاز نخواهد بود . تنها سیستم باید بتواند بین وضعیتهای شارژ مخزن، تخلیه مخزن و جوابگویی مستقیم بار توسط چیلر، [براساس برنامه زمانی یا هر معیار تصمیم گیری دیگر مانند بار مورد نیاز] تصمیم گرفته و جابجا شود.

برخی از سیستمهای کنترل نیز امکانات بیشتری جهت محاسبه و تصمیم گیری فراهم می کنند و امکان کاهش مصرف انرژی یا قیمت آنرا با کارکردن در زمان مناسب ایجاد می کنند و همچنین امکان ثبت و ذخیره داده های قبلی و تصمیم گیری اتوماتیک برای آینده از روی داده های قبلی را امکان پذیر می نمایند.

2-4 انواع استراتژی های کاری

برنامه ریزی یک مخزن ذخیره به حالت های مختلفی امکان پذیر می باشد. از آن جمله می توان به موارد زیر اشاره نمود:

- 1- استراتژی کاری تمام مخزن (Full Storage)
- 2- استراتژی کاری قسمتی از مخزن و یکنواخت کردن بار (Partial Storage, Load Leveling)
- 3- استراتژی کاری قسمتی از مخزن و کم کردن پیک مصرف (Partial Storage, Demand Limiting)
- 4- استراتژی کاری تعیین چیلر تمام بار (Baseloading of Chillers)
- 5- استراتژی کاری جدا کردن چیلرها (Sequences of Chillers)

قبل از آنکه به توضیح موارد بالا پرداخته شود، انواع روش های مختلف زمان بندی شارژ مخزن نیز بصورت زیر می باشد :

- 1- شارژ مخزن بصورت روزانه
- 2- شارژ مخزن بصورت هفتگی
- 3- دیگر موارد

و همچنین بهینه سازی وضعیت کاری نیز به چند رده تقسیم می شود :

- 1- تقدم چیلر
- 2- تقدم مخزن ذخیره
- 3- کنترل نرخ و سرعت شارژ مخزن
- 4- پیش بینی بار مورد نیاز

حال به توضیح موارد بالا پرداخته می شود.

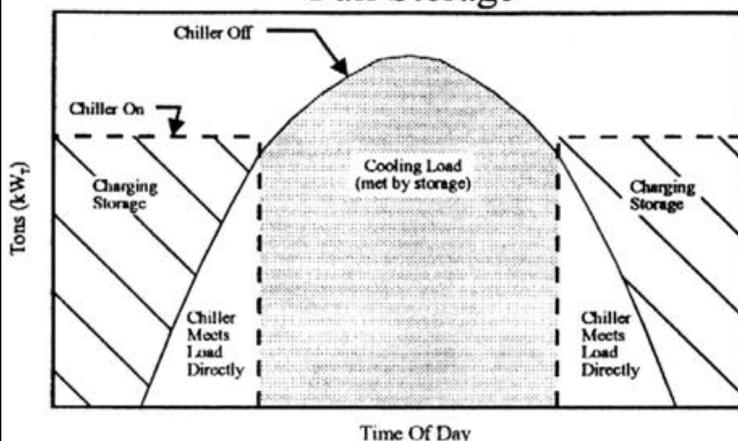
2-4-1 استراتژی های کاری

1- استراتژی کاری تمام مخزن (Full Storage)

در این استراتژی کاری تمام بار سرمایی مورد نیاز در حالت ساعتهای پیک بار سرمایی (On-Peak Period) به ساعتهای غیرپیک (Off-Peak Period) منتقل می گردد. در نتیجه چنین سیستمی در ساعات غیرپیک با حداکثر ظرفیت به کار می پردازد و مخزن را شارژ می نماید تا در طول مدت پیک بار سرمایی از آن استفاده شود.

[در نتیجه چیلرها ناچار نخواهند بود در گرمترین ساعات روز در حالت دمای کنداسینک بسیار بالا و نامطلوب و همچنین با قیمت مصرف انرژی بالاتر نسبت به ساعتهای شب به کار پردازند] .

Full Storage

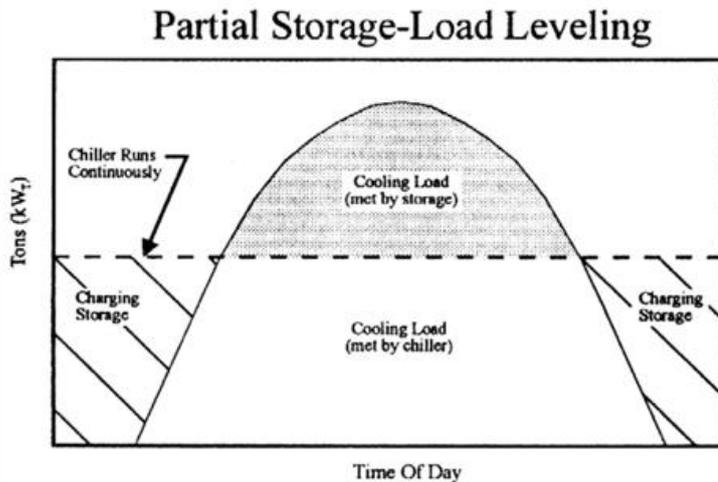


اما در مقابل پیاده سازی این استراتژی در مقایسه با استراتژی های دیگر احتیاج به مخزن ذخیره بزرگتر و دستگاههای تبرید (چیلرهای) بزرگتری خواهد داشت.

معمولا از این استراتژی در مواقعی استفاده می شود که قیمت انرژی مصرفی در زمانهای پیک بار سرمایه بالا بوده و یا مدت زمان پیک بار سرمایه تقریبا کوتاه باشد. کنترل چنین سیستمی نیز تقریبا ساده خواهد بود.

2- استراتژی کاری "قسمتی از مخزن و یکنواخت کردن بار" (Partial Storage, Load Leveling)

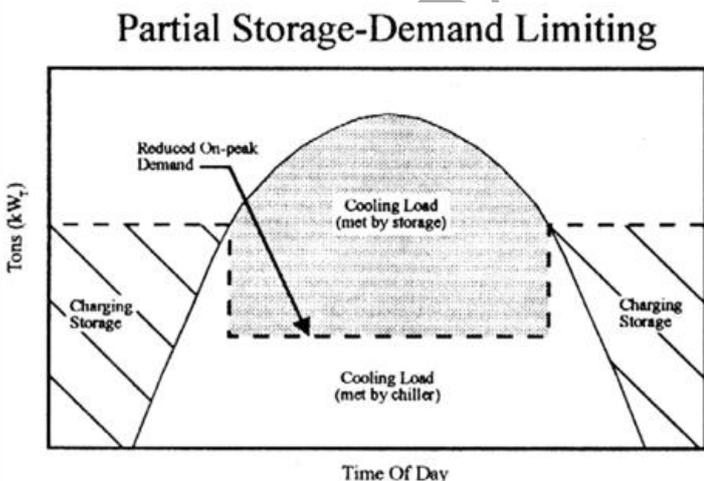
در استراتژی کاری "قسمتی از مخزن" سیستم قسمتی از بار مورد نیاز در زمان پیک بار سرمایه را از مخزن تامین کرده و بقیه بار مورد نیاز توسط چیلر تامین می گردد. منظور از یکنواخت کردن بار این است که چیلر در این نوع استراتژی در تمام 24 ساعت روز طراحی با حداکثر ظرفیت خود به کار می پردازد در طول این مدت در زمانی که بار کمتر از ظرفیت چیلر است اضافه آن ذخیره می گردد و هنگامیکه بار از ظرفیت چیلر بیشتر می شود بار اضافه از مخزن تامین می گردد. در این استراتژی کاری سایز چیلر و سایز مخزن مورد نیاز به حداقل می رسد از این استراتژی بیشتر در مواردی استفاده می شود که پیک بار سرمایه مورد نیاز بسیار بالاتر از مقدار متوسط بار می باشد.



شکل 2-3 نمایش چگونگی تقسیم بار بین چیلر و مخزن در حالت قسمتی از مخزن و یکنواخت کردن بار (Partial Storage, Load Leveling)

3- استراتژی کاری "قسمتی از مخزن و کم کردن پیک مصرف" (Partial Storage, Demand Limiting)

این استراتژی نیز همان استراتژی کاری "قسمتی از مخزن" می باشد که در آن سیستم قسمتی از بار را از مخزن گرفته و بقیه آن توسط چیلر تامین می شود با این تفاوت که برای کم کردن مصرف انرژی در طول مدت زمان پیک مصرف انرژی چیلر با ظرفیتی کمتر از حداکثر به کار ادامه می دهد و فقط در طول مدت زمان غیرپیک مصرف انرژی که قیمت انرژی پایین تر است، با حداکثر ظرفیت بکار پرداخته و اضافه بار سرمایه را در مخزن ذخیره می کند. در مواردی که قیمت مصرف انرژی براساس مقدار ماکزیمم مصرف تعیین می گردد، باید سعی بر این شود تا مقدار انرژی الکتریکی مصرفی در طول نقاط پیک مصرف انرژی، بالاتر از حد مشخصی نرود.



شکل 2-4 نمایش چگونگی تقسیم بار بین چیلر و مخزن در حالت قسمتی از مخزن و یکنواخت کردن بار (Partial Storage, Demand Limiting)

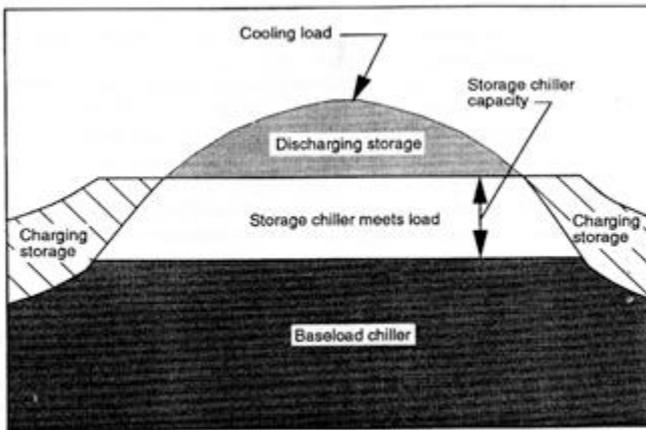
در این موارد این استراتژی می تواند با کم کردن ظرفیت چیلر در زمانهای پیک مصرف انرژی از رسیدن مصرف به مقدار بحرانی جلوگیری نماید و این کار می تواند به کمک اضافه کردن یک سیستم کنترلی که میزان مصرف برق را در کنترل دارد انجام شود.

در واقع این استراتژی، حالتی بین استراتژی "تمام مخزن" (Full Storage) و استراتژی "قسمتی از مخزن و یکنواخت کردن بار" (Partial Storage, Load Leveling) می باشد. اندازه تجهیزات در این استراتژی کاری نیز بین اندازه دستگاهها در دو استراتژی ذکر شده خواهد بود یعنی از استراتژی اول کوچکتر و از استراتژی دوم بزرگتر خواهد گردید. و قیمت تجهیزات آن هم به تبع از استراتژی اول پایین تر و از استراتژی دوم بالاتر خواهد بود. در ضمن در این استراتژی در مواردی که دو یا چند چیلر در یک سیستم وجود دارد سادگی با برنامه ریزی وارد کردن و خارج کردن چیلرها از مدار می توان سیستم را کنترل نمود.

4- استراتژی کاری تعیین چیلر تمام بار (Baseloading of Chillers)

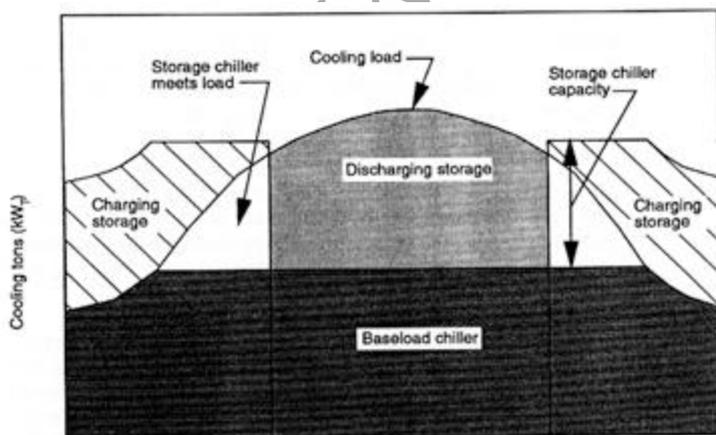
در مواردی که دو یا چند چیلر در سیستم وجود دارند قرار دادن یک چیلر بعنوان پایه ثابت کار و قرار دادن آن و حداکثر ظرفیت برای جوابگویی مستقیم بار می تواند از نظر اقتصادی به سیستم کمک می نماید.

[قبلا در بخش 1-2 ذکر شد که چیلرهایی که برای جوابگویی مستقیم بار کار می کنند، دارای بازده بالاتری (COP بالاتری) نسبت به چیلرهایی که برای شارژ مخزن کار می نمایند، می باشند. (به علت اختلاف کمتر دمای منبع سرد و منبع گرم در حالت جوابگویی مستقیم) در نتیجه اگر بتوان یکی از چند چیلر موجود را بطور دائم به جوابگویی مستقیم بار مربوط نمود و بقیه را به شارژ مخزن اختصاص داد وضعیت بهتری ایجاد خواهد گردید]



شکل 2-5 نمایش چگونگی تقسیم بار بین چیلر و مخزن در استراتژی

تعیین چیلر تمام بار (Baseloading of Chillers) و تعیین استراتژی کاری قسمتی از مخزن (Partial Storage) برای چیلر (های) باقیمانده.



این استراتژی معمولا در مواردی که پروفیل بار حالت هموارتر و یکنواخت تری داشته باشد و همچنین در مواردی که یکی از تکنولوژی های یخسازی برای مخزن ذخیره انتخاب شده باشد، بیشتر مورد توجه قرار می گیرد.

در این استراتژی معمولا چیلرهای دارای بالاترین بازده بعنوان چیلرهایی که باید بطور دائم کار کنند، در نظر گرفته می شوند و برای بقیه بار سرمایی از چیلرهای دیگر و مخزن استفاده می گردد، در این صورت با کنار گذاشته شدن چیلرهای دائم (تمام بار) استراتژی کاری فقط برای چیلرهای باقیمانده تعیین می گردد که می تواند بصورت

استراتژی کاری "تمام مخزن" و یا استراتژی کاری "قسمتی از مخزن" باشد؛ به این معنی که می توان از هر کدام از استراتژی های 1 و 2 و 3 برای چیلرهای باقیمانده استفاده نمود.

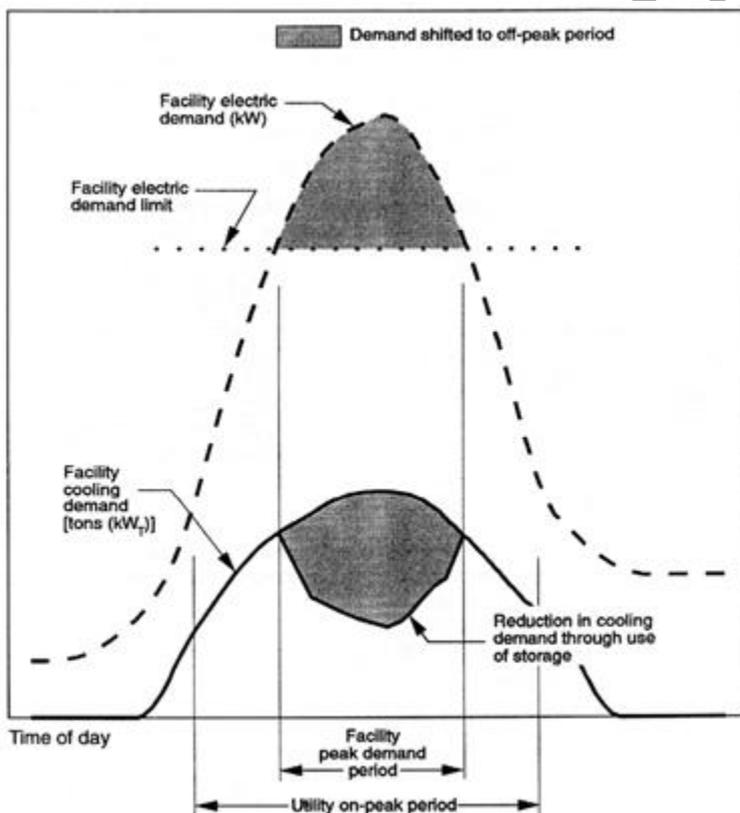
5- استراتژی جدا کردن چیلرها (Sequencing of Chillers)

در این روش از چیلرهای جداگانه جهت شارژ مخزن و جوابگویی مستقیم بار استفاده می نمایند، بطوریکه یک یا چند چیلر فقط وظیفه شارژ مخزن را بر عهده دارند و در جوابگویی مستقیم بار دخالتی نمی کنند و یک یا چند چیلر دیگر تا هر زمان که بار مورد نیاز کمتر از ظرفیت آنها باشد مستقیماً بار را جواب می دهند و در حالتی که بار مورد نیاز بیش از ظرفیتشان می شود از مخزن کمک می گیرند. حتی در برخی از سیستمها یک چیلر جداگانه به جوابگویی بار در هنگام شب می پردازد در حالیکه بقیه چیلرها به شارژ مخزن می پردازند.

همانطور که دیده می شود وجود چند چیلر در یک سیستم باعث افزایش انعطاف پذیری نحوه آرایش و کنترل کل سیستم می گردد.

در اینجا ذکر این نکته لازم است که همواره ساعتی که پیک بار سرمایی مورد نیاز در آن اتفاق می افتد بر ساعات پیک مصرف که در آن قیمت انرژی مصرفی بالا است منطبق نمی باشد و در تعیین استراتژی کاری باید دقیقاً ساعات پیک مصرف انرژی و ساعات پیک بار سرمایی را مشخص نمود و با بررسی حالت‌های مختلف به وضعیت دلخواه دست یافت. [بسته به اینکه کم کردن قیمت اولیه تجهیزات بیشتر مورد نظر باشد یا کم کردن هزینه انرژی مصرفی.]

همچنین در استراتژی کاری تمام مخزن (Full Storage) معمولاً صرفه جویی در هزینه انرژی بیش از حالت نیمه مخزن (Partial Storage) خواهد بود؛ زیرا تمام بار به ناحیه غیر پیک مصرف انرژی منتقل شده است؛ اما حتی یک سیستم (Partial Storage) را نیز می توان در خیلی از ماههای سال بصورت (Full Storage) برنامه ریزی نمود.



در بیشتر موارد ساعات پیک بار سرمایی مورد نیاز کوتاهتر از مدت زمان تعیین شده برای پیک مصرف انرژی است همچنین باید توجه شود که در مواردی که قیمت مصرف برق بیشتر براساس میزان ماکزیمم مصرف محاسبه می گردد تا براساس مقدار کیلووات-ساعت kWh مصرفی باید بررسی گردد که زمان پیک مصرف انرژی چیلرها در چه زمانی از روز اتفاق می افتد و آیا درست در زمان پیک مصرف وسایل برقی دیگر هست یا نه. در چنین سیستمی برای این که مشخص شود که نیاز به انرژی الکتریکی در چیلرها در چه زمانی از روز باید کم شود احتیاج به پروفیل ساعتی مصرف روزانه برق محل مورد نظر می باشد.

در (Sohn & Tomlinson (1989) راجع به تعیین اندازه مخزن ذخیره با توجه به انتقال کارکرد مورد نیاز چیلرها به زمانی غیر از زمان پیک مصرف دستگاهها و ادوات برقی دیگر توضیح داده شده است و همچنین در

Tamblyn (1990) در مورد مقدار صرفه جویی که از طریق کنترل سیستم با مخزن ذخیره سرمایی با توجه به پیک نیاز دیگر وسایل و دستگاهها به انرژی الکتریکی می توان انجام داد، شرح داده شده است.

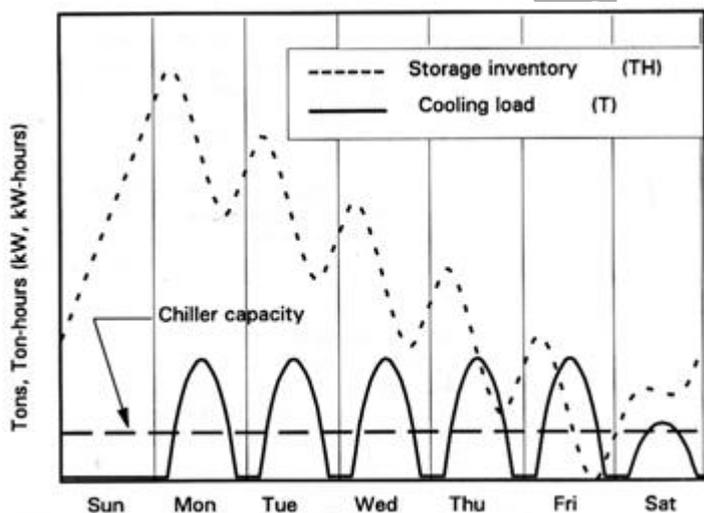
در شکل 2-7 مشاهده می گردد که مقدار کل مصرف انرژی الکتریکی محل برای کل وسایل و دستگاهها اعم از چیلرها و کلیه مصارف دیگر محل از جمله روشنایی و ... از حد بحرانی یا تعیین شده بالاتر رفته است. (بالاتر از خط چین افقی) برای این منظور باید جهت جلوگیری از این امر به همان اندازه از مصرف برق چیلرها کاسته شود تا میزان مصرف همواره کمتر از مقدار تعیین شده بماند. همانطور که دیده می شود مدت زمان استفاده از مخزن یا در واقع زمان پیک نیاز دستگاههای الکتریکی از کل زمان ساعات پیک مصرف انرژی (ساعاتی که قیمت انرژی مصرفی بالاتر است) کوتاه تر می باشد.

2-4-2 نوع زمان بندی شارژ مخزن

مخازن ذخیره معمولاً بصورت روزانه شارژ و تخلیه می گردند، اما می توان بازه های زمانی بلندتر نیز بر حسب کاربرد برای یک مخزن تعریف نمود. یک برنامه زمان بندی هفتگی در مواردی که پروفیل بار سرمایی مورد نیاز در هر روز تکرار نمی شود، می تواند عملکرد بهتری از زمان بندی روزانه داشته باشد. برای نمونه یک کلیسا مثال خوبی در این زمینه می باشد که در یک روز بار سرمایی قابل توجهی دارد و در بقیه روزهای هفته بار قابل ملاحظه ای نخواهد داشت. در نتیجه انتخاب یک مخزن هفتگی برای آن مناسب بنظر می رسد. همچنین در موارد دیگر حتی ادارات که در آخر هفته تعطیل می باشند ساعاتی آخر هفته وقت مناسبی جهت شارژ یک مخزن ذخیره خواهد بود که این امر باعث می گردد تا امکان ایجاد مخزن ذخیره هفتگی مورد توجه قرار گیرد. مخزن های ذخیره هفتگی نسبت به سیستم های بدون مخزن ذخیره و یا نسبت به سیستم های با مخزن ذخیره روزانه از دستگاههای سرمایش (چیلرهای) کوچکتری استفاده می نماید و این باعث کاهش هزینه های اولیه سیستم می گردد. حتی در برخی سیستمها که نوسانات بار نامنظم دارند ممکن است تعیین دوره زمان بندی بیش از یک هفته مورد نیاز باشد شکل 2-8 یک سیستم با مخزن ذخیره هفتگی را نشان می دهد.

یک مخزن ذخیره هفتگی دقیقاً مطابق مقدار کل بار هفتگی یک سیستم طراحی می گردد و در آخر یک هفته کاری به حداقل مقدار ظرفیت ذخیره خود می رسد. برای در نظر گرفتن احتمال پیش آمدن بارهای نامتعارف و نامعمول برخی از طراحان اندازه سیستم را با ظرفیت اضافه ای در حدود 12 تا 24 ساعت طراحی می نمایند.

[توجه به این نکته لازم است که همانطور که از شکل (2.8) نیز استنباط می گردد، اندازه یک مخزن ذخیره هفتگی به هیچ وجه هفت برابر اندازه یک مخزن روزانه نخواهد شد بلکه چون دوباره در انتهای هر روز نیز به شارژ مخزن کمک می گردد لذا اندازه آن در حدود 2 یا 3 برابر اندازه یک مخزن روزانه خواهد بود] .



شکل 2-6 یک پروفیل بار هفتگی و وضعیت مخزن نسبت به آن

مخزنهای ذخیره هفتگی و بطور کل تمام مخازن ذخیره بلند مدت در مواردی بهتر هستند که قیمت مخزن در مقایسه با قیمت دستگاههای سرمایش (چیلر) ارزان محسوب می شود.

مخازن ذخیره فصلی که در آن سرمایه‌ش در زمستان ایجاد شده و برای فصل گرما ذخیره گردد، تا بحال دارای توجیه اقتصادی و تجاری نبوده است. از انواع این مخازن می‌توان به انبار کردن آب سرد در دریاچه‌ها و برکه‌ها و همچنین استفاده از کویل‌های سرمای‌ی دفن شده در زیر خاک‌های مرطوب جهت منجمد کردن آب موجود در خاک اشاره نمود. برای اطلاعات بیشتر در زمینه این گونه مخازن به فصل (Francis (1985) و Midkiff et al. (1991) مراجعه شود.

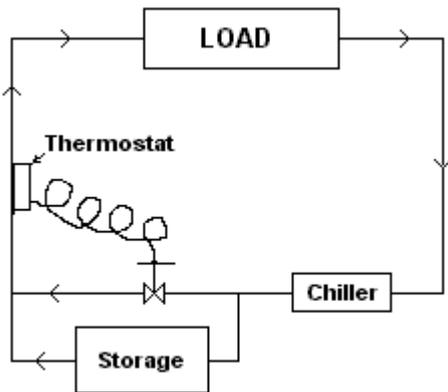
2-4-3 بهینه‌سازی وضعیت کاری

در کارکرد یک سیستم می‌توان وضعیت‌های کاری مختلفی از جمله "تقدم چیلر"، "تقدم مخزن" و همچنین کنترل نرخ و سرعت شارژ مخزن و پیش‌بینی بار مورد نیاز برای یک سیستم در نظر گرفت.

همچنین در استراتژی‌های تعیین شده بصورت تمام مخزن (Full Storage) می‌توان با پیش‌بینی برای روز بعد، مقدار شارژ مخزن را در حالت مناسب قرار داد و یا برخی سیستم‌های "قسمتی از مخزن" (Partial Storage) می‌توانند در ماه‌های سردتر از حالت طراحی بصورت "تمام مخزن" (Full Storage) کار نمایند.

وضعیت کاری "تقدم چیلر" به این معنی است که سیستم ابتدا برای جوابگویی بار مورد نیاز تا جایی که ممکن است از چیلر استفاده می‌نماید و در این حالت مخزن فقط وقتی وارد مدار می‌گردد که بار از ظرفیت چیلر فراتر رفته باشد.

از این وضعیت کاری معمولاً در مواردی استفاده می‌شود که قیمت سرمایه‌ش ذخیره شده گرانتر از سرمایه‌ش مستقیم باشد و یا در مواردی که از راه کاهش مصرف در زمان پیک مصرف انرژی، بتوان در هزینه دیمان (Demand) [هزینه‌ای که بر اساس ماکزیمم مقدار کیلووات برق مصرفی به هزینه محاسبه شده اضافه می‌گردد.] صرفه جویی قابل توجهی نمود.



کنترل این وضعیت کاری (تقدم چیلر) آسان بوده و بسادگی اجرا می‌گردد. در این روش چیلر قبل از مخزن قرار می‌گیرد در زمانی که بار از ظرفیت چیلر بیشتر می‌گردد، دمای خروجی از چیلر شروع به افزایش می‌کند در نتیجه یک سنسور دما یا ترموستات فعال شده و شیر موتوری (برقی) لازم و در صورت نیاز پمپ لازم را روشن نموده تا قسمتی از جریان از داخل مخزن عبور کند و به این ترتیب دمای نهایی آب خروجی ثابت می‌ماند.

در برخی موارد با اینکه هزینه سرمایه‌ش توسط چیلر بیش از سرمایه‌ش ذخیره شده می‌باشد، بعلاوه اینکه سادگی سیستم کنترل بیش از هزینه انرژی برای سیستم اهمیت دارد سیاست کاری تقدم چیلر برای سیستم در نظر گرفته می‌شود.

وضعیت کاری "تقدم مخزن" نقطه مقابل وضعیت کاری "تقدم چیلر" می‌باشد. به این معنی که سیستم ابتدا از ذخیره مخزن برای جوابگویی بار تا جای ممکن استفاده می‌کند و تنها در زمانی که بار از حد ظرفیت مخزن فراتر رود چیلر وارد مدار می‌گردد. از این وضعیت بیشتر در مواردی استفاده می‌گردد که قیمت سرمایه‌ش ذخیره شده کمتر از هزینه سرمایه‌ش مستقیم باشد.

[در اینجا منظور از قیمت سرمایه‌ش ذخیره شده و قیمت سرمایه‌ش مستقیم، قیمت اولیه چیلر و مخزن نیست، زیرا وضعیت کاری وقتی تعیین می‌گردد که اندازه‌های چیلر و مخزن تعیین گردیده‌اند و استراتژی کاری مشخص شده است. وضعیت کاری فقط تقدم چیلر بر مخزن و یا مخزن بر چیلر را نشان می‌دهد و در واقع بیانگر این است که ترجیح داده می‌شود از کدامیک بیشتر استفاده گردد.. جهت مقایسه هزینه سرمایه‌ش ذخیره شده و سرمایه‌ش مستقیم باید برای مثال بررسی شود که برای یک تن تبرید با سرمایه‌ش مستقیم چیلر چقدر برق مصرف می‌شود و در چنین ساعتی از روز قیمت هر کیلووات (kW) آن چقدر است و در

صورتی که قرار باشد این یک تن تبرید به وسیله مخزن جواب داده شود چیلر در چه زمانی از روز آنرا ذخیره کرده است و با توجه به بازده کاری چیلر در آن ساعت (COP چیلر) در آن دمای کاندنسینگ) و قیمت هر کیلووات (kW) برق مصرفی در آن زمان، هزینه مصرف انرژی حالت اخیر چقدر است و با مقایسه این دو مشخص می گردد که هزینه سرمایه‌اش مستقیم در این ساعت بالاتر است یا هزینه سرمایه‌اش ذخیره شده.]

وضعیت کاری "تقدم مخزن" عموماً به سیستم کنترلی پیچیده تری نسبت به حالت "تقدم چیلر" نیاز دارد. زیرا در حالیکه هدف حداکثر استفاده از سرمایه‌اش ذخیره شده در مخزن می باشد باید همواره ذخیره کافی در مخزن برای گذراندن پیک بار مورد نیاز بطور کامل (حتی با وارد شدن چیلر در مدار) وجود داشته باشد. برای این وضعیت کاری نیاز است حداقل مقدار کارکرد چیلر برای این که مخزن بتواند مطمئناً تمام بار سرمایه‌اش درخواست شده در طول روز را پاسخ دهد، محاسبه شود.

بطور معمول مخزن ذخیره باید مجهز به سیستم کنترلی باشد که مرتباً مقدار ذخیره موجود در مخزن را اندازه گیری کرده و سپس با توجه به پروفیل بار ساعتی تصمیم مناسب را اتخاذ کند. این اطلاعات یا می تواند از یک الگوریتم پیش بینی بار که بعداً توضیح داده خواهد شد، بدست آید و یا از روی زمان جاری روز و یا ساعات باقیمانده تا اتمام دوره پیک مصرف انرژی یا پیک بار تخمین زده شود.

در (Grumman and Butkus 1989) در مورد یک سیستم تغییر حالت دهنده تقدم مخزن و چیلر بحث می شود که مقدار متوسط نرخ تخلیه باقیمانده ذخیره مخزن، (مقدار تن-ساعت موجود در مخزن تقسیم بر تعداد ساعات باقیمانده از زمان پیک بار سرمایه‌اش) با یک مقدار تعیین شده مقایسه می شود. این سیستم از ابتدا بصورت "تقدم چیلر" کار می کند تا زمانی که نرخ تخلیه باقیمانده ذخیره مخزن به مقدار مشخصی برسد (بسته به مشخصات و چگونگی بار سرمایه‌اش) در این زمان کارکرد چیلر متوقف می گردد و برای تمام مدت باقیمانده پیک بار، بار سرمایه‌اش از طریق مخزن جواب داده می شود.

یک شکل ساده شده از وضعیت تقدم مخزن نیز وجود دارد که با یک سیستم کنترل مقدار نرخ تخلیه مخزن در یک حد مشخص ثابت نگه داشته شود و بقیه بار از چیلر تامین می گردد. در این صورت چیلر همواره بصورت نیم بار کار می کند مگر در روز طراحی (گرمترین) و در ساعات پیک بار. (گرمترین ساعت) در این حالت اندازه مخزن نسبت به حالتی واقعی "یکنواخت کردن بار" (Load Leveling) بزرگتر خواهد شد. (زیرا در آن حالت چیلر در تمام مدت بطور تمام بار به کار مشغول بود).

سیستم های "تمام مخزن" (Full Storage) بجز در روز طراحی در روزهای دیگر دارای ذخیره اضافی می باشند. در برخی از تکنولوژی های مخزن ذخیره بصره است که فقط مخزن را به مقدار جوابگویی بار ساعات پیک شارژ نمود اما در برخی موارد نیز امکان دارد ترجیح داده شود تا با شارژ کامل مخزن، همواره ظرفیت اضافه در دسترس باشد. چون یک مخزن Full Storage برای حالت ماکزیمم بار سرمایه‌اش یعنی گرمترین روز سال طراحی شده است، اگر در رزهای دیگر سال نیز مخزن بطور کامل شارژ شود، در طول روز از همه بار ذخیره شده استفاده نمی گردد و همواره بار سرمایه‌اش اضافه موجود خواهد بود. انتخاب حالت بهینه برای چنین سیستمی بستگی به نوع کاربرد مورد نظر و اهمیت وجود ظرفیت ذخیره اضافی، تلفات حرارتی مخزن، قیمت مصرف انرژی و ویژگی های خاص تکنولوژی بکار رفته برای مخزن دارد. و باید توسط طراح تعیین گردد و توصیه مشخص و ثابتی بدون کنار هم قرار دادن مشخصات و جزئیات ویژه هر طرح امکان پذیر نمی باشد.

برای مثال در مخزنی که تلفات حرارتی بالا دارد و یا در معرض تابش روز خورشید است و بر فرض یکی از تکنولوژی های یخسازی برای مخزن پروژه انتخاب گردیده است، وجود ذخیره یخ اضافی در تمام روزهای غیر از روز طراحی باعث هدر رفتن هزینه هنگفتی در طول یکسال کاری خواهد گردید و لذا شارژ کامل مخزن در تمام طول سال کار صحیحی نمی باشد. سرعت شارژ مخزن نیز می تواند برای قرار گرفتن در حالت بهینه کنترل شود.

در بیشتر موارد بازده ماکزیمم در حالتی بدست می آید که چیلرها با حداکثر ظرفیت خود به شارژ مخزن بپردازند. برای مثال در واقع بجای اینکه 2 کمپرسور هر کدام بطور نیم بار 1 ساعت کار کنند بهتر است 1 کمپرسور بطور تمام بار 2 ساعت کار کند. اما اگر این امر باعث شود که مقدار برق مصرفی از یک حد مشخص بالاتر رود، که باعث افزایش تصاعدی قیمت برق گردد، یا مورد دیگری که برای مثال شارژ با سرعت کم، باعث بالا رفتن بازده شارژ گردد؛ امکان دارد ترجیح داده شود تا عمل شارژ مخزن به آرامی انجام گردد.

الگوریتم های کنترلی که قابلیت پیش بینی بار سرمایی مورد نیاز و یا مقدار انرژی الکتریکی مورد نیاز را دارند، ابزار قدرتمندی در بهینه سازی کارکرد یک سیستم با مخزن ذخیره به حساب می آیند . بار سرمایی مورد نیاز می تواند به روشهای مختلفی پیش بینی شود. یک روش ساده پیش بینی بار استفاده از ماکزیمم دمای هوای محیط خارج می باشد . این دما یا می تواند بصورت پارامتری تعیین شده باشد و یا به روشهای دیگر پیش بینی شود. مقایسه با داده های روز قبل و یا مقایسه داده های ساعتی مختلف جهت تعیین سیر نزولی یا صعودی داشتن دمای هوا

برای مثال یک سیستم با وضعیت "تقدم مخزن" امکان دارد در صورتی که دمای ساعت 8 صبح که برای مثال جزو ساعات عادی مصرف انرژی است، (قیمت مصرف برق در آن، در حد متوسط است) کمتر از 65°F (18°C) باشد، چیلر را وارد مدار نماید. چون احتمالاً امروز یک روز معتدل خواهد بود . اما در صورتی که دمای ساعت 8 صبح بین $(21^{\circ}\text{C}$ تا 24°C) یا 70°F تا 75°F باشد، چیلر را با 50% ظرفیت وارد مدار نماید، تا علاوه بر تامین بار به شارژ مخزن نیز کمک نماید زیرا احتمالاً امروز یک روز گرم خواهد بود .

برخی تنظیمات دیگر امکان دارد که از دمای موجود جهت پیش بینی پروفیل بار مورد نیاز برای بقیه ساعات روز استفاده کند. نکته قابل توجه این است که در تمام تنظیمات کنترلی باید تخمین درست و دقیقی از بار محل در دست باشد و تنظیمات با توجه به ویژگی های جزء به جزء پروفیل بار سرمایی انجام شود. در (Spethmann (1989 , 1993 و Mathur (1987 درباره الگوریتم ها پیچیده تر که پروفیل بار روز بعد را براساس دمای هوای محیط و ضریب هایی که از روی پروفیل های قبلی بار بدست آمده اند، پیش بینی می نماید، بحث می شود. این الگوریتم ها جهت به حداقل رساندن مصرف انرژی الکتریکی چیلرها بکار می روند.

2-5 تعامل مخزن با دستگاههای دیگر سیستم

دمای آب سرد توزیعی : یکی از پارامترهایی که باید تعیین گردد دمای آب سرد توزیع شده در سیستم لوله کشی می باشد . در جدول (2.3) محدوده معمول دماهای خروجی از مخزن برای مخزنهای مختلف مشخص شده است . در برخی آرایش ها می توان با قرار دادن چیلر بعد از مخزن دمای خروجی را باز هم از این مقدار کاهش داد.

Storage Medium	Typical Discharge Temperature Range
Ice	34 to 38°F (1 to 3°C)
Chilled Water	40 to 44°F (4 to 7°C)
Eutectic Salt	48 to 50°F (9 to 10°C)

جدول 2-3 - دمای معمول خروجی از انواع مختلف مخزن ذخیره

توجه : محدوده دمای ذکر شده بیانگر حداقل دمای ممکن با انتخاب مناسب سایز مخزن می باشد . دماهای بالاتر نیز می تواند در هر نوع از مخازن ذخیره بدست آیند.

محدوده داده شده برای نوع متداول نمک اوتکتیک است. فرمولاسیون های دیگر نمک اوتکتیک با دماهای خروجی $(5\text{ to }7^{\circ}\text{C})$ $41\text{ to }44^{\circ}\text{F}$ و همچنین $(-2\text{ to }-1^{\circ}\text{C})$ 28°F to 31°F و همچنین $(-11\text{ to }-9^{\circ}\text{C})$ $12\text{ to }15^{\circ}\text{F}$ نیز وجود دارند. پیش از این در بخش 1-3 راجع به مزایای کاهش دمای آب توزیعی صحبت شد.

در برخی موارد که سیستمهای دیگر ساختمان از جمله سیستم لوله کشی، کویل های هواسازها، پمپها و شیرهای برقی و دیگر تجهیزات برای دمای $(6\text{ to }8^{\circ}\text{C})$ $42\text{ to }46^{\circ}\text{F}$ طراحی شده اند، امکان دارد کاهش دمای توزیعی بدون اعمال تغییراتی میسر

نشود. برای مثال شیرهای کنترلی و کویل‌های سرمایی امکان دارد و با کاهش دما و در نتیجه کم شدن مقدار آب عبوری، بازده کافی نداشته باشند و احتیاج به اعمال تغییر و یا حتی تعویض داشته باشند و در صورتی که هزینه چنین تغییراتی بالا باشد، کاهش دمای خروجی بر اثر وجود مخزن ذخیره را نمی توان اعمال نمود.

دمای برگشتی سیال نیز از جمله پارامترهای مهم می باشد. بطور کلی توصیه می‌گردد که دمای آب یا سیال برگشتی تا حد امکان بالا باشد، تا هم بازده سیستم بالاتر باشد و هم از حداکثر ظرفیت تخلیه مخزن استفاده شود. اثر ویژه دمای آب برگشتی بر نرخ تخلیه مخزن در فصلهای بعد در مورد هر تکنولوژی مخزن، بطور جداگانه توضیح داده خواهد شد. سیستمهای مخزن ذخیره یخساز متداول با اختلاف دمای رفت و برگشت در حدود $20\text{ to }24^{\circ}\text{F}$ ($11\text{ to }13^{\circ}\text{C}$) کار می کنند که در مقایسه با سیستمهای بدون مخزن ذخیره که با اختلاف دمای رفت و برگشت در حدود $10\text{ to }16^{\circ}\text{F}$ ($6\text{ to }9^{\circ}\text{C}$) کار می کنند، مقدار بالاتری است. مخزنهای ذخیره "آب سرد" نیز با اختلاف دمای 20°F (11°C) یا بالاتر کار می کنند. در نتیجه بالاتر بودن این اختلاف نسبت به سیستمهای بدون مخزن، امکان کاهش مقدار دبی آب در گردش مورد نیاز را در حدود 40 تا 60 درصد می دهد و با توجه به کاهش سایز لوله کشی کل شبکه، اندازه پمپها و انرژی مصرفی پمپاژ باعث صرفه جویی زیادی خواهد گردید.

اختلاف دمای بالا بین سیال رفت و برگشت، توسط ظرفیت پمپاژ متغیر و شیر کنترلی دو راهه بروی کویلها و انتخاب صحیح کویلها بر طبق امکان پذیر است. شیرهای کنترلی باید تا جای ممکن طوری انتخاب شوند که در ترکیب با مشخصات انتقال حرارت کویلها بطور تقریبی یک نسبت خطی بین انتقال حرارت کویل، با هر دور کم یا زیاد کردن راه عبور جریان، ایجاد نمایند. در مورد شیرهای کنترلی در فصل 43 - ASHRAE Handbook – System and Equipment (1992) توضیح داده شده است. همچنین در انتخاب شیرهای کنترلی بهتر است که آنها را با اختلاف فشاری بیش از اختلاف فشار ماکزیمم موجود در مدار انتخاب نمود؛ زیرا در Tackett (1987) در مورد سیستم مخزن ذخیره ای توضیح داده شده که شیرهای کنترل در برابر اختلاف فشاری بیش از مقدار تخمین زده شده قرار گرفتند و در نتیجه قادر به بستن کامل مسیر جریان نبوده و در نتیجه باعث افزایش دبی جریان و کاهش دمای برگشتی می شدند.

توجه در یک سیستم مخزن ذخیره دمای برگشت بسیار مهم است و در صورت کاهش بیش از حد آن بعلا کاهش ΔT (اختلاف درجه حرارت مخزن و دمای برگشتی) نمی توان از ظرفیت مخزن بطور موثری استفاده نمود و در نتیجه سیستم همواره در جوابگویی بار محل ناتوان خواهد بود.

شیرهای سه راهه موتوری در صورتی که در سیستم بروی کویل‌های سرمایی موجود باشند باید به شیر دو راهه موتوری تبدیل گردند. برای بسیاری از شیرهای سه راهه کوچکتر از " $1\frac{1}{4}$ (32mm) قطر اسمی، فعال کننده و همچنین طراحی خود شیر امکان تبدیل شدن به شیر دو راهه را به راحتی با بستن راه واسطه (Bypass) می دهد. برای تعیین پایداری شیرهای هر نوع خاص در این وضعیت باید با سازنده آن مشورت شود.

دلیل اینکه ترجیح داده می شود که در یک سیستم مخزن ذخیره از شیر دو راهه بجای شیر سه راهه موتوری استفاده شود، این است که در شیرهای سه راهه موتوری، در زمانی که کویل مورد نظر به سرمایش احتیاج ندارد و یا بار سرمایی بسیار کمی بروی کویل است، این شیرجریان عبوری را بایپاس (Bypass) می نماید و بخصوص در مواردی که تعداد کویل‌هایی که این وضعیت را دارا می باشند نسبتاً زیاد باشد، کل جریان بطور پیوسته توسط پمپها به گردش خود در مدار ادامه می دهد و بتدریج بر اثر تلفات حرارتی باعث کاهش ذخیره مخزن می گردد و این در واقع با هدف اصلی اجرای مخزن ذخیره که بر پایه صرفه جویی است در تضاد می باشد. در صورتی که در شیر دو راهه با مسدود شدن جریان برخی کویلها، افت فشار کل مدار افزایش یافته و در نتیجه دبی پمپها نیز به همان نسبت کاهش می یابد و تلفات به حداقل ممکن خواهد رسید.

در مواردی که سیستم با اختلاف دمای رفت و برگشت بالا و در نتیجه دبی عبوری کمتر از کویلها طراحی می گردد، باید در انتخاب کویل دقت بیشتری انجام شود. تحقیقات سال 1993 نشان داده است که مدل کویل سرمایی که برای تخمین ظرفیت کویل در سرعت‌های پایین مورد استفاده سازندگان قرار می گیرد امکان دارد ظرفیت کویل را بالاتر از مقدار واقعی نشان دهد. (Mirth et al. (1993

این مدل برای تدوین استاندارد ARI جهت برآورد ظرفیت کویلها در سرعت‌های بیش از 1 ft/s یا 0.3 m/s استفاده می‌گردد؛ در صورتی که در سیستم‌های مخزن ذخیره بالا بودن اختلاف دما گاهی سرعت‌هایی کمتر از این مقدار طلب می‌نماید. در نتیجه هنگام انتخاب کویل برای چنین سرعت‌های پایینی باید امکان تغییر آرایش کویل [Double, Third, Quarter] را با دقت بیشتری بررسی نمود.

در توضیح بیشتر این مطلب باید گفت که کویل‌هایی که در صنعت تهویه مطبوع (HVAC) ساخته می‌شوند و جداول و داده‌های شرایط کاری آنها توسط سازنده ارائه می‌شود، معمولاً بر اساس اختلاف دمای ورود و خروج حدود 6°C یا 10°F طراحی گردیده‌اند و در این شرایط، میزان آب عبوری از آنها با توجه به ظرفیت کویل، مطابق استاندارد ARI بوده و سرعت عبور آب در آن بالاتر از 1 ft/s یا 0.3 m/s می‌باشد. مشکل زمانی بروز می‌کند که تصمیم گرفته شود چنین کویلی را با اختلاف دمای ورود و خروج بین 15 to 20°F (8 to 11°C) (که شرایط کاری مخزن است) با همان ظرفیت راه اندازی شود. در چنین مواردی دبی آب عبوری بطور قطع در محاسبات کمتر از مقدار قبلی بدست خواهد آمد و امکان دارد که در این حالت سرعت آب در عبور از کویل به زیر 1 ft/s (0.3 m/s) برسد و در این حالت نیز (بعلت آرام (Laminar) شدن جریان و کاهش ضرایب انتقال حرارت) میزان انتقال حرارت از کویل تغییر ناگهانی و محسوسی خواهد نمود و مطابق ظرفیت (Btu/hr) پیش بینی شده نخواهد بود. بنابراین در زمان انتخاب کویل در شرایط ذکر شده، یا از تغییر مداربندی (Circuiting) جهت افزایش دبی جریان استفاده می‌شود و یا از مغشوش کننده‌های جریان (Turbulator) که باعث افزایش ضریب انتقال حرارت قسمت آبی کویل می‌گردند، کمک گرفته می‌شود و یا از یک ضریب اطمینان در تخمین ظرفیت کویل استفاده می‌گردد. یکی از روش‌های در نظر گرفتن ظرفیت اضافی برای یک کویل این است که دمای ورودی به کویل حدود 2°F (1°C) بالاتر از مقدار واقعی (یا طراحی) آن در نظر گرفته شود و انتخاب کویل براساس آن انجام شود. در Mackie and Reeves (1988) در مورد انتخاب کویل و کنترل‌های آن در یک سیستم مخزن ذخیره "آب سرد" مطالبی به شرح زیر آمده است: (بیشتر مطالب در مورد مخازن ذخیره نوع دیگر نیز که از اختلاف دمای رفت و برگشت بالا استفاده می‌کنند کاربرد دارد)

در برخی موارد کاهش بیش از اندازه جریان آب عبوری از کویلها (و در مقابل افزایش سطح موثر کویل) ممکن است باعث بروز مشکلاتی گردد. کاهش دبی آب عبوری همراه با افزایش سطح موثر کویل البته حساسیت کویل و پاسخ دهی آن را نسبت به تغییر وضعیت شیر کنترلی افزایش می‌دهد اما درباره کاهش دبی آب عبوری باید کمی توضیح داده شود: در طراحی متعارف، هوای خروجی از کویل باید دارای ویژگی‌های خاصی باشد. شاید یکی از مهمترین آنها دمای آن است که می‌تواند بین 15 to 20°F (8 to 11°C) کمتر از دمای جاری محل (برای مثال 74°F (23°C)) باشد در نتیجه برای چنین محلی دمای 54 to 59°F (12 to 15°C) مناسب به نظر می‌رسد. در طرف دیگر یعنی طرف عبور آب، اختلاف دمایی معادل 10 to 14°F (6 to 8°C) بین آب ورودی و خروجی در نظر گرفته می‌شود که در این صورت دمای آب ورودی 42 to 43°F (6°C) خواهد گردید. همچنین سرعت هوا در عبور از کویل بطور معمول 450 تا 550 ft/min فوت بر دقیقه در نظر گرفته می‌شود و برای انتخاب کویل نیز سرعت عبور آب در حدود 2.5 to 3.5 ft/s (فوت بر ثانیه) در نظر گرفته می‌شود.

در مخازن ذخیره، افزایش دادن اختلاف دمای بین آب ورودی و خروجی با آرایش کویل (Circuiting) متداول بطوریکه طرح از محدوده طراحی متعارف و اقتصادی خارج نشود، باعث کم شدن دبی آب مورد نیاز و کاهش سرعت عبور آب به حدود 1 ft/s (0.3 m/s) خواهد گردید. در این حالت هنگامی که شیرهای کنترلی بر اثر کاهش بار، جریان عبوری را کاهش می‌دهند، سرعت عبور آب حتی به 0.2 to 0.3 ft/s (0.06 to 0.09 m/s) خواهد رسید. در نتیجه جریان در لوله‌ها (تیوب‌های) (tubes) موجود کویل، در ناحیه "جریان آرام" (Laminar) قرار خواهد گرفت. "آرام" (Laminar) شدن جریان باعث افت ناگهانی

و شدید در ظرفیت کویل می گردد و در نتیجه با افزایش دمای هوای خروجی، شیر کنترلی شروع به باز کردن راه جریان می نماید و دوباره با وارد شدن به ناحیه مغشوش (Turbulent)، انتقال حرارت بهبود یافته و دوباره فرمان کاهش دبی جریان برای شیر کنترلی صادر می گردد و در نتیجه حالت ناپایداری برای هوا و کویل ایجاد می گردد علاوه بر این اختلاف دمای آب رفت و برگشت نیز در جریان آرام (Laminar) کاهش زیادی می یابد. بنابراین، در طراحی و تعیین پارامترهای سیستم باید این موارد را در نظر گرفت. دو فاکتور دیگر که هماهنگی آنها در طراحی سیستم و داشتن اختلاف درجه حرارت پیش بینی شده بین آب رفت و برگشت ضرورت دارد، کنترل جریان آب کویل همراه با قابلیت تغییر میزان هوادهی سیستم (Variable air volume system) می باشد. وقتی که میزان هوادهی دستگاه کم می شود اختلاف درجه حرارت آب رفت و برگشت نیز بعلاوه کاهش انتقال حرارت کاهش می یابد، در نتیجه در چنین حالتی شیر کنترلی پایه در جریان آب عبوری از کویل را کاهش دهد تا میزان اختلاف درجه حرارت رفت و برگشت تغییر نکند. در چنین حالتی با آرام (Laminar) شدن جریان و کاهش انتقال حرارت دمای هوای خروجی بالا خواهد رفت و در نتیجه دوباره شیر کنترلی شروع به باز کردن راه عبور جریان می نماید و این ناپایداری ادامه می یابد. [مقصود این است که در سیستمهای هوادهی متغیر باید سعی شود طراحی سرعت آب عبوری از کویل طوری انجام شود که حتی در میزان هوادهی های پایین، با کم شدن دبی جریان، سرعت آب حتی الامکان به زیر 1 ft/s (0.3 m/s) نرسد. بنابراین در انتخاب کویل برای سیستم مخزن ذخیره چون اختلاف درجه حرارت بالا برای آب رفت و برگشتی مورد نظر است باید دقت کافی شود زیرا در صورت انتخاب کویلهای معمولی جهت ایجاد اختلاف درجه حرارت دلخواه به وسیله شیر کنترلی امکان دارد. بر اثر کاهش بیش از حد دبی آب عبوری جریان به حالت آرام (Laminar) تبدیل شده و ظرفیت کویل به مقدار قابل توجهی کاهش یابد و این باعث بوجود آمدن ناپایداری ذکر شده فوق خواهد گردد.] در نتیجه همواره باید با سازندگان کویل درباره شرایط و وضعیت پروژه مشورت نمود..

برخی سازندگان کویل ها را با مدار بندی های (Circuiting) مختلف تولید می کنند، تا بتوانند اختلاف درجه حرارت ورود و خروج را افزایش دهند. لذا در جریان انتخاب کویلها باید به هر دو طرف عبور آب و هوا توجه کافی نمود و برای دبی های مختلف آب و جریان های مختلف هوا آنها را بررسی نمود.

2-5-2 توزیع هوای سرد

دمای آب خروجی بسیار پایین از مخزن ذخیره امکان ایجاد اختلاف درجه حرارت بالا بین آب رفت و برگشت و همچنین امکان ایجاد دمای پایین را برای هوای تغذیه (Supply)، خواهد داد که فواید زیادی برای سیستم خواهد داشت. دمای پایین خروجی از مخزن $34 \text{ to } 38^\circ\text{F}$ ($1 \text{ to } 3^\circ\text{C}$) امکان ایجاد هوای تغذیه با دمای 42°F (6°C) را خواهد داد که در مقایسه با دمای متداول 55°F (13°C) کاهش قابل توجهی را نشان می دهد. در نتیجه فن ها و سیستم کانال کشی و هزینه های مربوط به آنها تا حد قابل توجهی کاهش می یابد همچنین مصرف انرژی فن در حدود 40٪ کمتر می گردد.

و در نگاهی وسیعتر مشاهده می شود که سیستم کانال کشی کوچکتر فاصله کمتری بین سقف و خودسازه ایجاد می نماید و در نتیجه مجموع تمام کاهش ارتفاع طبقات می تواند طبقه دیگری به ساختمان اضافه نماید بدون اینکه ارتفاع کل ساختمان بیشتر شود.

توزیع هوای سرد در محل هایی که دچار مشکل بار مورد نیاز و کمبود ظرفیت دستگاه های موجود می باشند، می تواند بدون عوض کردن سیستم کانال کشی و یا لوله کشی ظرفیت سیستم را افزایش دهد.

همچنین در مواردی که رطوبت بالای محیط باعث ایجاد شرایط غیرمطلوب می گردد [برای مثال شمال ایران] می توان با کاهش دمای تغذیه (Supply) باعث کمتر شدن رطوبت محیط مورد نظر شد. [هوای سردتر رطوبت کمتری می تواند با خود حمل کند.]

در اینجا به بحث جزئیات فواید طراحی سیستمها با هوای سرد پرداخته نشده است. برای اطلاعات بیشتر در این زمینه به منابع دیگری که نام آنها در قسمت معرفی منابع بیشتر (Bibliography) در انتهای همین فصل آمده، مراجعه شود.

2-5-3 ملاحظات پمپاژ

برخی سیستمهای مخزن ذخیره از مخزن باز استفاده می کنند که به فشار اتمسفر می باشد در حالیکه برخی دیگر بصورت مخزنهای تحت فشار (بسته) مورد استفاده قرار می گیرند.

در مخازن بسته و تحت فشار، میزان دبی مورد نیاز برای عبور از مخزن مشخص می شود و افت فشار آن توسط داده های ارائه شده توسط سازنده محاسبه می گردد.

در مخازن باز برای ایجاد فشار استاتیک دلخواه در مخزن و همچنین جلوگیری از سرریز کردن آن، کنترل فشار ضروری خواهد بود. بیشتر اوقات مخازن ذخیره در سطح زمین یا پایین تر قرار می گیرند. در برخی موارد نیز در پشت بام یا طبقات بالای ساختمان قرار داده می شوند. در یک سیستم سرمایش مرکزی، مخزن ممکن است در بالاترین نقطه نسبت به تمام سیستمهای توزیع قرار گیرد. هنگامی که سطح آب مخزن از سطح بالاترین نقطه شبکه توزیع بالاتر باشد، دیگر احتیاجی به کنترل فشار نخواهد بود. برای جدا کردن مخزن از سیستم لوله کشی می توان از یک مبدل حرارتی استفاده نمود. از فواید مبدل حرارتی این است که سیستم لوله کشی بصورت بسته باقی خواهد ماند و دیگر احتیاجی به عملیات لازم بروی آب، (Water Treatment) نخواهد بود. همچنین چون هوا در آب حل نخواهد شد، (بعلت بسته بودن سیستم لوله کشی) سیستم دچار خوردگی نخواهد شد. در غیر اینصورت، (اگر مخزن در بالاترین نقطه نسبت به تمام سیستمهای توزیع نباشد) باید سیستم لوله کشی را با یک شیر فشار شکن (Pressure Sustaining Valve) از مخزن جدا نمود.

اما در مقابل مبدل حرارتی باعث می گردد تا دمای خروجی حاصل شده از مخزن افزایش یابد و افزایش هزینه ها را نیز دنبال خواهد داشت. حتی ممکن است که مبدل حرارتی احتیاج به نصب یک پمپ اضافه ایجاد نماید.

در مخازن باز با پمپاژ مستقیم، یک شیر فشار شکن در راه برگشت به مخزن، درست قبل از آن قرار می گیرد تا آب بتواند در مخزن تخلیه گردد. یک شیر فشار شکن بطور خودکار به کمک یک سر تنظیم کننده. با عمل خفگی خود فشار قبل از شیر را در حد مشخصی نگه می دارد و نقطه تنظیم بطور متداول روی حداقل 5 PSI (37 kPa) یا بیشتر قرار می گیرد. (در بالاترین نقطه شبکه توزیع و تحت شرایط تمام بار)

یک شیر خفه کننده (مسدود کننده) اتوماتیک (Automatic Shut-off valve) باید بطور سری با شیر فشار شکن نصب گردد تا وقتی سیستم در حال کار نسبت اجازه عبور آب را ندهد.

در مورد شیرها می توان برای بدست آوردن ظرفیت های دلخواه دو شیر را بطور جداگانه نصب کرد و یا در مواردی که فشار استاتیک سیستم بالا است می توان دو شیر را بطور سری نصب نمود. این تمهیدات همچنین می توانند فشار دقیق تر و محدوده عمل گسترده تری ایجاد نمایند.

در پروژه های بزرگ و خاص می توان انرژی ناشی از پمپاژ را بجای هدر دادن در شیر فشار شکن، توسط یک توربین آبی بازیابی نمود.

در فصل 39 (1991) ASHRAE Handbook – Applications و همچنین در (1992) Mackie and Richard در مورد کاربرد و انتخاب شیرهای فشار شکن در پمپاژ مستقیم از مخازن باز، شرح داده شده است.

همچنین در (1988) Mackie and Reeves بحث مفصلی در مورد پمپاژ از یک مخزن باز همراه با مثال طراحی و محاسبات آن و مقایسه آن با روش استفاده از مبدل حرارتی وجود دارد.

در مخازن باز که در سطح زمین و یا پایین تر از آن هستند، فشار مثبت مکش مورد نیاز پمپ نیز باید مورد توجه قرار گیرد یک روش معمول این است که پمپ را در کنار مخزن و در قسمت پایین آن نصب می نمایند.

در مورد ایجاد فشار مثبت کافی در مکش پمپ در مخازن ذخیره باز در (1988) Mackie and Reeves توضیح داده شده است. افت فشار عبور آب از مخزن ذخیره معمولاً قابل توجه بوده و در طراحی سیستم باید در نظر گرفته شود. این افت فشار از داده های شرکت سازنده مخزن بدست می آید.

2-5-4 سیالات انتقال دهنده حرارت و اتیلن گلیکول

بسیاری از مخازن ذخیره از یک سیال ثانویه جهت انتقال حرارت بین چیلر و مخزن ذخیره استفاده می کنند. در برخی از مخازن ذخیره آب یا هر سیال دیگری که در چیلر خنک می گردد، به مخزن ذخیره رفته و آب یا سیال دیگری را که در سیستم لوله کش در حال گردش است خنک می نماید. اما در برخی دیگر همان سیالی که در چیلر خنک می گردد به مخزن رفته و پس از عبور از مخزن، به سیستم لوله کش وارد می شود. توضیح بیشتر این مطلب در توضیح جداگانه هر تکنولوژی مخزن ذخیره در فصلهای بعد خواهد آمد. متداول ترین سیالی که بتواند تا دمای زیر 32°F (0°C) نیز به حالت مایع باقی بماند و منجمد نشود، محلول آب و اتیلن گلیکول می باشد. محلول 25% آب و اتیلن گلیکول [25 درصد وزن مخلوط اتیلن گلیکول است.] در کاربردهای مخزن ذخیره بطور فراوان مورد استفاده قرار می گیرد. برخی از سیستمها نیز از درصدهای بالاتر استفاده می شود. ابتدا به توضیحاتی در مورد اتیلن گلیکول (Ethylene Glycol) پرداخته می شود.

ETHYLENE GLYCOL (Ethylene alchole ; glycol ; 1,2-ethane-diol)



اتیلن گلیکول: ساده ترین شکل خانواده گلیکول

ویژگی ها: شفاف، بدون رنگ، دارای مزه شیرین، غیر فرار، بی بو، حل شونده در آب، الکل و استن

Physical Properties of Ethylene Glycol and Propylene Glycol

Property	Ethylene Glycol	Propylene Glycol
Molecular weight	62.07	76.10
Ratio of mass to water at 68/68°F	1.1155	1.0381
Density at 68°F		
lb/ft ³	69.50	64.68
lb/gal	9.29	8.65
Boiling point, °F		
at 760 mm Hg	388	369
at 50 mm Hg	253	241
at 10 mm Hg	192	185
Vapor pressure at 68°F, mm Hg	0.05	0.07
Freezing point, °F	9.1	Sets to glass below -60°F
Viscosity, centipoise		
at 32°F	57.4	243
at 68°F	20.9	60.5
at 104°F	9.5	18.0
Refractive index n_D at 68°F	1.4319	1.4329
Specific heat at 68°F, Btu/lb·°F	0.561	0.593
Heat of fusion at 9.1°F, Btu/lb	80.5	—
Heat of vaporization at 1 atm, Btu/lb	364	296
Heat of combustion at 68°F, Btu/lb	8,280	10,312

در صنعت تهویه مطبوع و تبرید از مواد مختلفی جهت جلوگیری از یخ زدن آب استفاده می نمایند. از جمله مهمترین آنها دو ماده اتیلن گلیکول و پروپیلن گلیکول (Propylene Glycol) می باشد. در جدول 2-4 که برگرفته از فصل 20 از ASHRAE Handbook – Fundamentals (1997) می باشد، خصوصیات فیزیکی هر دو ماده ذکر شده است.

جهت مقایسه یادآوری می شود که ویسکوزیته آب در دمای 20°C ، 1.03 (CentiPoise) می باشد در حالیکه همانطور که در جدول 2-3 دیده می شود، ویسکوزیته اتیلن گلیکول خالص در دمای 20°C ، 20.9 (CentiPoise) می باشد. همچنین ظرفیت گرمای ویژه (Specific heat) آب در دمای 20°C ، 4.18 kJ/kgK می باشد، در حالیکه ظرفیت گرمای ویژه اتیلن گلیکول، همانطور که در جدول دیده می شود، 0.561 Btu/lb°F و یا 2.35 kJ/kgK می باشد.

جدول 2-4 مقایسه ویژگیهای اتیلن گلیکول و پروپیلن گلیکول [2]

بحث های انجام شده در این قسمت بیشتر مربوط به آب و اتیلن گلیکول می باشد، اما همین مطالب کم و بیش در مورد هر سیال ثانویه (Brine) دیگری نیز صدق می کند.

جدول دیگری نیز برگرفته از فصل 20 از ASHRAE Handbook – Fundamentals (1997) (جدول 4-2) برای مقایسه دمای انجماد درصد های مختلف آب و اتیلن گلیکول آورده شده است

Freezing and Boiling Points of Aqueous Solutions of Ethylene Glycol

Percent Ethylene Glycol		Freezing Point, °F	Boiling Point, °F at 14.6 psia	Percent Ethylene Glycol		Freezing Point, °F	Boiling Point, °F at 14.6 psia
By Mass	By Volume			By Mass	By Volume		
0.0	0.0	32.0	212	42.0	39.5	-11.7	222
5.0	4.4	29.4	213	43.0	40.5	-13.5	223
10.0	8.9	26.2	214	44.0	41.5	-15.5	223
15.0	13.6	22.2	215	45.0	42.5	-17.5	224
20.0	18.1	17.9	216	46.0	43.5	-19.8	224
21.0	19.2	16.8	216	47.0	44.5	-21.6	224
22.0	20.1	15.9	216	48.0	45.5	-23.9	224
23.0	21.0	14.9	217	49.0	46.6	-26.7	224
24.0	22.0	13.7	217	50.0	47.6	-28.9	225
25.0	22.9	12.7	218	51.0	48.6	-31.2	225
26.0	23.9	11.4	218	52.0	49.6	-33.6	225
27.0	24.8	10.4	218	53.0	50.6	-36.2	226
28.0	25.8	9.2	219	54.0	51.6	-38.8	226
29.0	26.7	8.0	219	55.0	52.7	-42.0	227
30.0	27.7	6.7	220	56.0	53.7	-44.7	227
31.0	28.7	5.4	220	57.0	54.7	-47.5	228
32.0	29.6	4.2	220	58.0	55.7	-50.0	228
33.0	30.6	2.9	220	59.0	56.8	-52.7	229
34.0	31.6	1.4	220	60.0	57.8	-54.9	230
35.0	32.6	-0.2	221	65.0	62.8	a	235
36.0	33.5	-1.5	221	70.0	68.3	a	242
37.0	34.5	-3.0	221	75.0	73.6	a	248
38.0	35.5	-4.5	221	80.0	78.9	-52.2	255
39.0	36.5	-6.4	221	85.0	84.3	-34.5	273
40.0	37.5	-8.1	222	90.0	89.7	-21.6	285
41.0	38.5	-9.8	222	95.0	95.0	-3.0	317

Freezing points are below -60°F.

جدول 4-2 مقایسه دمای انجماد و جوشش درصدهای مختلف محلول اتیلن گلیکول [2]

توجه: اتیلن گلیکول در صورت محلول بودن در آب، مخلوطی با دمای انجماد پایین ایجاد می نماید. برای مثال مخلوط 60 تا 70 درصد گلیکول (وزنی) نقطه انجماد -50°C خواهد داشت، در صورتیکه گلیکول خالص (100%) نقطه انجماد (-12.7°C) خواهد داشت.

در (1992) Gatley در مورد یک سیستم مخزن ذخیره سرمایی که از اتیلن گلیکول استفاده نموده است بطور کامل شرح داده شده و اثر اتیلن گلیکول به دبی های جریان، افت فشارها، بازده پمپ و انتقال حرارت و موارد دیگر بررسی شده است. در فصل 20 از ASHRAE Handbook – Fundamentals (1997) در مورد خواص اتیلن گلیکول و محلولهای متداول دیگر مانند پروپیلین گلیکول توضیح داده شده است و در فصل 12 از ASHRAE Handbook – Systems and equipment (1990) در مورد اثر محلول اتیلن گلیکول بر انتقال حرارت و بازده پمپاژ و افت فشارها بحث شده است. در (1990) Nussbaum نیز در مورد کاربردهای مختلف اتیلن گلیکول اطلاعاتی ارائه شده است. محلولهای اتیلن گلیکول نسبت به آب دارای چگالی بالاتر (وزن مخصوص اتیلن گلیکول در مقایسه با آب در دمای 20°C (1.1155) می باشد) و همچنین ویسکوزیته بیشتر و ظرفیت گرمای ویژه پایین تر و همینطور ضریب انتقال حرارت هدایتی پایین تر از آب خالص خواهند داشت. در مقایسه ویژگیهای آب با محلول اتیلن گلیکول به این نکته توجه شود برای نمونه ویسکوزیته محلول اتیلن گلیکول 20 برابر ویسکوزیته آب نیست؛ زیرا مقدار داده شده در جدول 2-3 برای اتیلن گلیکول خالص می باشد حال آنکه منظور از محلول اتیلن گلیکول، مخلوط آب و اتیلن گلیکول به نسبتهای حدود 70٪ آب و 30٪ اتیلن گلیکول و یا نسبتهای دیگر است. در واقع تمام این خصوصیات یک اثر منفی محسوب می شوند و باعث افزایش یافتن دبی جریان مورد نیاز، کاهش انتقال حرارت در جریان مبادله حرارتی و افزایش افت فشار در مسیر (نسبت به حالت آب خالص) می گردند..

اما این نکته نیز قابل ذکر است که وقتی محلول اتیلن گلیکول در سیستمی جایگزین می گردد که برای آب خالص طراحی شده است، این اثرات منفی می توانند با کاهش دمای رفت یا تغذیه (Supply) به میزان 2°F (1°C) مرتفع گردند. در سیستمها همواره باید مقایسه ای بین در نظر گرفتن محلول اتیلن گلیکول برای گردش در کل سیستم لوله کشی و یا در مقابل استفاده از یک مبدل حرارتی و جدا کردن مدار اتیلن گلیکول از آب در گردش در سیستم لوله کشی انجام گردد.

اثر کاهش انتقال حرارت، افزایش دبی و انرژی مورد نیاز پمپاژ و قیمت تمام شده مقدار زیادی اتیلن گلیکول باید با قیمت یک مبدل حرارتی و در کنار آن اضافه کردن پمپ برای مبدل و حتی هزینه کاهش مقدار حداقل دمای تغذیه جهت جبران افت ناشی از مبدل حرارتی مقایسه شود.

با اینکه هر پروژه ویژگیهای خاص خود را داراست اما با این وجود معمولاً از مبدلهای حرارتی در مواردی که پیک بار سرمایی بالاتر از 500 ton تن تبرید (1800 kW) داشته باشند استفاده می گردد در مواردی که پیک بار سرمایی زیر 200 ton تن تبرید (700 kW) می باشد، استفاده از اتیلن گلیکول در کل سیستم لوله کشی از نظر اقتصادی مقرون به صرفه تر می باشد. برای بار سرمایی بین 200 to 500 ton تن تبرید (700 to 1800 kW) تصمیم گیری در این مورد باید براساس شرایط ویژه پروژه تعیین گردد.

نکته بسیار مهمی که باید به آن توجه شود اینکه فقط اتیلن گلیکول نوع صنعتی نوع خنثی (Inhibited) که بطور خاص برای کاربردهای تهویه مطبوع و تبرید (HVAC & R) تهیه شده است، باید در سیستمهای مخزن ذخیره مورد استفاده قرار گیرد؛ زیرا این مخلوطها شامل افزودنیهای دیگری مانند مواد جلوگیری کننده از خوردگی مواد جلوگیری کننده از اسیدی شدن آب (Reserve Alkalinity) و مواد ضد کف کنندگی (Antifoam) می باشند. اتیلن گلیکول معمولی خاصیت خوردگی ای در حدود دو برابر آب در برابر فلزات استفاده شده در لوله کشی های انجام شده در HVAC، دارا می باشد. اتیلن گلیکول های که بعنوان ضد یخ در اتومبیل از آنها استفاده می شود، در سیستمهای HVAC می تواند ایجاد رسوب کرده و همچنین باعث از بین رفتن کاسه نمد (Seal) پمپها گردند و در نتیجه هرگز نباید در سیستمهای HVAC از آنها استفاده نمود (برای اطلاعات بیشتر به Nussbaum (1990) مراجعه شود).

میزان انبساط گلیکول نیز در محدود دمای کاری باید پیش بینی شده و برای آن یک مخزن انبساط در نظر گرفته شود. در مناطق سردسیر که مخازن ذخیره در بیرون از ساختمان واقع شده اند، دمای بخشهایی از سیستم حتی ممکن است تا 20°F (-7°C) کاهش پیدا کند. طراحی مخزن انبساط باید براساس حالت ماکزیمم تغییر دما و همچنین انبساط بر اثر تغییر فاز، انجام شود. در Denkmann (1985) در مورد محاسبه حجم لازم برای انبساط سیال، در حالیکه مایع به فاز کریستالی شدن وارد می شود بحث شده است.

محلول گلیکول باید در طول اولین سال کارکرد سیستم چند بار توسط آزمایشگاه مورد بررسی قرار گیرد. و با مقایسه نتیجه آزمایشگاه و توصیه های سازنده سیال باید از نظر درصد مواد ضد خوردگی (Corrosion Inhibitors) و ضد اسیدی شدن (Reserve Alkalinity) در حد دلخواه باشد.

2-5-5 باز یابی انرژی گرمایی (Heat Recovery)

در بسیاری از سیستمها، باز یابی انرژی در سیستمهای شامل مخزن بسیار اقتصادی تر از سیستمهای بدون مخزن ذخیره خواهد بود. خیلی از ساختمان های اداری بزرگ بار حرارتی قابل توجهی دارند که حتی در برخی روزهای زمستان در برخی ساعات احتیاج به خنک کردن محل خواهد بود و در مقابل در هنگام شب احتیاج به گرمایش محل می باشد.

یک مخزن ذخیره می تواند گرمای حاصل شده را در زمان مورد نیاز به محل بدهد و به نوعی برای استفاده بعدی نیز ذخیره سرمایی ایجاد کند. [در توضیح بیشتر این مطلب باید گفته شود که برای مثال یک مخزن ذخیره بزرگ آب سرد را در نظر بگیرید حتی در طول یک روز پاییز یا زمستان، یک ساختمان بزرگ اداری، احتیاج به سرمایش دارد. در نتیجه مخزن آب سرد موجود را به داخل کویلها فرستاده و محل را خنک می کند و در نتیجه آب مخزن گرم می شود در بعد از ظهر یا شب که هوای خارج سرد است دمای محل شروع به پایین آمدن می نماید و لذا در این حالت احتیاج به گرمایش ساختمان می باشد. در این زمان می توان از آب گرم موجود در مخزن برای گرم کردن محل استفاده نمود و در نتیجه آب دوباره سرد شده و برای استفاده روز بعد آماده میگردد.]

در موارد دیگر مانند مواردی که چیلر دارای 2 واحد کندانسور آبی (Water-cooled Condenser) می باشد (دارای دو تیوب شیت می باشد. (Double Bundle)) یکی از آنها به برج خنک کن متصل گردیده می توان دیگری را به سیستم لوله کشی آب گرم ساختمان متصل نمود در نتیجه آب گرم خروجی از کندانسور می تواند به مصرف گرمایش ساختمان برسد حتی می توان آنرا به کمک یک مبدل حرارتی از آب گرم در گردش جدا نمود.

[در سیستمهای دارای مخزن ذخیره که برای مثال چیلر در شب به کار می پردازد تا مخزن را برای روز بعد شارژ نماید، در این زمان در فصلهای پاییز، زمستان و یا بهار در شب ساختمان احتیاج به گرمایش پیدا می نماید و در نتیجه آب کندانسور می تواند بدین منظور مورد استفاده قرار می گیرد.]

اما این بازیابی گرما باعث ایجاد هزینه پمپاژ بیشتر و پایین آمدن بازده (COP) چیلر بعلت کار در دمای بالاتر کندانسینگ خواهد بود اما در مقابل در مواردی که گرمای بازیابی شده بجای گرمای ایجاد شده توسط انرژی الکتریکی جایگزین می گردد، مقادیر قابل توجهی صرفه جویی می گردد.

در مورد سیستمهای مخزن ذخیره که از بازیابی گرما (Heat Recovery) استفاده می کنند در (Hopkins and Schettler 1990) و (Tackett 1989) بحث شده است. در (Tackett 1987) در مورد یک مخزن ذخیره "آب سرد" بحث شده است که در آن دو یا چهار تانک در آن در فصل زمستان بعنوان مخزن ذخیره گرمایی و ذخیره آب گرم استفاده شده است. در (Leight and Elleson 1993) در مورد بازده یک سیستم با مخزن ذخیره سرمایی و همچنین بازیافت گرما بحث می شود که در آن آب گرم خروجی از کندانسور در یک کویل پیش گرم کن در هواسازها به گردش در می آید. در مواقعی که هوای بیرون در دمای مناسبی باشد نیز آب برج خنک کن جهت ایجاد سرمایش در این کویلها به گردش در می آید.

2-5-6 استفاده از اختلاف دمای شب و روز در صرفه جویی بیشتر انرژی

سیستمهای دارای مخزن ذخیره نسبت به سیستمهای بدون مخزن، می توانند به نحو موثرتری از سرمایش تبخیری استفاده کنند. در جایی که سیستم از گرمای آب کندانسور جهت گرمایش استفاده می کند همان سیستم لوله کشی می تواند برای به گردش درآوردن آب برج خنک کن در کویلها برای ایجاد سرمایش رایگان مورد استفاده قرار گیرد.

در (Leight and Elleson 1993) در مورد بازده چنین سیستمی شرح داده شده است چنین سیستمی با داشتن مخزن باعث می شود تا هم شب بتوان از بازیابی گرمای آب کندانسور جهت گرمایش استفاده نمود و هم در روز (که چیلر معمولاً خاموش است) در سیستمهای با مخزن (Full Storage) و یا با ظرفیت کم مشغول به کار است، آب برج خنک کن دارای دمای پایینی است (بعلت خاموش بودن چیلر) و برای ایجاد سرمایش مناسب می باشد.

در برخی موارد، برجهای خنک کن تا حدی آب را سرد می نمایند که می توان از آن حتی برای شارژ مخزن ذخیره استفاده نمود. بخصوص در قسمتهای جنوب غربی ایالات متحده، زمانهایی وجود دارد که دمای حباب مرطوب هوا (Wet-Bulb Temperature) در ساعات زیادی از طول شب بسیار پایین می باشد و در مقابل دمای حباب خشک هوا (Dry-Bulb Temperature) در طول ساعات روز به قدری بالا است که بار سرمایی قابل توجهی بر محل تحمیل می نماید. در تکنولوژی های مخزن ذخیره که سرمایش را در دمای بالا ذخیره می نمایند، مانند مخزن ذخیره آب سرد و برخی مخازن نمک اوتکتیک که در دمای 47°F (8°C) منجمد می شوند، سرمایش تبخیری برج خنک کن در شب می تواند جهت استفاده های بعدی در طول روز در مخزن ذخیره می گردد.

Elleson et al. در سال 1993 بازدهی چنین سیستمی را با نمک اوتکتیک در آریزونا آمریکا بررسی نمود. در این سیستم ویژه، بار سرمایی مورد نیاز در شب آنقدر زیاد بود که تمام بار سرمایی تبخیری ایجاد شده توسط برجهای خنک کن را مصرف می نمود و فقط مقدار کمی از آن برای روز بعد ذخیره می گردید. البته توجه به این نکته لازم است که در صورتی که از این سیستم استفاده نشود، در تمام طول شب باید کمپرسورها برای جواب دادن بار سرمایی در شب کار کنند که این بمعنای مصرف برق زیادتری نسبت به حالتی است که فقط فن های برج خنک کن در حال کارند. (سرمایش تبخیری بجای سرمایش تراکمی در شب) بهر حال با بهینه سازی این روش و استفاده از برج خنک کن مناسب تر می توان در مصرف انرژی مقدار زیادی صرفه جویی نمود.

2-5-7 کاربرد تانک ذخیره بعنوان منبع آب اطفا حریق

در صورتی که از آب بعنوان سیال کاری مخزن ذخیره استفاده شود می توان با اضافه کردن تجهیزاتی آنرا به منبع آبی برای اطفا حریق در مواقع آتش سوزی تبدیل نمود. البته در (Slabodkin (1992) ، در مورد اینکه چگونه یک منبع یخ را هم به منبعی جهت اطفا حریق بدل کند، توضیح کامل می دهد. . طراحی و راه اندازی و تست مخزن ذخیره اطفا حریق در استاندارد ANSI/NFPA Standard 22 مشخص گردیده است.

2-6 تعیین سائز مخزن ذخیره

برای تعیین سائز مخزن ذخیره اطلاعات کافی از بازده چیلر و مخزن ذخیره در هر ساعت مشخصی از روز مورد نیاز است. فرمولهایی برای تعیین تقریبی اندازه مخزن ذخیره و چیلر مورد نظر موجود است. با اینکه این فرمولها در تقریب اولیه اندازه سیستم و تعیین اجزای مورد نیاز سیستم مفید می باشند، به هیچ وجه نباید از آنها در تعیین نهایی اندازه سیستم استفاده نمود؛ بلکه تنها با داشتن دقیق بازده و نقطه کاری چیلر در هر ساعت مشخص از روز می توان اندازه صحیحی برای سیستم تعیین نمود. مراحل اصلی در تعیین اندازه یک مخزن ذخیره عبارتند از:

1- تعیین پروفیل بار سرمایی در نظر گرفته شده برای روز طراحی محل مورد نظر در هر ساعت از روز

2- تعیین استراتژی کاری مورد نظر (Full Storage or Partial Storage or ...)

3- تعیین اندازه چیلر و همچنین مخزن ذخیره مورد نیاز

4- انتخاب یکی از روشهای ذخیره سازی (بعدا مفصلا توضیح داده خواهد شد).

5- تصحیح و انتخاب نهایی چیلر، مخزن ذخیره و وسایل و تجهیزات مورد نیاز

اولین گام در تعیین سائز چیلر و مخزن مورد نیاز پروژه، تعیین دقیق پروفیل بار مورد نیاز برای پروژه مورد نظر می باشد که در بخش 1-2 در مورد آن صحبت شد. بعد از تعیین پروفیل بار ساعت به ساعت پروژه مورد نظر، با توجه اولویت های پروژه از جمله توجه به پایین شدن قیمت اولیه تجهیزات، اهمیت هزینه های انرژی مصرفی بلند مدت، چگونگی تعرفه های انرژی الکتریکی و سایر موارد نوبت به تعیین استراتژی کاری خواهد رسید. پس از انتخاب یک استراتژی کاری بعنوان اولین انتخاب، نوبت به تعیین سائز تجهیزات مورد نیاز برای آن می باشد.

در ابتدا به کمک روش تقریبی، یک اندازه اولیه برای چیلر و مخزن ذخیره محاسبه می گردد. به این ترتیب که با داشتن مقدار کل تن-ساعت (ton-hour) مورد نیاز و ساعت های قابل استفاده برای شارژ مخزن، با یک سری محاسبات ساده، می توان سائز حدودی چیلر و مخزن مورد نیاز را بدست آورد. این سائز تخمینی بدست آمده، به طراح کمک می نماید که با مقایسه استراتژی های مختلف کاری و بدست آوردن سائز چیلر و مخزن در هر استراتژی خاص، مقایسه ارزشمندی در برآورد هزینه اولیه پروژه در حالت های مختلف نموده و در صورت نیاز استراتژی کاری و یا برنامه زمان بندی را تغییر داده و یا اصلاح نماید.

در تعیین اندازه چیلر و مخزن ذخیره، از داده ها و جدولهای ارائه شده توسط شرکت های سازنده این محصولات، استفاده می گردد. توجه به این نکته ضروری است که تولید کننده یک مخزن ذخیره با فرض اینکه چیلر مورد نظر کارآیی و بازدهی لازم را خواهد داشت، ظرفیت مخزن ذخیره خود را اعلام می کند و همچنین تولید کننده چیلر هم معمولا بدون توجه به مخزن ذخیره ای که بعدا انتخاب می گردد ظرفیت دستگاه خود را بیان می نماید و در واقع این وظیفه مهندس طراح است که ظرفیت نهایی سیستم

که از چیلر، تانک ذخیره، پمپها و مدار لوله کشی و اجزا کنترلی تشکیل شده را طوری انتخاب و تنظیم نماید تا جوابگویی بار سرمایی مورد نظر باشند.

به بیان دیگر پارامترها و مشخصات ورودی و خروجی چیلر روی پارامترهای ورودی و خروجی مخزن ذخیره اثر می گذراند و برعکس. بنابراین هنگامی که یک مجموعه بعنوان اولین انتخاب تعیین گردید، لازم است که کارآیی سیستم را با اجرا کردن پروفیل بار مورد نظر بروی آن بصورت ساعت به ساعت آنالیز نمود. در نتیجه این بررسی ممکن است که تصمیم به افزایش یا کاهش ظرفیت چیلر و یا مخزن ذخیره گرفته شود و آنالیز مجددا انجام شود. این نکته واضح است که تغییر ظرفیت هر کدام از آنها تاثیر کاملا محسوسی روی ظرفیت دیگری خواهد داشت. معمولا پس از چند سعی و خطا و بهترین حالت بدست خواهد آمد. توجه به این نکته ضروری است که قسمت آنالیز ساعت به ساعت و سعی و خطا نباید با بی دقتی انجام گیرد؛ زیرا در صورت اشتباه در این مرحله تمامی زحماتی که برای اجرای طرح کشیده شده هدر می رود. بهرحال ارزش این سیستم این است که علاوه بر پوشش دادن بار سرمایی مورد نظر در مصرف انرژی و هزینه های آتی نیز صرفه جویی نماید و حال اگر هدف اصلی که پوشش دادن بار سرمایی مورد نظرات از دست برآورده شدن اهداف فرعی، توجه چندانی به خود جلب نخواهد نمود و اعتبار و ارزش پروژه بسیار لطمه خواهد دید. در مقابل در صورتی که برآورد ظرفیت چیلر و مخزن ذخیره بالاتر از حد نیاز باشد، هزینه اضافی به مشتری تحمیل شده است.

2-7 بررسی اقتصادی طرح

بررسی کامل اقتصادی یک طرح مخزن ذخیره شامل دو بخش عمده هزینه تجهیزات اولیه و هزینه جاری می باشد. این آنالیز باید شامل مقایسه ای بین انواع انتخابهای مختلف بز نوع تکنولوژی مورد استفاده در مخزن ذخیره تا حتی بررسی سیستم بدون استفاده از مخزن ذخیره باشد. چند مورد زیر جزو موارد اصلی مورد بررسی می باشند:

الف) بررسی قیمت تمام شده تجهیزات

معمولا سنگین ترین هزینه سیستم مربوط به چیلر و تانک ذخیره می باشد. بعد از این دو می توان به پمپها، سیستم لوله کشی، مبدل‌های حرارتی و اجزاء کنترلی اشاره نمود.

در اکثر موارد در بررسی قیمت تمام شده تجهیزات، مقایسه ای بین دو حالت طراحی سیستم با مخزن ذخیره و بدون آن انجام می گیرد. اما در خیلی از موارد قسمت کمی از هزینه اولیه اضافی که باید برای مخزن ذخیره و تجهیزات جانبی آن صرف شود توسط کوچکتر کردن سایز چیلر و احیانا لوله کشی و پمپها تامین می شود و بقیه این سرمایه با مصرف انرژی کمتر در طول مدت کاری چیلر بازیافت می گردد. البته در خیلی از موارد نیز هزینه راه اندازی یک سیستم با مخزن ذخیره، بعلاوه کوچک شدن سایز تجهیزات و دستگاههای خریداری شده، کمتر از هزینه راه اندازی همان سیستم بدون مخزن ذخیره گردیده است. معمولا در موارد زیر استفاده از مخزن ذخیره، باعث کمتر شدن هزینه اولیه تجهیزات نسبت به حالت بدون مخزن ذخیره خواهد شد.

+ در مواردی که یک سیستم در حال حاضر موجود می باشد، اما جوابگویی بار سرمایی مورد نظر نیست. در این موارد اضافه کردن یک مخزن ذخیره خیلی ارزانتر از خرید یک چیلر اضافه تمام خواهد شد.

+ در محلهایی مانند سینما، استادیوم ورزشی (سرپوشیده)، مساجد، سالنهای کنفرانس بزرگ و ... که پیک بار خیلی بیش از بار متوسط می باشد.

+ در مواردی که تجهیزات برودتی مثل چیلر محصولی وارداتی یا کمیاب باشد و یا قیمت آن بسیار بالا باشد.

+ در برخی موارد با اضافه کردن یک مخزن ذخیره و استفاده از آب توزیع شده سردتر در کویلها دمای هوای خروجی کاهش یافته و در نتیجه به سرعت و دبی حجمی زیاد هوا احتیاج نخواهد بود. در بسیاری از موارد که کانال کشی قبلاً انجام شده و اکنون امکان بزرگ کردن کانالها وجود ندارد، با این روش می توان بار مورد نظر را بطور کامل پوشش داد. در غیر اینصورت هزینه تعویض کانال های ساختمان بسیار بالا (و در برخی موارد غیر ممکن) خواهد بود. در خیلی از موارد هنگام گسترش برخی بناها نظیر کتابخانه ها، بیمارستانها و ... این مشکل وجود داشته و امکان تعویض کانالهای ساخته شده باسانی ممکن نبوده است. همچنین در این گونه موارد می توان از فن های کوچکتر استفاده نمود که علاوه بر قیمت اولیه کمتر مصرف برق کمتری نیز در طول کارکرد خواهند داشت. بعلاوه در مواردی دیده شده که بر اثر کوچک بودن سیستم کانال، سرعت و دبی زیاد هوای عبوری، باعث ایجاد جریانی مغشوش در داخل کانال، باعث ایجاد سر و صدای بیش از حد استاندارد در محل گردیده و برای ساکنین و در برخی موارد حتی برای بیمارها در بیمارستان تولید مزاحمت می نماید. در این حالت کم کردن سرعت هوا نیز باعث عدم توانایی در جوابگویی بار سرمایی محل خواهد گردید لذا بهترین راه اضافه کردن یک مخزن ذخیره برای پایین آوردن دمای سیال خنک کننده در کویلها می باشد. .
برای مطالب بیشتر در این زمینه به Mackie and Reeves (1988) رجوع شود.

ب) بررسی قیمت برق مصرفی

در ایران واگذاری کنتورهای دو تعرفه ای و سه تعرفه ای مدتی است که آغاز گردیده و در نتیجه امکان استفاده از انرژی الکتریکی ارزان قیمت را در ساعت هایی که مصرف کم است (ساعات کم باری) امکان پذیر نموده است. بنابراین در صورتی که از کنتور دو یا سه تعرفه ای استفاده شود با یک برنامه زمان بندی مناسب در سیستمهای با مخزن ذخیره می توان هزینه های مصرف برق چیلر را که یکی از موارد عمده مصرف برق ساختمان یا موارد صنعتی محسوب می شود را کاهش داد. بدین معنی که کمپرسورها در مواقعی که قیمت مصرف برق کم است به شارژ کردن مخزن ذخیره می پردازند و ساعات دیگر یا خاموش می باشند و یا مثلاً از 3 کمپرسور یکی از آنها مشغول به کار است. توجه به این نکته ضروری است که در انتخاب اندازه چیلر و مخزن ذخیره باید به قیمت مصرف انرژی در ساعتهای مختلف توجه نمود. در واقع سعی طراح بر این است که اندازه چیلر و مخزن ذخیره را طوری انتخاب نماید که ساعات شارژ مخزن ذخیره بر ساعتهایی منطبق باشد که قیمت مصرف برق در آنها پایین است. مثلاً فرض می شود که فقط یک بازه 7 ساعته قیمت مصرف برق پایین می باشد (1 شب تا 6 صبح) پس بنابراین با در نظر گرفتن یک مخزن ذخیره روزانه با استراتژی تمام مخزن (Full Storage)، فقط 7 ساعت وقت وجود دارد تا بتوان تانک ذخیره را شارژ نمود و بخصوص در برخی موارد صنعتی اگر این مدت در ساعاتی قرار گرفته باشند که بار سرمایی مورد نیاز، بالا است. به یک چیلر و مخزن ذخیره بزرگ نیاز خواهد بود. پس همانطور گفته شده انتخاب چیلر و مخزن ذخیره نمی تواند از قیمت انرژی مصرفی مستقل باشد.

ج) هزینه های مربوط به بازدهی و کارکرد سیستم

برخی اوقات مطرح می شود که سیستمهایی با مخزن ذخیره درست که از نظر قیمت مصرف انرژی، هزینه کمتری صرف می کنند (مصرف در ساعات غیرپیک) اما مقدار مصرف آنان در مقایسه با یک سیستم بدون مخزن ذخیره بیشتر می باشد و در واقع کنترل کردن و هماهنگ کردن چند سیستم با یکدیگر باعث پایین تر آمدن بازده کل سیستم خواهد شد (رجوع شود به Merten et al. 1989 و Sohn (1991) مبنای مقایسه در این بحث براساس مقدار انرژی مصرفی چیلر بوده است. (kW) اگر چه مطالعات دیگری نیز وجود دارند که نشان می دهند که یک سیستم با مخزن ذخیره به همان اندازه و یا کمتر از یک سیستم معمولی انرژی مصرف می کند. برای مثال در سال Fiorino 1993 یک سیستم با مخزن ذخیره را مطرح می کند که در مقایسه با یک سیستم بدون مخزن ذخیره 12% انرژی کمتری مصرف می نماید. این مصرف کمتر، باعث کارکردن چیلر با بازده بالاتر [برای مثال در صورت کارکردن در شب با اختلاف دمای منبع سرد و گرم کمتر و یا تمام بار کارکردن کمپرسور در مقایسه با نیم بار کارکردن آن] در حالت تمام بار کارکردن بازده کمپرسور بالاتر است

همچنین بعلت پایین آمدن مصرف انرژی پمپاژ و عوامل دیگر بوده است. همچنین در سال Leight and Elleson 1993 یک سیستم با یک مخزن ذخیره یخ را مطرح می نماید که در کل انرژی کمتری از مدل بدون مخزن ذخیره مصرف می نماید. البته در این طرح مصرف انرژی خود چیلر به تنهایی افزایش یافته بود، اما این کاهش مصرف انرژی بعلت کاهش اندازه پمپها و برج خنک کن و استفاده از مخزن ذخیره آب سرد کمکی (آب سرد شده توسط برج خنک کن در شب به کمک سرمایه‌ش تبخیری) ایجاد شده بود.

مصرف انرژی چیلرها اغلب با کاهش یافتن دمای مکش به این علت کاهش می یابد که بازده چیلر در این نقطه کاری پایین تر می باشد بنابراین اینکه چیلر در حالت با مخزن ذخیره انرژی بیشتری نسبت به حالت کارکرد تنها مصرف می کنند اجتناب ناپذیر است اما همانطور که قبلا ذکر شد قیمت تمام شده مصرف انرژی پایین تر خواهد بود. بنابراین در مورد مخزن ذخیره یخ باید این نکته منفی یعنی مصرف انرژی بیشتر را دقیقا مورد بررسی قرار داد در حالی که دو روش دیگر یعنی مخزن ذخیره آب و یا نمک اوتکتیک این اشکال را ندارند.

در نقطه مقابل سیستمهای با مخزن ذخیره چون اکثرا در شب کار می کنند، از دمای کنواسینگ پایین تری بهره می برند که این باعث کمتر شدن مصرف انرژی خواهد شد در نهایت برای تعیین اینکه کدام روش در کدام حالت بهترین است باید بررسی دقیق موردی انجام شود.

توجه به این نکته نیز ضروری است که در چیلرهای آبی (چیلر با کندانسور آبی (Water-cooled Condenser)) معمولا هر سازنده یک حداقل دمایی برای آب وارد شونده به کندانسور (که از برج خنک کن آمده است) تعیین می نماید. در یک سیستم که درست راه اندازی شده معمولا برج های خنک کن مجهز به یک کنترلرگ هستند تا دمای آب احیانا در شب پایین تر از حد تعیین شده نیاید.

تغییرات بازده معمولا برای چیلرهای با کندانسور هوایی (Air-cooled Condenser) بیش از تغییرات بازده چیلرهای با کندانسور آبی در مقایسه بین شب و روز است؛ زیرا درجه حرارت خشک (Dry-Bulb Temperature) در روز و شب اختلاف زیادی با هم دارند اما درجه حرارت مرطوب که مبنای کار برج های خنک کن چیلر با کندانسور آبی است در شب و روز تفاوت چندانی نخواهد کرد.

اگر سیستم به خوبی طراحی شده باشد تلفات در آن در حدود 1 تا 5 درصد کل ظرفیت مخزن ذخیره در یک روز می باشد در سیستم مخزن ذخیره فاکتور دیگری که به کاهش دادن کل مصرف انرژی کمک می کند، کمتر بودن انرژی مورد نیاز برای توزیع سیال می باشد. با مخزن ذخیره چون اختلاف درجه حرارت آب وارد شونده به سیستم و خارج شونده از آن بجای 10°F (6°C) در سیستم بدون مخزن ذخیره به 20°F (11°C) افزایش پیدا نموده است (حتی برخی موارد 30°F (17°C) هم مورد استفاده قرار گرفته است) در نتیجه با کمتر شدن حجم آب مورد نیاز برای چرخش در سیستم انرژی مورد نیاز پمپاژ، به نصف و حتی کمتر تبدیل می گردد.

2-8 عملیات لازم بر روی آب و سیستم

عملیات لازم بروی سیستم برای جلوگیری از خوردگی برای سیستم های با مخزن ذخیره و یا بدون آن، تفاوتی نمی کند. تنها فرق آن این می باشد که در حالت با مخزن ذخیره معمولا بروی حجم آب بیشتری باید عملیات مورد نظر انجام گیرد. در فصل 43 از ASHRAE Handbook – Applications 1991 بطور مفصل راجع به عملیات لازم بروی آب بحث شده است. همینطور Ahlgren (1987) بطور مشخص راجع به عملیات لازم بروی آب برای سیستم های با مخزن ذخیره بحث می نماید. همینطور در آن فصلی راجع به تجربه های انجام شده بروی تعدادی از سیستمهای با مخزن ذخیره وجود دارد. همینطور شرکت های شیمیایی مختلفی بروی این عملیات کار می کنند و دارای تجربه می باشند..

معمولا برای راه اندازی موفقیت آمیز یک سیستم با آب تمیز مقدماتی لازم می باشد :

1- پروسه ای برای تمیز نمودن کل سیستم

2- عملیات شیمیایی برای جلوگیری از خوردگی، رسوب گیری، پوسته شدن

3- عملیات اضافی برای سیستمهایی که از گلیکول یا سیال مبرد دیگری استفاده می کنند..

+ تمیز نمودن سیستم

هر چند که راه اندازی یک سیستم کاملا تمیز شده تضمینی برای سالم ماندن آن تلقی نمی گردد، اما یک سیستم تمیز شده در طول کار به مشکلات به مراتب کمتری دچار خواهد شد.

باید به این نکته نیز توجه شود که آبی که هرگونه ناخالصی داشته باشد و یا حاوی مواد پاک کننده و ضد عفونی کننده و یا جرم گیر باشد باید بطور کامل از سیستم تخلیه گردد. (Ahlgren (1987 لیست گامهای اصلی را که برای تمیز کردن یک سیستم باید برداشته شود، شرح می دهد :

1) تمام اجرام خارجی تکه های فلز و براده ها و همچنین خاک و غبار را از داخل مخزنها و سیستم لوله کشی خارج کنید. همچنین تکه های براده فلز یا انتهای مقطع جوش کاری شده ای را که برای مثال یک تکه فلز بصورت شل به آن چسبیده نیز فراموش نکنید. تمام این تکه های شل بعدا ممکن است جدا گردند و به سیستم آسیب برسانند.

2) در دور اول سیستم را آب گیری کرده و آب را از طرف دیگر به فاضلاب خارج کنید تا تمام گرد و غبار و اجرام اضافی درون سیستم را با خود خارج کند.

3) بعد از پایان مرحله قبلی، سیستم را با آب تمیز پر نمایید.. سپس تمام شیرهای سیستم را باز نموده و پمپها را با حداکثر توان به کار اندازید تا آب با حداکثر سرعت داخل لوله ها به گردش درآید..

4) در این مرحله مواد شیمیایی لازم را به آب در حال گردش اضافه کنید. این مواد معمولا مخلوطی از پاک کننده های آلکالین، مواد نفوذ دهنده (موادی مانند ریکا که کنش سطحی آب را کم می کنند تا آب به تمام سطح های ناهموار فلز نفوذ کند) و مواد حلال (که ناخالصی ها را در خود حل می کند)..، می باشند. به این نکته توجه کنید که این مواد کاملا در آب بصورت محلول درآیند تا در زانوها و گوشه و کنار سیستم ته نشین نشوند.

5) اجازه دهید تا به مقدار زمان تعیین شده آب در حال گردش باشد این زمان بسته به نوع مواد شیمیایی مورد مصرف از 8 تا 24 ساعت متفاوت می باشد که توسط تهیه کننده این مواد تعیین می گردد.. در طول این مدت فیلترها را چک کنید تا به وسیله رسوب مسدود نشوند..

6) بعد از طی شدن زمان تعیین شده بدون اینکه پمپها را خاموش کنید، خروبی را در پایین ترین نقطه سیستم بطور کامل باز کنید تا محلول پاک کننده با سرعت هر چه بیشتر خارج شود. این حالت از ته نشین شدن ذرات جامد در نقاط حساس سیستم جلوگیری می نماید.

7) هنگامی که از تخلیه کامل سیستم مطمئن شدید، سیستم را با آب تمیز پر کنید و اجازه دهید آب مدتی گردش نماید اگر متوجه شدید که هنوز ذرات یا آلودگیهایی در سیستم وجود دارد دوباره به مرحله 4 برگشته و پروسه را تکرار کنید.

8) آبی را که در مرحله قبل در سیستم پر کرده اید تخلیه کنید و آب تمیز به سیستم اضافه کنید تا ناخالصیهای حاصل از باقیمانده مواد شیمیایی را بیرون ببرد..

9) بعد از اینکه دیگر اثری از مواد پاک کننده به چشم نخورد سیستم را با آب تمیز و تازه (حتی الامکان آب سخت با آب با املاح بالا نباشد) پر نمایید..

10) حالا سیستم تمیز می باشد؛ اما هنوز یک سیستم محافظت نشده است. برای اینکه یک لایه نازک محافظ روی سطح داخلی لوله ها بگسترانید، مراحل مربوط به آن را اجرا نمایید. در واقع تمیز کردن مطابق مراحل بالا هر گونه لایه محافظ را از سطح فلز برداشته و اکنون فلزات در معرض خوردگی قرار دارند؛ لذا لازم است که بسرعت مراحل انجام عملیات لازم بروی آب نیز که در ادامه گفته خواهد شد انجام شود. بخصوص در مواردی که مدت

زیادگی بین تمیز کردن سیستم و شروع بهره‌برداری از آن فاصله است، در صورت انجام ندادن مراحل زیر، امکان دارد رسوب گیری و خوردگی باعث ایجاد مشکلاتی گردد.

+ عملیات شیمیایی بروی آب

خوردگی، رشد عوامل باکتریایی، رسوب گیری، و جرم گیری از جمله اتفاقاتی است که می توان جلوی آنها را با راه اندازی یک سیستم تمیز شده و اضافه کردن مواد شیمیایی لازم به آب گرفت. در صورتی که سیستم بطور صحیح و کامل تمیز شده باشد و یا کیفیت آب مصرفی خوب باشد، سیستم به مقدار کمی از مواد شیمیایی افزودنی نیازمند است و حتی در برخی موارد بدون آنها نیز بخوبی کار می کند.

خوردگی: مرمت کردن خوردگی چه بصورت کلی روی یک سطح بزرگ اتفاق بیفتد و چه بصورت تکه هایی با مساحت کم در برخی از جاهای خاص ایجاد شود کاری هزینه بر و بسیار مشکل است. مواد شیمیایی ویژه ای وجود دارند تا امکان رخ دادن خوردگی را کاهش دهند. برخی مواد از راه کاهش دادن خاصیت اسیدی آب و یا کاهش میزان اکسیژن محلول در آن این کار را انجام می دهند در حالیکه گروهی دیگر لایه ای محافظ روی سطوح فلز ایجاد نمایند.

رشد باکتریایی یا گندیدگی آب: حتی در درجه حرارت های پایین که مخزن های ذخیره در آن محدوده کار می کنند، امکان رشد عوامل باکتریایی که باعث بد بو شدن آب می گردند، در سیستم وجود دارد. تنها راه جلوگیری از این پدیده ضد عفونی کردن اولیه سیستم در هنگام راه اندازی می باشد. بعد از راه اندازی معمولاً در موارد نادری به اضافه کردن مواد شیمیایی به آب در گردش نیاز خواهد بود.

رسوب گیری و جرم گیری: جزء مواردی هستند که بازده سیستم را به شدت کاهش می دهند. برای جلوگیری از جرم گیری سیستم را در هنگام راه اندازی باید با آب نرم (آب غیر سخت) یکبار آب گیری کرده و سپس تخلیه کنید. با این عمل آب مواد زائد را که باعث ایجاد رسوب (Scaling) می شود را از سیستم خارج می کند. برای جلوگیری از (رسوب گیری و ته نشین شدن مواد زائد، آب را قبل از ورود به سیستم از فیلتر عبور دهید و یا از روش دیگری مانند اضافه کردن مواد شیمیایی که از چسبیدن مواد خارجی به نقاط مختلف سیستم جلوگیری می کنند، استفاده نمایید.

مواردی که در بالا به آن اشاره گردید مخزن های ذخیره سرد بودند. برای مخزن های ذخیره که از آنها هم بعنوان مخزن سرد (در تابستان) و هم بعنوان مخزن گرم (در زمستان) استفاده می گردد، باید دو نوع عملیات مختلف روی آب انجام گردد. بخصوص که در سیستم گرم مقدار رشد عوامل باکتریایی بیشتر خواهد بود. (Ahlgren (1987 در مورد این موارد بصورت کامل بحث می نماید. **توجه:** عملیات لازم برای اجرا روی سیستم هایی که بجای آب از محلول آب و اتیلن گلیکول یا سیال دیگری بعنوان سیال در گردش استفاده می نمایند، کمی متفاوت می باشد. در مورد اتیلن گلیکول این نکته قابل ذکر است که همان طور که قبلاً هم گفته شد، این ماده باید نوع مخصص قابل استفاده و در صنایع HVAC باشد در غیر اینصورت اتیلن گلیکول معمولی (بدون مواد افزوده) در کنار هوا خاصیت خوردگی بسیار شدیدی پیدا خواهد نمود و همچنین باعث ایجاد کف و مشکلات عدیده دیگری در سیستم می گردد. همچنین این سیستمها باید در سال اول راه اندازی هر سه ماه یکبار از نظر غلظت محلول و غلظت مواد افزوده اندازه گیری و کنترل شوند و در سالهای بعد هر سال یکبار کنترل کافی است..

2-9 راه اندازی (مشاوره) و نظارت مهندسی (Comissioning)

راه اندازی یا اجرای نهایی یا مشاوره یا نظارت یا Comissioning در واقع فرایندی است که اجزای یک سیستم HVAC را بعنوان جزئی از یک مجموعه کلی در نظر گرفته، که هدف نهایی آن برآورده کردن اهداف اولیه طراحی مجموعه است. گاهی (Comissioning) فقط در موارد طراحی و یا تست کردن سیستمها در نظر گرفته می شود در حالی که (Comissioning) کامل بعنوان قسمتی از یک پروژه از فاز مطالعاتی قبل از طراحی آغاز گردیده و نهایتا تا بهره برداری و آموزش به افراد ساکن ساختمان در جهت استفاده صحیح از مجموعه و حتی نظارت بر کارکرد صحیح در سال اول نصب ادامه می یابد. در ASHRAE Handbook - GuideLine - مراحل کامل (Comissioning) بطور کامل شرح داده شده است. در اینجا مراحل (Comissioning) برای یک طرح مخزن ذخیره سرمای مورد بررسی قرار می گیرد. برای مطالب بیشتر به (Guvén and Flynn (1992) و (Guvén and Spaeth (1993) مراجعه شود.

2-9-1 لزوم انجام (Comissioning)

حتما تا کنون این نکته روشن شده است که سیستمهای با مخزن ذخیره (بخصوص اگر دارای استراژی Partial Storage باشند) ظرفیت استفاده نشده و اضافی کمتری نسبت به سیستمهای بدون مخزن ذخیره دارند به بیان دیگر در صورتی که بیش از حد طراحی از آنها بار سرمای طلب شود، نمی توان باندازه سیستمهای بدون مخزن ذخیره روی آنها حساب نمود. در واقع یک سیستم بدون مخزن ذخیره در هر ساعتی بجز ساعت پیک بار در گرمترین روز سال، دارای ظرفیت بیش از حد مورد نیاز می باشد. در واقع این مساله مانند یک ضریب اطمینان عمل می نماید. اما سیستمهای با مخزن ذخیره به خاطر کاهش دادن قیمت مصرف انرژی و یا تجهیزات و دیگر مزایا مجبور هستند به سیستمهای اضافی کنترلی و کاهش ضریب اطمینان ذخیره تن در دهند. در نتیجه در طراحی سیستمهای با مخزن باید نهایت دقت را بخرج داد. زیرا ضریب اطمینان چندانی وجود ندارد تا در صورت اشتباه طراح بتواند آنرا پوشش دهد. همچنین بخاطر اینکه مخزن های ذخیره در صنایع HVAC یک تکنولوژی نسبتا جدید محسوب می شوند اکثر طراحان، پیمانکاران و تکنسین ها اطلاعات کمتری راجع به این سیستم نسبت به سیستمهای معمولی دارند. لذا بخاطر کمتر بودن تجربه کاری در این رشته مشکلات و پتانسیل های شناخته نشده بیشتری در این سیستمها وجود دارد. تمام سعی (Comissioning) مهندسی بر این امر است که این مشکلات را تا حد ممکن کاهش دهد.

2-9-2 مراحل (Comissioning)

(Comissioning) بطور کلی دارای مرحله های زیر می باشد :

- 1- پیش طرح (طرح کلی)
- 2- طرح کامل
- 3- ساخت
- 4- راه اندازی
- 5- آموزش اپراتورها
- 6- تست کارایی و بازدهی
- 7- بهینه سازی در طول مدت کار سیستم

در مرحله پیش طرح یا طرح کلی چارچوبهای کلی طرح مورد بررسی قرار گرفته و اهداف اصل مشخص می گردند. در این مرحله گروه مشاور یا (Comissioning group) انتخاب می گردد و در مورد واگذاری پروژه توافق لازم انجام می گیرد و مشاور (Comissioning group)، طرح کلی را که برای برآورده کردن نیاز مشتری در نظر دارد را اعلام می نماید.

در مرحله طراحی کامل تمام موارد طرح بطور جزء به جزء و دقیق مشخص می‌شوند. تمام موارد بصورت کامل با نقشه و بصورت ثبت شده در می‌آیند. مرحله ساخت و نظارت بر آن نیز از جمله مواردی است که اگر در آن گروه مشاور در مرحله طراحی کامل، تمام جزئیات و خواستها و محدودیتها را مشخص کرده باشد، از دوباره کاری و هزینه های اضافی به مقدار قابل ملاحظه ای کاسته خواهد گردید.

مرحله راه اندازی از نظر عیب یابی هایی از قبیل نشتی سیستم لوله کشی که اکنون تحت فشار کامل پمپها قرار گرفته دارای اهمیت است.

آموزش اپراتورها اگر به درستی انجام نشود در برخی موارد خسارات جبران ناپذیری به سیستم وارد می نماید در واقع یک سیستم قدرتمند بدون یک اپراتور خوب، هیچ فرض با یک سیستم ضعیف نخواهد داشت. توصیه می شود که اپراتورها در هنگام تست اولیه سیستم حضور داشته باشند تا با نکات مهم و اصلی همچنین موارد مورد نظر طراح و همینطور با ویژگیهای خاص این طرح مشخص، آشنا شوند.

مرحله تست کارآیی باید با نهایت دقت انجام شود و هر جزء از سیستم باید به تنهایی مورد بررسی قرار گیرد تا مشخص شود که وظیفه خود را مطابق نقطه طراحی شده انجام می دهد.

در طول مدت کار سیستم برای بهینه کار کردن، مجموعه نکات لازم باید از طرف گروه مهندس مشاور (Commissioning group) برای اپراتورها شرح داده شود؛ همچنین هر تغییری در وضعیت افراد ساکن در ساختمان یا تغییر بار سرمایی به هر علت و یا هر تغییر دیگری، باید به اطلاع گروه مهندسی مشاور برسد تا در صورت لزوم تغییراتی را که اپراتورها باید در سیستم اعمال کنند مشخص شود.

2-9-3 تست کردن کارآیی سیستم

آزمایشهایی که باید بعد از راه اندازی سیستم بروی آن انجام شود را می توان به موارد زیر تقسیم کرد:

- 1) ظرفیت کل منبع
- 2) دماها و دبی سیال خروجی
- 3) نرخ یا سرعت شارژ شدن مخزن
- 4) بررسی زمان بندی و کنترل سیستم
- 5) بررسی نقطه پیک بار و انرژی مصرفی

توجه به این نکته ضروری است که بررسی عملکرد یک سیستم با مخزن ذخیره بعد از راه اندازی بسیار مهمتر از یک سیستم بدون مخزن ذخیره می باشد. چون طراحی یک سیستم مخزن ذخیره با کمک پروفیل بار سرمایی محل مورد نظر انجام می شود، ممکن است این پروفیل در عمل با پروفیل واقعی بار پروژه یا محل کمی متفاوت باشد؛ لذا در برخی موارد در بررسی این مطلب ممکن است لازم باشد تا پروفیل باز تغییر داده شود و جدول زمان بندی پر و خالی شدن مخزن ذخیره متناسب با آن عوض شود. ظرفیت کل مخزن با شارژ کردن آن و سپس کنترل خروجی در مصرف شدن آن بطور کامل اندازه گیری می شود. در سیستمهای مخزن ذخیره که نرخ تخلیه آن اهمیت دارد باید سعی گردد تا نرخ تخلیه در هنگام تست همان نرخ طراحی باشد تا بتوان ظرفیت مخزن را به درستی تخمین زد.

تست دماها و دبی سیال خروجی مشخص می کند که سیستم در هر ساعت خاص توانایی جوابگویی بار مورد نظر در آن ساعت را خواهد داشت یا نه. بخصوص دماهای سیال خروجی در آخرین ساعات خالی شدن مخزن بسیار مهم است.

اندازه گیری زمان واقعی مورد نیاز برای پر شدن (شارژ شدن) مخزن ذخیره و همینطور خالی شدن آن برای تنظیم و یا تصحیح جدول زمان بندی سیستم بسیار اهمیت دارد در نتیجه توصیه می شود که با دقت کامل انجام شود.

در انجام این تست باید دقت شود که زمان شارژ شدن مخزن باید با توجه به این مطلب محاسبه شود که در هنگام شارژ شدن واقعی مخزن، تمام ظرفیت تبرید چیلر صرف شارژ مخزن نمی شود و همواره قسمتی از آن صرف تامین نیاز جاری ساختمان می گردد؛ در نتیجه زمان شارژ شدن مخزن باید در شرایط کار واقعی اندازه گیری شود.

معمولا با اندازه گیری های بالا و کمی صرف وقت می توان برنامه کاری مناسبی با توجه به قیمت مصرف انرژی برای مجموعه تدوین نمود.

فصل سوم - مقایسه سیستمهای مختلف مخزن ذخیره

در این فصل به بررسی و مقایسه روشها و انواع مخزنهای ذخیره پرداخته می شود. از بین روشهای مختلف 6 روش اصلی که بیشترین کاربرد را دارا هستند، در این فصل مطرح میگردند. این 6 روش هانطور که قبلا ذکر گردید عبارتند از:

- 1 - سیستم یخسازی بروی کویل (خارجی) : (External Melt Ice-On-Coil)
- 2 - سیستم یخسازی بروی کویل (داخلی) : (Internal Melt Ice-On-Coil)
- 3 - سیستم یخسازی کپسول یخ : (Encapsulated Ice)
- 4 - سیستم نمک اوتکتیک یا ماده تغییر فاز دهنده : (Eutectic salt phase change material)
- 5 - سیستم یخسازی : (Ice Harvesting)
- 6 - مخزن ذخیره آب سرد : (Chilled Water Storage)

الف) نوع چیلر

همانطور که مشاهده میشود فقط نوع مخزن ذخیره آب سرد و نمک اوتکتیک هستند که چیلرهای آنها در همان نقطه کاری معمولی که در صنعت HVAC معمول است کار می کنند. این دو روش معمولا برای سیستمهای بزرگ و همچنین برای چیلرهایی با کمپرسور سانتریفوژ مورد استفاده قرار میگیرند.

بقیه انواع دیگر روشها از چیلرهایی که از مایع دیگری بجای آب برای ایجاد یخ استفاده میکنند، بهره میبرند، زیرا نقطه کاری این چیلرها زیر صفر می باشد و استفاده از آب در آنها ممکن نیست در این سیستمها معمولا "از چیلرهای با کمپرسور رفت و برگشتی (Reciprocating) پیچی (Screw) و یا اسکرو (Scroll) استفاده میشود. در برخی موارد نیز از کمپرسورهای سانتریفوژ برای این سیستمها استفاده شده است.

در (Harmon and Yu (1991) راجع به موضوع انتخاب چیلر سانتریفوژ برای درست کردن سیستم های یخ، بحث و بررسی می شود. در مورد سیستمهای External Melt Ice میتوان بجای چیلر از یک دستگاه یخسازی نیز استفاده نمود. سیستم Ice-Harvester نیز از یک سیستم یخسازی بهره می برد.

	External Melt Ice (یخ ذوب شده بیرون یخساز)	Internal Melt Ice (یخ ذوب شده درون یخساز)	Encapsulated Ice (یخ درون بسته بندی)	Eutectic Salt (نمک آب یخساز)	Ice Harvester (آب یخ ساز)	Chilled Water (آب سرد)
Chiller Type (نوع یخساز)	Low-Temperature coolant or built-up refrigeration plant	Low-temperature secondary coolant	Low-temperature secondary coolant	Standard Water	Prepackaged or built-up ice making equipment	Standard Water
Chiller Cost (هزینه یخساز)	200 to 500 \$/ton (57 to 142 \$/kW)	200 to 500 \$/ton (57 to 142 \$/kW)	200 to 500 \$/ton (57 to 142 \$/kW)	200 to 300 \$/ton or use existing (57 to 85 \$/kW)	1100 to 1500 \$ per ice making ton (313 to 427 \$/kW)	200 to 300 \$/ton or use existing (57 to 85 \$/kW)
Tank Volume (حجم مخزن)	2.8 ft ³ /ton-hr (0.023 m ³ /kWh)	2.4 to 2.8 ft ³ /ton-hr (0.019 to 0.023 m ³ /kWh)	2.4 to 2.8 ft ³ /ton-hr (0.019 to 0.023 m ³ /kWh)	6 ft ³ /ton-hr (0.048 m ³ /kWh)	3.0 to 3.3 ft ³ /ton-hr (0.024 to 0.027 m ³ /kWh)	11 to 21 ft ³ /ton-hr (0.089 to 0.169 m ³ /kWh)
Storage Installed Cost * (هزینه نصب شده مخزن)	50 to 70 \$/ton-hr (14 to 20 \$/kWh)	50 to 70 \$/ton-hr (14 to 20 \$/kWh)	50 to 70 \$/ton-hr (14 to 20 \$/kWh)	100 to 150 \$/ton-hr (28 to 43 \$/kWh)	20 to 30 \$/ton-hr (5.7 to 8.5 \$/kWh)	30 to 100 \$/ton-hr (8.5 to 28 \$/kWh)
Charging Temperature (دما شارژ)	15 to 25 °F (-9 to -4 °C)	22 to 26 °F (-6 to -3 °C)	22 to 26 °F (-6 to -3 °C)	40 to 42 °F (4 to 6 °C)	15 to 24 °F (-9 to -4 °C)	39 to 42 °F (4 to 6 °C)
Chiller Charging Efficiency (راندمان شارژ یخساز)	0.85 to 1.4 kW/ton (4.1 to 2.5 COP)	0.85 to 1.2 kW/ton (4.1 to 2.9 COP)	0.85 to 1.2 kW/ton (4.1 to 2.9 COP)	0.6 to 0.7 kW/ton (5.9 to 5.0 COP)	0.95 to 1.3 kW/ton (3.7 to 2.7 COP)	0.6 to 0.7 kW/ton (5.9 to 5.0 COP)
Discharge Temperature ** (دما تخلیه)	34 to 36 °F (1 to 2 °C)	34 to 38 °F (1 to 3 °C)	34 to 38 °F (1 to 3 °C)	48 to 50 °F (9 to 10 °C)	15 to 24 °F (1 to 2 °C)	1 to 4 °F (0.5 to 2 °K) above charging temp.
Discharge Fluid (مایع تخلیه)	Water	Secondary coolant	Secondary coolant	Water	Water	Water
Tank Interface (رابطه مخزن)	Open Tank	Closed System	Open or closed system	Open Tank	Open Tank	Open Tank
Strengths (مزایا)	High instantaneous discharge rates	Modular tanks good for small or large installations	Tank shape flexible	Use existing chillers	High instantaneous discharge rates	Use existing chillers; Fire protection duty
Comments (توضیحات)	Separate charge and discharge circuits. Charge with coolant or liquid refrigerant				Requires clearance above tank for ice maker	Storage capacity increases with temperature difference

جدول 1-3 مقایسه پارامترهای مختلف روشهای (تکنولوژی های) مختلف مخزن ذخیره

توجه: در جدول بالا مشاهده می شود که قیمت های تمام شده بر حسب دلار امریکا بوده و برای کشور امریکا در سال (1993) می باشد. در هر صورت این مقادیر جهت مقایسه روشهای مختلف از نظر هزینه، معیار خوبی محسوب می شوند.

* قیمت های ذکر شده فقط برای خود مخزن می باشند و شامل تانک، دیفیوزر ها، هدر ها و سطوح انتقال حرارت می باشند.
** این مقادیر، مینیمم دما در حالتی که ظرفیت مخزن بطور صحیح بر آورد و انتخاب شده باشد، می باشند. دمای بالاتر از این مقادیر نیز می تواند از هر مخزن بدست آید.

ب) حجم سیال

همانطور که مشاهده می‌گردد سیستم مخزن ذخیره آب سرد، فضای بسیار زیادتری نسبت به دیگر روشها اشغال می‌نماید. توجه به این نکته نیز لازم است که عدد داده شده برای مخزن آب سرد از $11 \text{ ft}^3/\text{ton-hr}$ تا $21 \text{ ft}^3/\text{ton-hr}$ تغییر میکند و این بعلت تفاوت در اختلاف درجه حرارت مورد استفاده بین آب خروجی و ورودی به مخزن است بطوریکه برای اختلاف (12°C) 20°F مقدار آن $11 \text{ ft}^3/\text{ton-hr}$ و برای 10°F (6°C) مقدار آن به $21 \text{ ft}^3/\text{ton-hr}$ و برای 30°F (16°C) مقدار آن به $7 \text{ ft}^3/\text{ton-hr}$ میرسد.

ج) هزینه

قیمتهایی که در جدول داده شده است بعلت متفاوت بودن دمای خروجی چیلر، دارای یک بازه تغییر می‌باشند. همچنین این قیمتها برای برآورد اولیه و کلی هزینه طرح مناسب می‌باشند و برای بدست آوردن هزینه دقیق طرح باید هر طرح خاص را بررسی و طراحی نمود. قیمتهای داده شده فقط شامل تانک ذخیره، دیفیوزهای داخلی، هدرها و سطوح انتقال حرارت می‌باشند و قیمت چیلر و بقیه اجزا سیستم باید در انتخاب روش مورد نظر گرفته شوند. در مورد روش Ice Harvesting به این نکته توجه شود که قیمت خود مخزن ذخیره بسیار پایین است اما در مقابل قیمت بالای دستگاه یخساز آن، مزیت قیمت پایین مخزن را از بین می‌برد.

د) بازده شارژ مخزن

معمولا چیلرهایی که در دمای بالاتری کار میکنند یعنی در دو روش مخزن آب سرد و نمک اوتکتیک دارای بازده بالاتری می‌باشند؛ اما در روشهای ساختن یخ بازده کمی پایین تر می‌باشد. معمولا در هر کدام از روشها چیلرهای آبی دارای بازده بیشتری از چیلرهای هوایی می‌باشند.

ه) دمای خروجی از مخزن

در روش مخزن ذخیره آب سرد، معمولا دمای آب خروجی از مخزن ذخیره در حدود $1 \text{ to } 4^\circ\text{F}$ $(1 \text{ to } 2^\circ\text{C})$ بالاتر از دمای شارژ مخزن می‌باشد. در خیلی از سیستمها در حدود 2°F (1°C) بین خروجی و ورودی به مخزن اختلاف وجود دارد، اما در صورتیکه اطلاعات ویژه ای راجع به طراحی دیفیوزر ابتدا و انتهای آن در دست نباشد، در نظر گرفتن بالاتر از این مقدار هم توصیه می‌گردد. در مورد سیستمهای دارای یخ دمای سیال خروجی بین $34 \text{ to } 38^\circ\text{F}$ $(1 \text{ to } 3^\circ\text{C})$ می‌باشد. در مورد نمک اوتکتیک این دما معمولا $48 \text{ to } 50^\circ\text{F}$ $(9 \text{ to } 10^\circ\text{C})$ می‌باشد. توجه داشته باشید که هر چه مرحله تخلیه مخزن پیش میرود، دمای سیال خروجی از آن هم بتدریج افزایش می‌یابد؛ در نتیجه در طراحی آنها باید این نکته را بخاطر داشت که دمای خروجی آنها در صورت امکان پایین تر از حد ماکزیمم قابل استفاده برای سیستم باشد.

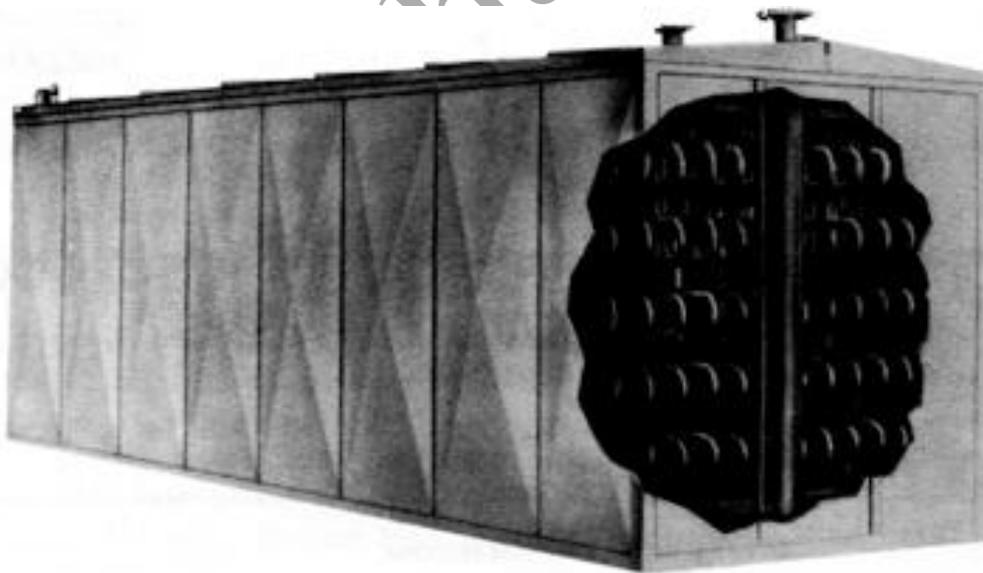
برای برخی سیستمهای مخزن ذخیره این افزایش دما در مراحل آخر تخلیه مخزن بیشتر مشهود است.

برای مثال در سیستم مخزن آب سرد تغییر دمایی چندان اتفاق نمی‌افتد و در سیستم External Melt Ice و Ice Harvester بخصوص اگر سرعت تخلیه زیاد باشد، در حین خالی شدن 10% تا 20% آخر ذخیره مخزن، دما کمی افزایش می‌یابد. اما در مورد Internal Melt Ice و Encapsulated Ice این تغییر دما بستگی زیادی به سرعت تخلیه مخزن خواهد داشت.

فصل چهارم - روش ایجاد یخ به روی کویل خارجی (External Melt Ice-on-Coil)

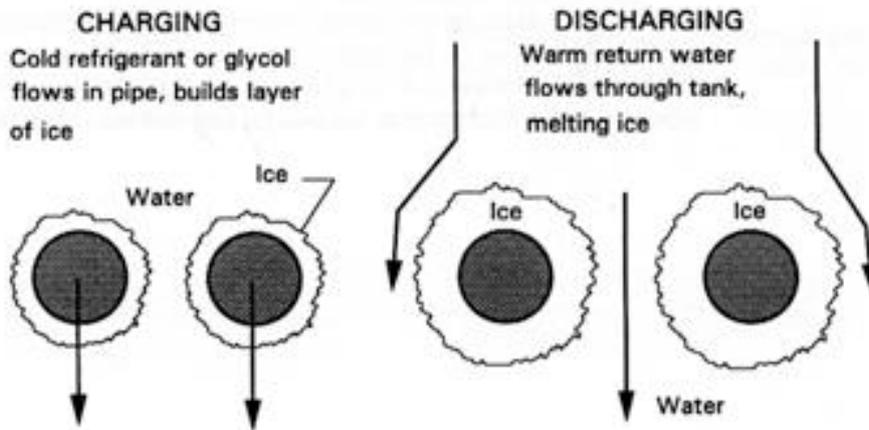
1-4 مشخصات کلی این روش

+ این روش تقریباً به 2.8 ft^3 فضا برای هر تن - ساعت بار احتیاج دارد.
+ از یک سیال مبرد ثانویه در چیلر استفاده میشود. (محلول آب و اتیلن گلیکول)
+ دمای آب خروجی میتواند تا $34 \text{ to } 36^\circ\text{F}$ ($1 \text{ to } 2^\circ\text{C}$) پایین بیاید.
+ یکی از مشکلات این روش این است که اگر در طول زمان تخلیه مخزن (ذوب شدن یخ) تمام یخ روی کویلها ذوب نشود بازده سیستم کاهش پیدا میکند. [زیرا هر دفعه در مرحله شارژ، مخزن با وجود یک لایه یخ بروی کویلها، باید عمل شارژ را شروع نماید.]
در شکل 1-6 یک نمونه از این نوع مخازن نشان داده شده است ..



شکل 1-4 یک مخزن ذخیره روش یخساز بر روی کویل خارجی (External Melt Ice on Coil)

در هنگام شارژ مخزن (ایجاد یخ) مایع مبرد (محلول گلیکول) درون لولهها به گردش درمی آید..
و این باعث میگردد تا یخ روی پوسته خارجی تیوب تشکیل شود . در هنگام تخلیه مخزن ذخیره (آب شدن یخها)، آب گرم برگشتی از مدار لوله کشی با عبور از قسمت بیرونی لوله ها، باعث آب شدن یخهای تشکیل شده بروی کویلها می گردد...
شکل 2-4 زیر بیانگر چگونگی این حالت می باشد...



شکل 2-4 نمای شارژ و تخلیه در روش یخسازي بروی کویل خارجی (External Melt Ice on Coil)

معمولاً یخ به ضخامت 40 mm تا 65mm بروی لوله ها تشکیل می گردد. هر چقدر به ضخامت بیشتری از یخ احتیاج باشد، دمای مبرد عبوری از داخل لوله ها باید پایین تر باشد. برای مثال برای ایجاد یخ به ضخامت 40mm به دمای شارژی در حدود 20 to 26°F (-7 to -3°C) نیاز می باشد در حالی که برای ایجاد ضخامت 65mm ، به دمای شارژی در حدود 10 to 15°F (-12 to -9°C) نیاز خواهد بود. در جاهایی که دما بالاتر از این مقدار باشد طبیعتاً "ضخامت لایه یخ تشکیل شده روی لوله ها کمتر بوده اما در مقابل بازده کل (راندمان) بالاتر خواهد بود..

با هر دمای شارژی تا یک ضخامت مشخص می توان بروی کویلها ایجاد یخ نمود زیرا هر چه از دیواره خارجی لوله در راستای شعاعی بطرف بیرون حرکت کنیم، در امتداد یخ ایجاد شده، پروفیل دما سیر صعودی خواهد داشت. بنابر این با دانستن دمای شارژ که توسط چیلر ایجاد می گردد (یا توسط ماده مبرد R-22 یا آمونیاک) میتوان حداکثر ضخامت یخ ممکن را تخمین زد و سپس از روی آن، فاصله لوله ها را طوری در نظر گرفت که دبی تعیین شده، بدون افت فشار بسیار زیاد، از بین لوله ها عبور نماید. اگر یک مخزن ذخیره بیش از مقدار لازم تحت شارژ قرار گیرد، ممکن است یخ در بین لوله های مجاور هم تشکیل شود و راه عبور آب را ببندد. اگر چه بسیاری از این انسدادها پیامد بدی نخواهند داشت اما برخی از آنها ممکن است جلوی عبور آب را گرفته و روند یخسازي را متوقف کند یا کاهش دهد که ممکن است منجر به افزایش دمای آب خروجی شود..

در یک تقسیم بندی کلی میتوان سیستمهای ذخیره یخ بروی کویل را به دو دسته اصلی تقسیم کرد:

1- نوع مستقیم که از سیال مبرد (Refrigerant) بطور مستقیم برای ایجاد یخ استفاده می کنند، بطوریکه لوله های یخساز در واقع اواپراتور سیکل تبرید چیلر می باشند.

2- گروهی دیگر که از یک سیال واسطه مانند محلول آب و اتیلن گلیکول برای ایجاد بانک یخ استفاده می کنند و این مدار گلیکول از مدار آب گردش در لوله کشی ساختمان جدا می باشد..

گروه اول از مدتها پیش در سیستمهای مختلف بکار گرفته می شده و هنوز هم در صنایع مختلف بخصوص صنایع لبنیات و صنایع غذایی کاربرد زیادی دارد و گروه دوم اکثراً برای مصارف تهویه مطبوع و HVAC مورد استفاده قرار می گیرد و این بعلت ساده تر بودن طراحی مدار تبرید و همچنین آسانتر بودن راه اندازی و نگهداری آن بعلت کمتر بودن حجم سیال مبرد می باشد..

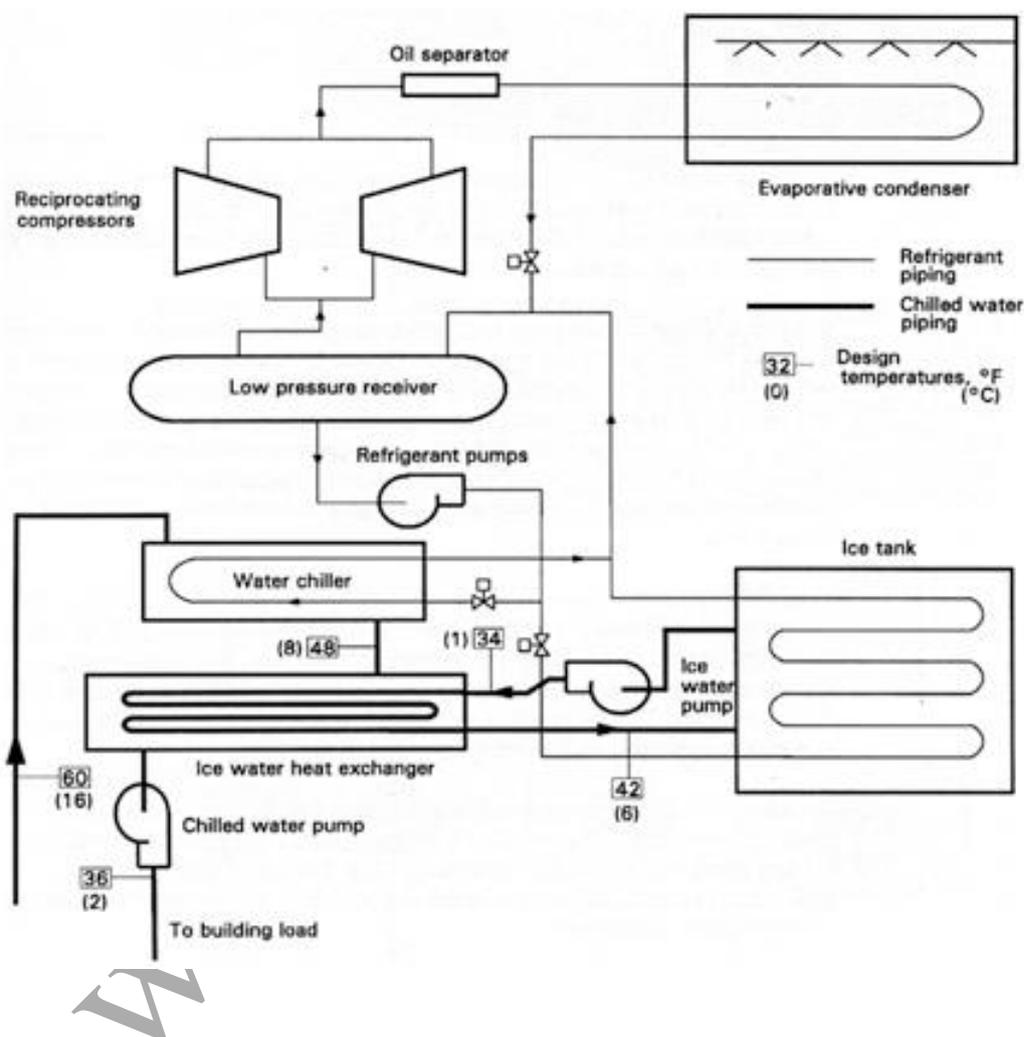
البته نوع اول یعنی نوع مستقیم دارای بازده به مراتب بالاتری نسبت به نوع دوم یعنی نوع با سیال واسطه می باشد که بخاطر تماس مستقیم با خود سیال مبرد است در واقع افت دما بعلت مبدل حرارتی و سیال ثانویه یک مرحله کمتر می باشد..

اما در مقابل طراحی، راه اندازی و نگهداری چنین سیستمی احتیاج به تجربه زیاد و مهارت کافی در زمینه سیکلهای تبرید دارد که یافتن آن در تهویه مطبوع صنعتی (که اکثراً با دماهای بالای صفر سروکار دارد) مشکل می باشد . در نتیجه از این روش در مواردی استفاده میشود که متخصصان سیکلهای تبرید در محل حضور داشته باشند..

همچنین نوع مستقیم به مقدار زیادی سیال مبرد (Refrigerant) احتیاج دارد که این خود بحث زیست محیطی این طرح را نیز مطرح می نماید. این سیستم این مزیت را دارد که در مواقعی که یک سیکل در حال حاضر موجود است، اضافه کردن یک اوپراتور یخساز به سیستم چندان مشکل نیست. همچنین استفاده از گاز آمونیاک که برای موارد ایجاد یخ بروی کویل بسیار مناسب است، باعث پایین آمدن هزینه تمام شده و کمتر شدن اثر مخرب زیست محیطی خواهد گردید..

توضیح کامل جزئیات این طرح در اینجا بحث نمی شود و برای اطلاعات دقیق تر به Mackie and Richard (1992) مراجعه شود.

شکل زیر بطور شماتیک نمایانگر نحوه ارتباط اجزا با یکدیگر می باشد.

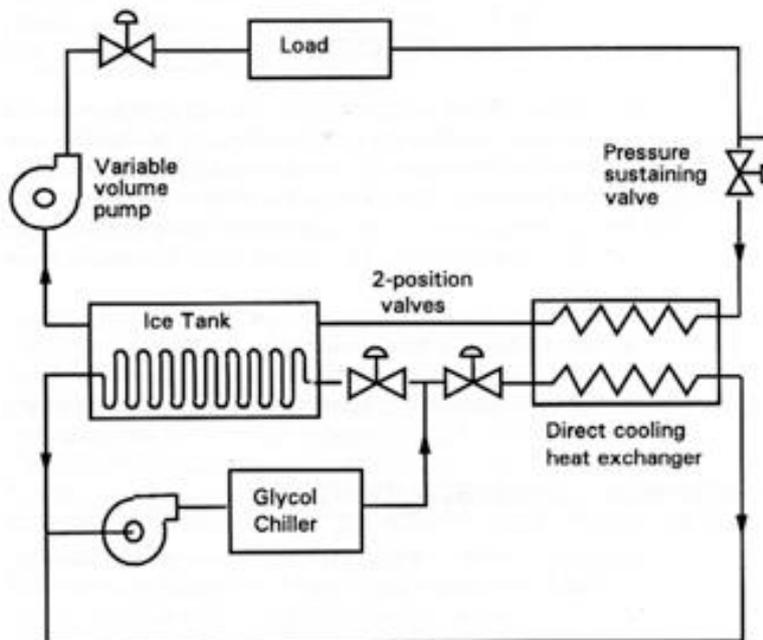


شکل 3-4 روش یخسازی بروی کویل خارجی روش مستقیم (External Melt Ice on Coil)

همانطور که مشاهده میشود بعلت باز بودن (تحت فشار نبودن) تانک ذخیره و یک مبدل حرارتی برای جداسازی آب منبع از آب در گردش در سیستم لوله کشی ساختمان طراحی شده است.

در سیستم دوم یا سیستم سیال واسطه، از چیلرهای معمولی استفاده میشود که نقطه کاری آنها در حدود $18\text{ to }26^{\circ}\text{F}$ ($-3\text{ to }-8^{\circ}\text{C}$) می باشد. (چیلرهایی که نقطه کاری آنها زیر 18°F (-8°C) باشد، چیلرهایی با طراحی متفاوت می

باشند). همچنین چیلر باید بتواند در دمای حدود 36° to 42° F (2 to 6° C) نیز بکار بیفزاید، تا بتوان از سرد کردن مستقیم نیز استفاده نمود. برای چنین چیلرهایی اکثراً از کمپرسورهای رفت و برگشتی یا Screw استفاده می شود. در شکل 4-4 نمای شماتیک این نوع سیستم مشاهده می شود. در این نوع طرحها تانک ذخیره بطور مستقیم در سیستم مدار آب لوله کشی ساختمان قرار می گیرد. در این مسیر از یک شیر کنترل فشار نیز استفاده می گردد.



شکل 4-4 روش یخسازی بروی کویل خارجی روش سیال ثانویه (External Melt Ice on Coil)

با قرار دادن یک مبدل حرارتی میتوان از سرد کردن مستقیم بصورت کمکی نیز استفاده نمود. (سرد کردن کمکی حتی میتواند توسط یک چیلر مجزا صورت گیرد.)

2-4 مشخصات مخزن ذخیره

مخزن ذخیره برای روش یخسازی بروی کویل میتواند از جنس بتون یا فلز باشد. مخازن ذخیره فلزی معمولاً بصورت مکعب مستطیل از ورق گالوانیزه ساخته میشوند و کویلها داخل آن نصب می گردند..

در مورد مخازن ذخیره فلزی باید به این نکته توجه شود که مخزن در برابر خوردگی باید کاملاً مقاوم بوده و از جنس ورق گالوانیزه اعلا برای آن استفاده شده باشد. در برخی موارد نیز مخزن را ساخته و سپس تمام قسمتهای داخلی آن را آبکاری می نمایند.

همچنین میتوان از مخزن ذخیره بتونی که در محل ساخته میشود نیز استفاده نمود.

مخزن ذخیره باید از هر طرف قابل بازبینی و عیب یابی باشد. بنابراین باید از هر طرف آن 1 m فضای خالی در نظر گرفت، تا در صورت بروز نشتی یا خوردگی یا هر مشکل دیگری بتوان نسبت به تعمیر آن نقطه اقدام کرد.. این فضا باید حتی الامکان برای مخزنهایی که در زیر زمین دفن می گردند نیز منظور شود و راههایی برای دستیابی به اطراف مخزن تعبیه گردد. گاهی اوقات مورد بصورتی است که ایجاب می کند که چند مخزن ذخیره با هم بصورت موازی قرار گیرند تا بار مورد نظر تامین گردد.

البته میتوان مخازن را هم بطور سری متصل نمود. معمولاً در مواردی که مقدار جریان زیادی مورد نیاز باشد برای اینکه جریان مدت زیادتری داخل مخزن وقت مبادله حرارتی داشته باشد، این آرایش را انتخاب می نمایند. البته سری کردن بیش از دو مخزن معمولاً توصیه نمی شود.

3-4 ابزار کنترل

در روش یخساز یخ بر روی کویل احتیاج است که بطریقی بتوان آغاز و پایان مرحله یخساز را بروی مدار اعمال کرد. برای مثال وقتی ضخامت یخ بر روی کویل به حد معینی رسید سنسور مربوطه باید فرمان توقف مرحله یخساز را صادر کند. این سنسورها معمولاً بر پایه اختلاف هدایت (الکتریکی) بین آب و یخ تصمیم گیری می نمایند. همچنین مخزن ذخیره می تواند به کمک کنترل سطح آب مخزن کنترل شود؛ بدین صورت که با یخ زدن آب، حجم آن افزایش یافته و سطح آب مخزن بالا می آید این کنترل میتواند بسادگی توسط کنترل گره های ساده سطح آب در مخزن انجام گیرد. همچنین میتوان با یک لوله شیشه ای یا شفاف سطح آب مخزن را از خارج به راحتی دید. سطح آب مخزن به پمپها نیز به نوعی بستگی پیدا می کند؛ همچنین یک اختلاف سطح بین آب در ورودی و خروجی از مخزن مشاهده میگردد که بعلاوه فشار داخل مخزن می باشد. در نهایت باید علاوه بر کنترل های فوق یک کنترل جداگانه برای کمپرسور در نظر گرفته شود تا چنانچه دمای مکش کمپرسور از حدی پایین تر بیاید (این بدین معنی است که سطح یخ زده کویلها آنقدر زیاد شده که آب از بین آنها عبور نمیکند در نتیجه نمیتواند گرمای خود را به مبرد بدهد) فرمان قطع کار کمپرسور را صادر کند. توجه داشته باشید که این کنترل بسیار مهم است و در صورتیکه کنترل های قبل دچار مشکل شوند این کنترل است که از صدمه خوردن کمپرسور جلوگیری می نماید. این نکته قابل توجه است که در شروع شارژ مخزن اولین یخی که بر روی کویلها تشکیل میگردد با بالاترین بازده و بالاترین دمای مکش گاز کمپرسور تشکیل شده و لذا از نظر اقتصادی نیز مقرون به صرفه تر از مراحل بعدی تشکیل یخ است که یخ روی کویلها را به ضخامت معینی پوشانده است. و همینطور که به مرحله پایانی مرحله شارژ مخزن نزدیک میشویم، ضخامت یخ روی کویل رو به افزایش بوده و بازده مرتباً کاهش می یابد. به همین علت باید همواره در پایان سیکل کاری روزانه تمام یخهای موجود آب شده باشند تا در روز بعد سیستم با ماکزیمم بازده کار خود را آغاز کند. بنابراین اگر نیاز بار ساختمان عوض شده یا کاهش پیدا کرده باید طول مدت مرحله شارژ مخزن نیز مطابق با آن برنامه باندازه بار مورد نیاز تغییر کند. اشکال دیگری که برخی اوقات پیش میآید این است که یخها بطور غیریکنواخت آب شوند یعنی یخ برخی از لوله ها کاملاً آب شده در حالیکه عبور برخی دیگر هنوز ضخامت معینی یخ وجود دارد برای رفع این مورد دستگاههای کنترلی وجود دارد که مثلاً هر یک هفته یکبار مخزنی را با عبور آب برگشتی بمدت طولانی تر بطور کامل تخلیه می کنند. توصیه میگردد که در این روش، تصمیم گیری سیستمهای کنترلی بر اساس مخزن ذخیره صورت گیرد (در مقایسه با روشهای دیگر مانند تصمیم گیری بر اساس شرایط کاری چیلر و ...). این تصمیم گیری ها معمولاً بهتر است بر اساس پیش بینی ظرفیت ذخیره مورد نیاز در روز آتی انجام شود. (Grumman and Butkus (1989) بطور مفصل راجع به این سیستمهای کنترلی بحث می نماید. در غیر اینصورت باید کنترل را به خود چیلر واگذار کرد. در برخی مواقع قیمت برق مصرفی در ساعات غیر پیک آنقدر کم است که مقرون به صرفه است تا از سیستمهای کنترلی ساده تر (و ارزانتر) استفاده شود و در مقابل از ضرر کار کردن چیلر با بازده پایین تر (بعلاوه آب نشدن کل یخهای ساخته شده در مرحله قبلی) صرفنظر شود. اما در مواردی که قیمت ساعات غیر پیک نیز قابل توجه است باید چیلر را طوری زمان بندی نمود که فقط باندازه میزان نیاز روز آتی، مخزن را شارژ نماید.

در مواردی ممکن است بتوان با قراردادن کمپرسورها در حالت نیمه بار (Part Load) باعث بالا رفتن دمای مکش و در نتیجه بالا رفتن بازده و افزایش ظرفیت تبرید موجود گردید البته در بکار بردن این روش باید کاملاً دقت شود زیرا نیمه بار کار کردن کمپرسورها میتواند منجر به کاهش بازده کلی سیستم و شارژ نشدن مخزن بطور کامل گردد..

روش یخسازی بروی کویل همانطور که ذکر گردید با یک مخزن باز که تحت فشار نیست کار می کند و باید تمامی موارد فنی در راه اندازی این نوع مخازن از جمله عملیات لازم بروی آب و ... که قبلاً توضیح داده شد (بخش 2-8) رعایت گردد . آب در گردش در مخزن باید توسط یک مبدل حرارتی از آب در گردش در سیستم لوله کشی جدا گردد..

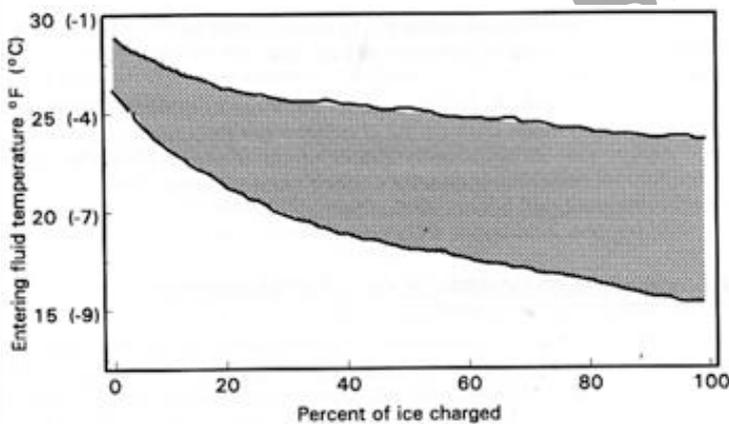
همچنین از موادی که در برابر خوردگی مقاومند مانند اتصالات PVC ، باید بین خروجی مبدل حرارتی و ورودی مخزن استفاده گردد. چون دمای خروجی آب میتواند 34 to 36°F (1 to 2°C) باشد، در نتیجه میتوان اختلاف دمای آب ورود و خروج را تا 24°F (13°C) در نظر گرفت که در اینصورت هزینه مربوط به پمپاژ و لوله کشی و انرژی مصرفی نسبت به یک سیستم بدون مخزن ذخیره کاهش خواهد داشت.

در مورد سیستمهای مستقیم و غیرمستقیم (سیال ثانویه) قبلاً صحبت شد. برای سیستمهای مستقیم دمای مکش کمپرسور معمولاً بین 28 to 23°F (-2 to -5°C) برای یک مدت زمان شارژ 13 ساعته در نظر گرفته میشود. برای مدت زمان شارژ حدود 7 ساعت دما معمولاً بین 25 to 15°F (-4 to -9°C) در نظر گرفته می شود و این به این علت است که هر چه زمان کمتری برای شارژ مخزن مورد نیاز باشد باید این محدودیت را با پایین تر آوردن دمای اوپراتور تامین نمود تا بتوان همان مقدار یخ مورد نیاز را در مدت زمان کوتاهتری تهیه نمود.

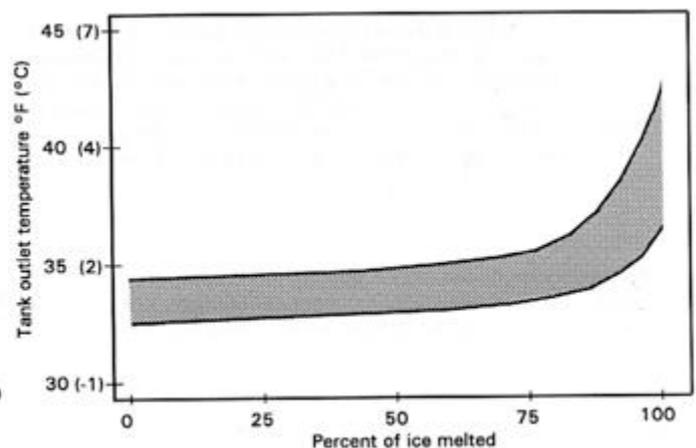
برای سیستمهای غیرمستقیم برای یک مدت زمان شارژ 14 ساعته دمای مکش بین 29 to 25°F (-1.5 to -4°C) و برای مدت زمان شارژ 8 ساعته 25 to 16°F (-4 to -9°C) در نظر گرفته می شود. توجه شود که خود چیلر (دمای مکش) در دمایی حدود 3 to 5°F (1.5 to 3°C) پایین تر از دمای سیال واسطه کار می کند.

Stovall (1991) با انجام تستهای مختلف روی بازده شارژ مخزنها، این موضوع را بطور مفصل بررسی نموده است . این آزمایشات شامل دماهای مختلف ورودی و خروجی مخزن می باشد.

شکلهای زیر نمایانگر نتایج این آزمایشات می باشند..



شکل 4-6 محدوده دمای اندازه گیری شده در زمان شارژ



شکل 4-5 محدوده دمای اندازه گیری شده در زمان تخلیه مخزن

4-4 تخمین اندازه مورد نیاز

برای تخمین اندازه مورد نیاز مخزن، همانطور که قبلاً توضیح داده شد اندازه کلی را بطور تخمینی میتوان بدست آورد اما برای تخمین دقیق سایز مخزن احتیاج به در دست بودن پروفیل ساعت به ساعت بار محل پروژه نظر می باشد.

در تخمین هزینه اولیه مورد نیاز نیز باید به این نکته توجه شود که هر چیلر در یخسازی معادل 60٪ تا 70٪ ظرفیت اسمی خود توانایی تولید یخ را دارد و این موضوع باید در محاسبات هزینه و نوع چیلر مورد توجه قرار گیرد. پایین آمدن COP بعلت کار در دمای اواپراتور پایین تر

در تخمین بازده کل روش یخسازی بروی کویل باید گفته شود که بازدهی که میتوان بطور تخمینی از این روش انتظار داشت در حدود 0.9 to 1.4 W برای هر تن می باشد (ضریب بازده 2.5 to 3.9 COP)

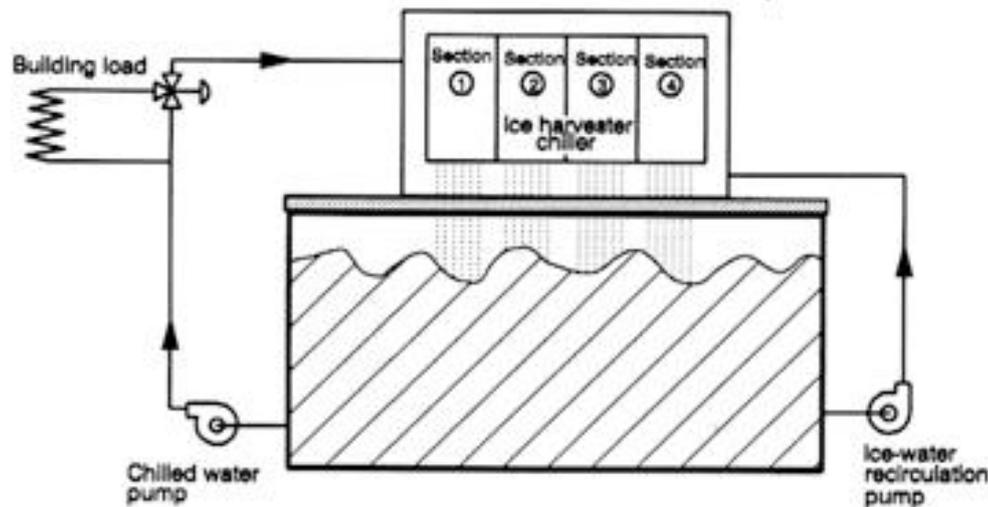
در مورد سیستم مستقیم نیز این مورد مشخص است که نسبت به سیستم غیرمستقیم دارای بازده بیشتری است و این بعلت مستقیم بودن انتقال حرارت به سیال سیستم لوله کشی ساختمان است.

توجه شود که روش یخسازی بروی کویل احتیاج به مهارت و تجربه در نگهداری دارد، که معمولاً کمتر مورد توجه قرار می گیرد. پرسنل نگهداری سیستم باید کاملاً توجه شوند تا دید درستی از نحوه کارکرد این سیستم داشته باشند..

www.shakhta.ir

فصل پنجم - مخزن ذخیره یخساز مستقیم (Ice Harvester)

در این روش مخزن ذخیره بطور مستقیم توسط تکه های یخ که در اواپراتور یک دستگاه یخساز (Ice-Harvester Chiller) ساخته می شود، تغذیه می گردد. این دستگاه یخساز در واقع بجای چیلر در سیستم جایگزین می گردد و در روی تانک مخزن ذخیره نصب می گردد. (شکل 1-5)



شکل 1-5 یک سیستم مخزن ذخیره یخساز مستقیم (Ice Harvester)

اواپراتور این دستگاه طوری طراحی شده است که یخ هایی در اواپراتور دستگاه تشکیل می گردند که پس از جدا شدن از اواپراتور در تانک مخزن ذخیره که درست زیر اواپراتور واقع شده است، می افتند. در نتیجه این تانک همواره حاوی مخلوط آب و یخ بوده و در نتیجه آب سرد موجود در آن از ته مخزن بطرف بار مورد نظر، پمپ می شود.

همانطور که در فصل 3 در مقایسه روشهای (تکنولوژی های) مختلف مخزن ذخیره در جدول 1-3 مشاهده گردید، قیمت چیلر روش یخساز مستقیم (Ice Harvester) در حدود 3 تا 5 برابر قیمت چیلرهای متداول مورد استفاده در روشهای دیگر می باشد. با توجه به اینکه این چیلر ها، برخلاف چیلر های تراکمی و یا دیگر انواع چیلر ها، در ایران ساخته نمی شوند و تماما باید از خارج وارد گردند و علاوه بر این مساله تعمیر و نگهداری اینگونه چیلر ها نیز مطرح بوده و بعلت نبود نیروی متخصص در زمینه این نوع چیلر ها در داخل کشور، هزینه تمام شده این روش حتی بیش از نسبتهای ذکر شده، بیش از روشهای دیگر تمام خواهد گردید؛ لذا اجرای این روش از روشهای ایجاد مخزن ذخیره در ایران مقرون به صرفه نبوده .

فصل ششم - مخزن ذخیره آب سرد

مخزن ذخیره آب سرد دارای خصوصیات زیر است :

- 1- با استفاده از چیلرهای استاندارد که در نقطه کاری معمول کار میکنند باعث افزایش بازده سیستم گردیده و همچنین از تجهیزات اضافی بی نیاز می باشد.
- 2- برای افزایش ظرفیت سیستمهای تبرید موجود راه مناسبی می باشد.
- 3- در صورتیکه بر طبق استاندارد محیط زیست مجبور به عوض کردن CFC درون چیلرها باشیم، با عوض کردن این، گاز ظرفیت چیلر کمی پایین می آید که در صورت اضافه کردن یک مخزن ذخیره آب سرد، میتوان این مشکل را حل نمود.
- 4- از نظر هزینه، روشی است که ارزان تمام میشود و هر چه اندازه سیستم بزرگتر باشد این روش اقتصادی تر میشود.
- 5- میتوان از آن بعنوان تانک اطفای حریق نیز در مواقع اضطراری استفاده نمود.
- 6- کارایی این روش تاکنون بارها ثابت شده و نتایج خوبی نیز در تست عملی بدست آمده است.
- 7- هم بعنوان مخزن ذخیره سرد و هم بعنوان مخزن ذخیره گرم میتوان از آن استفاده نمود. یکی از مشکلات عمده این روش جای زیادی است که تانک ذخیره بعلت بزرگی اشغال می نماید. برای همین در خیلی از موارد آنها را بصورت نیمه تا تماما" در زیرزمین قرار میدهند که البته این باعث افزایش قیمت اولیه خواهد شد.

+ توضیح کلی روش

سیستمهای مخزن ذخیره آب سرد در واقع از ظرفیت گرمای ویژه آب (C_p) برای ذخیره کردن بار سرمایی استفاده میکنند . آب توسط چیلر خنک می گردد و در تانک ذخیره میشود تا بعداً مورد استفاده قرار گیرد. مقدار این ذخیره بستگی به اختلاف دمای آب ذخیره شده در مخزن و دمای سیال برگشتی به مخزن دارد . معمولاً برای اینکه آب گرم برگشتی با آب سرد ذخیره شده در مخزن تداخل نکند، روشهایی اتخاذ می کنند. معمولاً این مخزنها با آب با دمای 39 to 44°F (4 to 7°C) پر می شوند. نرخ معمول حجم آب ذخیره شده برای هر تن - ساعت بار سرمایی مورد نیاز برای اختلاف دمای معمول 10 to 20°F (6 to 11°C) بین 11 ft³/ton-hr تا 21 ft³/ton-hr می باشد.

اگر بتوان اختلاف درجه حرارت ورود و خروج مخزن را به 30°F (17°C) رساند حجم مورد نیاز تا 7 ft³/ton-hr کاهش پیدا می نماید. چنین فضایی در حدود 3 تا 7 برابر فضای روشهای دیگر مخزن ذخیره و حدود 2 تا 3 برابر فضای روش نمک اوتکتیک می باشد. البته در برخی موارد ممکن است بتوان با افزایش ارتفاع مخزن (در صورت امکان) جای موثر اشغال شده توسط آنرا کاهش داد.

حجم اشغال شده در این روش در حدی زیاد است که در خیلی از موارد به علت همین نقص، تصمیم به استفاده از روشهای دیگر گرفته می شود.

برای مثال فرض کنید که بار تبرید مورد نیاز محلی در فصل تابستان در حدود 50 ton تن تبرید باشد. (در حدود بار سرمایی لازم جهت تهویه یک ساختمان پنج طبقه 10 واحدی در تابستان) و فرض میکنیم که در طول 3 ساعت بخواهیم بطور کامل از مخزن ذخیره آب سرد بار محل را تامین کنیم.

$$50 \text{ ton} * 3 \text{ hour} = 150 \text{ ton-hr}$$

$$150 \text{ ton-hr} * 15 \text{ ft}^3/\text{ton-hr} = 2250 \text{ ft}^3 = 64 \text{ m}^3 = 5\text{m} * 5\text{m} * 2.5\text{m}$$

ملاحظه میشود که فقط برای 3 ساعت پیک بار از طول 24 ساعت مساحتی حدود 25 متر مربع (از زیرزمین) در حدود مساحت دو اتاق خواب کامل) فقط باید نصب چنین مخزن عظیمی شود.

عامل جاگیری یکی از عمده ترین عیبهای این سیستم می باشد بطوریکه در قسمتهایی مانند منازل مسکونی بعلت کمبود جای کافی، کمتر از این روش استفاده می گردد.

سیستم مخزن ذخیره آب سرد بیشتر برای سیستمهای بالاتر از 2000 ton-hour تن ساعت یا به عبارت دیگر بالای 760 m³ استفاده می گردد.

هر چه اندازه مخزن بزرگتر باشد نسبت سطح به حجم کاهش پیدا کرده و این باعث ارزانتر تمام شدن هر تن ساعت ذخیره خواهد شد. برخی از سیستمهای ذخیره بزرگ تا 4000 m³ و برخی تا 19000 m³ نیز ظرفیت ذخیره آب سرد دارند.

برخی از سیستمها نیز از ترکیبی از دو یا چند منبع استفاده می کنند؛ بطوری که منبعی برای بازیافت گرما از آب گرم در زمستان و مخزن دیگری برای ذخیره آب سرد در نظر گرفته میشود. برای اطلاعات بیشتر به (Tackett 1987) رجوع شود.

www.shakhta.ir

ضمیمه A - مثالی کاربردی در استفاده از مخزن ذخیره در صنایع لبنیات

این مقاله توسط Sam P. Gladis یکی از اعضای گروه ASHRAE در تاریخ 15 April 1999 تهیه گردیده است.

چکیده :

در اکثر پروسه های صنعتی احتیاج است که بار سرمایی زیادی در مدت نسبتاً کوتاهی جهت یک فرایند خاص ایجاد گردد. برای این منظور معمولاً از چیلر استفاده می گردد. استفاده از مخزن ذخیره در چنین سیستمهایی باعث کاهش چشمگیر هزینه خرید دستگاهها ی لازم شده و هزینه های مصرف برق را نیز بسیار کاهش خواهد داد.

این مقاله یک سیستم مخزن ذخیره با تکنولوژی (Slurry ice making) را برای یک واحد صنعتی تولید پنیر برآورد و انتخاب می نماید.

توجه : (در این پایان نامه روش (Slurry ice making) بررسی نشده است. اما هدف از آوردن این مقاله، چگونگی محاسبه و انتخاب مخزن ذخیره مناسب است که این پروسه مستقل از تکنولوژی مورد انتخاب، می باشد. به بیان دیگر این پروژه را با هر روش یا تکنولوژی دیگری نیز می توان اجرا نمود.

معرفی پروژه :

این پروژه شامل ایجاد یک سری فرایند های سرمایش شیر در قسمتهای مختلف جهت تهیه پنیر (پنیر چدار (Cheddar) در کارخانه Hanford واقع در کالیفرنیا می باشد. فرایندهایی که باید بروی شیر انجام شود شامل 4 قسمت مختلف می باشد:

- 1 - سرمایش اولیه
- 2 - تمرکز پروتئین
- 3 - مرحله نهایی
- 4 - فیلتراسیون

کمیتهای موجود در این فرایندها همگی بر اساس تهیه مقدار 200000 پوند (90720 کیلوگرم) پنیر در روز بیان شده اند.

1 - مرحله سرمایش اولیه (Cheese starter)

در طول این فرایند ماده اولیه پنیر از دمای 185°F (85°C) تا 78°F (25.5°C) سرد شده و در حدود 12 ساعت در این دما نگهداری می شود. در خود پنیر نیز واکنش بیوشیمیایی در حال انجام است که باعث ایجاد گرما می شود. این گرما باید بطور مرتب و پیوسته از پنیر گرفته شود و در نتیجه در تمام مدت 12 ساعت نیز به سرمایش احتیاج می باشد. در طول این 12 ساعت بطور مرتب ماده اولیه از 83°F (28.3°C) تا دمای 78°F (25.5°C) سرد می شود و سپس چندین بار به شرحی که در ادامه خواهد آمد بین دمای 45°F (7.2°C) و 20°F (4.4°C) بطور مرتب سرد می شود. شرح دقیق فرایندهای انجام شده به شرح زیر می باشد :

الف) ماده اولیه در مدت 1 ساعت از دمای 185°F (85°C) تا 78°F (25.5°C) سرد می گردد. بار سرمایی مورد نیاز 904150 Btu/hr (75.3 ton-hour) می باشد.

منظور از (75.3 ton-hour) این است که 75.3 تن تبرید به مدت 1 ساعت تمام مورد نیاز می باشد.

ب) ماده اولیه در طول هر 1 ساعت 4 بار از دمای 83°F (28.3°C) تا دمای 78°F (25.5°C) سرد می شود و این عمل بمدت 12 ساعت ادامه می یابد. بار سرمایی این مرحله 42250 Btu/hr (14.1 ton-hour) می باشد.

ج) در مدت 1 ساعت محصول از 80°F (26.6°C) تا 42°F (5.5°C) سرد می شود. بار سرمایی مورد نیاز این مرحله 32100 Btu/hr (26.1 ton-hour) خواهد بود.

د) محصول در مدت 24 ساعت 6 بار از دمای 45°F (7.2°C) تا دمای 20°F (4.4°C) در مدت 1 ساعت سرد می شود. بار سرمایی مورد نیاز عبارتست از 42250 Btu/hr (21.1 ton-hour)

2 - مرحله تمرکز پروتئین (مایه پنیر)

در این مرحله لازم است که در دو مرحله مختلف مایه پنیر بصورت تدریجی سرد شود. (بین مرحله اول و دوم پنیر در اثر واکنش بیوشیمیایی داخلی تا 122°F (50°C) گرم می شود.)

الف) مایه پنیر در طول 17 ساعت از 78°F (25.5°C) تا 38°F (3.3°C) سرد می گردد. گرمای گرفته شده از آن در حدود 110000 Btu/hr (155.8 ton-hour) می باشد.

ب) مایه پنیر در طول 3 ساعت از 122°F (50°C) تا 38°F (3.3°C) سرد می شود. بار سرمایی این مرحله 231000 Btu/hr (57.8 ton-hour) می باشد.

3 - مرحله پایانی

پنیر بدست آمده در طول 19 ساعت از دمای 85°F (29.4°C) تا 60°F (15.5°C) سرد می شود. گرمای گرفته شده از آن برابر 137171 Btu/hr (217.2 ton-hour) می باشد.

4 - مرحله فیلتراسیون

مرحله فیلتراسیون به بار سرمایی 22000 Btu/hr احتیاج دارد که این مرحله چون در طول یک روز حدود 20 بار تکرار می گردد به 36.7 ton-hour ظرفیت تبرید احتیاج خواهد داشت.

علاوه بر بارهای ذکر شده در بالا بارهای ناشی از افت فشار مسیرها، تلفات حرارتی خود مخزن، تلفات حرارتی ظرفهای نگهدارنده و ذخیره کننده مواد، تلفات حرارتی مبدلهای حرارتی و گرمای ناشی از کارکرد پمپها نیز باید به مجموع بارهای محاسبه شده اضافه شود.

این افتها در حدود 60000 Btu/hr یا 120 ton-hour تن-ساعت در روز تخمین زده می شود.

مجموع کلیه بارهای فوق در جدول 1 آورده شده اند.

مجموع بارهای فوق در روز طراحی به 724 ton-hour تن-ساعت خواهد رسید که اگر در طول 24 ساعت بطور یکنواخت توزیع شود، می توان در حالت ایدهآل این بار را با یک دستگاه تبرید 30.2 ton تن ظرفیت جواب داد.

(در نهایت یک مخزن ذخیره با ظرفیت 93.7 ton-hour تن-ساعتی برای پروژه مورد نیاز خواهد بود.)

جدول 1-A بارهای برودتی مورد نیاز

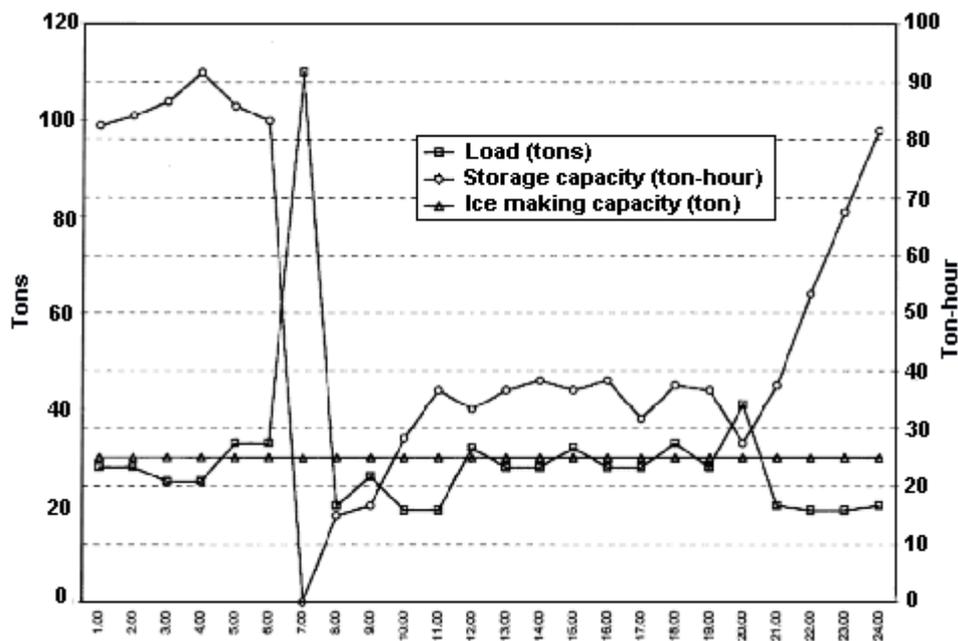
Time زمان	(Cheese Starter) مرحله اول سرمایش اولیه				Whey Protein Concentrate مرحله دوم تمرکز پروتئین		Finish Tables مرحله سوم مرحله پایانی (tons)	Ultra Filtration Vessels مرحله چهارم فیلتراسیون (tons)	Misc. Loads بارهای ناشی از تلفات (tons)	TOTAL LOAD بار کل (tons)	Ice Maker Capacity ظرفیت واحد تبرید یا یخساز (tons)	Tank Capacity میزان ذخیره موجود مخزن (ton-hours)
	الف Step 1 (ton s)	ب Step 2 (ton s)	ج Step 3 (ton s)	د Step 4 (ton s)	الف Step 1 (tons)	ب Step 2 (tons)						
Midnight - 1	0.0	0.0	0.0	0.0	9.2	0.0	11.4	1.8	5.0	27.4	30.2	81.8
1 - 2	0.0	0.0	0.0	0.0	9.2	0.0	11.4	1.8	5.0	27.4	30.2	84.6
2 - 3	0.0	0.0	0.0	0.0	9.2	0.01	11.4	0.0	5.0	25.6	30.2	89.1
3 - 4	0.0	0.0	0.0	0.0	9.2	0.0	11.4	0.0	5.0	25.6	30.2	93.7
4 - 5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	19.3	11.4	0.0	5.03	5.7	30.2	88.2
5 - 6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	19.3	11.4	0.0	5.0	35.7	30.2	82.7
6 - 7	75.3	0.0	0.0	0.0	0.0	19.3	11.4	1.8	5.0	112.8	30.2	0.0
7 - 8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	11.4	1.8	5.0	18.3	30.2	11.9
8 - 9	0.0	3.5	0.0	3.5	0.0	0.0	11.4	1.8	5.0	25.3	30.2	16.8
9 - 10	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	11.4	1.8	5.0	18.3	30.2	28.7
10 - 11	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	11.4	1.8	5.0	18.3	30.2	40.6
11 - Noon	0.0	3.5	0.0	3.5	9.2	0.0	11.4	1.8	5.0	34.5	30.2	36.3
Noon - 13	0.0	0.0	0.0	0.0	9.2	0.0	11.4	1.8	5.0	27.4	30.2	39.0
13 - 14	0.0	0.0	0.0	0.0	9.2	0.0	11.4	1.8	5.0	27.4	30.2	41.8
14 - 15	0.0	3.5	0.0	3.5	9.2	0.0	11.4	1.8	5.0	34.5	30.2	37.5
15 - 16	0.0	0.0	0.0	0.0	9.2	0.0	11.4	1.8	5.0	27.4	30.2	40.2
16 - 17	0.0	0.0	0.0	0.0	9.2	0.0	11.4	1.8	5.0	27.4	30.2	42.9
17 - 18	0.0	3.5	0.0	3.5	9.2	0.0	11.4	1.8	5.0	34.5	30.2	38.6
18 - 19	0.0	0.0	0.0	0.0	9.2	0.0	11.4	1.8	5.0	27.4	30.2	41.4
19 - 20	0.0	0.0	26.1	0.0	9.2	0.0	0.0	1.8	5.0	42.1	30.2	29.5
20 - 21	0.0	0.0	0.0	3.5	9.2	0.0	0.0	1.8	5.0	19.5	30.2	40.1
21 - 22	0.0	0.0	0.0	0.0	9.2	0.0	0.0	1.8	5.0	16.0	30.2	54.3
22 - 23	0.0	0.0	0.0	0.0	9.2	0.0	0.0	1.8	5.0	16.0	30.2	68.4
23 - 24	0.0	0.0	0.0	3.5	9.2	0.0	0.0	1.8	5.0	19.5	30.2	79.1
TOTAL:	75.3	14.1	26.1	21.1	155.8	57.8	217.2	36.7	120.0	724.1	724.1	

[جدول 1 نشان دهنده برنامه کاری این کارخانه خاص می باشد. در واحدهای تولیدی دیگر باید بر اساس برنامه کاری مخصوص آن واحد صنعتی، بررسی های تعیین ظرفیت دستگاههای تبرید انجام شود.]

انتخاب تجهیزات

برای ایجاد سرمایش مورد نظر چه از چیلر استفاده گردد و چه از یک اواپراتور یخساز ویژه روش Ice Slurry، اگر فرض بر این باشد که این سیستم بدون مخزن ذخیره طراحی گردد، باید سیستمی مطابق بزرگترین بار

لحظه ای موجود انتخاب گردد که این مقدار طبق جدول 1-A در ساعت 6 تا 7 صبح اتفاق می افتد و مقدار آن در حدود 110 تن تبرید (112.8 ton) می باشد. در این حالت از آنجا که پیک بار سرمایی فقط در یک ساعت از روز اتفاق می افتد چیلر یا دستگاه یخساز در ساعات دیگر روز بصورت نیم بار (part load) یا (unload) کار خواهد نمود و در این حالت نیز بازده خوبی نخواهد داشت.



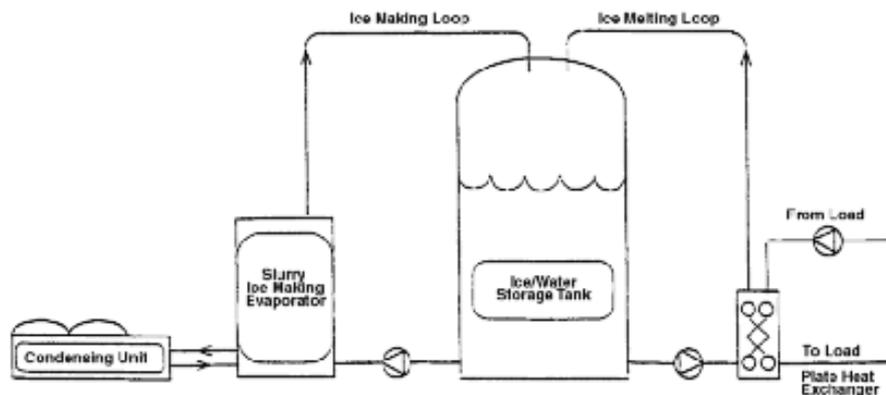
شکل 1 - A بار سرمایی و وضعیت مخزن در ساعات مختلف روز

توجه : به این علت که پروسه تولید بطور پیوسته انجام می گیرد، مراحل مختلف پروسه با یکدیگر همزمان شده اند. (برای مثال مرحله اول از مرحله سرمایش اولیه با مرحله دوم از مرحله تمرکز پروتئین از چرخه قبلی بر هم منطبق شده اند) این موردی غیر عادی نمی باشد، زیرا پروسه ها همگی زمان بر بوده و بجز همزمانی چند پروسه با یکدیگر نمیتوان تولید را به سرعت قابل قبولی رساند

یک مخزن ذخیره علاوه بر اینکه زمان کارکرد چیلر را به ساعات غیر پیک مصرف انرژی انتقال می دهد، در صورت از کار افتادن موقتی چیلر تا رفع عیب و راه اندازی مجدد توسط اپراتور، در خیلی از موارد می توان جلوی از کار افتادن خط تولید و یا خراب شدن محصول را گرفت.

به دلایل مختلف از جمله هزینه اولیه و شرایط خاص پروژه، تکنولوژی Slurry Ice Maker برای این منظور انتخاب گردید. (شکل 2)

در این روش محلول 7% پروپیلن گلیکول (Propylene Glycol) با عبور از اواپراتور یا ژنراتور بصورت نیمه یخ زده (Slurry) در می آید و این مخلوط با تمرکز (Concentration) 5 تا 10 درصد به مخزن ذخیره پمپ می شود. در این روش ژنراتور (generator) در کنار مخزن قرار می گیرد و مانند روش های (Ice Harvester) احتیاج به نصب تجهیزات در بالای مخزن نخواهد داشت و لذا می توان جنس بدنه تانک مخزن ذخیره را پلی اتیلن در نظر گرفت و این باعث صرفه جویی زیادی در هزینه ساخت مخزن می گردد.



شکل 2- A نمای شماتیک از یک سیستم مخزن ذخیره با تکنولوژی Slurry ice making

در این پروژه کارفرمای طرح بدین علت که در سال اول افتتاح پروژه بار کمتری از حالت بار طراحی مورد نیاز بوده است، و بنا بر توسعه طرح در سال آتی بوده است، تصمیم بر انتخاب سیستم با ظرفیت کمتر از 30.2 تن و در واقع به ظرفیت 22 تن (با دمای محیط 95°F (35°C)) گرفته است و یک مخزن با ظرفیت 6500 gal (24605 lit.) از جنس پلی اتیلن برای این منظور انتخاب شده است که قابلیت ذخیره 217 ton-hour تن-ساعت ذخیره سرمایی را داراست.

توجه: تجهیزات (Ice Slurry) ساختن یخ برای ظرفیت 22 تن انتخاب شده است و برای مثال در سال آتی می توان این مقدار را به راحتی به 30 ton تن افزایش داد اما خود تانک مخزن برای ظرفیت کامل طراحی می گردد.

چنین مخزنی قابلیت ذخیره تا 130% درصد اضافه بر ظرفیت مورد نیاز را داراست. ($100 * 93.7 / (217 - 93.7)$) که جهت مواقعی که سیستم برای تعمیرات یا خاموشی (Shut down) به حال تعلیق در می آید، می تواند مورد استفاده قرار گیرد.

می توان از هر تکنولوژی دیگری نیز برای مخزن ذخیره این پروژه استفاده نمود اما بدین علت که مورد نظر بود تا متن مقاله تغییر داده نشود، مقاله عینا ذکر می شود و بعد از اتمام مقاله روش توپهای یخ (Ice Balls) نیز مورد بحث و بررسی قرار خواهد گرفت. در ایران بعلت مرسوم نبودن تکنولوژی هایی مانند (Slurry Ice Making) و (Ice Harvesting) تجهیزات این روشها در داخل کشور ساخته نمی شود و تماما باید از خارج وارد شوند و لذا بعلت بالا بودن قیمت تمام شده آنها، اجرای آنها در ایران مقرون به صرفه نمی باشد.

نحوه کارکرد

سیستم دارای دو چرخه متفاوت ایجاد یخ و ذوب شدن یخ می باشد. سیکل ایجاد یخ شامل یک اواپراتور ویژه (Ice Slurry) و همچنین یک کندانسینگ یونیت (Condensing Unit) و نهایتا یک تانک مخزن ذخیره شامل محلول پروپیلن گلیکول (Propylene Glycol) می باشد. مخزن با محلول آب و پروپیلن گلیکول 7% درصد (حجمی) پر می گردد که در این حالت دمای انجماد آن 28.5°F (-1.9°C) خواهد بود. در طول مدت یخسازای آب از قسمت پایین مخزن به اواپراتور سازنده یخ پمپ می شود و به حالت مخلوط یخ (Ice Slurry) به مخزن بر میگردد. به تدریج که محلول موجود در مخزن تبدیل به مخلوط یخ می گردد غلظت پروپیلن گلیکول نیز بتدریج بالاتر می رود. چون فقط آب محلول است که یخ می زند در زمانهای آخر کامل شدن شارژ مخزن، دمای انجماد محلول به حدود 26°F (-3.3°C) خواهد رسید.

سیکل دوم که شامل ذوب شدن یخ و در واقع تخلیه مخزن می باشد، از یک مبدل حرارتی استفاده می نماید. در این زمان آب از قسمت پایین مخزن ذخیره به مبدل حرارتی پمپ می گردد و در طرف دیگر مبدل حرارتی نیز آب در گردش در سیستم لوله کشی ساختمان جریان دارد. در مراحل اول تخلیه دمای آب خروجی از تانک مخزن ذخیره در حدود 27°F (-2.7°C) است اما در مراحل آخر تخلیه حتی به 34°F (1.1°C) نیز خواهد رسید. در طول مدت تخلیه مخزن نیز آب گرم برگشتی به تانک مخزن ذخیره از طریق یک نازل از بالای مخزن بروی یخها اسپری می گردد واز آنجا که یخها بروی آب شناور می گردند، به خوبی گرمای ناشی از آب برگشتی را جذب می نمایند و این سیستم با این روش قادر است بار سرمایی زیادی را در مدت کوتاهی ایجاد نماید.

نتیجه

تکنولوژی استفاده از مخزن ذخیره کاربردهای مختلف و متفاوتی در صنعت از جمله در صنایع لبنیات، صنایع تولید نوشیدنیهای الکلی و غیر الکلی، صنایع غذایی و حتی صنایع چاپ و صنایع دیگر دارد. از مزایای استفاده از مخزن ذخیره سرمایی، می توان به تجهیزات سرمایشی کوچکتر، وجود ظرفیت ذخیره اضافه در موارد خاص، نیاز به تجهیزات الکتریکی با ظرفیت پایین تر (انشعابات و خطوط با ظرفیت کمتر) و تفاوت فاحش در قیمت پرداختی مصرف انرژی اشاره نمود.

بحث و بررسی بیشتر در مورد هزینه ها و مصرف انرژی در این پروژه

در این قسمت به تحلیلی مقایسه ای از نظر هزینه های مصرف انرژی بین دو حالت اجرای پروژه با مخزن ذخیره و همچنین بدون آن و همچنین مقایسه بین استراتژی های مختلف کاری پرداخته می شود. مطابق داده های جدول 1، این نکته مشخص گردید که در صورتی که از مخزن ذخیره استفاده نگردد به یک چیلر 120 ton تن تبرید جهت جوابگویی بار سرمایی مورد نیاز پروژه، نیاز می باشد. اگر فرضاً یک چیلر تراکمی رفت و برگشتی برای این منظور انتخاب گردد، چنین چیلری در هنگامیکه با ظرفیت حداکثر یعنی 120 ton تن در حال کار می باشد، در حدود 100 kW کیلو وات انرژی مصرف می نماید. توجه : کیلووات مصرف شده توسط چیلر بر حسب دمای کندانسور چیلر و دمای ورود و خروج آب در اواپراتور و همچنین نوع کمپرسور و بازده آن تغییر می کند. در اینجا محاسبه برای یک چیلر آبی (Water cooled Chiller) با کمپرسور سیلندر پیستونی ساخت شرکت DWM Copeland با شرایط آب خروجی از کندانسور 35°C و 95°F و آب خروجی از اواپراتور 32°F (0°C) در نظر گرفته شده است. چون در برخی از فرایندهای تولید به دماهای نزدیک به صفر نیازمندیم لذا جهت جلوگیری از یخ زدن آب، باید در اواپراتور چیلر و سیستم لوله کشی بجای آب از محلول آب و اتیلن گلیکول (Ethylene Glycol) استفاده شود. این واحد صنعتی بطور قطع جهت مصارف دیگر خود از جمله روشنایی، تامین انرژی دستگاهها و سیستمهای مختلف و دیگر نیازمندیهای خود نیز انرژی الکتریکی مصرف می نماید اما در اینجا فقط بهای قسمتی از انرژی الکتریکی که صرف سرمایش می گردد، محاسبه می شود.

اینکه انرژی الکتریکی مصارف غیر از سرمایه‌ش نیز در محاسبه لحاظ شود، اثری در قیمت تمام شده قسمت سرمایه‌ش نخواهد داشت زیرا تعرفه‌های برق صنعتی مانند تعرفه‌های مصارف خانگی نیست که با افزایش کیلووات ساعت مصرفی قیمت محاسبه شده هر کیلووات ساعت نیز افزایش یابد. این مطلب بعداً در محاسبه هزینه برق مصرفی بیشتر روشن خواهد گردید

محاسبه هزینه انرژی مصرفی بر اساس تعرفه‌های شرکت برق منطقه استان تهران در سال 1383 محاسبه گردیده است. بر اساس قراردادهای شرکت برق در واگذاری کنتورهای سه تعرفه‌ای صنعتی، ساعات روز به سه دسته مختلف ساعات اوج بار، ساعات کم باری و ساعات عادی تقسیم بندی می‌گردند که در فصول مختلف سال به شرح زیر می‌باشند.

بهار و تابستان : ساعات اوج بار: 19 تا 23 ساعات کم باری: 6 تا 23 (صبح) ساعات عادی: 6 تا 19
 پاییز و زمستان : ساعات اوج بار: 18 تا 22 ساعات کم باری: 7 تا 22 (صبح) ساعات عادی: 7 تا 18

قیمت کیلووات مصرفی در ساعات اوج بار با ساعات کم باری و با ساعات عادی متفاوت می‌باشد.
 تعرفه هزینه برق مصرفی بصورت جدول شماره 2 خواهد بود. (کلیه این اطلاعات بر اساس داده‌های شرکت برق منطقه‌ای غرب استان تهران در خردادماه سال 1383 تنظیم گردیده است.)

ՀԱՅԻՍ 03 ՇՈՒՆԵ ԱՅ ԵՆՔԷ ՎՈՆՈՎ				ՈՒՆԵ ԱԵՂԱՅ ԻՍ 03 ԵՆՔԷ ՇԱՆՈՎ				ՈՒՆԵ ԱԵՂԱՅ				ԱՅՆԷ ԻՑ
ԱՊՈՒՀԻՎԻ ՆԱԳՇԱԵ			ԻՂԵ	ԱՊՈՒՀԻՎԻ ՆԱԳՇԱԵ			ԵՆՔԷ ԵՂԱՅ	ԱՊՈՒՀԻՎԻ ՆԱԳՇԱԵ			ԵՂԱՅ	
ԵՂԱՅ	ՈՒՆԵ ԱԵՂԱՅ	ԻՂԵ	ԵՂԱՅ	ՈՒՆԵ ԱԵՂԱՅ	ԻՂԵ	ԵՂԱՅ	ԵՂԱՅ	ՈՒՆԵ ԱԵՂԱՅ	ԵՂԱՅ	ՈՒՆԵ ԱԵՂԱՅ	ԵՂԱՅ	ԵՂԱՅ
-	-	-	-	-	-	-	-	33.68	443.96	134.51	11870.1	4 - 1
-	-	-	-	-	-	-	-	33.68	443.96	134.51	11870.1	4 - 2
-	-	-	-	-	-	-	-	35.64	470.01	142.46	11870.1	4 - 3
53.63	707.3	214.29	-	40.44	533.12	161.53	11870.1	-	-	-	-	4 - 4
10.9	143.7	43.49	-	6.65	87.09	26.38	5275.6	6.65	87.09	26.38	5275.6	4 - 5
10.9	143.7	43.49	-	6.65	87.09	26.38	5275.6	6.65	87.09	26.38	5275.6	4 - 6
10.9	143.7	43.49	-	6.65	87.09	26.38	5275.6	6.65	87.09	26.38	5275.6	4 - 7
33.03	435.2	131.89	-	23.11	304.66	92.32	11870.1	19.84	261.16	79.13	11870.1	4 - 8
-	-	-	-	-	-	-	-	33.68	443.96	134.51	28640.7	4 - 1
-	-	-	-	-	-	-	-	33.68	443.96	134.51	28640.7	4 - 2
-	-	-	-	-	-	-	-	35.64	470.01	142.46	28640.7	4 - 3
64.11	846.3	256.45	-	39.57	522.33	158.27	24647.7	-	-	-	-	4 - 4

جدول 2-A- تعرفه مصارف تولید (صنعت و معدن) عادی و آزاد شرکت برق منطقه‌ای استان تهران

چون انشعاب مورد نیاز برای این واحد صنعتی 3 فاز و بالای 100 آمپر می‌باشد لذا قسمت فشار متوسط و بالاتر و از این جدول برای این واحد صنعتی مورد استفاده قرار می‌گیرد. تعرفه‌ای که برای صنایع تولیدی از جمله صنایع لبنیات در نظر گرفته می‌شود، تعرفه 4031 می‌باشد که ردیف 3-4 جدول می‌باشد.
 (تنها چیلر 120 ton تن بتنهایی در زمان کار با حداکثر ظرفیت حدود 250 آمپر جریان مصرف خواهد نمود.)
 در ابتدا بررسی می‌شود که اگر بدون استفاده از مخزن ذخیره یک چیلر 120 ton تن برای جوابگویی بار انتخاب شود هزینه مصرف برق آن به چه صورت خواهد بود.

حالت اول - برآورد هزینه برق مصرفی سیستم بدون مخزن ذخیره

در این حالت برای جوابگویی بار ماکزیمم که در ساعت 6 تا 7 صبح اتفاق می‌افتد، به یک چیلر 120 ton تن نیاز خواهد بود. هزینه‌های مصرف برق چیلر در جدول زیر آمده است.

ÉÇÓáS íÇá È ÝÇá äáÇÇ Çá (ÑÇ) (RI.)	ÍÇáÍ íÇÈ ÇÇÑÈ (dnameD) ÝÇá äáÇÇ Çá áÇÑ/ ÈÇáS (RI. / kW)	ÈÇáS íÇá È Ñ Çá ÈÇÇ ÈÇÇá Ç (ÑÇ) (RI.)	Ñá íÇáÈ ÈÇáS ÈÇÇ (ÑÇ) (RI.)	íSÍ ÑÈÇÇÍ ÑáÇ á Ò ÝÇá (íSÍ äáÇÈÇÇ) (kWh)	íÇáÇÇÇ á íÇáÇÇ á Ò ÝÇá (Èá-ÇÇÇ) (ton-hour)	ÑÈÇÇá Ñ Çá ÑÈá ÈÇÇ 1 È á (Èá ÈÇÇÍ) (tons)	ÈÇÇÇ	
0	0	1269.5	35.64	35.6	27.4	27.4	24 ~ 1	äS íÇÈ
0	0	1269.5	35.64	35.6	27.4	27.4	1 ~ 2	
0	0	1186.1	35.64	33.3	25.6	25.6	2 ~ 3	
0	0	1186.1	35.64	33.3	25.6	25.6	3 ~ 4	
0	0	1190.7	35.64	33.4	25.7	25.7	4 ~ 5	
0	0	1190.7	35.64	33.4	25.7	25.7	5 ~ 6	
1740631.5	11870.1	5226.2	35.64	146.6	112.8	112.8	6 ~ 7	
0	0	3389.1	142.46	23.8	18.3	18.3	7 ~ 8	íÇÇ
0	0	4685.5	142.46	32.9	25.3	25.3	8 ~ 9	
0	0	3389.1	142.46	23.8	18.3	18.3	9 ~ 10	
0	0	3389.1	142.46	23.8	18.3	18.3	10 ~ 11	
0	0	6389.3	142.46	44.9	34.5	34.5	11 ~ 12	
0	0	5074.4	142.46	35.6	27.4	27.4	12 ~ 13	
0	0	5074.4	142.46	35.6	27.4	27.4	13 ~ 14	
0	0	6389.3	142.46	44.9	34.5	34.5	14 ~ 15	
0	0	5074.4	142.46	35.6	27.4	27.4	15 ~ 16	
0	0	5074.4	142.46	35.6	27.4	27.4	16 ~ 17	
0	0	6389.3	142.46	44.9	34.5	34.5	17 ~ 18	
0	0	16741.8	470.01	35.6	27.4	27.4	18 ~ 19	íÇÇ
0	0	25723.6	470.01	54.7	42.1	42.1	19 ~ 20	
0	0	11914.8	470.01	25.4	19.5	19.5	20 ~ 21	
0	0	9776.2	470.01	20.8	16.0	16.0	21 ~ 22	
0	0	741.3	35.64	20.8	16.0	16.0	22 ~ 23	äS
0	0	903.5	35.64	25.4	19.5	19.5	23 ~ 24	íÇÈ
1,740,631		132,639						
		* 25						
		3,315,966						
5,056,597			(áÇÑ) (Ñáí Çá ÝÇá ÈÇáÇÇ á ä Òá) äS íÇá					

جدول 3-A بررسی هزینه مصرف برق ماهانه چیلر در یک سیستم بدون مخزن ذخیره

همانطور که دیده می شود، بهای دیماندا (Demand) براساس ماکزیمم مقدار کیلووات مصرفی در هر ماه محاسبه می گردد.

در این پروژه بعلت پایین بودن دمای کاری چیلر، مصرف برق چیلر در حالت جوابگویی مستقیم بار (بدون مخزن ذخیره) 1.3 kW/ton کیلو وات بر هر تن تبرید فرض شده و در حالت کار با مخزن نیز بعلت پایین تر بودن دمای کاری (در حدود 20°F (12°C)) مصرف برق چیلر 1.5 kW/ton کیلووات بر هر تن تبرید، د نظر گرفته شده است. در صورت تغییر این مقادیر به سادگی می توان محاسبات را با مقادیر جدید محاسبه نمود. همچنین این برنامه تقسیم بندی ساعات روزانه بر مبنای تعرفه پاییز و زمستان انجام شده است. در صورتی که در فصل بهار یا تابستان باشیم، چون ساعات کم باری در ساعت 6 صبح به پایان می رسد، برنامه کاری باید یک ساعت به عقب منتقل شود، بطوریکه نقطه پیک بار یعنی 112.8 ton تن که در ساعت 6 تا 7 اتفاق می افتد، در ساعت 5 تا 6 واقع شود، تا در هزینه ها صرفه جویی گردد.

در نتیجه این کارخانه جهت ایجاد سرمایه‌های مورد نیاز جهت فرایندهای تولید خود (غیر از سرمایه‌های مورد نیاز در تهویه مطبوع سالنها و محیط کارگران و پرسنل) هر ماه در حدود 500 هزار تومان هزینه خواهد نمود که مقدار سالانه آن نیز در حدود 6 میلیون تومان خواهد گردید.

در قسمت بعد بررسی می‌شود که در صورتی که از مخزن ذخیره استفاده شود هزینه‌های برق مصرفی ماهیانه چقدر خواهد بود.

برای تعیین استراتژی کاری مخزن ذخیره هم می‌توان از استراتژی "تمام مخزن" (Full Storage) استفاده نمود و هم از استراتژی "نیم مخزن" (Partial Storage). در صورتی که از استراتژی "تمام مخزن" (Full Storage) استفاده شود، کارکرد چیلر فقط به ساعات کم باری محدود خواهد شد و در طول ساعات دیگر چیلر خاموش خواهد بود. در این استراتژی سایز چیلر بزرگ خواهد شد در مقابل هزینه‌های برق مصرفی چیلر بسیار پایین خواهد آمد. در استراتژی "نیم مخزن" (Partial Storage) سایز چیلر به حداقل خواهد رسید، اما چیلر ناچار خواهد بود که در طول روز نیز به کار پردازد و در نتیجه باید بین هزینه‌های این دو استراتژی کاری، مقایسه دقیقی صورت گیرد.

در این قسمت هر دو حالت بطور جداگانه مورد بررسی قرار می‌گیرند. در انتخاب نوع تکنولوژی مناسب برای مخزن ذخیره نظرات مختلف و فراوانی وجود دارد و انتخاب یک تکنولوژی باید با بررسی همه جانبه اولویت‌های پروژه و هم‌منظور امکان‌سنجی‌ها و برآورد قیمت‌های تمام شده آن انجام شود. در پروژه‌هایی که مانند این پروژه (و اکثر پروژه‌های صنایع غذایی بخصوص صنایع لبنیات و پاستوریزاسیون) حساسیت زیادی بروی دما وجود دارد و همانطور که مشاهده گردید دقت حتی 1 درجه سانتیگراد نیز مهم است، معمولاً از روشها و تکنولوژی‌هایی استفاده می‌شود که آب یا محلول در گردش در تماس مستقیم با یخ قرار دارد. در واقع این تماس مستقیم این امکان را می‌دهد تا دمای آب به نقطه صفر رسیده و این روند تا تمام شدن یخ موجود در مخزن ادامه خواهد یافت و در واقع در تمام مدت طول پروسه آب تغذیه یا Supply از دمای یکنواختی برخوردار خواهد بود. معمولاً در هر نوع تبرید با روشهای دیگر دمای یکسانی برای آب تغذیه بدست نخواهد آمد. به همین دلیل نیز در مقاله در نهایت روش (Slurry Ice Making) برای این پروژه انتخاب گردید، اما همانطور که گفته شد به علت‌های مختلف از جمله بالا بودن نسبی تکنولوژی این روش و نبود تخصص کافی در تعمیر و نگهداری این سیستمها، این روش در ایران متداول نمی‌باشد.

یکی از روشهای نسبتاً ساده اجرای مخزن استفاده از روش توپهای یخ (Ice Balls) که قبلاً در فصل 6 به تفصیل در مورد آنها بحث گردید، می‌باشد در این روش دمای شارژ مخزن در حدود 22°F تا 26°F خواهد بود و برای این منظور اواپراتور چیلر باید در دمایی حدود 17°F تا 21°F به کار پردازد. در این محدوده دمای پایین بازده یا (COP) چیلر تا حدودی پایین است و در حدود 1.5 kW بازای هر تن تبرید می‌باشد. بنابراین با این فرضیات به محاسبه هزینه‌های مصرف انرژی کارکرد پروژه با مخزن ذخیره پرداخته می‌شود.

حالت دوم - برآورد هزینه برق مصرفی سیستم با استفاده از مخزن ذخیره با استراتژی کاری "تمام مخزن" (Full Storage)

در این حالت کارکرد چیلر کاملاً به ساعات کم باری منتقل می‌گردد، اما در مقابل سایز چیلر را بعلاوه محدود بودن ساعات کم باری نمیتوان خیلی پایین آورد. همانطور که در جدول شماره 1 دیده شد، مجموع بارهای مورد نیاز روزانه 724 ton-hour-تن-ساعت می‌باشد. در فصل پاییز و زمستان ساعات کم باری از ساعت 10 شب تا 7 صبح خواهد بود (یک بازه 9 ساعته)، اما در فصل بهار و تابستان ساعات کم باری از ساعت 11 شب تا ساعت 6 صبح خواهد بود. (یک بازه 7 ساعته)

جدول A-4. بررسی هزینه مصرف برق ماهانه چیلر در یک سیستم مخزن ذخیره با استراتژی کاری
تمام مخزن (Full Storage)

بنابراین هزینه ماهیانه مصرف برق چیلر در این استراتژی کاری در حدود 285 هزار تومان خواهد گردید که نسبت به حالت بدون مخزن (506 هزار تومان) در حدود 44% درصد بهبود نشان می دهد. در واقع در هر ماه مبلغ 221 هزار تومان در هزینه ها صرفه جویی شد که در طول سال در حدود 2,650,000 تومان خواهد گردید. و در طول چند سال اول پروژه براحتی هزینه اضافی انجام شده حاصل از ایجاد مخزن ذخیره را پوشش خواهد داد و از آن تاریخ به بعد تمام این مبلغ بعنوان درآمد ماهانه این پروژه تلقی خواهد گردید.

حالت سوم - برآورد هزینه برق مصرفی و چیلر سیستم با استفاده از مخزن ذخیره با استراتژی کاری نیم
مخزن (Partial Storage) با روش تعدیل بار (Load Leveling)

یکی از روشهایی که در فصل 2 در قسمت استراتژی نیم مخزن (Partial Storage) راجع به آن صحبت شد، روش تعدیل بار (Load Leveling) می باشد. در این حالت چیلری با ظرفیت حداقل تعیین می گردد تا در تمام مدت روز کار کرده و بتواند کل بار را جابگو باشد. در این مورد یک چیلر 30 ton تن برای این پروژه مناسب بنظر می رسد. ($30.16 \text{ ton} \leq 724 \text{ ton-hour} / 24 \text{ h}$) (البته برای در نظر گرفتن اضافه ظرفیت امکان دارد انتخاب یک چیلر 35 ton تن انتخاب بهتری باشد. و در واقع ظرفیت دقیق کاری چیلر به دمای اواپراتور، دمای محیط و پارامترهای دیگر بستگی دارد روند کار بدین صورت خواهد بود که چیلر با حداکثر ظرفیت خود در تمام طول روز بکار خواهد پرداخت و در زمانی که بار سرمایی مورد نیاز کمتر از بار سرمایی تولید شده توسط چیلر است، سرمای ایجاد شده در مخزن ذخیره می گردد و در مواردی که بار مورد نیاز بیش از ظرفیت چیلر است، از موجودی مخزن برداشت خواهد شد. در اینصورت چیلر در تمام مدت کاری خود 30.2 ton تن تبرید ایجاد خواهد نمود و در تمام این مدت 45.3 kW کیلووات برق بطور مداوم مصرف خواهد نمود.

محاسبه هزینه های مصرف برق چیلر در جدول A-5 آمده است.

Εύρος Ισχύος (RI.)	Ισχύς (nameD) (RI. / kW)	Επιβαρύνσεις (RI.)	Ναί (RI.)	Προβλεπόμενη απόδοσή (RI.)	Προβλεπόμενη απόδοσή (RI.)	Προβλεπόμενη απόδοσή (RI.)	Εύρος	
537716	11870.1	1614.5	35.64	45.3	30.2	30.2	24 ~ 1	α3 RI.
0	0	1614.5	35.64	45.3	30.2	30.2	1 ~ 2	
0	0	1614.5	35.64	45.3	30.2	30.2	2 ~ 3	
0	0	1614.5	35.64	45.3	30.2	30.2	3 ~ 4	
0	0	1614.5	35.64	45.3	30.2	30.2	4 ~ 5	
0	0	1614.5	35.64	45.3	30.2	30.2	5 ~ 6	
0	0	1614.5	35.64	45.3	30.2	30.2	6 ~ 7	
0	0	6453.4	142.46	45.3	30.2	30.2	7 ~ 8	RI.
0	0	6453.4	142.46	45.3	30.2	30.2	8 ~ 9	
0	0	6453.4	142.46	45.3	30.2	30.2	9 ~ 10	
0	0	6453.4	142.46	45.3	30.2	30.2	10 ~ 11	
0	0	6453.4	142.46	45.3	30.2	30.2	11 ~ 12	
0	0	6453.4	142.46	45.3	30.2	30.2	12 ~ 13	
0	0	6453.4	142.46	45.3	30.2	30.2	13 ~ 14	
0	0	6453.4	142.46	45.3	30.2	30.2	14 ~ 15	
0	0	6453.4	142.46	45.3	30.2	30.2	15 ~ 16	
0	0	6453.4	142.46	45.3	30.2	30.2	16 ~ 17	
0	0	6453.4	142.46	45.3	30.2	30.2	17 ~ 18	
0	0	21291.5	470.01	45.3	30.2	30.2	18 ~ 19	α3 RI.
0	0	21291.5	470.01	45.3	30.2	30.2	19 ~ 20	
0	0	21291.5	470.01	45.3	30.2	30.2	20 ~ 21	
0	0	11280.2	470.01	24.0	16.0	30.2	21 ~ 22	α3 RI.
0	0	1614.5	35.64	45.3	30.2	30.2	22 ~ 23	
0	0	1614.5	35.64	45.3	30.2	30.2	23 ~ 24	
537,716		160,673						
		* 25						
		4,016,821						
4,554,537			(RI.) (RI.) (RI.) (RI.) (RI.) (RI.)					

جدول A-5. بررسی هزینه مصرف برق ماهانه چیلر در یک سیستم مخزن ذخیره با استراتژی کاری نیمه مخزن (Partial Storage) روش باروش با روش تعدیل بار (Load Leveling)

بنابراین هزینه ماهیانه مصرف برق چیلر در این استراتژی کاری در حدود 455 هزار تومان خواهد گردید که نسبت به حالت بدون مخزن (506 هزار تومان) فقط در حدود 10% درصد بهبود نشان می دهد. در واقع در هر ماه مبلغ 50 هزار تومان در هزینه ها صرفه جویی شد که در طول سال در حدود 600 هزار تومان خواهد گردید.

اما در مقابل، بجای یک چیلر 120 ton تن، یک چیلر 30 ton تن خریداری گردیده است و یک مقایسه کوچک بین قیمت این دو نوع چیلر تفاوت قابل توجه آنها را نشان خواهد داد.

(این قیمتها بر اساس قیمت‌های اسفند ماه سال 1382 می باشند.)

چیلر تراکمی آبی (Water Cooled Chiller) با کمپرسور نیمه بسته :

با ظرفیت واقعی 30 ton تن تبرید : 92,000,000 Rls ریال

با ظرفیت واقعی 120 ton تن تبرید : 316,000,000 Rls ریال

همانطور که دیده می شود تفاوت بین قیمت چیلر های 30 ton تن و 120 ton تن در حدود 22 میلیون تومان خواهد بود و

این مبلغ صرفه جویی بسیار قابل توجهی در زمان اجرای چنین پروژه ای خواهد بود و از آنجا که هزینه اصلی ایجاد یک سیستم تبرید همان هزینه چیلر آن می باشد، حتی میتوان گفت که با احتساب هزینه ایجاد مخزن قیمت نهایی تمام شده پروژه به نصف قیمت تمام شده آن در حالت بدون مخزن ذخیره کاهش خواهد یافت.

توجه : اینکه بتوان سایز چیلر را به یک سوم سایز اصلی خود کاهش داد همواره رخ نمی دهد و این مساله کاملاً به پروفیل ساعتی بار مورد نیاز وابسته است، اما در چنین مواردی همانطور که دیده شد امکان صرفه جویی زیادی در هزینه خریداری دستگاههای مورد نیاز، وجود دارد.

باید اضافه شود که در حالت اجرای پروژه با مخزن ذخیره مقداری تلفات حرارتی در خود مخزن (در انتقال حرارت به محیط) وجود خواهد داشت که این 5 درصد ظرفیت اضافه نیز باید در هنگام انتخاب چیلر مورد توجه قرار گیرد. در این مورد چیلری که قیمت آن بعنوان چیلر 30 ton تن ذکر گردید در نقطه مورد نظر (با دمای آب خروجی از کندانسور در دمای 35°C) 95°F و در دمای آب خروجی از اواپراتور با دمای 20°F (-6.6°C) دارای ظرفیت 32 ton تن تبرید بود که دارای ظرفیت اضافی کافی بود. منظور این است که برخی پارامترها باید با بررسی دقیق جداول و کاتالوگ فنی انتخاب چیلر در نقطه کاری مورد نظر مورد بررسی و تصمیم گیری قرار گیرد.

توجه : در چیلر های تراکمی کمپرسور از گران ترین اجزای تشکیل دهنده می باشد بطوریکه حتی می توان از روی تعداد و نوع کمپرسورهای یک چیلر قیمت تقریبی آن را تخمین زد. در این مقایسه به این علت که چیلر 30 ton تن دارای یک کمپرسور و چیلر 120 ton تن دارای سه کمپرسور میباشد، لذا تفاوت قیمت بین این دو چیلر تا این اندازه زیاد خواهد بود در صورتی که برای مثال امکان دارد بین دو چیلر تک کمپرسور 25 ton تن و 50 ton تن تفاوت قیمت تا این حد چشمگیر نباشد.

برای بر آورد هزینه مخزن باید مشخص شود که مخزن چه ظرفیتی خواهد داشت به عبارتی به یک مخزن چند ton-hour تن-ساعت بار نیاز می باشد. با توجه به شکل I-A مشاهده می گردد که یک مخزن 93.7 ton-hour تن-ساعتی برای این پروژه کافی است، اما همانطور که گفته شد برای در نظر گرفتن ضریب اطمینان مخزن، بزرگتر از نیاز در نظر گرفته می شود. اگر یک مخزن 200 ton-hour تن-ساعتی برای این پروژه در نظر گرفته شود (ظرفیت مخزن را کمتر از این مقدار هم می توان گرفت. در این حالت بالاترین ضریب اطمینان ممکن در نظر گرفته شده است) مخزن دارای 113% ظرفیت اضافه نیز می باشد. بنابراین قیمت مخزن در حدود 9.6 میلیون تومان خواهد گردید. (مبنای محاسبه 60 دلار بازای هر تن-ساعت ظرفیت مخزن ذخیره می باشد.)

حالت دیگر بررسی نوع دیگری از استفاده از مخزن ذخیره با استراتژی کاری نیم مخزن (Partial Storage) [با روش محدود کردن مصرف (Demand Limiting) میباشد که در این روش نیز چیلر بصورت تمام وقت کار خواهد نمود اما برای به حداقل رساندن هزینه های مصرف انرژی در ساعات اوج مصرف یا اوج بار انرژی الکتریکی، چیلر در حالت خاموش یا نیم بار باشد.

(برای تعیین یک استراتژی کاری مناسب تمام وضعیت های مختلف کاری و زمان بندی های مختلف چیلر باید توسط طراح بررسی گردد تا حالتی که دارای مینیمم هزینه است، انتخاب گردد.)

حالت چهارم - برآورد هزینه برق مصرفی و چیلر سیستم با استفاده از مخزن ذخیره با استراتژی کاری نیم مخزن (Partial Storage) با روش محدود کردن مصرف (Demand Limiting)

در دو حالت قبل مشاهده گردید که دیمانند (Demand) سهم قابل توجهی از هزینه برق مصرفی را بخود اختصاص می دهد. در این قسمت سعی بر این خواهد بود که مصرف انرژی از ساعات اوج مصرف انرژی الکتریکی حذف گردد. در این مدت که یک بازه 4 ساعته است، جهت تامین بار سرمایی، از مخزن استفاده می گردد. بنابراین 724 ton-hour تن - ساعت مورد نیاز باید در طول 20 ساعت باقیمانده تامین گردد.

$$724 \text{ ton-hour} \div 20 \text{ hour} = 36.2 \text{ ton}$$

بنابراین می توان یک چیلر 40 ton تن برای پروژه در نظر گرفت و سائز مخزن نیز با بررسی ساعت به ساعت، در مراحل بعد تعیین خواهد گردید. چیلر نیز در مدت کار خود برای ایجاد 36.2 ton تن تبرید در هر لحظه 54.3 kW کیلووات انرژی مصرف خواهد نمود. در اینصورت هزینه برق مصرفی مطابق جدول 6-A خواهد بود.

شماره ردیف (No.)	تاریخ (Date)	مصرف انرژی (kWh)	مصرف آب (ton)	مصرف برق (kW)	مصرف آب (ton)	مصرف برق (kW)	مصرف آب (ton)	مصرف برق (kW)
644546		11870.1	1935.3	35.64	54.3	36.2	36.2	24 ~ 1
0		0	1935.3	35.64	54.3	36.2	36.2	1 ~ 2
0		0	1935.3	35.64	54.3	36.2	36.2	2 ~ 3
0		0	1935.3	35.64	54.3	36.2	36.2	3 ~ 4
0		0	1935.3	35.64	54.3	36.2	36.2	4 ~ 5
0		0	1935.3	35.64	54.3	36.2	36.2	5 ~ 6
0		0	1935.3	35.64	54.3	36.2	36.2	6 ~ 7
0		0	7735.6	142.46	54.3	36.2	36.2	7 ~ 8
0		0	7735.6	142.46	54.3	36.2	36.2	8 ~ 9
0		0	7735.6	142.46	54.3	36.2	36.2	9 ~ 10
0		0	7735.6	142.46	54.3	36.2	36.2	10 ~ 11
0		0	7735.6	142.46	54.3	36.2	36.2	11 ~ 12
0		0	7735.6	142.46	54.3	36.2	36.2	12 ~ 13
0		0	7735.6	142.46	54.3	36.2	36.2	13 ~ 14
0		0	7735.6	142.46	54.3	36.2	36.2	14 ~ 15
0		0	7735.6	142.46	54.3	36.2	36.2	15 ~ 16
0		0	7735.6	142.46	54.3	36.2	36.2	16 ~ 17
0		0	7735.6	142.46	54.3	36.2	36.2	17 ~ 18
0		0	0.0	470.01	0.0	0.0	0.0	18 ~ 19
0		0	0.0	470.01	0.0	0.0	0.0	19 ~ 20
0		0	0.0	470.01	0.0	0.0	0.0	20 ~ 21
0		0	0.0	470.01	0.0	0.0	0.0	21 ~ 22
0		0	1935.3	35.64	54.3	36.2	36.2	22 ~ 23
0		0	1935.3	35.64	54.3	36.2	36.2	23 ~ 24
644,546		102,509						
		* 25						
		2,562,716						
3,207,262		(Total kWh) (Total Water) (Total Electricity)						

جدول 6-A . بررسی هزینه مصرف برق ماهانه چیلر در یک سیستم مخزن ذخیره با استراتژی کاری نیمه مخزن (Partial Storage) روش با روش محدود کردن مصرف (Demand Limiting)

و این بدین معنی است که هر ماه در حدود 320 هزار تومان هزینه برای برق مصرفی چیلر پرداخت خواهد گردید. در مقایسه با حالت بدون مخزن که ماهانه 506 هزار تومان برای برق مصرفی چیلر پرداخت می گردید، در حدود 37% بهبود نشان می دهد و هر ماه در حدود 185 هزار تومان در نتیجه اجرای این سیستم قابل استحصال خواهد بود که در سال در حدود 2 میلیون و 200 هزار تومان خواهد گردید. اضافه بر این چیلر نیز بجای یک چیلر 120 ton تن، یک چیلر 40 ton تن خواهد گردید و تفاوت قیمت بین این دو چیلر به شرح زیر خواهد بود.

(این قیمتها بر اساس قیمتتهای اسفند ماه سال 1382 می باشند.)

چیلر تراکمی آبی (Water Cooled Chiller) با کمپرسور نیمه بسته :

با ظرفیت واقعی 40 ton تن تبرید : 113,000,000 Rls ریال

با ظرفیت واقعی 120 ton تن تبرید : 316,000,000 Rls ریال

همانطور که دیده می شود تفاوت بین قیمت چیلر های 40 ton تن و 120 ton تن در حدود 20 میلیون تومان خواهد بود و این مبلغ صرفه جویی بسیار قابل توجهی در زمان اجرای چنین پروژه ای خواهد بود.

در محاسبه ظرفیت مخزن نیز باید ذکر شود که در حالت سوم (حالت Load Leveling) برای کارکرد چیلر بطور مداوم با ظرفیت 30.2 ton تن با بررسی ساعت به ساعت در شکل 1-A مشخص گردید که 93.7 ton-hour تن-ساعت ظرفیت برای مخزن کافی می باشد. در این حالت نیز با توجه به اینکه ظرفیت چیلر 36.2 ton گردیده است، باز هم همان مخزن 200 ton-hour تن-ساعت کافی بنظر میرسد. (می توان برای محاسبه دقیق تر بررسی ساعت به ساعت در این حالت را نیز مانند شکل 1-A تکرار نمود.)

در نتیجه مشاهده گردید که با بررسی حالتهای مختلف در یک پروژه، میتوان حالت مناسب و بهینه را یافت و پروژه را به حداکثر سوددهی خود رساند. نتایج بررسی های مختلف انجام شده به جدول زیر (جدول 7-A) منتهی می شود.

0	6.1	31.6	0	31.6	31.6
2.7	3.4	60.6	29	31.6	31.6
0.7	5.4	18.8	9.6	9.2	9.2
2.3	3.9	20.9	9.6	11.3	11.3

جدول 7-A. بررسی هزینه های اولیه و جاری اجرای طرح در وضعیت های مختلف

نتیجه : با بررسی جدول نهایی 7-A مشخص می گردد که روش اجرای طرح با مخزن و استراتژی نیمه مخزن (Partial Storage) با روش کاری محدود کردن مصرف (Demand Limiting) بهترین نتیجه را بدست می دهد. در واقع بجای اینکه 32 میلیون تومان برای طرح بدون مخزن ذخیره هزینه شود، فقط 21 میلیون تومان برای اجرای این طرح هزینه خواهد شد و علاوه بر آن هر سال نیز بیش از 2 میلیون تومان نسبت به حالت بدون مخزن، در هزینه های مصرف برق صرفه جویی خواهد شد که این مبلغ در واقع می تواند در آمد سالیانه پروژه محسوب گردد.

انتخاب اینکه کدام وضعیت برای پروژه انتخاب شود، بسته به نظر مسئولین پروژه خواهد داشت و در تمام موارد انتخاب وضعیت اجرای پروژه به علت نزدیک بودن گزینه ها به یکدیگر به سادگی این مورد نخواهد بود. (برای مثال ممکن است در یک وضعیت، هزینه اولیه بسیار کم باشد و در وضعیتی دیگر هزینه های جاری (هزینه سالانه مصرف برق) بسیار پایین تمام شود، بطوریکه تصمیم گیری بین آن دو را مشکل نماید.) به هر حال تصمیم نهایی به عهده مسئولین پروژه خواهد بود که تصمیم به کاهش هزینه های اولیه گرفته شود و یا ترجیح داده شود که سود دهی پروژه از طریق صرفه جویی در هزینه های کارکرد سالانه صورت گیرد.

www.shakhta.ir

REFERENCES

(ASHRAE) American Society of Heating, Refrigeration and Air-Conditioning Engineers.

Design Guide For Cool Thermal Storage

ASHRAE Publications, Atlanta, Georgia 1993

www.shakhta.ir