دانشگاه صنعتی شاهرود

دانشکده مکانیک

گروه تبدیل انرژی

پایان‌نامه کارشناسی ارشد

بهینه‌سازی سیستم تهویه با سیستم ذخیرهٔ انرژی

استاد راهنما

دکتر محمد محسن شاه‌مردان

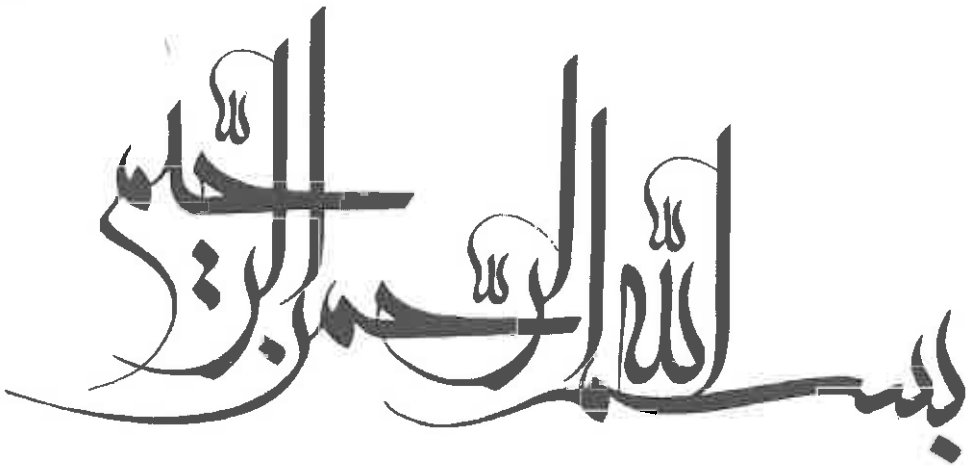
استاد مشاور

مهندس احمد مددی

دانشجو

فواد رخشان

زمستان ۱۳۸۶


بسم الله الرحمن الرحيم

عنوان	صفحه
فصل اول: معرفی	**۱**
۱-۱ مقدمه	۱
۱-۲ آشنایی با سیستم ذخیره انرژی	**۳**
۱-۳ انواع ذخیره‌سازی حرارتی	**۵**
۱-۳-۱ سیستم ذخیره آب سرد	۵
۱-۳-۲ سیستم ذخیره ساز یخ	۷
۱-۳-۲-۱ ذخیره ساز از نوع کویل خارجی	۸
۱-۳-۲-۲ ذخیره ساز از نوع کویل داخلی	۸
۱-۳-۲-۳ سیستم‌های یخ‌ساز از نوع کپسول‌های یخ	۹
۱-۳-۲-۴ سیستم یخ ساز از نوع یخ های قابل برداشت	۱۰
۱-۳-۲-۵ دوغاب یخ	۱۰
۱-۳-۳ ذخیره‌سازی یخ گرم	۱۱
فصل دوم: تهویه مطبوع	**۱۷**
۲-۱ معرفی قسمت‌های مختلف سیستم تهویه	**۱۷**
۲-۲ انواع سیستم‌های کنترل در تهویه مطبوع	**۲۰**
۲-۲-۱ سیستم انبساط مستقیم	۲۰
۲-۲-۲ سیستم تمام آب	۲۱
۲-۲-۳ سیستم تمام هوا	۲۱

۲-۲-۳-۱ سیستم حجم ثابت ۲۱
۲-۲-۳-۲ سیستم‌های حجم متغییر ۲۳
۲-۲-۴ سیستم هوا-آب ۲۳
۲-۲-۵ پمپ حرارتی ۲۴
۲-۳ تکنیک‌های ذخیره سازی **۲۴**
۲-۳-۱ سیستم‌های ذخیره‌سازی کامل ۲۴
۲-۳-۲ سیستم‌های ذخیره سازی جزئی ۲۵
۲-۳-۳ سیستم‌های محدود کننده تقاضا ۲۶
۲-۴ معرفی سیستم خاص **۲۷**
فصل سوم: بررسی و تحلیل سیستم ذخیره انرژی **۳۲**
۳-۱ مقدمه **۳۲**
۳-۲ معادله انرژی **۳۳**
۳-۳ معادلات مومنتوم **۳۴**
۳-۴ مشخصات سیال درون مخزن **۳۶**
۳-۴-۱ چگالی آب ۳۷
۳-۴-۲ ظرفیت حرارتی ۳۷
۳-۴-۳ قابلیت هدایت حرارتی ۳۸
۳-۴-۴ ویسکوزیته ۳۸
۳-۵ مشخصات هندسی نمونه اولیه **۳۸**
۳-۶ موارد مهم در طراحی سیستم **۳۹**

فصل چهارم: آنالیز سیستم ۴۳

۴-۱ مقدمه ۴۳

۴-۱-۱ مرحله تشکیل یخ ۴۵

۴-۱-۲ مرحله دشارژ و آب شدن یخ ۴۶

۴-۲ بررسی روند شارژ ۴۶

۴-۳ بررسی روند دشارژ ۵۵

فصل پنجم: طراحی و محاسبه سیستم ذخیره سرمایی ۵۹

۵-۱ مقدمه ۵۹

۵-۲ محاسبات بار برودتی ساختمان ۶۰

۵-۲-۱ شرایط محل طراحی که ساختمان در آن قرار دارد ۶۰

۵-۲-۲ تشریح ساختمان ۶۱

۵-۲-۳ محاسبه بار برودتی با استفاده از جداول کریر ۶۱

۵-۲-۴ محاسبه توسط نرم افزار کریر ۶۵

۵-۲-۵ مقایسه دو روش ۶۵

۵-۳ محاسبه ظرفیت سیستم ذخیره ۶۵

۵-۴ محاسبه حجم سیستم ذخیره ۶۷

۵-۵ محاسبه مقدار سرمایش برای حالتی که از CAV استفاده می‌شود. ۶۸

فصل ششم: بررسی اقتصادی سیستم ذخیره انرژی ۷۲

۶-۱ مقدمه ۷۲

۶-۲ انتخاب تجهیزات بر اساس ماکزیمم دما ۷۳

۶-۲-۱ انتخاب چیلر ۷۳
۶-۲-۲ انتخاب برج خنک‌کن ۷۴
۶-۲-۳ انتخاب هواساز ۷۶
۶-۲-۴ انتخاب پمپ ۷۷
۶-۳ انتخاب تجهیزات بر اساس دمای بهینه ۷۹
۶-۳-۱انتخاب چیلر: ۷۹
۶-۳-۲ انتخاب برج خنک‌کن ۸۰
۶-۳-۳ انتخاب هواساز ۸۱
۶-۳-۴ انتخاب پمپ ۸۲
۶-۳-۵ سیستم ذخیره انرژی ۸۳
۶-۴ مقایسه اقتصادی ۸۴
۶-۵ بررسی اقتصادی سیستم ذخیره انرژی در سیستم CAV ۸۹
۶-۵-۱ انتخاب تجهیزات در حالتی که از سیستم باز گرمایش درسیستم کنترل CAV استفاده نمی‌شود ۸۹
۶-۵-۱-۱ انتخاب چیلر ۹۰
۶-۵-۱-۲ انتخاب برج خنک‌کن ۹۱
۶-۵-۱-۳ انتخاب هواساز ۹۲
۶-۵-۱-۴ انتخاب پمپ: ۹۲
۶-۵-۲ انتخاب تجهیزات در زمان استفاده از سیستم ذخیره انرژی در سیستم CAV ۹۴
۶-۵-۲-۱ انتخاب چیلر ۹۴

۶-۵-۲-۲ انتخاب برج خنک‌کن ۹۵

۶-۵-۲-۳ انتخاب هواساز ۹۶

۶-۵-۲-۴ انتخاب پمپ ۹۶

۶-۵-۲-۵ مشخصات مخزن ذخیره انرژی ۹۸

۶-۵-۳ مقایسه اقتصادی ۹۸

منابع

فهرست شکلها:

شکل(۱-۱): شماتیکی از سیستم ذخیره انرژی با آب سرد. ۶

شکل(۱-۲): شماتیکی از نحوه عملکرد ذخیره‌سازی از نوع کویل خارجی ۸

شکل(۱-۳): شماتیکی از نحوه ذخیره‌سازی از نوع کویل داخلی. ۹

شکل(۱-۴): سیستم یخ‌ساز از نوع کپسولی. ۱۰

شکل(۲-۱): شماتیک سیستم انبساط مستقیم. ۲۰

شکل(۲-۲): شماتیکی از سیستم تمام هوای CAV با کویل بازگرمایش. ۲۲

شکل(۲-۳): شماتیک سیستم هوا-آب. ۲۴

شکل(۲-۴): سیستم ذخیره کامل. ۲۵

شکل(۲-۵): سیستم ذخیره جزئی ۲۶

شکل(۲-۶): سیستم محدود کننده تقاضا ۲۷

شکل(۲-۷): نحوه اضافه شدن سیستم ذخیره انرژی به سیستم تهویه اصلی ۲۹

شکل(۳-۱): چگونگی استفاده از معادلات حرارتی در کنار دیوار ۳۷

شکل(۴-۱): نمای مختلفی از سیستم ذخیره انرژی که پیشنهاد شده‌است ۴۴

شکل(۴-۲): محل ورود مبرد ۴۵

شکل(۴-۳): محل ورود هوا ۴۶

شکل(۴-۴): نماهای مختلف تشکیل یخ پس از۶۰۰ ثانیه ۴۸

شکل(۴-۵): نماهای مختلف تشکیل یخ پس از ۲۰۰۰ ثانیه ۴۹

شکل(۴-۶): نماهای مختلف تشکیل یخ پس از ۷۰۰۰ ثانیه ۵۰

شکل(۴-۷): نمودار تغییرات B نسبت به زمان در برش صفحه‌ای از سیال ۵۱

شکل(۴-۸): تشکیل یخ دور کویل‌ها و تاثیر فاصله بین کویل‌ها در تشکیل یخ. ۵۲

شکل(۴-۹): نمودار تغییرات انرژی خروجی از سیستم نسبت به زمان ۵۲

شکل(۴-۱۰): نمودار تاثیر جنس بر شار حرارتی خروجی ۵۳

شکل(۴-۱۱): تغیرات دمای اطراف کویل در مخزن ۵۴

شکل(۴-۱۲): تغییرات دمای هوا در طول کانال ۵۵

شکل(۴-۱۳): متوسط دمای هوا در مقطع خروجی کانال ۵۶

شکل(۴-۱۴): تاثیر تغییر فاصله بین دسته کویلها در دمای هوای خروجی ۵۷

شکل(۴-۱۵): تغییرات دمای هوا در طول کانال، تاثیر تغییر فاصله بین کویلها در تغییر دما هوا در طول کانال ۵۷

شکل(۴-۱۶): سرعت در مقطع خروجی برای دو حالتی که فاصله بین کویلها ۱۰ و ۲۰ سانتی متر می‌باشد ۵۸

شکل(۵-۱):. نمودار تولید روزانه چیلر در ساعات مختلف روز در پیک مصرف ۶۶

شکل(۵-۲):. نمودار مصرف روزانه چیلر در ساختمان و خط مصرف بهینه ۶۷

شکل(۵-۳): شماتیکی از محیط در حال تهویه به کمک سیستم CAV ۶۹

شکل(۵-۴): نمودار تناژ تولیدی توسط چیلر ۷۰

شکل(۵-۵): نمودار تولید روزانه انرژی برای زون با دمای مینیمم برای تامین مقدار ظرفیت مخزن انرژی ۷۱

شکل(۶-۱): نمودار مقایسه قیمت تمام شده سیستم در دو حالت ۸۵

شکل(۶-۲): مقایسه هزینه مصرف انرژی در دو حالت طراحی شده ۸۶

شکل(۶-۳): نمودار مقایسه ای بین دو سیستم از نظر توان مصرف انرژی در ساعات مختلف روز ۸۶

شکل(۶-۴): نمودار مقایسه مصرف انرژی در دو سیستم و قسمتهای مختلف سیستم ذخیره انرژی در ساعات مختلف ۸۷

شکل(۶-۵): مقایسه هزینه جاری توان مصرفی در دو حالت در ساعات مختلف روز ۸۸

شکل(۶-۶):مقایسه قیمت تمام شده دو سیستم ۹۹

شکل(۶-۷): مقایسه توان مصرفی در دو سیستم در ماکزیمم مصرف ۹۹

جداول

جدول(۱-۱): معرفی PCM ها ۱۴

جدول(۱-۲): مقایسه ویژگیهای مختلف PCM های نمکی و آلی ۱۴

جدول(۵-۱): مقادیر بدست آمده از نرم افزار کریر ۶۵

جدول(۵-۲): مشخصات دمایی زون‌های در حال تهویه ۶۹

جدول(۵-۳): انرژی مورد نیاز برای تهویه هر زون ۷۰

جدول(۶-۱): داده‌های اولیه برای انتخاب چیلر ۷۴

جدول(۶-۲):مشخصات چیلر انتخابی ۷۴

جدول(۶-۳): داده‌های مورد نیاز برای انتخاب برج خنک‌کن ۷۵

جدول(۶-۴): مشخصات برج خنک کن انتخابی ۷۶

جدول(۶-۵): مشخصات هواساز انتخابی به همراه فن ۷۷

جدول(۶-۶): مشخصات مورد نیاز برای انتخاب پمپ آب سرد ۷۸

جدول(۶-۷): مشخصات پمپ آب سرد انتخابی در سیستم ۷۸

جدول(۶-۸): مشخصات مورد نیاز برای انتخاب پمپ آب برج خنک‌کن ۷۸

جدول(۶-۹): مشخصات پمپ برج خنک‌کن انتخابی در سیستم ۷۹

جدول(۶-۱۰): هزینه تمام شده و مقدار مصرف برق کل سیستم ۷۹

جدول(۶-۱۱): داده‌های اولیه برای انتخاب چیلر ۸۰

جدول(۶-۱۲): مشخصات چیلر انتخابی ۸۰

جدول(۶-۱۳): داده‌های مورد نیاز برای انتخاب برج خنک‌کن ۸۱

جدول(۶-۱۴)مشخصات برج خنک‌کن انتخابی ۸۱

جدول(۶-۱۵): مشخصات و قیمت هواساز انتخابی به همراه فن ۸۲

جدول(۶-۱۶): داده‌های اولیه برای انتخاب پمپ آب سرد ۸۲
جدول(۶-۱۷): مشخصات پمپ انتخابی برای آب سرد ۸۲
جدول(۶-۱۸): داده‌های اولیه برای انتخاب پمپ برج خنک‌کن ۸۳
جدول(۶-۱۹): مشخصات پمپ انتخابی برای برج خنک‌کن ۸۳
جدول(۶-۲۰): مشخصات مخزن ذخیره انرژی ۸۴
جدول(۶-۲۱): هزینه تمام شده و برق مصرفی سیستم در حالت دوم ۸۴
جدول(۶-۲۲): ضریب قیمت برای مصرف برق در ساعات مختلف روز ۸۷
جدول(۶-۲۳): داده‌های اولیه برای انتخاب چیلر ۹۰
جدول(۶-۲۴): مشخصات چیلر انتخابی ۹۰
جدول(۶-۲۵): داده‌های اولیه برای انتخاب برج خنک‌کن ۹۱
جدول(۶-۲۶): مشخصات برج خنک‌کن انتخابی ۹۱
جدول(۶-۲۷): مشخصات و قیمت هواساز مورد نیاز به همراه فن ۹۲
جدول(۶-۲۸): داده‌های اولیه برای انتخاب پمپ آب سرد ۹۲
جدول(۶-۲۹): مشخصات پمپ آب سرد انتخابی ۹۳
جدول(۶-۳۰): داده‌های مورد نیاز برای انتخاب پمپ برج خنک‌کن ۹۳
جدول(۶-۳۱): مشخصات پمپ انتخابی برای برج خنک کن ۹۳
جدول(۶-۳۲): مشخصات هیترهای بازگرمایش ۹۴
جدول(۶-۳۳): هزینه تمام شده و مقدار توان مصرفی سیستم در حالتی که از بازگرمایش استفاده می‌شود ۹۴
جدول(۶-۳۴): داده‌های اولیه برای انتخاب چیلر ۹۴
جدول(۶-۳۵): مشخصات چیلر انتخابی ۹۵

جدول(۶-۳۶): داده‌های اولیه برای انتخاب برج خنک‌کن ۹۵
جدول(۶-۳۷): مشخصات برج خنک‌کن ۹۵
جدول(۶-۳۸): مشخصات و قیمت هواساز مورد نیاز به همراه فن ۹۶
جدول(۶-۳۹) داده‌های اولیه برای انتخاب پمپ آب سرد ۹۶
جدول(۶-۴۰): مشخصات پمپ آب سرد انتخابی ۹۷
جدول(۶-۴۱): داده‌های مورد نیاز برای انتخاب برج خنک‌کن ۹۷
جدول(۶-۴۲): مشخصات پمپ انتخابی برای برج خنک کن ۹۷
جدول(۶-۴۳): مشخصات مخزن ذخیره انرژی ۹۸
جدول(۶-۴۴): هزینه تمام شده و برق مصرفی در حالت دوم ۹۸

فهرست علائم و نشانه‌ها

ρ	چگالی	ε	عدد کوچک
h	آنتالپی محسوس	S	ترم منبع
ΔH	آنتالپی نهان	A_{mush}	مساحت سطح خمیری
h_{ref}	آنتالپی مرجع	Y_i	متوسط ضریب جرم در هر سلول
T	دما	k	ضریب هدایت
T_{ref}	دمای مرجع	l	فاصله
β	کسر مایع	R_0	ضریب مقاومت حرارتی
T_{solid}	دمای جامد	T_w	دمای دیواره
T_{liquid}	دمای مایع	C_p	ظرفیت حرارتی
L	حرارت نهان	μ	ویسکوزیته
v	سرعت سیال	h_f	ظرفیت نهان آب
v_p	سرعت ذرات جامد	m	جرم
v_{liq}	سرعت ذرات مایع		

چکیده

در طراحی بخش سرمایش سیستم تهویه مطبوع، معمولا حداکثر بار برودتی بعنوان اساس طراحی سیستم قرار می‌گیرد، که این امر باعث می‌شود ظرفیت سیستم نسبتا زیاد و هزینه آن افزایش یابد. از آنجائیکه که بار برودتی حداکثر، فقط در ساعات محدودی از فصل گرما رخ می‌دهد.می‌توان از انباره سرما بعنوان وسیله‌ای برای ذخیره انرژی در درجه حرارت پایین بصورت یخ استفاده نمود. استفاده از انباره سرما و تلفیق آن با سیستم سرمایش تهویه مطبوع این امکان را فراهم می‌سازد که بخشی از ظرفیت تبرید سیستم را، در ساعات خارج از بار برودتی حداکثر و ساعاتی که بار برودتی کم است، ذخیره نمود و در ساعات مورد نیاز بکار گرفت. بنابراین بهره‌گیری از انباره سرما این امکان را در اختیار می گذارد که با استفاده از سیکل تبرید ارزانتر و کوچکتر جوابگوی بارهای برودتی در تمام ساعات مصرف از جمله ساعات پیک مصرف باشیم.

در این پروژه شکل جدید استفاده از این سیستم در تهویه مطبوع مورد بررسی قرار گرفته است، پیشنهاد جدید در نحوه قرار گرفتن سیستم ذخیره در سیستم اصلی تهویه مطبوع ارائه شده و توجیه اقتصادی آن بررسی شده است.

فصل اول

معرفی

۱-۱ مقدمه

تقاضای جهانی انرژی و جریان الکتریسیته بطور دائم در حال افزایش است. بطور مثال در انگلیس حدود ۳۴ درصد منابع اولیه انرژی صرف تولید برق و بخش مهمی‌از برق مصرفی در آنجا صرف سیستم تهویه می‌گردد. هزینه برق مصرفی در این مورد سالیانه بالغ بر ۲ میلیارد پوند(بر اساس قیمتهای سال ۱۹۹۱) می‌باشد، که حدود ۱۷ درصد کل مصرف برق در انگلستان را شامل می‌شود. این آمار و ارقام برای کشوری چون آمریکا که دارای آب و هوای گرمتری نسبت به انگلستان است.

رقم چشمگیرتری می‌باشد. در آمریکا حدود ۳۰ درصد برق تولیدی، توسط سیستم تهویه مصرف می‌شود.

از سوی دیگر در سالهای اخیر هزینه های انرژی الکتریکی رشد چشمگیری داشته. نگاهی به چشم انداز مصرف انرژی نشان میدهد که حدود ۱۵ تا ۲۰ سال آینده مصرف انرژی در جهان حدود ۵۰ در صد افزایش می‌یابد. بطور مثال طبق پیش بینی ها، مصرف انرژی در ایران از ۲۹۰۰۰ مگاوات در سال ۱۳۸۳ به ۶۱۰۰۰ مگاوات در سال ۱۳۹۲ خواهد رسید [۱]. به همین ترتیب نیاز به احداث نیروگاهها و بالطبع آن بالا رفتن مصرف انرژی فسیلی معضلات بسیاری را در پی خواهد داشت. مشکلات و مسائل از این نوع اهمیت استفاده از انرژیهای نو، بهینه سازی انرژی، صرفه جویی و استفاده از ذخیره کننده های انرژی را به ما گوشزد می‌نماید.

همانطور که در بالا به آن اشاره شد سیستم‌های تهویه همواره نقش مهمی‌در ساختمانها اعم از مسکونی یا غیر مسکونی - چه از نظر هزینه اولیه و چه از نظر هزینه ماهیانه وسالانه شارژ و تعمیرات بعدی- بازی میکنند. به همین دلیل طراحان و مهندسان همواره بدنبال طراحی سیستمهایی با هزینه اولیه کمتر و بازده بیشتر می‌باشند.

همچنین در طراحی بخش سرمایش سیستمهای تهویه مطبوع، معمولا بار برودتی حداکثر به عنوان مبنای طراحی سیستم قرار می‌گیرد [۲]، که این امر باعث می‌شود ظرفیت سیستم نسبتا زیاد و هزینه آن افزایش یابد. این در حالی است که بار برودتی حداکثر فقط در ساعات محدودی از فصل گرما رخ می‌دهد و تنها سیستم تهویه ما تنها در چند ساعت از سال با ظرفیت ماکزیمم کار می‌کند استفاده از انباره سرما وسیله‌ای برای ذخیره انرژی در درجه حرارت پایین می‌باشد. استفاده از انباره سرما و تلفیق آن با سیستم سرمایش تهویه مطبوع این امکان را فراهم می‌سازد که، بخشی از ظرفیت تبرید سیستم را، در ساعات خارج از بار برودتی حداکثر و ساعاتی که بار برودتی کم است، ذخیره نموده و در ساعات مورد نیاز بکار گرفت. به این ترتیب ظرفیت سیستم از بار برودتی حداکثر کمتر می‌شود. انباره سرما به ما این امکان را می‌دهد تا یک سیکل کوچک‌تر و ارزانتر جوابگوی نیازهای ما باشد. انباره یخ در این نوع سیستم پرکاربرد ترین شکل استفاده از سیستم ذخیره می‌باشد.

قرن‌ها است، یخ به عنوان یک ماده ی موثر شناخته شده. علت این امر انرژی زیادیست که باید صرف شود تا در یک فشار ثابت و در دمای انجماد، آب ساختار منظم کریستالی پیدا کند و به حالت

دما که دمای ذوب خـــوا ـــده می‌شـود، انـرژی زیـادی

. برای دماهای غیر از ـــفر درجهء سانتیگراد از مـواد

ای فراوانی دارند، استفـــا ـــه می‌شود.

ه از مزایای یخ در سیـــــ ـــم تهویه مطبوع ارائه شده، تا

ارایی بیشتر، هزینه کـــت ـــر - از نظر هزینه اولیه، مقـدار

دسـترس باشـد و بتـــوا ـــن براحتـی آن را در سیـستم

غییرات خاصی در سیـــــ ـــتم وجـود داشـته باشـد و یـا

صی ایجاد شود.

بوع برای ذخیره انرژی ـــ ـــحرارتی بکار می‌رود، استفاده از

از اسمش پیدا است، و ـــ ـــیله‌ای برای ذخیره و نگهـداری

ن عمل بوسیله تولید و ـــ ـــنگهداری یـخ یـا آب بـا دمـای

رتی، حرارت از بانک ذ ـــخ ـــره حرارتی گرفتـه و یـا بـه آن

ده شود.

خ می‌باشد.ذخیره انرژی ـــ ـــحرارتی به روش تولید یـخ یـک

و نتیجتا کاهش هزینـــه ـــا می‌باشد کـه از بـار نهـان یـخ

هزینه انرژی مورد استفـــاد ـــه از این سیستم بهمراه تجهیزات

که مصرف در آن زیاد مـی ـــ ـــباشد عمل می‌کنند، بسیار مفید

ه با سیستمهایی که از ـــ ـــن تکنولوژی استفاده نمـی‌کننـد

های ذخیره انرژی سرد ـــ ـــد و اکثر ساختمانهای دارای فـضای

جامد درآید. بر عکس در فرآیند ذوب، در همان دما که دمای ذوب خوانده می‌شود، انرژی زیادی آزاد می‌شود، تا ساختار کریستالی تخریب گردد. برای دماهای غیر از صفر درجهء سانتیگراد از مواد دیگری مانند مخلوط ها، که در صنعت کاربردهای فراوانی دارند، استفاده می‌شود.

در این پایان نامه روش جدیدی برای استفاده از مزایای یخ در سیستم تهویه مطبوع ارائه شده، تا سیستم تهویه بهینه شده و سیستمی، دارای کارایی بیشتر، هزینه کمتر- از نظر هزینه اولیه، مقدار مصرف انرژی و قیمت تمام شده انرژی- در دسترس باشد و بتوان براحتی آن را در سیستم طراحی‌هایمان وارد کرده، بدون اینکه نیاز به تغییرات خاصی در سیستم وجود داشته باشد و یا اینکه در سیستم اصلی تهویه پیچیدگیهای خاصی ایجاد شود.

۱-۲ آشنایی با سیستم ذخیره انرژی

یکی از روشهایی که، در سیستم تهویه مطبوع برای ذخیره انرژی حرارتی بکار می‌رود، استفاده از انباره سرما می‌باشد. انباره سرما همانطور که از اسمش پیدا است، وسیله‌ای برای ذخیره و نگهداری سرما (انرژی در حرارت پایین) می‌باشد که این عمل بوسیله تولید و نگهداری یخ یا آب با دمای پایین صورت می‌گیرد.

در سیستمهای مجهز به ذخیره انرژی حرارتی، حرارت از بانک ذخیره حرارتی گرفته و یا به آن داده می‌شود تا در زمان مناسب از آن استفاده شود.

شکل متداول این نوع سیستمها ذخیره یخ می‌باشد.ذخیره انرژی حرارتی به روش تولید یخ یک تکنولوژی برای کاهش تقاضای برق مصرفی و نتیجتا کاهش هزینه‌ها می‌باشد که از بار نهان یخ برای ذخیره انرژِی استفاده می‌شود.

ذخیره انرژی سرد می‌تواند برای کاهش هزینه انرژی مورد استفاده از این سیستم بهمراه تجهیزات خنک کننده که بطور عمده در ساعتهایی که مصرف در آن زیاد می‌باشد عمل می‌کنند، بسیار مفید می‌باشد. استفاده از ذخیره انرژی در مقایسه با سیستمهایی که از این تکنولوژی استفاده نمی‌کنند بسیار نتیجه بخش می‌باشد.

پتانسیل کارکرد باارزش و موثر سیستمهای ذخیره انرژی سرد در اکثر ساختمانهای دارای فضای خنک کننده موجود می‌باشد.

اصولا تغییر شیفت تقاضا برای برق مصرفی به شیفت کم مصرف و بهره‌وری از هزینه کم شیفت کم مصرف در کاهش هزینه‌ها نقش بسیار موثری دارد .

ذخیره‌سازی انرژی گرمایی، ذخیره‌سازی موقتی انرژی بارهای بزرگ یا کوچک ، برای استفاده‌های بعدی است. ذخیره سازی ، فاصله زمانی بین درخواست انرژی و استفاده انرژی را پوشش می‌دهد.

مزایای استفاده از این روش بطور کلی عبارتند از:

دستگاه برودتی کوچکتر

روش معمول انتخاب تجهیزات برودتی بر اساس زمان پیک بار سرمایی می‌باشد. بدین لحاظ تنها در مدت زمان کوتاه قادر به استفاده از تمامی‌ظرفیت دستگاه خواهیم بود، زیرا پیک بار برودتی فقط در ساعات محدودی از فصل گرما رخ می‌دهد. بهره‌گیری از دستگاه انباره سرما این امکان را در اختیار می‌گذارد تا سیستم تهویه با استفاده از یک سیکل تبرید ارزانتر و کوچکتر جوابگوی تمامی بارهای برودتی و از جمله بار برودتی در ساعات پیک بار می‌باشد. بعلاوه در سیستم ذخیره یخ، به علت کار با دمای صفر درجه سانتی گراد سیستم ما نیز کوچکتر خواهد شد.

کاهش هزینه حق انشعاب انرژی الکتریکی

به دلیل استفاده از سیکل تبرید کوچکتر، توان مصرفی کمپرسور به مقدار قابل ملاحظه‌ای کاهش می‌یابد و بدین ترتیب هزینه حق انشعاب بسیار کمتر خواهد بود، که این از ویژگیهای بارز انباره سرما می‌باشد.

کاهش مصرف انرژی

به علت انتقال مصرف برق از اوج مصرف به ساعات کم مصرف، هزینه کارکرد بشدت کاهش می‌یابد. چون سیستم در دمایی بغیر از دمای اوج در روز کار می‌کند. در ساعاتی که اوج دمایی وجود ندارد، بعلت اینکه چیلر دمایی پایین تر از دمای پیک کار خواهد نمود، بازده چیلر افزایش می‌یابد.

کمک به هموار شده قله پیک مصرف انرژی الکتریکی

عملکرد دستگاه انباره سرما به گونه‌ای است که، می‌توان در طول شب به ساخت یخ اقدام نماید و در ساعات پیک مصرف انرژی الکتریکی، کمپرسور دستگاه خاموش شود و بدین ترتیب قله پیک مصرف انرژی الکتریکی هموار می‌شود.

دسترسی به آب سرد با دمای کمتر

بدلیل دسترسی به دمای پایین، تهیه هوا با ΔT بزرگتر میسر میباشد بالطبع آن برای یک بار سرمایشی مشخص دبی هوای ورودی را کاهش داد. در این صورت علاوه بر کاهش ابعاد کانال و تجهیزات، انرژی الکتریکی مصرفی فن نیز کاهش می‌یابد.

۱-۳ انواع ذخیره‌سازی حرارتی

در این بخش مواد و روشهای مختلف ذخیره انرژی، که در دنیا مورد استفاده قرار می‌گیرند مورد بررسی قرار گرفته و به روشهایی که استفاده می‌شود پرداخته شده است. ابتدا سیستمهای مختلف ذخیره انرژی را از نظر نوع ذخیره سازی معرفی شده و در هر قسمت تکنیکهای مختلف ذخیره‌سازی، قسمتهای مختلف دستگاههای مورد استفاده در سیستم معرفی می شود.

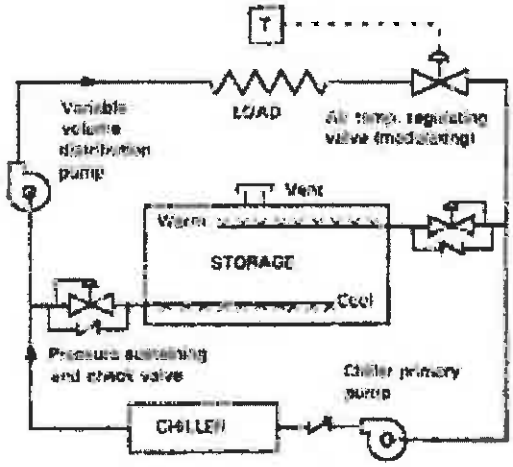
۱-۳-۱ سیستم ذخیره آب سرد

آب پرکاربردترین ماده در سیستم ذخیره انرژی می‌باشد، آب مزیت سهولت دسترسی، هزینه کم و قابلیت انتقال در تمام سیستم را داراست و در اصل ساده ترین سیستم ذخیره سازی انرژی گرمایی، یک مخزن آب است، که قابلیت ذخیره سازی آب گرم یا سرد طی دوران حداقل تقاضا و باز گرداندن آن طی دوره‌ی اوج تقاضا را داراست.

آب برای ذخیره سازی حرارت و سرما بسیار مناسب است زیرا دارای بالاترین گرمای مخصوص در بین مواد موجود است (۴۱۵۲ ژول بر کیلوگرم درجه کلوین). مخازن ذخیره آب معمولا استوانه های هستند که برروی زمین قرار گرفته و یا مدفون می‌شوند. تکنیکهای بسیاری برای ذخیره‌سازی آب

موجود هستند اما تمام این تکنیکها از یک ایده پیروی می‌کنند، که بدین صورت قابل بیان است : «مخلوط کردن آب برگشتی با حجم ذخیره شده بصورتی که به دمایی ثابتی برای کل سیستم ذخیره دست یابیم» تکنیکهای فوق بصورت موفق در نقاط بسیاری از جهان استفاده شده‌اند.

شکل زیر نمونه‌ای از نحوه استفاده از منبع ذخیره آب سرد را در سیستم نشان می‌دهد.



شکل(۱-۱): شماتیکی از سیستم ذخیره انرژی با آب سرد. [۲]

در ادامه یک سری مفاهیم وتجهیزات که در سیستم آب سرد بکار برده می‌شود معرفی شده و مورد بررسی قرار می‌گیرد.

مخازن ذخیره آب

در مخازن طبقه بندی شده حرارتی آب گرم (با چگالی کمتر) در بالای آب سرد ذخیره شناور می‌گردد. در حین ذخیره سازی در مخزن آب سرد با دمایی بین ۴ تا ۶/۷ درجه سانتی گراد از داخل دیفیوزهای کف مخزن وارد مخزن می‌گردد و آب برگشتی از دیفیوزها بالای مخزن خارج می‌گردد. اما ترکیب بصورت کامل انجام نمی‌شود. اختلاف دانسیته یک لایه حرارتی را بوجود می‌آورد که همانند یک پرده از اختلاط دو جریان آب جلوگیری میکند، در عین حالی که تبادل حرارت بین آنها وجود دارد.

دیاگرام قابل انعطاف

یکی دیگر از روشهای جلوگیری از ترکیب دو جریان آب گرم و سرد، استفاده از دیافراگم قابل‌انعطاف برای جداسازی دو جریان می‌باشد. لایه‌بندی طبیعی دما با یک تکه دیافراگم پارچه‌ای که بصورت محکم به قسمت میانی مخزن وصل شده قابل تعویض می‌باشد. این دیافراگم به طرف بالا و پایین، بسته به مقدار ذخیره آب و حجم برگشتی حرکت می‌کند. در نتیجه دیافراگم، ذخیره سازی و دقت دمای ثابت ذخیره آب را افزایش می‌دهد.

عمکرد مخزن ذخیره آب سرد

مخزن آب در صورتی ایده ال کار می‌کند که آب را با همان دمایی که ذخیره شده است تحویل دهد. اما در سیستم واقع اینگونه نمی‌باشد، برای تعیین بازده مخزن آب سرد از نسبت مزیت استفاده می‌شود. نسبت مزیت به منظور تعیین سرمای قابل دسترس مخزن تعیین می‌شود. این نسبت برای حالت کار کرد روزانه حدود ۹۰ درصد و کار کرد مقطعی بین ۸۰ تا ۹۰ درصد است.

مفهوم مخزن خالی

این مفهوم به معنای نصب تعدادی قسمت‌های منبع که قابل استفاده برای پمپ کردن آب سرد بین قسمتهای مختلف می‌باشد. این تکنیک یک جداسازی عالی دما برای سیستم های HVAC[1] را فراهم می‌کند.

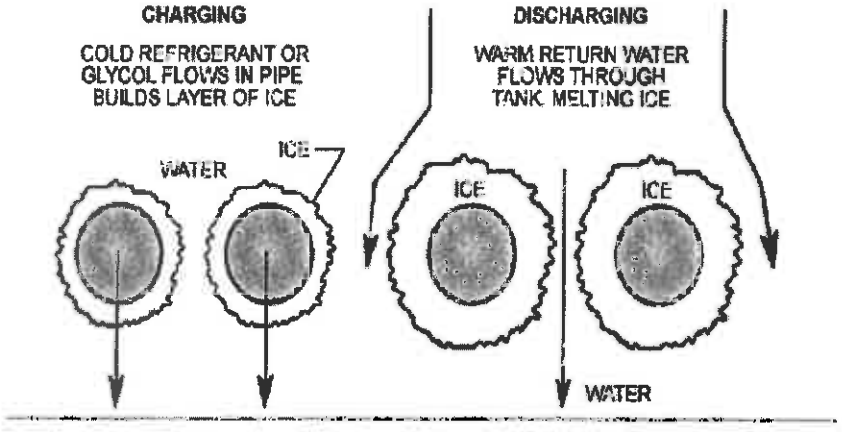
۱-۳-۲ سیستم ذخیره ساز یخ

این نوع سیستم از ذخیره گرمای نهان ذوب بهره می‌برد. انرژی حرارتی را میتوان بصورت گرمای نهان ذوب یخ ذخیره نمود. آب دارای بیشترین گرمای نهان ذوب در بین مواد می‌باشد (۳۳۵ کیلو ژول). روشهای مختلفی برای ذخیره یخ وجود دارد. در ادامه به بعضی از این روشها اشاره و قسمتهای مختلف آن را معرفی خواهد شد.

1. Heating and ventilating air condition

۱-۳-۲-۱ ذخیره ساز از نوع کویل خارجی

یکی از روشهای ذخیره یخ، ذخیره یخ بکمک دستگاه یخساز خارجی است این دستگاه حاوی کویل مبرد در داخل منبع ذخیره آب می‌باشد. این دستگاه اواپراتور یخی به ضخامت خاص تشکیل می‌دهد. بازچرخانی آب برگشتی و عبور آن از روی یخ تشکیل شده بر روی کویل یخ ذوب می‌شود. نکته مهم در این بین کنترل دقیق ضخامت لایه ای یخ به منظور جلوگیری از مصرف بیش از حد انرژی توسط کمپرسور می‌باشد (زیرا این انرژی رابطه مستقیم با ضخامت یخ دارد) این شکل استفاده از سیستم یخساز مانع تشکیل ضخامت بیش از حد یخ و تشکیل پل در بین لوله‌ها می‌شود. تشکیل پل در بین لوله ها موجب مسدود شدن حرکت آب، کاهش نرخ انتقال حرارت و افزایش درجه حرارت خروجی آب می‌شود.



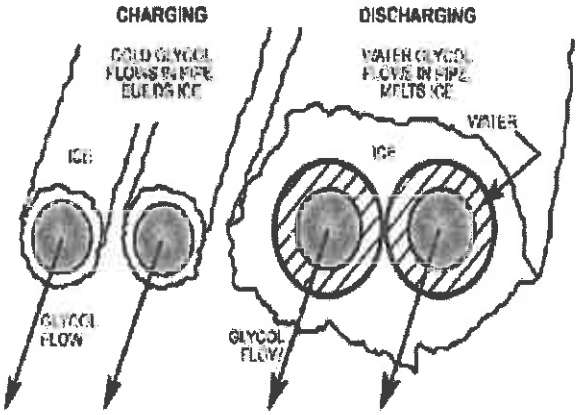
شکل(۱-۲):. شماتیکی از نحوه عملکرد ذخیره سازی از نوع کویل خارجی.[۲]

۱-۳-۲-۲ ذخیره‌سازی از نوع کویل داخلی

در این روش کویل در داخل مخزن قرار گرفته و حدود ۱۰-۲۰ درصد حجم تانک را اشغال می‌کند. تا ۱۰ درصد دیگر نیز برای انبساط یخ خالی گذاشته شده و مابقی توسط آب پر می‌شود. در این سیستم محلول مبرد در داخل کویل حرکت می‌کند و آب داخل مخزن را خنک می‌کند.

تفاوت این دو سیستم در این است که:

در سیستم کویل خارجی مبرد از داخل کویل عبور می‌کند. کویل در داخل مخزن آب غوطه‌ور می‌باشد، یخ در جدار خارجی لوله تشکیل گشته و در هنگامی‌که، زمان استفاده از یخ فرا رسد، آب بر روی کویل گردش خواهد نمود و خنک می‌شود. اما در کویل داخلی پس از تشکیل یخ در دور کویل و هنگام استفاده از یخ، مبرد گرم در داخل کویل جریان می‌یابد و حرارت خود را به یخ می‌دهد.

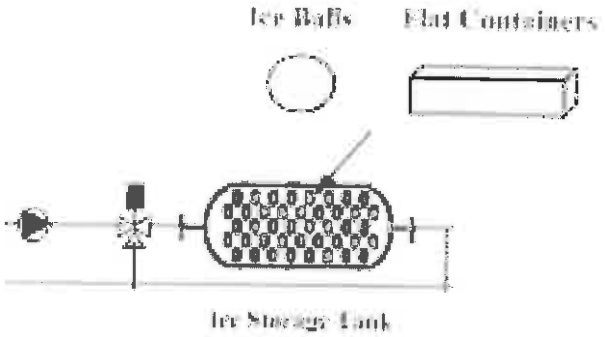


شکل(۱-۳): شماتیکی از نحوه ذخیره سازی از نوع کویل داخلی. [۲]

در سیستم‌های یخ ساز توجه به این امر ضروری است که عمل یخ سازی تا ۹۰ درصد حجم آب موجود صورت میگیرد، زیرا حدود ۹ درصد، در یخ اضافه حجم پیدا می‌شود.

۱-۳-۲-۳ سیستمهای یخ‌ساز از نوع کپسول‌های یخ

در این نوع یخ‌ساز، در داخل مخزن ذخیره کره های پلاستیکی (همانند توپ) به قطر تقریبی ۱۰۰ میلیمتر قرار گرفته است، در داخل این توپها آب قرار دارد. این توپها با عبور مبرد از روی سطح آنها یخ می‌زنند. حرکت آب بر روی توپها عمود است و جنس آنها از پلاستیک قابل انعطاف می‌باشد.



شکل(۱-۴): سیستم یخ سازی از نوع کپسولی. [۲]

۱-۳-۲-۴ سیستم یخ ساز از نوع یخ های قابل برداشت

این سیستم دارای عملکرد جالب و منحصر بفردی است. یخ در داخل مخزن ذخیره بوجود نمی‌آید. در این سیستم یخ در بیرون مخزن و در روی اواپراتورها تشکیل می‌شود (بضخامت ۶ تا ۱۰ میلی متر). هنگام استفاده از یخ ها از عمل دیفراست[1] استفاده می‌گردد. به این صورت که گاز گرم مبرد خروجی (بدون وارد شدن به سیر انبساط و کندانسور) مستقیما وارد اواپراتور می‌شود. این کار باعث می‌شود که یخ از جداره اواپراتور جدا شده و مستقیما داخل مخزن بیفتد . مدت زمان دیفراست ۲۰ تا ۹۰ ثانیه است.

۱-۳-۲-۵ دوغاب[2] یخ

دوغاب یخ حاصل شناوری کریستاهای یخ در مایع می‌باشد. بطور کلی سیال‌ها حاوی یک حلال (آب) و یک ماده حل شدنی مثل گلیکول، اتانول و یا کربنات کلسیم می‌باشد. در این سیال درصد ماده محلول بین ۲ تا ۱۰ درصد می‌باشد. در این سیال ذراتی نیز وجود دارد که عمل یخسازی را تسهیل می‌بخشد. کار با محلول خمیر با کاهش درجه حرارت تا نزدیک نقطه انجماد آغاز می‌شود در این حالت تنها آب یخ می‌زند ولی ماده حل شده یخ نمی‌زند. در این حالت شرایط غلظت ماده افزایش می‌یابد، که موجب پایین آمدن دمای انجماد خواهد شد. نسبت تشکیل یخ با استفاده از رابطه زیر بدست می‌آید:

---

[1]. Defrost
[2]. slurry

غلظت در زمان مورد نظر / (غلظت اولیه-غلظت در زمان مورد نظر) = نسبت تشکیل یخ

در این رابطه هرچه دما پایینتر باشد میزان تشکیل یخ بیشتر خواهد بود.

۱-۳-۳ ذخیره سازی یخ گرم

ذخیره سازی گرما با استفاده از یخ، چگالی ذخیره سازی بالایی به دست می‌دهد، اما مستلزم استفاده از چیلرهایی برای کارکرد در دمایی پایین تر از ۳۲ درجه فارنهایت (صفر درجه سانتیگراد) در زمان شارژ سیستم ذخیره سازی می‌باشد. سیستمهای ذخیره‌سازی با آب سرد، عمل شارژ گرما را، در دماهای بالاتر ممکن می‌سازند، اما چگالی ذخیره سازی آن ها تنها ۱۵ درصد چگالی سیستم‌های یخ می‌باشد. پتانسیل فنی مناسب برای یک سیستم ذخیره سازی مقرون به صرفه و دارای چگالی بالا در محدوده دمایی ۳۵ تا ۴۵ درجه فارنهایت به چشم می‌خورد.

این نیاز توسط فناوریهای مختلف می‌تواند صورت پذیرد. که در ادامه به آن اشاره شده است.

ذخیره سازی انرژی ترمو شیمیایی :

تحقیقات اخیر نشان می‌دهند که تعداد زیادی از الکلها و کتون‌ها توانایی ذخیره‌سازی انرژی گرمایی شیمیایی را دارند، ولی به سبب هزینه و پیچیدگی هنوز چنین سیستمهای راه اندازی نشده‌اند.

به عنوان مثال سیستم‌های مخلوط اسید سولفوریک و آب و همچنین هیدروکسید سدیم و آب که در آنها آب بوسیله گرمای ورودی به مخلوط ، جدا می‌شود و به محض اینکه در ماده با هم مخلوط شوند واکنش شیمیایی مواد ، گرما آزاد می‌کند.

ذخیره‌سازی گرمایی یوتکتیک :

یک ماده بسته به دما و فشار، در فازهای جامد، مایع و بخار موجود است. هر سه فاز ممکن است در تعادل با هم موجود باشند ولی در عمل موقعیت های دو فازه مورد استفاده قرار می‌گیرند. تغییر گرمای نهان بعضی مواد برای ذخیره‌سازی گرمایش یا سرمایش، به منظور استفاده‌های بعدی قابل استفاده‌اند.

مواد مورد استفاده برای ذخیره‌سازی گرمای نهان ، با مواد فاز متغیر نامیده می‌شوند که دارای مزایای اندازه کوچکتر، دمای ثابت حین تغییر فاز می‌باشند. رایج‌ترین شکل استفاده شده از تغییر فاز، ترکیب گرمایی بین فازهای مایع و جامد می‌باشد. اگر چه تغییر فازهای جامد - جامد و مایع - گاز هم قابل استفاده‌اند.

مواد با فاز متغیر[1] و یوتکتیک ها :

اصلی ترین و رایج ترین شکل مواد با فاز متغییرها تغییر فاز یخ - آب در دمای $5^{\circ}C$ می‌باشد. هیدریدهای نمکی و مواد آلی هم بطور گسترده‌ای در صنعت استفاده می‌شوند.

هیدریدهای نمکی مخلوط نمک و آب هستند و به علت داشتن آب ظرفیت گرمایی بالایی دارند، ولی نمک باعث بوجود آمدن نقص عمرچرخه به شکل جدایی فاز درحین فرآیند شارژ یا تخلیه می‌شود و این جدایی فاز باعث ته نشین شدن نمک در ته سلول و نتیجتاً تغییر یافتن ظرفیت سیستم ذخیره انرژی گرمایی خواهد شد. فرآیند پیش رونده و بازگشت ناپذیر است.

یوتکتیک‌ها از طرف دیگر مخلوط دو یا چند ماده هستند که بصورتی مخلوط شده‌اند تا، نقطه ذوب یا انجماد مورد نظر را دارا باشند. این مخلوط کاملاً در دمای طراحی شده ذوب می‌شود و دارای ترکیب نهایی بصورت هر دو فاز جامد و مایع می‌باشد. مواد آلی دارای چگالی کم و رسانش گرمایی ضعیف اند، تا حدودی گران و احتراق پذیرند. به عنوان مثال واکس پارافینی از جمله این مواد است .

هیدرید گازی : مخلوطی از چند مادهء شیمیایی هستند که یکی از آنها بصورت قفس مانندی در دیگر محبوس است.

در عمل آب در فرآیندهای ذخیره سازی انرژی گرمایی ساختارهای زنجیره ای برای هیدریدهای گازی تشکیل می‌دهد، رایج ترین هیدریدهای گازی مبردهای R-11 و R-14 می‌باشند.

1. PCM

تکنولوژی ذخیره سازی انرژی گرمایی[1]:

سیستم Plus Ice (PCM دمای مثبت) از مخلوطی از یوتکتیک های غیر سمی‌که نقطه‌های ذوب و انجماد بالاتری نسبت به آب دارند استفاده می‌کند. این سیستم ذخیره سازی انرژی گرمایی قابل استفاده برای هر گونه سیستم اقتصادی ، صنعتی یا موسسه‌ای که آب سرد، گرم و مبرد را در سیستم سردساز HVAC استفاده می‌کنند ، می‌باشد.

Plus Ice مثل تمام سیستم های ذخیره انرژی گرمایی علاوه بر مقادیر الکتریسیته ساعات کمینه مصرف ظرفیت اضافی گرمایی / سرمایی را عموماً در زمان شب و با استفاده از مزیت محدودیت کمتر استفاده می‌کند. اگر محدوده های دمایی به اندازه‌ی کافی پایین باشند این امکان شارژ سیستم های ذخیره انرژی گرمایی بدون راه اندازه چیلرها فراهم می‌شود. علاوه بر این، نقطه ضعف یک چیلر HVAC مرسوم و سیستم ذخیره یخ (یخ مایع)، بوسیله استفاده از ظرفیت گرمایی پنهان مخلوط یوتکتیک های مختلف بدون نیاز به دماهای گردش زیر صفر درجه قابل جبران است.

نهایتاً درجات دماهای مثبت (plus) فراهم شده بوسیله راه حلهای Plus Ice افقهای جدیدی را برای ذخیره انرژی گرمایی رفع کننده و بازیافتی، باز نموده است.

دورنمای یوتکتیک‌ها (مواد با فاز متغییر)

اگر چه کلمه «یوتکتیک» بصورت گسترده‌ای برای توصیف مواد مورد نظر ما به کار می‌رود، اما یک تعریف بهتر می‌تواند «مواد با فاز متغیر» (PCM) باشد. یک یوتکتیک واقعی مخلوطی از یک یا دو ماده شیمیایی است، که وقتی به نسبت معینی مخلوط می‌شوند یک نقطه ذوب- انجمادی دارا می‌شوند که نسبت به مواد شیمیایی تشکیل دهنده پایین‌تر است. طی فرآیند ذوب - انجماد (تغییر فاز) ، ترکیب فازهای جامد و مایع مشابه می‌باشند.

تعداد زیادی از PCM ها (تعدادی از آنها در جدول بعد آمده است) یوتکتیک‌های واقعی هستند و تعداد زیادی باید برای تبدیل شدن به یک ماده مناسب برای استفاده‌ای طولانی، تغییر کنند.

PCM ها بطور کلی به دو دسته تقسیم می‌شوند، مخلوطهای آلی (مثل پلی اتیلن گلیکول) و محصولات نمکی، هر گروه از PCM ها تعدادی مزیت و معایب دارند که در جداول لیست شده‌اند.

1. Plus Ice

جدول(۱-۱): معرفی PCM ها. [۳]

نوع ماده	مزایا	معایب
آلی	استفاده آسان غیر خورنده غیر ما فوق سرد کننده	گران تر چگالی و گرمای پنهان پایین تر دارای محدوده‌ی دمای ذوب وسیع قابل اشتعال
نمکی	ارزان چگالی گرمای پنهان پایین تغییرفاز مناسب از نظر دما غیر قابل اشتعال	ساخت دقیق لازم دارد به مواد افزودنی برای پایداری جهت استفاده طولانی احتیاج دارند نیاز به مافوق سرد کننده خورنده بعضی فلزات

جدول(۱-۲): مقایسه ویژگیهای مختلف PCM های نمکی و آلی . [۳]

Material	Phase Change		Heat of Fusion		Latent Heat	
	(°C)	(°F)	kJ/kg	Btu/Lb	MJ/m3	Btu/Lb
$MgCl_2.6H_2O$	117	243	169	73	242	6,499
$Mg(NO_3)_2.6H_2O$	89	192	163	70	252	6,768
$CH_3COONa.3H_2O$	58	136	226	97	287	7,708
$MgCl_2.6H_2O$/ Mg(NO3)2.6H2O	58	136	132	57	201	6,499
$Na_2HPO_4.12H_2O$	34	93	265	114	379	10,179
$Na_2SO_4.10H_2O$	32	90	251	108	335	8,997
$Na_2CO_3.10H_2O$	32	90	233	100	340	9,131
Waxes	28 to 4	82 to 39	220 to 245	94 to 105	170 to 195	4,564 to 5,237
Polyethylene glycols	28 to -15	82 to -9	146 to 155	62 to 66	165 to 175	4,431 to 4,699
$CaCl_2.6H_2O$	27	81	191	82	298	8,003
Glauber's salt + additives	24 to 4	75 to 39	wide range	wide range	wide range	wide range
$CaCl_2.6H_2O$/ $CaBr_2.6H_2O$	15	59	140	60	249	6,687
Water	0	32	335	144	335	8,997
Range of water/salt Eutectics	0 to -64	32 to -83	Wider range	Wider range	wide range	wide range

طی سالهای دراز عملکردهای زیادی بوسیلهء PCM ها از جمله نمک کلابر[1] یا سولفات سدیم دکاهیدرات صورت گرفته است. این نمک بصورت آماده قابل دسترس است، ارزان، غیر خورنده و غیر سمی (اگر چه زمانی به عنوان مُلَیِّم استفاده می‌شده است) معمولاً در دمای ۳۲/۵°C منجمد می‌شود، که آن را برای استفاده در سیستم های گرمایش خورشیدی و دفع گرما ایده‌آل کرده است.

می‌توان دمای تغییر فاز را بوسیله اضافه کردن دیگر نمک ها به دمای چیلرهای آبی مرسوم HVAC یعنی ۵ تا ۱۳ درجه کاهش داد. از نمک کلابر هنگام ذوب، نمک تمایل دارد که به صورت مخلوط اشباع و کریستالهای غیر حل شدنی، سادیم[2] و آنهیدرو[3] جدا شود. این کریستالها از مخلوط اشباع سنگین تر هستند و طبعاً در ته محلول ته نشین می‌شوند. وقتی PCM تقریباً منجمد است، این کریستالها نمی‌توانند دوباره با محلول اشباع ترکیب و مخلوط شوند و نتیجتاً در ظرفیت سیستم ذخیره انرژی گرمایی کاهش بوجود خواهد آمد. این پدیده در طول هر فرآیند چرخه ذوب - انجماد رخ می‌دهد و باعث کاهش مستمر کار می‌شود.

تلاشهای زیادی برای کاهش دادن این جدایی با درجات موفقیت متفاوت انجام شده است. مبنای این کار غلیظ کردن محلول تا حدی است که کریستالها در حین فرآیند ذوب در آن مخلوط بمانند و ته‌نشین نشوند. اگر این عمل انجام شود در حین چرخه بعدی انجماد کریستالها، دوباره در بدنه اصلی PCM مخلوط می‌شوند و بنابراین هیچ کاهش عملیاتی رخ نخواهد داد.

تعداد زیادی عوامل غلیظ کننده در گذشته امتحان شده اند. اما بیشترین مادهء استفاده شده مادهء گل شکلی بود که رفتاری مشابه شن روان داشت وقتی این ماده به مخلوط PCM اضافه می‌شود، اگر مخلوط هم زده شود رقیق و قابل جاری شدن است ولی اگر به صورت ساکن باقی بماند گل محلول را در فضای بین ذرات خود جذب می‌کند و آن را به صورت ساختار سختی در می‌آورد بنابراین کریستالها ته نشین می‌شوند، اگر محلول

1. Clauber
2. Sodium
3. anhydrous,

دوباره هم زده شود، رقیق می‌شود. این ماده‌ی گل شکل در اولین پیشرفت های PCM استفاده شد ولی بعدها معلوم شد که این جدایش هنوز مسئله‌ساز است.

کار بیشتری اخیراً صرف استفاده از عوامل غلیظ کننده شده است، بویژه ژلهای پلیمری مصنوعی. تعدادی از پلیمرهای مناسب شناسایی شده اند که می‌توانند در شرایط سخت محلولهای PCM کار کنند.

محلولهای Plus Ice PCM :

بنابر تحقیقات وسیع، تعدادی از PCM های رضایت بخش شناسایی شده است. مخلوط PCM و پلیمر برای اکثریت سیستم‌های تهویه و سرمایشی مناسب می‌باشد.

مخلوط PCM یوتکتیک Plus Ice غیر سمی، غیر قابل اشتعال و غیر آلی است. اکثریت هیدارت‌های نمکی قابل تغییر حجم نمی‌باشند. یعنی انبساط و انقباض حین فرآیند تغییر فاز ندارند و بنابراین هیچگونه تنش گرمایی روی توزان Plus Ice وجود نخواهد داشت.

یوتکتیک‌های نمکی از قرن ۱۹ به عنوان وسیله‌ای برای وسایل ذخیره‌سازی گرمایی استفاده شده‌اند. این یوتکتیکها در سیستم‌های متعددی از جمله حمل و نقل مواد منجمد استفاده شده‌اند و بنابراین خواص فیزیکی آنها معروف می‌باشد.

هیدراتهای نمکی Plus Ice که در مخازن Plus Ice جاسازی شده‌اند، بصورت کامل در سیکل تسریع شده عمر و در سیستم‌ها تست شده‌اند. نمکهای هیدرات بدون کاهش در محلول یا ظرفیت ذخیره‌سازی عمل می‌کنند.

همه مواد تشکیل دهنده Plus Ice می‌توانند عمر یکسان و حتی بیشتر از چیلر استفاده شده و وسایل فرآیند، داشته باشند. این خود عامل مهمی در استفاده از این سیستم در تهویه می‌باشد[۳].

فصل دوم

تهویه مطبوع

۲-۱ معرفی قسمت‌های مختلف سیستم تهویه

در این فصل ابتدا قسمت‌های مختلف سیستم تهویه مطبوع معرفی شده و سپس، نحوه قرار گرفتن و استفاده از سیستم ذخیره انرژی در سیتم تهویه مطبوع معرفی شده و به آن پرداخته شده است.

قسمت‌های مختلف سیستم تهویه:

۱)چیلر:

یک مبدل حرارتی است که سرمایش را برای سیستم ما تامین می‌کند و بر دو نوع است:

الف)چیلرهای تراکمی:

مصرف برق بالایی دارند و سیستم ذخیره انرژی بیشتر در این نوع چیلرها مطرح می‌باشد. اما نسبت به چیلرهای جذبی بازده بالاتری دارند.

ب)چیلرهای جذبی:

اندازه بزرگ، بازده پایین، اما مصرف انرژی کمتری نسبت به چیلرهای تراکمی‌دارند. بحث ذخیره و شیفت دادن ذخیره انرژی بیشتر در مورد چیلرهای تراکمی‌می‌باشد چون مصرف برق آنها بالا می‌باشد و شیفت زمان تولید سرمایش از اوج مصرف به ساعت‌های غیر اوج مصرف در این نوع چیلرها، صرفه اقتصادی خواهد داشت.

۲) برج خنک کن:

کندانسور چیلر بسته به روشهای مختلف خنکی می‌شود. معمولترین این روشها استفاده از آب است که حرارت را از کندانسور چیلر خواهد گرفت. برج خنک این آب را خنک می‌نماید. برج‌خنک‌کن خود با توجه به نحوه خنک کردن آب برگشتی از کندانسور به چند دسته تقسیم می‌شود.

۳) هواساز:

بعد از اینکه سیال سرد در چیلر تولید شد، باید به محل مصرف فرستاده شود. با توجه به نوع سیستمی‌که استفاده می‌کنیم از تجهیزات مختلف در سیستم استفاده می‌نمائیم. هواساز یکی از تجهیزات مورد استفاده در سیستم تهویه مطبوع می‌باشد. هواساز سرمایی که چیلر تولید می‌نماید را قابل استفاده در زون‌ها می‌نماید.

۴) فن‌کویل:

فن‌کویل همانند هواسازها وسیله‌ای برای استفاده از انرژی سرمایشی تولیدی توسط چیلر می‌باشد. تفاوت فن‌کویل با هواساز در این می‌باشد، که فن کویل‌ها مستقیما در زون‌ها قرار می‌گیرند و سیال

سرد از چیلر وارد فن کویل شده، هوا با عبور از روی کویل‌های فن کویل، سرد شده و وارد زون می‌شود. اما در هواساز سیال سرد از چیلر وارد کویلهای هواساز می‌شود و هوا با عبور از روی این کویل‌ها خنک شده و از آنجا وارد کانال‌ها خواهد شد.

۵) پمپ:

در سیستم تهویه مطبوع در چند محل از پمپ استفاده می‌شود. پمپی که برای سیرکوله کردن استفاده می‌شود و همچنین پمپی که در بین چیلر و هواساز یا فن کویل قرار دارد.

۶) سیستم لوله‌کشی:

سیستم لوله‌کشی رابط بین محل تولید و مصرف در موتورخانه می‌باشد، به انواع گوناگون تقسیم می‌شود، سیستم لوله کشی مستقیم، سیستم لوله‌کشی مشترک یا دولوله‌ای، طرح لوله‌کشی مرکب یا سه لوله‌ای از انواع سیستم‌هایی می‌باشد که در لوله‌کشی سیستم سرمایش در تهویه مطبوع استفاده می‌شود.

۷) منبع انبساط:

بمنظور تثبیت فشار سیستم و فراهم آوردن امکان انبساط حجمی در اثر افزایش دما در سیستم‌های بسته، لازم است از ظرفی بنام منبع انبساط استفاده می‌شود. منبع انبساط به انواع گوناگون تقسیم می‌شود، منبع انبساط باز و منبع انبساط بسته از انواع منبع انبساط هستند که در سیستم تهویه استفاده می‌شوند.

۸)سیستم کنترل

رله‌ها، دمپرها، شیرهای سه راه و قسمت‌های مختلف سیستم کنترل تهویه را تشکیل می‌دهد، که کار پخش و تقیسیم هوا بین زونها و همچنین تنظیم دمای داخل زونها را بر عهده دارند.

با اضافه شدن سیستم ذخیره انرژی که بصورت معمول مورد استفاده قرار می‌گیرند، تنها چیلر کوچکتر خواهد شد و بالطبع آن برج خنک کن انتخابی نیز کوچک می‌شود. ولی در کنار آن، یک

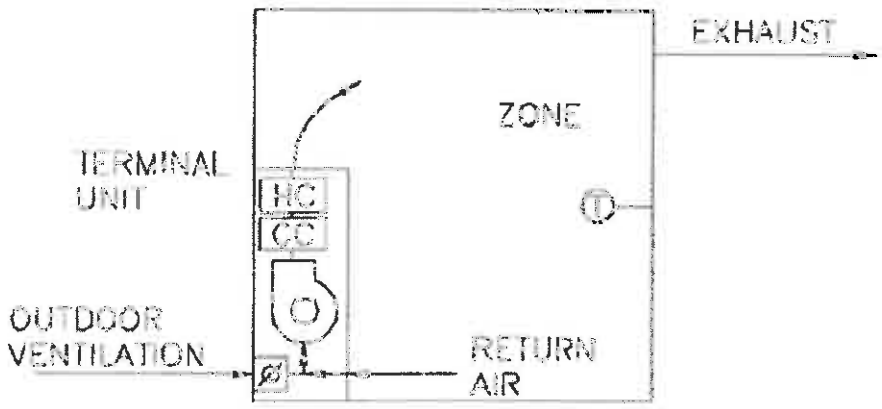
منبع و سیستم لوله کشی جدید و همچنین سیستم پمپاژ جداگانه اضافه خواهد شد. در سیستم جدید تا جایی که می‌توانیم سعی خواهیم کرد، استفاده از این آیتم‌ها کم شود، تا استفاده از این سیستم صرفه اقتصادی بیشتری پیدا کند[۴].

۲-۲ انواع سیستم‌های کنترل در تهویه مطبوع

استفاده از سیستم ذخیره انرژی در تهویه مطبوع به ما در بالا بردن راندمان سیستم کمک می‌کند و ما می‌توانیم برای رفع ضعفهای سیستم تهویه مطبوع از آن استفاده نمائیم. برای مثال در سیستم CAV برای ذخیره مقدار انرژی هدر رفته، می‌توان از سیستم ذخیره انرژی استفاده کرد. برای نشان دادن نوع چگونگی کاربرد سیستم ذخیره انرژی، در این قسمت به معرفی سیستم‌های مختلف مورد استفاده در تهویه می‌پردازیم.

۲-۲-۱ سیستم انبساط مستقیم[1]:

این سیستم شامل یک واحد تهویه کننده می‌باشد، که بصورت مستقیم با زون در ارتباط است، مانند کولرهای گازی. این نوع سیستم‌ها می‌توانند در مواردی بسیار مناسب باشند. هر چند از لحاظ مصرف انرژی و کیفیت از سیستم‌های مرکزی در سطح پایین‌تری قرار دارند.



شکل(۲-۱):شماتیک سیستم انبساط مستقیم[۴]

1. Dx

۲-۲-۲ سیستم تمام آب[1]:

در این سیستم آب ناقل حرارت، (آب سرد یا گرم) در محل جداگانه‌ای تهیه شده و به داخل کویل‌های مبدل حرارتی اتاق مثلا فن کویل ارسال می‌گردد. از مزایای این سیستم این است که فضای لازم برای هواساز حذف می‌شود، در عین حال کنترل اتاق به اتاق نیز میسر است، از معایب این سیستم می‌توان به موراد زیر اشاره کرد:

از سیستم‌های تمام آب در جای وسیع نمی‌توان استفاده نمود و برای تامین هوای تازه باید از یک سیستم جداگانه هوادهی استفاده کرد.

۲-۲-۳ سیستم تمام هوا[2]:

در این سیستم، دستگاه تهیه‌کننده هوای مطبوع در محلی دور از فضای مورد تهویه قرار می‌گیرد. سیال ناقل انتقال حرارت به کویل هواساز ارسال شده، در آنجا هوا از روی کویل رد شده و آن را سرد یا گرم می‌کند. که به چند شکل مورد استفاده قرار می‌گیرد:

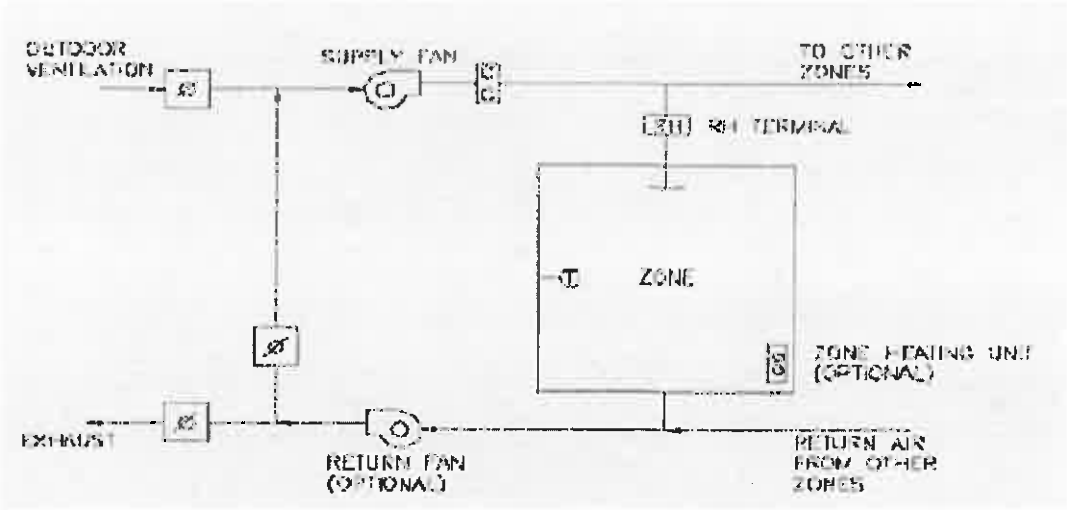
۲-۲-۳-۱ سیستم حجم ثابت(CAV)[3] :

این سیستم‌ها بجز حالت تک زونه پایه، به منظور تامین سرمایش چندین زون طراحی شده‌اند. این سیستم کار تامین سرمایش و کنترل چندین زون را در یک لحظه با استفاده از مقدار هوای ثابت و تغییرات درجه حرارت هوای ورودی به اتاق انجام می‌دهد، که به دو روش متفاوت این تغییر درجه حرارت صورت می‌پذیرد:

- باز گرمایش در ترمینال هر زون. طراحی بر اساس بدترین زون انجام می‌شود و سپس به کلیه زون‌ها فرستاده خواهد شد. در ورودی هر زون کویل بازگرمایش وجود دارد و هوا را به دمای مناسب می‌رساند.

1. All - Water
2 . All-Air
3. Control Air Volume

- مخلوط کردن هوای گرم و سرد: در این روش هواساز مرکزی هوای گرم وسرد را تولید و هوای سرد بر اساس بدترین زون تولید می‌کند. در ورودی هر اتاق ترموستات هر اتاق هوای ورودی به اتاق را متناسب با دمایی که باید وارد بشود با هم مخلوط و وارد اتاق خواهد کرد.



شکل(۲-۲):شماتیکی از سیستم تمام هوای *CAV* با کویل بازگرمایش.[۴]

مزایای این سیستم:

طراحی این سیستم آسان است. این سیستم قابل اتکا بوده و دارای پیچیدگی نیست –نداشتن پیچیدگی یکی از مهمترین مسائلی است که باید در طراحی سیستم تهویه در نظر گفته شود- کنترل آن ساده و برای فضاهای که کنترل فشار داخل آنها مهم است گزینه بهتری می‌باشد، یکی دیگر از مزایای آن کنترل آسان هوای ورودی به هر زون است.

معایب استفاده از این سیستم:

مهمترین ضعف آن اتلاف انرژی در سیستم می‌باشد، که با استفاده از سیستم ذخیره انرژی می‌توان این عیب بزرگ را برطرف کرد.

۲-۲-۳-۲ سیستم‌های حجم متغییر (VAV)[1]:

این نوع سیستم‌ها بر اساس تغییر حجم هوای ورودی به اتاق عمل می‌کنند، که به این وسیله درجه حرارت هوای ورودی به اتاق را همواره ثابت نگه خواهند داشت. این نوع سیستم‌ها می‌توانند یا گرم کننده باشند یا سرد کننده و نمی‌تواند هر دو نیاز ما را تامین بکنند.

مزایای سیستم (VAV):

در مقایسه با سیستم حجم ثابت این سیستم هیچ‌گونه انرژی حرارتی هدر نمی‌دهد، بدین طریق می‌توان هزینه اضافی که سیستم CAV ایجاد می‌کند را حذف کرد. در این سیستم با درجه حرارت ثابت، کنترل درجه حرارت هر زون از طریق کم و یا زیاد کردن مقدار هوای ورودی به آن زون انجام می‌شود و دیگر نیازی به بازگرمایش هوای سرد ورودی به سیستم نخواهیم داشت و مقدار هوای ورودی به زون را تغییر می‌دهیم. هواساز این سیستم کوچکتر است و همچنین کانال‌کشی آن فضای کمتری می‌گیرد، به همین دلیل اتلاف انرژی در این سیستم کمتر از سیستم قبلی می‌باشد. این سیستم انعطاف پذیر بوده و می‌توان با تغییرات احتمالی معماری در آن براحتی اصلاحاتی انجام داد.

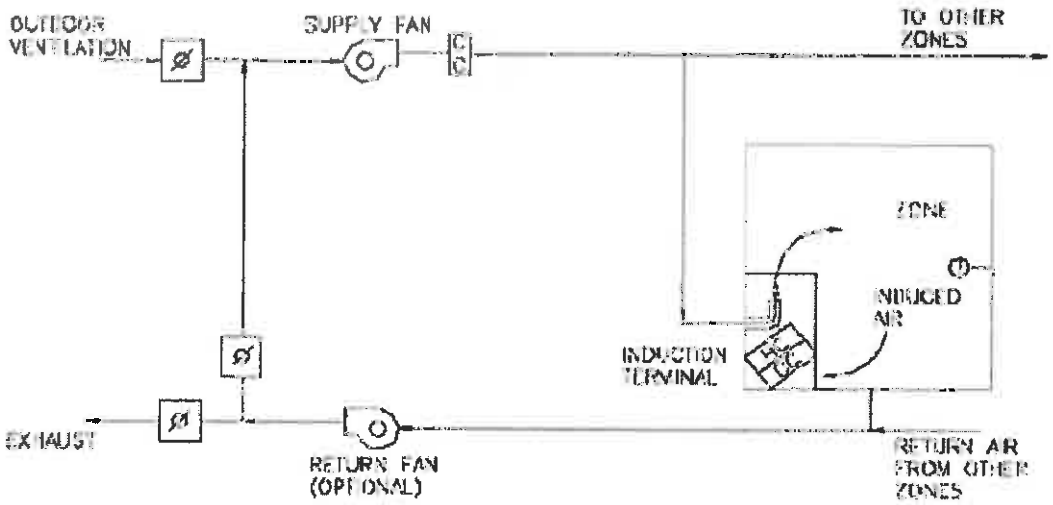
معایب سیستم (VAV):

اولین و مهمترین ایراد این سیستم آن است که، به علت ثابت بودن درجه حرارت هوا دراین نوع سیستمها، تنها بصورت سیستم سرمایشی (اغلب بارهای یک ساختمان بار سرمایشی هستند) مورد استفاده قرار می‌گیرند و برای گرمایش باید از یک سیستم مکمل استفاده کرد. ثابت نگه داشتن و کنترل فشار در این سیستم به علت تغییر حجم هوای ورودی به اتاق مشکل است و برای این کار از کنترلرهای متعدد و پیچیده باید استفاده شود و باید همواره دقت شود که هوای تازه مورد نظر در تمام شرایط به اتاق وارد شود.

۲-۲-۴ سیستم هوا-آب :

ترکیبی از دو سیستم قبلی است، بخش اعظم از گرمایش وسرمایش توسط سیستم آبی تامین می‌شود و مقدار باقی مانده توسط سیستم هوا تامین می‌شود.

1. Variable Air Volume



شکل(۲-۳): شماتیک سیستم هوا-آب.[۴]

۲-۲-۵ پمپ حرارتی :

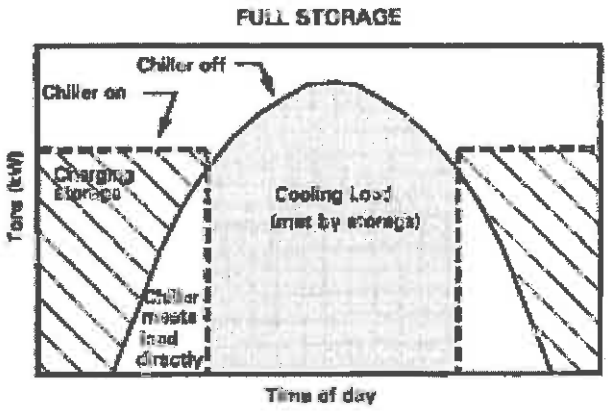
سیستم‌هایی که قابلیت سرمایش و گرمایش ساختمان را دارد. بـه دو نـوع زمینـی و هـوائی تقـسیم می‌شوند. ادوات تبرید تمام الکتریک که وظیفه آن صـرفا انتقـال حـرارت بـوده و هیچگونـه سـوخت فسیلی در آنها مصرف نمی‌شود، بالطبع فاقد هرگونه آلایـنـدگی زیـست محیطـی مـی‌باشـند و دارای راندمان بالا هستند. در زمستان حرارت را از فضای بیـرون بـه داخـل محـیط خانـه مـی‌کـشند و در تابستان برعکس عمل می‌کنند.

۲-۳ تکنیک‌های ذخیره سازی

طراحان در سرتاسر جهان در طول سالیان دراز تکنیک‌های متفاوت و تعداد زیادی طرحهای منحصر به فرد ارائه داده اند، در ادامه به یک سری از این تکنیک‌ها اشاره شده است.

۲-۳-۱ سیستم‌های ذخیره‌سازی کامل

کل بار گرمایشی - سرمایشی را به دورهء کمینه تقاضا انتقال می‌دهند و برای دستیابی به بهینه‌ترین حالت از لحاظ اقتصادی، منبع بار سرمایـشی - گرمایـشی هـیچ گـاه حـین دوره اوج مـصرف، مـورد استفاده قرارنمی‌گیرد.



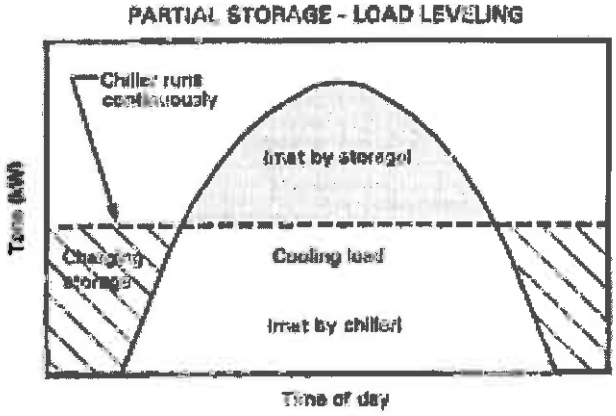
شکل(۲-۴):. سیستم ذخیره کامل.[۵]

سیستم‌های ذخیره کامل برای کارکرد در ساعات پیک مصرف طراحی می‌شوند. در این سیستم پیک تقاضای چیلر در ساعات کم مصرف می‌باشد، تا سیستم ذخیره توسط چیلر شارج شود. این نوع سیستم‌ها بزرگتر و درنتیجه دارای چیلر گرانتری نسبت به سیستمهای ذخیره جزئی می‌باشند. سیستمهای ذخیره کامل در هنگام تغییر شیفت جریان از پیک مصرف تا ساعات کم مصرف به ذخیره بیشتری دست پیدا می‌کنند .

سیستم‌های کامل اکثرا جذبی می‌باشند هنگامی‌که نیاز به شارج زیاد می‌باشد یا اختلاف تقاضا بین ساعات پیک و کم مصرف زیاد می‌باشد یا دوره تقاضای پیک مصرف کم باشد، مورد استفاده قرار می‌گیرد.

۲-۳-۲ سیستم‌های ذخیره سازی جزئی

در طول دوره های اوج تقاضا- با کاهش ظرفیت ذخیره‌سازی اولیه-از منبع سرمایشی - گرمایشی استفاده می‌کنند.



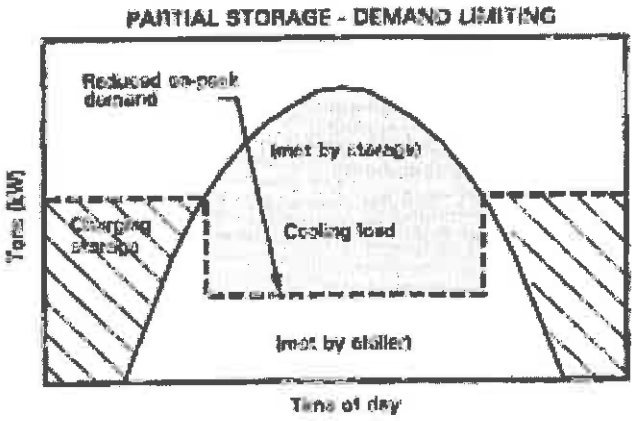
شکل(۲-۵):. سیستم ذخیره جزئی.[۵]

بطور کلی سیستمهای ذخیره جزئی در ساعات پیک مصرف، بخشی از بار سرمایی را بوسیله ذخیره و قسمت دیگر را مستقیما بوسیله چیلر تامین می‌کنند. گونه‌هایی از ترازکردن بار برای عملکرد چیلر با ظرفیت کامل در ساعات پیک تقاضا طراحی می‌شوند.

وقتی بار کمتر از خروجی چیلر باشد، شارج شدن صورت گرفته و هنگامی‌که بار بیشتر از خروجی چیلر باشد تخلیه انجام می‌شود. بر اساس تراز بندی بار، اندازه و هزینه چیلر و اجزای ذخیره‌سازی بصورت کمینه طراحی می‌شوند. اما ذخیره هزینه الکتریکی نسبت به سیستم با ذخیره کامل کمتر می‌باشد.

۲-۳-۳ سیستم‌های محدود کننده تقاضا

این نوع سیستم‌ها بطور گسترده‌ای برای محدود کردن تقاضا حین دوره‌ی اوج بکار می‌روند و این تکنیک محدود کردن تقاضا نامیده می‌شود که نوعی سیستم از ذخیره‌سازی جزئی است که به موجب آن ظرفیت مازاد بوسیله یک منبع ذخیره انرژی گرمایی کامل می‌شود.



شکل(۲-۶): سیستم محدود کننده تقاضا.[۵]

برای اینکه ظرفیت مازاد زیر حد ماکزیمم تقاضای الکتریکی باقی بماند. تمام تکنیک‌های بالا می‌توانند طی یک سیکل روزانه (سیکل روزانه کامل - جزئی) یا دوره طولانی‌تر هفته‌ای یا فصلی (ذخیره‌سازی هفتگی کامل - جزئی) مورد استفاده قرار گیرند.

در اصل ، ذخیره‌سازی کامل از لحاظ اقتصادی، مقرون به صرفه‌تر است، در عوض هزینه سرمایه‌گذاری بیشتر و همچنین حجم (فضای) بیشتری را لازم دارد. در مقایسه با ذخیره‌سازی کامل، ذخیره‌سازی جزئی هزینه کمتری را در بر می‌گیرد، ولی هزینه راه‌اندازی بیشتری لازم دارد.

هر دو تکنیک‌های مذکور برای سیستم فصلی یا تأسیسات جدید قابل کاربرد است. اجرای عملی نشان می‌دهد، اگر سیستم ذخیره انرژی گرمایی در مشاوره کامل با شرکتهای خدماتی بکار رود، هزینه اصلاح سیستم فصلی در مدت بسیار کوتاهی جبران خواهد شد، بسته به سیستم و تأسیسات جدید با حدود بودجه مشابهی نسبت به سیستم‌های مرسوم تهیه می‌شوند.

۲-۴ معرفی سیستم خاص

در سیستم‌های ذخیره سازی علاوه بر ویژگی‌های مثبتی که به آن اشاره شد مشکلاتی نیز دیده می‌شود، از جمله حجم بالایی که اشغال می‌کنند، از تجهیزات اضافی در سیستم استفاده می‌شود ، که این خود مشکلات و محدودیت‌هایی در استفاده از این نوع سیستم بوجود می‌آورد. بعلاوه در حالت‌هایی که بخواهیم سیستم خود را در حجم‌های پایین ارتقاء دهیم، بعلت اقتصادی نبودن استفاده از سیستم‌های ذخیره انرژی در حجم‌های پایین، استفاده از سیستم ذخیره انرژی نمی‌تواند

کارساز باشد. اما در این شکل استفاده از سیستم ذخیره انرژی تا جایی که امکان داشته سعی شده این مشکلات حل شود تا بتوان از این سیستم برای ذخیره انرژی در ظرفیت‌های کوچکتر نیز استفاده کرد.

همانطور که اشاره شد، در سیستم‌های قبلی، ذخیره انرژی به چند روش صورت می‌گرفت.

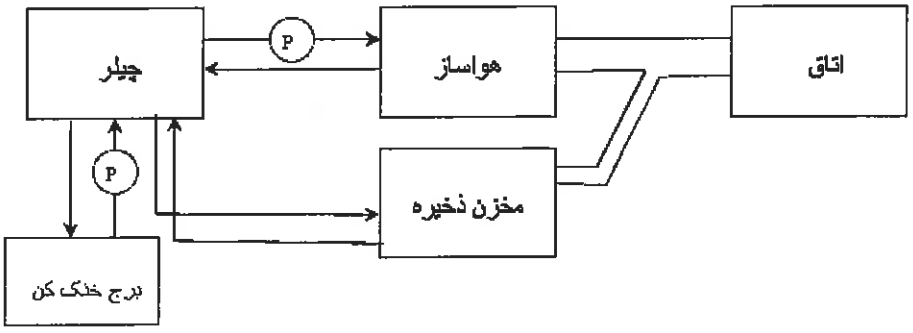
- سیستم اصلی تهویه در ساعت‌های غیر اوج مصرف کار می‌کند و مازاد تولید در منبع ذخیره انرژی، ذخیره خواهد شد. در این حالت سیستم در ساعات غیر پیک مصرف، انرژی مورد نیاز را تامین می‌کند و چون دمای محیط در این حالت، پایین تر از دمای محیط در نقطه پیک مصرف می‌باشد، بازده سیستم تبرید ما افزایش خواهد یافت. اما در این حالت ذخیره انرژی در مدت زمان طولانی‌تری انجام می‌پذیرد.

- سیستم در زمانی که کمترین نیاز به انرژی سرمایشی را داریم، شارژ خوهد شد. بطور مثال در شب که زون‌ها در کمترین نیاز خود قرار دارند و یا نیازی به روشن کردن سیستم وجود ندارد شارژ سیستم ذخیره انجام می‌پذیرد. در این حالت بخاطر اینکه در پایین‌ترین شرایط دمایی در شبانه روز سیستم کار می‌کند، تولید انرژی در بهترین شرایط انجام می‌شود و دستگاه‌ها در بالاترین بازده قرار خواهند داشت، حتی نسبت به حالت قبل که به آن اشاره شد، در شرایط دمایی پایین‌تری ذخیره انرژی انجام می‌شود. اما در این حالت ما نیاز داریم ، سیستم اصلی را در زمانی که در حالت عادی به آن نیازی نداشته‌ایم روشن کرده و ذخیره انرژی را انجام دهیم. که این می‌تواند استهلاک سیستم را بالا برده و نیاز به تعمیرات را افزایش دهد. این حالت ذخیره انرژی را می‌توان، برای زمانی که منبع ما بزرگ و یا سهم قابل توجهی از ظرفیت را بخود اختصاص می‌دهد، مورد استفاده قرار داد.

در حالت‌هایی هم ذخیره انرژی بصورت فصلی صورت می‌گیرد. به شکلی که انرژی در فصول سرد در منابع ذخیره انرژی ذخیره شده و در فصل گرما از آن استفاده می‌شود. در این حالت حتی می‌توان از انرژی محیط برای ذخیره استفاده نمود، تا در مواقع لزوم از آن استفاده کرد. اما این روش بیشتر در مکانهایی که در طول سال در زمانهای خاص و محدود مورد استفاده قرار میگیرد، مانند سالن آمفی تئاترها و ورزشگاه‌ها و یا در مکان‌هایی که فصل گرما طولانی نیست و اوج دما در طول سال بالا نباشد، کاربرد دارد.

نحوه قرار گرفتن سیستم ذخیره انرژی در سیستم اصلی HVAC همانطور که در بالا به آن اشاره بسته به شکل استفاده از آن می‌تواند متفاوت باشد. اما در همه آنها، ظرفیت منابع ذخیره انرژی نمیتواند از درصد خاصی از ظرفیت کل کمتر باشد. این بعلت استفاده از تجهیزات و امکانات اضافی در سیستم ذخیره انرژی می‌باشد، که استفاده از این روش را برای ظرفیت‌های پایین مقرون بصرفه نخواهدکرد. بهمین دلیل، ما بدنبال شکل خاصی از ذخیره انرژی هستیم، که هم بتواند در ابعاد کوچک استفاده شود و هم بتوان در محل‌هایی بطور جداگانه، از آن استفاده نمود. همانند استفاده و ذخیره اتلافاتی که در سیستم وجود دارد تا در زمانهای متفاوت از آن استفاده کرد. این شکل استفاده از سیستم باعث می‌شود، سیستم انعطاف پذیری بالایی پیدا کرده و بتوان در شرایط متفاوت بدون اینکه در سیکل اصلی نیاز به تغییر خاصی وجود داشته باشد، از این سیستم استفاده شود.

در ادامه نحوه قرار گرفتن سیستم پیشنهادی در سیستم اصلی تهویه مطبوع دیده می‌شود. شکلی که در زیر آمده‌است نحوه استفاده از سیستم را نشان می‌دهد، مطابق با شکل می‌توان سیستم را در سیکل قرار داد.



شکل(۲-۷): نحوه اضافه شدن سیستم ذخیره انرژی به سیستم تهویه اصلی

در شکل مشاهده می‌شود، سیستم را می‌توان بدون اضافه یا کم کردن تجهیزات خاص و یا نیاز به تغییر خاصی در سیستم اصلی استفاده کرد.

منبع ذخیره می‌تواند از یک طرف به مبرد و یا به سیالی که از چیلر خارج می‌شود متصل شود و از طرف دیگر می‌تواند به کانال ورودی به محیط خنک کننده ما متصل باشد. این بسته به این دارد که از چه ماده‌ای بعنوان ذخیره انرژی استفاده می‌شود. در هنگام کار چیلر منبع ذخیره شارژ می‌شود و در زمانی که با اوج مصرف روبرو می‌شویم، ورودی سیستم ذخیره انرژی بسته خواهد شد، شارژ متوقف شده و ورودی کانال باز می‌شود و با عبور جریان هوا از روی مبدل‌های درون کانال -که در کانال برای اضافه کردن سطح تماس مبدلهایی قرار داده‌ایم- دمای هوای مصرفی به مقدار دلخواه خواهد رسید.

منبع ذخیره از دو قسمت تشکیل شده:

الف)قسمتی که در آن شارژ انرژی صورت می‌پذیرد، سیالی که یخ می‌زند قرار دارد و با عبور مبرد سرد از مخزن یخ درون آن تشکیل خواهد شد.

ب) قسمتی از مخزن که دشارژ صورت می‌پذیرد.شامل کانالی است که با عبور هوا از درون کانال هوا خنک شده و وارد زون می‌شود.

منبع ذخیره از دو سری مبدل تشکیل شده:

۱- سری اول، مبدل‌هایی که در مخرن قرار دارد. مبردی که از سیستم اصلی جدا شده و وارد آن می‌شود و انرژی حرارتی را به منبع ذخیره ما داده و منبع را تغذیه می‌کند و یخ مورد نیاز را انبار می‌نماید.

۲- مبدل‌هایی که در درون کانال وجود دارد. با عبور هوا از روی این مبدل‌ها، هوای خنک مورد نیاز تامین می‌شود. که این هوا مستقیم وارد محیط در حال تهویه و یا اینکه وارد کانال منتهی به آن خواهد شد.

در آخر به مسئله دیگری که - نشان دهنده اهمیت استفاده از سیستم ذخیره انرژی است- باید اشاره کرد، بالا رفتن بازده سیستم تبرید به خاطر بالا رفتن بازده چیلر نیز می‌باشد.

کار کردن چیلر در دمای پایین‌تر، کندانسورهای مورد نیاز برای چیلر را کوچکتر می‌کند، از طرف دیگر این سیستم باعث می‌شود تعداد دفعات خاموش و روشن شدن سیستم کاهش یافته و با این کار بازده چیلر افزایش خواهد یافت. برای کارکرد چیلر یک ضریب بنام ضریب پراکندگی تعریف شده است که عبارت است از:

تن ساعت دستگاه / تن ساعت واقعی = ضریب پراکندگی

هر چه ضریب فوق کمتر باشد راندمان اقتصادی دستگاه کاهش می‌یابد. از تقسیم تن ساعت واقعی ساختمان به تعداد ساعت کارکرد چیلر مقدار متوسط بار برای ساعت کارکرد چیلر بدست می‌آید. با کمک سیستم دخیره انرژی چیلر کوچکتری انتخاب می‌شود و با این کار ضریب پراکندگی به ۱ نزدیک خواهد شد و راندمان اقتصادی سیستم بهبود پیدا خواهد کرد.

فصل سوم

بررسی و تحلیل سیستم ذخیره انرژی

۳-۱ مقدمه

ذوب و انجماد یخ بطور پیوسته در روی لوله افقی توسط برنامه فلوئنت مدلسازی می‌شود. در فلوئنت انجماد و ذوب از فرمول‌بندی (enthalpy-porosity) برای حل مساله مورد استفاده قرار می‌گیرد[۷]. در این تکنیک، سطح مشترک بهیچ وجه مشخص و واضح نمی‌باشد، در عوض کمیتی

بعنوان کسر مایع[1] معرفی می‌شود که کسری از حجم سلولی را که در آن مایع وجـود دارد را نـشان می‌دهد.کسر مایع در این روش توسط بالانس انرژی در هر تکرار انجام می‌پذیرد.

ناحیه میانی (قسمت خمیری)، قسمتی است که ضریب مایع بین صفر و یک معرفی شده اسـت. در منطقه میانی رفتاری شبیه به رفتار محیط متخلخل مشاهده مـی‌کنـیم، کـسر مـایع هـم ارز بـا ضریب تخلخل می‌باشد، که همانند ضریب تخلخـل بـین صـفر و یـک بـرای مـاده در حـال ذوب و انجماد، تغییر می‌کند.

۳-۲ معادله انرژی

آنتالپی مواد، مجموع آنتالپی محسوس h و نهان ΔH تخمین زده شده[۸].

$$H = h + \Delta H \qquad (۱-۳)$$

جائیکه

$$h = h_{ref} + \int_{T_{ref}}^{T} C_p dT \qquad (۲-۳)$$

h_{ref} = آنتالپی مرجع

T_{ref} = دمای مرجع

C_p = حرارت مخصوص در فشار ثابت

کسر مایع β به شکل زیر تعریف می‌شود.

$$\beta = 0 \quad if \quad T < T_{solidus}$$
$$\beta = 1 \quad if \quad T > T_{liquidus}$$
$$\beta = \frac{T - T_{soliduse}}{T_{liquidus} - T_{solidus}} \quad if \ T_{soliduse} < T < T_{liquidus} \qquad (۳-۳)$$

اکنون آنتالپی نهان را می‌تواند بشکل زیر نوشته شود:

1. fraction liquid

$$\Delta H = \beta L \quad (۴-۳)$$

که در آن L حرارت نهان ماده می‌باشد. آنتالپی نهان ماده می‌تواند بین صفر برای حالت جامد و L برای حالت مایع تغییر کند. در حالتی که ماده ما از چند جزء تشکیل شده است و انجماد و ذوب برای آنها صورت می‌گیرد، دمای هر جزء توسط معادلات زیر تصحیح می‌شود:

$$T_{solidus} = T_{melt} + \sum_{solutes} K_i m_i Y_i \quad (۵-۳)$$

$$T_{liquiduse} = T_{melt} + \sum_{solutes} m_i Y_i \quad (۶-۳)$$

جائیکه k_i ضریب تقسیم برای ماده i است، که برابر نسبت غلظت جامد در مایع در فصل مشترک آنها می‌باشد. Y_i کسری از جرم در ماده i و m_i انحراف سطح مایع از Y_i می‌باشد.

در ادامه برای بررسی مساله از معادله انرژی زیر استفاده می‌شود:

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho H) + \nabla.(\rho \vec{v} H) = \nabla.(k \nabla T) + S \quad (۷-۳)$$

H = آنتالپی

ρ = چگالی

$\vec{v}$ = سرعت سیال

S =ترم منبع

حل برای دما تکرار بین معادله انرژی و معادله ضریب مایع است. استفاده از معادله مستقیم، باعث می‌شود معادله همگرایی ضعیفی پیدا کند. ولر[1] و سامینسان[2] از حالت suggested برای update داده‌ها استفاده می‌کرده‌اند. برای ماده خالص مقدار $T_{liquidus}$ و $T_{solidus}$ برابر است[۸].

۳-۳ معادلات مومنتوم

1. Voller
2. Swaminathan

ناحیه خمیری(ناحیه بین جامد و مایع) همانند محیط متخلخل عمل می‌کند و ضریب مایع در هر نقطه برابر با ضریب تخلخل در آن نقطه است. ناحیه کاملا جامد دارای ضریب تخلخل صفر است و سرعت در این ناحیه صفر است و اندازه حرکت هر سینک در ناحیه واسط از معادله زیر پیروی می‌کند:

$$S = \frac{(1-\beta)^2}{(\beta^3+\varepsilon)} A_{mush}(\vec{v}-\vec{v}_p) \quad (۸-۳)$$

که در آن β ضریب حجم مایع و ε مقدار کوچک برای اینکه زمانی که β صفر باشد کسر ما صفر نشود، A مساحت محیط خمیری شکل، v_p سرعت ذرات جامد در خروج از فضای محیط واسط می‌باشد.

حل معادلات فضایی

معادله انرژی حالت ذوب و انجماد جزء به جزء به شکل زیر حل می‌شود:

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho Y_i) + \nabla.(\rho\left[\beta\vec{v}_{liq}Y_{i,liq} + (1-\beta)\vec{v}_p Y_{i,sol}\right]) = -\nabla.J_j + R_i \quad (۹-۳)$$

جائیکه j_i از معادله زیر بدست می‌آید:

$$\vec{J}_i = -\rho\left[\beta D_{i,m,liq}\nabla Y_{i,liq} + (1-\beta)D_{i,m,sol}\nabla Y_{i,sol}\right] \quad (۱۰-۳)$$

و Y_i متوسط ضریب جرم در هر سلول برابر است با:

$$Y_i = \beta Y_{i,liq} + (1-\beta)Y_{i,sol} \quad (۱۱-۳)$$

که رابطه بین $Y_{i,liq}$ و $Y_{i,solid}$ برابر است با:

$$Y_{i,sol} = K_i Y_{i,liq} \quad (۱۲-۳)$$

v_{liq} برابر است با سرعت مایع و v_p سرعت ذرات جامد می‌باشد. اگر سرعت کشـشی ذرات در محلول صفر باشد، v_p صفر خواهد شد و سرعت مایع را از رابطه زیر می‌توان بدست آورد:

$$v_{liq} = \frac{\left(\vec{v} - \vec{v}_p(1-\beta)\right)}{\beta} \qquad (۱۳-۳)$$

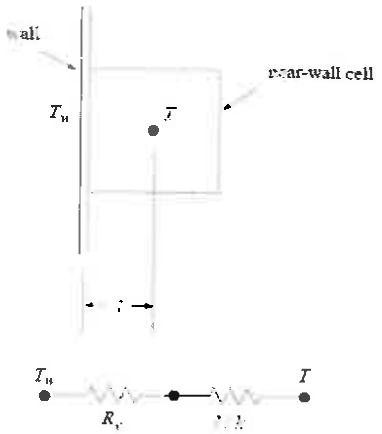
مساله مهمی‌که در شبیه سازی باید در نظر گرفت، تغییرات خواص سیال با دما است، که بـا تغییرات دما بعضی مشخصات سیال نیز تغییر می‌کند.

معادلات مورد استفاده در تماس سیال با دیوار:

فلاکس حرارتی که از دیوار عبور می‌کند برابر با معادله زیر می‌باشد:

$$q = \frac{\left(T - T_w\right)}{\left(1/k + R_c(1-\beta)\right)} \qquad (۱۴-۳)$$

که در آن T_w ,T و l در شکل زیر نشان داده شده و k ضریب هدایت حرارتی سیال می‌باشد و β ضریب حجمی‌مایع و R_c ضریب مقاومت هدایتی که همان وارونه ضریب انتقال حـرارت می‌باشد.



شکل(۳-۱): چگونگی استفاده از معادلات حرارتی در کنار دیوار

۳-۴ مشخصات سیال درون مخزن

سیال درون مخزن را آب در نظر گرفته ایم، با عبور مبرد از درون لوله های درون مخزن آب درون مخزن شروع به یخ بستن دور کویلها می‌کند. مبردی که در درون لوله ها جریان دارد با دمای پایینتر از ۲۷۳ درجه کلوین وارد می‌شود و شروع به منجمد کردن آب درون مخزن خواهد نمود.

فقط باید به یک نکته اشاره کرد که بعضی از مشخصات آب درون مخزن با دما تغییر می‌کند و همچنین باید به این نکته نیز اشاره کرد که آب درون مخزن ابتدا دارای دمای محیط می‌باشد. طراحی مخزن بگونه ای انجام می‌شود که بعد از اولین شارژ مخزن و یخ بستن سیال درون مخزن دیگر دمای آن بیشتر از صفر نشود. یعنی اینکه مخزن ما همواره بین آب صفر درجه و یخ صفر درجه در نوسان است.

۳-۴-۱ چگالی آب

مقدار چگالی آب با کاهش دما ابتدا افزایش می‌یابد و این افزایش تا دمای حدود ۴ درجه سانتیگراد ادامه خواهد یافت. اما با ادامه کاهش دما چگالی آب کاهش خواهد یافت تا آب یخ ببندد، در ادامه چگالی یخ ثابت در نظر گرفته شده است. رابطه زیر رابطه ای برای تغییرات چگالی آب می‌باشد که در طراحی در نظر گرفته شده‌است[۱۰].

تغییرات چگالی بر حسب دما:

$$\rho = 915 \qquad (Kg/m^3) \qquad T < 273$$

$$\rho = 456.49 + 3.925T - 0.007085T^2 \quad (Kg/m^3) \quad 273 < T < 300 \qquad (۱۵-۳)$$

۳-۴-۲ ظرفیت حرارتی

ظرفیت حرارتی آب با تغییر دما تغییر نخواهد کرد و مقداری ثابت درنظر گرفته شده، اما این مقدار در یخ با تغییر دما تغییر می‌کند، در زیر مقادیر آن آورده شده است[۱۰].

$$C_p = 4152 \quad (j/kg_k) \quad T < 273$$
$$C_p = -18.12336 + 7.809018T \quad (j/kg_k) \quad T > 273 \qquad (۱۶-۳)$$

۳-۴-۳ قابلیت هدایت حرارتی

قابلیت هدایت آب با تغییر دما تغییر نخواهد کرد و مقداری ثابت درنظر گرفته شده، این مقدار برای یخ نیز مقدار ثابتی در نظر گرفته می‌شود[۱۰].

$$k = 0.6 \quad (w/m_k) \quad T < 273$$
$$k = 2.06 \quad (w/m_k) \quad T > 273 \qquad (۱۷-۳)$$

۳-۴-۴ ویسکوزیته

ویسکوزیته یخ مقداری ثابت می‌باشد، اما برای آب با تغییر دما تغییر خواهد نمود. برای ویسکوزیته آب رابطه زیر برقرار است[۱۰].

$$\mu = 2 \quad (Kg/m_s) \quad T < 273$$
$$\mu = 0.08771 - 0.0005724T + 0.0000009437T^2 \quad (Kg/m_s) \quad T > 273 \qquad (۱۸-۳)$$

۳-۵ مشخصات هندسی نمونه اولیه:

برای نمونه اولیه در مدل سازی انرژی به اندازه ۲ تن تبرید را در یک مخزن ذخیره خواهد شد. با توجه به اینکه از آب در درون مخزن -بعنوان سیال خنک شونده- استفاده می‌شود و با توجه به ظرفیت نهان آب در هنگام یخ زدن که برابر با Btu/lb ۱۴۴ می‌باشد، به مخزنی با ظرفیت حدود Lit ۷۵ آب نیاز خواهیم‌داشت تا حدود ۷۵ کیلوگرم یخ در آن را ذخیره شود.

برای بدست آوردن مقدار ظرفیت اولیه از رابطه زیر کمک گرفته شده است:

$$Q = mh_f \qquad (۱۹-۳)$$

m = مقدار آب مورد نیاز

h_f = ظرفیت نهان ذوب آب

در معادله بالا مقدار انرژی حرارتی مورد نیاز مشخص است و با توجه به ظرفیت نهـان ذوب آب مقدار جرم مورد نیاز تعیین می‌شود.

ابعاد کانال با توجه به سهمی که این سیستم برای تامین انرژی بازی می‌کند تعیین می‌شود، در اینجا با توجه به اینکه فرض شده‌است، کانال ظرفیت Cfm ۱۰۰۰ را داشته باشد، با توجه به دبی هوا، ابعاد کانال را Cm^2 ۲۰×۲۰ در نظر گرفته شده است.

همچنین در کانال برای اینکه سطح انتقال حرارت زیاد شود از چند مبدل استفاده می‌شود. تا سطح تماس هوای عبوری و سطح خنک کننده افزایش بیابـد و هـوای عبـوری بـه دمـای دلخواه برسد. بدلیل آنکه نمی‌توان کانال را به اندازه کافی طولانی در نظر گرفت، پـس مـدت زمان کافی برای رسیدن هوا به دمای مورد نظر را نخواهیم داشت، که مبدلهای داخـل کانـال این مشکل ما را رفع خواهند نمود.

تعداد مبدل‌هایی که در مسیر هوا قرار داده شده است، به اندازه کانال و سرعت ورودی هـوا بستگی خواهد داشت.

۳-۶ موارد مهم در طراحی سیستم

همانطور که گفته شد، استفاده انباره سرما درسیستم مزایای بسیاری دارد که استفاده از آن را در سیستم بصرفه خواهد کرد. در این پروژه نمونه از سیستم ذخیره انرژی پیشنهاد شـده، که مراحل شارژ و دشارژ آن توسط نرم افزار فلوئنت مدل سازی شده و مـورد بررسـی قـرار گرفته است.

اساس کار منبع ذخیره در حین شارژ، تشکیل یخ دور کویلهای درون منبع مـی‌باشـد و در حین دشارژ عبور هوا از روی کویلهای درون کانال منبع و آب شدن یخ درون مخزن می‌باشد.

شبیه سازی سیستم ذخیره انرژی، از دو مرحله کاملا جداگانه تشکیل شده است:

۱-مرحله شارژ

در این قسمت مسیر مبرد ورودی از سیکل به منبع ذخیره باز شده و منبع شارژ می‌گـردد. کانال ورودی هوا در این مرحله بسته است و هوا وارد کانال نمی‌شود.

۲-مرحله دشارژ

مسیر ورودی مبرد بسته شده و هوا وارد کانال می‌شود، هوای ورودی به کانال از روی مبدل درون آن عبور کرده و سرد می‌شود. در نهایت هوای سرد شده وارد محـیط در حـال تهویـه خواهد شد.

در طراحی سیستم ذخیره مسائلی که باید مد نظر قرار داد.

- بکار بردن سیستم ذخیره در حالت‌ها و شرایط مختلف و انعطاف پذیر بودن سیستم.

منبع ذخیره انرژی باید بشکلی طراحی شود که بتوان به آسانی در طراحی سیـستم اصـلی وارد کرد و یا در مواقع لزوم بدون اینکه نیازی وجود داشته باشد که تغییر خاصی در سیستم اصلی ایجاد کرد، سیستم ذخیره را از سیستم اصلی جدا نمود. بطور مثال در شکل‌های قبلـی استفاده از ذخیره انرژی، در حالتی که باید از این سیستم، در سیستم تهویه‌ای کـه از پـیش طراحی شده استفاده می‌شد، باید تغییراتی در سیستم بوجـود آورد، تـا بتـوان از سیـستم ذخیره انرژی استفاده نمود.

اما در سیستم جدید این مشکل وجود ندارد و سیستم براحتی به سیـستم قـدیمی‌اضـافه می‌شود، بدون اینکه نیاز به تغییرات خاصی در کلیت سیستم تهویه اصلی وجود داشته باشد.

- در اثر محدودیت در حجم منبع ذخیره، بدلیل محدودیت در فضای ذخیره انرژی، باید منبع انرژی در بهترین شرایط با کمترین حجم، طراحی و در نظر گرفته شود.
- نحوه قرار گرفتن لوله‌های مبدل حرارتی.

این مبدلها به دو سری تقسیم میشود

۱- مبدلهای درون مخزن انرژی:

مبدلهایی که در آن مبرد جریان دارد و دور آن یخ تشکیل می‌شود. این مبدلها که در درون منبع ذخیره قرار دارند، باید بگونه‌ای قرار گیرند که تقریبا در تمام منبع یخ تشکیل شود و فاصله بین لوله‌ها بشکلی نباشد که بین لوله‌های مبدل بسرعت پل یخ تشکیل شود، که در اثر ایجاد پل بین یخ مبدل‌ها، انتقال حرارت در بین مبدل و مبرد کاهش می‌یابد.

۲- مبدلهای حرارتی درون کانال:

باید بگونه ای طراحی شوند که با عبور هوا از روی آن، دمای مناسب برای ورود به زون تامین شود.

- سرعت هوا در درون کانال

اگر هوای خروجی از کانال مستقیما وارد زون شود سرعت باید متناسب با سرعت ورودی به هر زون باشد و اگر وارد کانال شود سرعت باید متناسب با سرعت جریان هوا در درون کانال باشد.

- حجم هوای ورودی به کانال

حجم هوای ورودی به کانال باید متناسب با حجم و ظرفیت مخزن تعیین می‌شود که این خود متناسب با سرعت هوای ورودی و مساحت کانال تعیین می‌شود.

- **سرعت سیال سرد کننده**

سرعت سیال که در لوله های مبدل حرارتی قرار دارد، با توجه به اینکه از کدام سیال بعنوان سیال سرد کننده استفاده می‌کنیم، متفاوت است.

- اگر از مبرد چیلر بعنوان سیال سرد کننده استفاده شود، سرعت آن متناسب با سرعت مبرد در چیلر است،

- اما اگر از سیالی که وارد هواساز می‌شود بعنوان سیال سرد کننده استفاده شود، سرعت در لوله های مبرد برابر سرعت جریان سیال سرد در هواساز خواهد بود.

- **دمای ورودی و خروجی سیال سرد کننده**

اختلاف دمای مبرد ورودی و خروجی که در سیستم ذخیره انرژی وجود دارد در هر دو شکل، مقدار مشخصی می‌باشد که باید در طراحی در نظر گرفت. نباید طول مبدلی که سیال سرد کننده در آن جریان دارد، بیشتر از مقداری باشد که در خروجی دمای سیال بیش از حد افت کند.

- **دمای هوای ورودی و خروجی کانال**

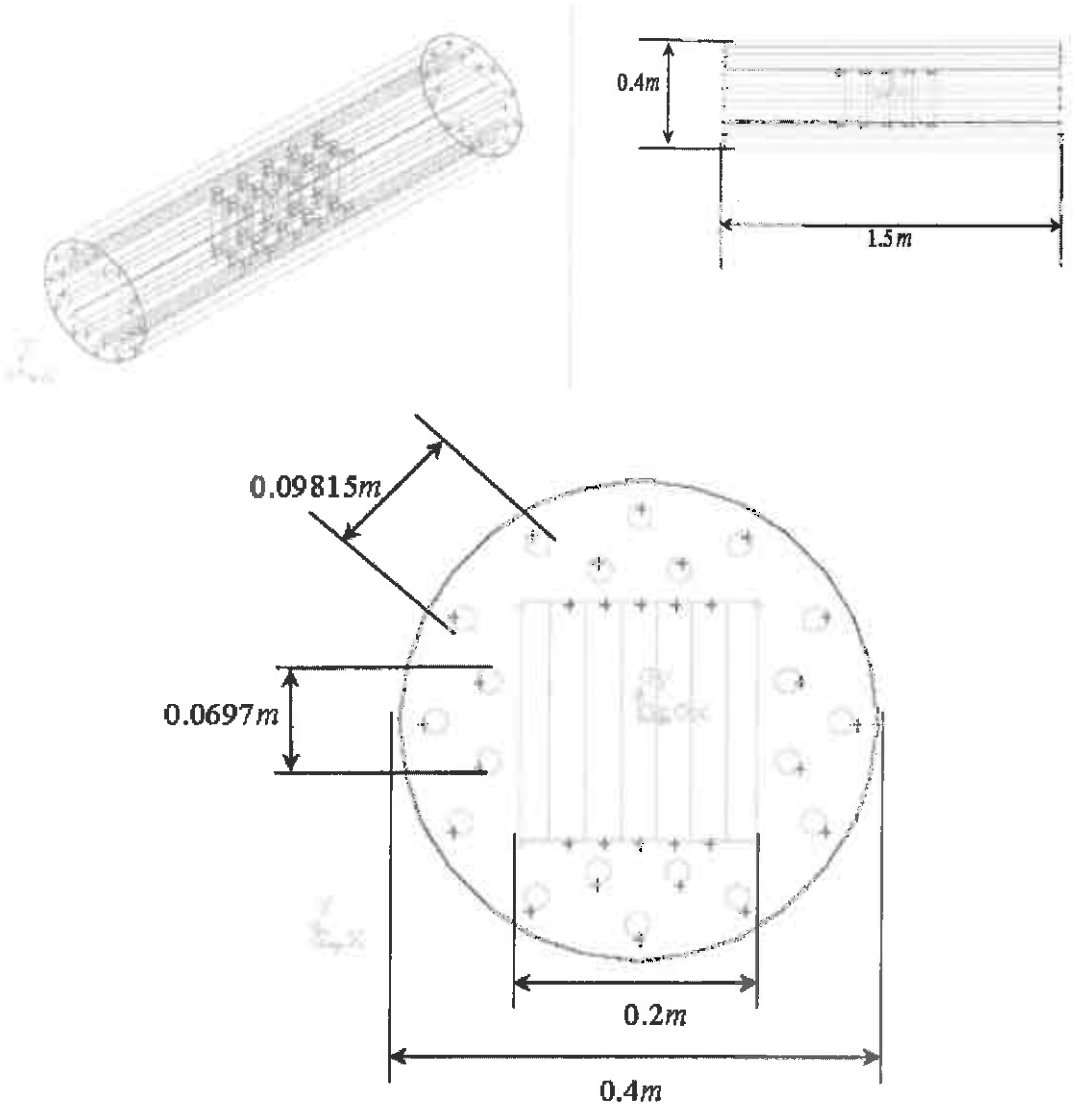
دما هوای ورودی با توجه به نوع هوای مورد استفاده در طراحی‌ها در نظر گرفته می‌شود. بطور مثال اگر هوای ورودی به سیستم هوای تازه باشد، باید دمای محیط بیرون بعنوان دمای هوای ورودی در نظر گرفته شود و اگر هوای برگشتی از ساختمان بعنوان هوای ورودی در نظر گرفته شود، دمای آن را باید در سیستم لحاظ کرد. از طرف دیگر دمای هوای خروجی، همان مقدار مطلوب برای ورود به زون خواهد بود.

فصل چهارم

آنالیز سیستم

۴-۱ مقدمه

در این قسمت نتایج، شبیه سازی مدل را مورد بررسی قرار می‌دهیم. در ابتدا هندسه مخزن معرفی شده و شکل پیشنهادی برای مخزن، محل قرار گرفتن کویلها و شکل کانال پیشنهادی نشان داده شده است. همانطور که می‌بینید مخزن از دو سری کویل تشکیل شده، کویل‌های داخل مخزن که مبرد از آن عبور می‌کند و کویلهای داخل کانال که از روی آن هوا عبور می‌کند و درون آن آب وجود دارد.



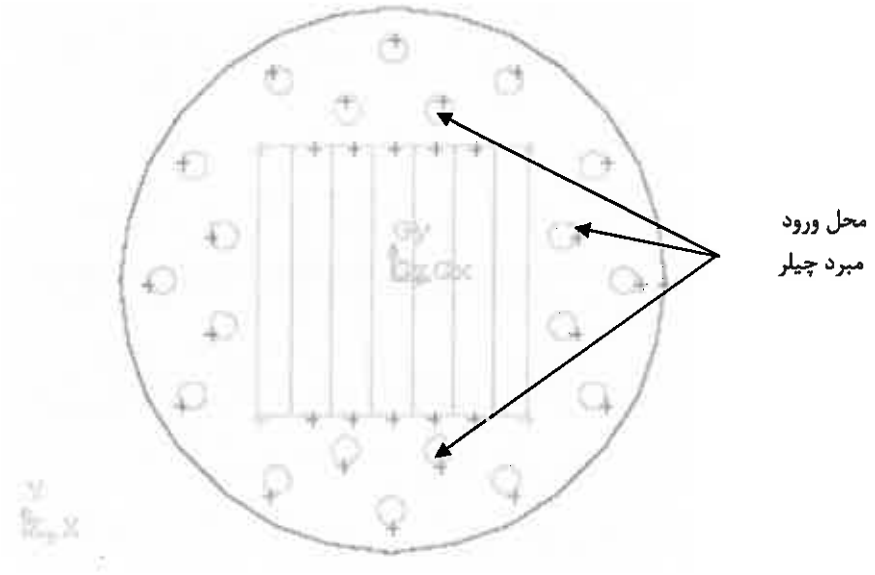
شکل(۴-۱): نمای مختلفی از سیستم ذخیره انرژی
که پیشنهاد شده است

شکل(۴-۱) نمونه پیشنهادی برای سیستم ذخیره انرژی می‌باشد. این شکل را بعنوان بهترین حالت قرار گرفتن کویلها و مبردها و کانال می‌توان معرفی نمود.

در نرم افزار فلوئنت شکل (۴-۱) مورد ارزیابی قرار گرفته و مرحله تشکیل یخ و همچنین تولید هوای سرد شبیه‌سازی می شود.در این قسمت شبیه سازی سیستم در حالت شارژ و دشارژ انجام شده و تاثیر موارد مختلف در روند شارژ و دشارژ نشان داده می‌شود.

۴-۱-۱ مرحله تشکیل یخ:

در این مرحله مبرد در درون لوله هایی که در مخزن قرار دارند وارد مـی شـود و آب درون مخزن را خنک می‌کند. کم کم دور لوله ها شروع به یخ بستن می کند و این کار تا جایی که تقریبا کل مخزن یخ ببند ادامه می یابد. در شکل زیر محل ورودی مبرد نشان داده شده‌اسـت. کـه در آن مبرد وارد لوله ها شده و سیال درون مخزن را سرد می‌کند و یخ در دور کویلها ایجاد می‌شود.

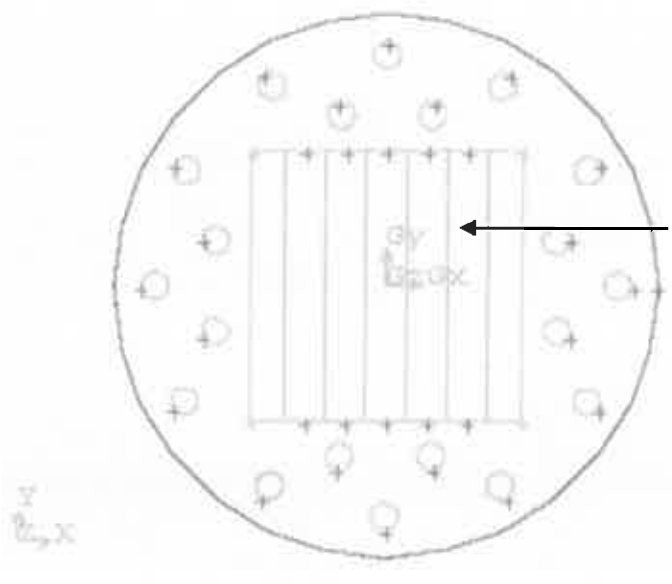


شکل(۴-۲): محل ورود مبرد

سیال درون مخزن می‌تواند آب باشد یا سیالی که دمای انجماد آن در دمایی بالا تـر از آب قرار داشته باشد. این بسته به شرایط و نحوه استفاده ما از این سیستم و محـل قرارگیـری آن دارد. اگر سیستم ما نزدیک چیلر باشد و بتوان از مبرد چیلر بعنوان سردکننده استفاده نمود، مـی‌تـوان از آب بعنوان سیالی که یخ می‌زند استفاده کرد، در غیر از آن می توان از آبی که از چیلـر بـه هواسـاز فرستاده می‌شود بعنوان سیال سرد کننده استفاده نمود، درون مخزن هم از سیالی استفاده می‌شود که در دمایی بالاتر از دمای انجماد آب شروع به یخ بستن می‌نماید.

۴-۱-۲ مرحله دشارژ و آب شدن یخ

در این مرحله هوای سرد با عبور از درون کانال و روی کویلها که در کانال تعبیه نموده‌ایم، خنک شده و وارد کانال اصلی یا زون می شود.



شکل(۴-۳): محل ورود هوا

در مسیر کانال همانطور که در شکل دیده می شود، در ورودی هوا یک سری لوله های مبدل قرار داده شده‌اند، تا سطح مقطع برای انتقال حرارت افزایش یابد و هوای خروجی از کانال به دمای مطلوب ما برسد.

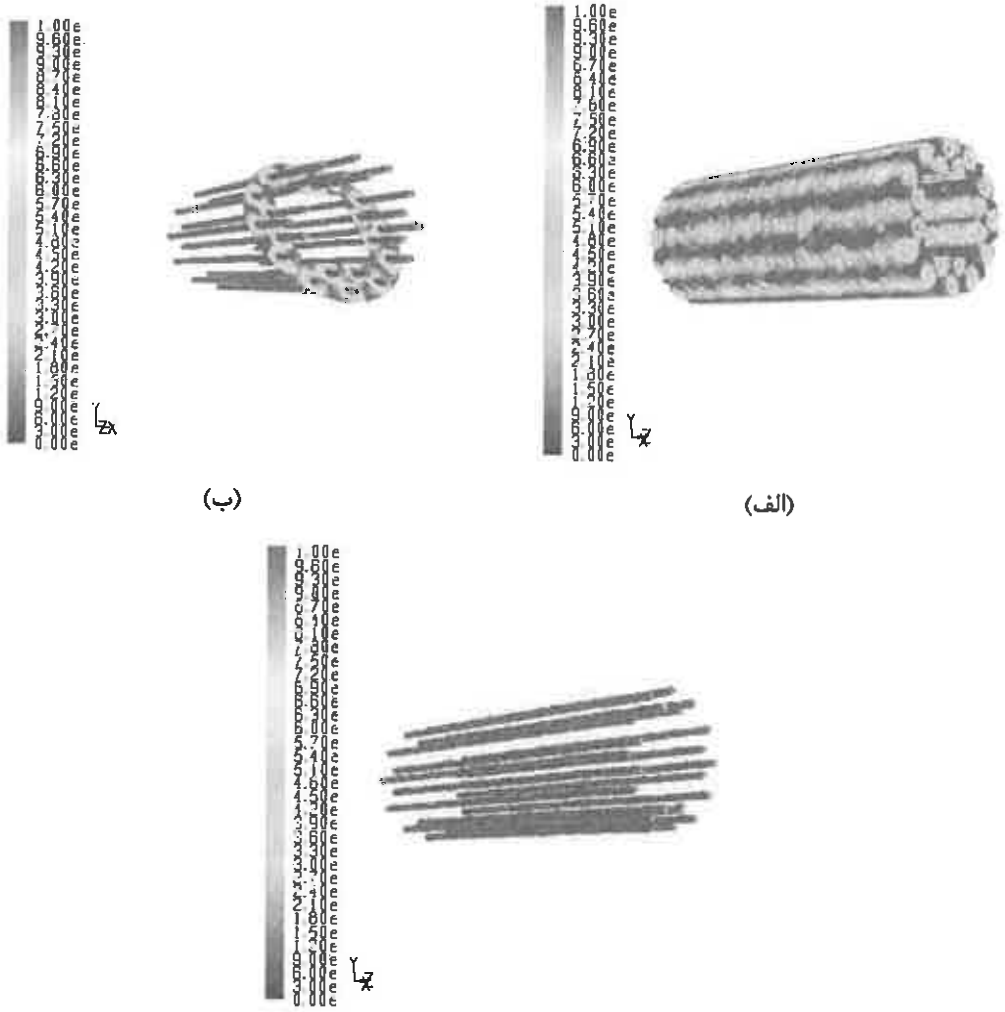
۴-۲ بررسی روند شارژ

در این قسمت عملکرد سیستم در هنگام شارژ در زمانهای مختلف بررسی شده و نمودار مختلف در مورد سیستم در حال شارژ مورد ارزیابی قرار گرفته است.

در مرحله شارژ مبرد وارد لوله‌های مبدل درون مخزن خواهد شد، بعد از ورود مبرد به لوله‌های مخزن، آب دور لوله‌ها شروع به یخ بستن می‌کند و با گذشت زمان به ضخامت یخ اضافه می‌شود. با اضافه شدن ضخامت یخ و با توجه به اینکه مقاومت حرارتی یخ بیشتر از آب می‌باشد، در نتیجه سرعت رشد یخ نیز کاهش خواهد یافت، که این با داده‌های بدست آمده مطابقت می‌کند.

همانطور که قبلا گفته شد، منبع بگونه‌ای طراحی می‌شود که، وقتی در سیستم قرار می‌گیرد، دمای سیال درون آن از صفر بالاتر نخواهد رفت و همواره دمای سیال حدودا بین آب و یخ صفر درجه در نوسان است. تنها در مرتبه نخست که سیستم در حال شارژ شدن می‌باشد، از دمای بالاتر از صفر درجه آب شروع به سرد شدن می کند و تا دما به صفر برسد، از این مرحله به بعد شارژ سیستم شروع خواهد شد. همانطور که اشاره شد با شروع انجماد آب، این عمل ابندا با سرعت زیاد شروع می‌شود، با اضافه شدن ضخامت یخ به علت بالا رفتن مقاومت حرارتی یخ از سرعت اضافه شدن یخ کاسته می‌شود.

در ادامه در شکل(۴-۴) تا (۴-۷) مراحل مختلف تشکیل یخ در دور کویل‌ها نشان داده شده است. در این شکلها مقدار یخ تشکیل شده در زمانهای متفاوت در دور کویل‌ها مشاهده می‌شود. مشاهده خواهد شد، بین کویلها که فاصله نزدیک‌تر وجود دارد پل یخ تشکیل می‌شود، که این پل‌ها بعلت بالا بودن مقاومت حرارتی یخ از سرعت تشکیل یخ خواهند کاست و در هنگام دشارژ نیز مقاومت حرارتی این پلها مانع انتقال حرارت مناسب در مخزن شده و دیرتر آب می‌شوند، به همین دلیل باید فاصله بین لوله‌های مبدل را بگونه‌ای انتخاب نمود تا از تشکیل سریع پل یخ بین آنها حداقل در ابتدای شارژ جلوگیری بشود.

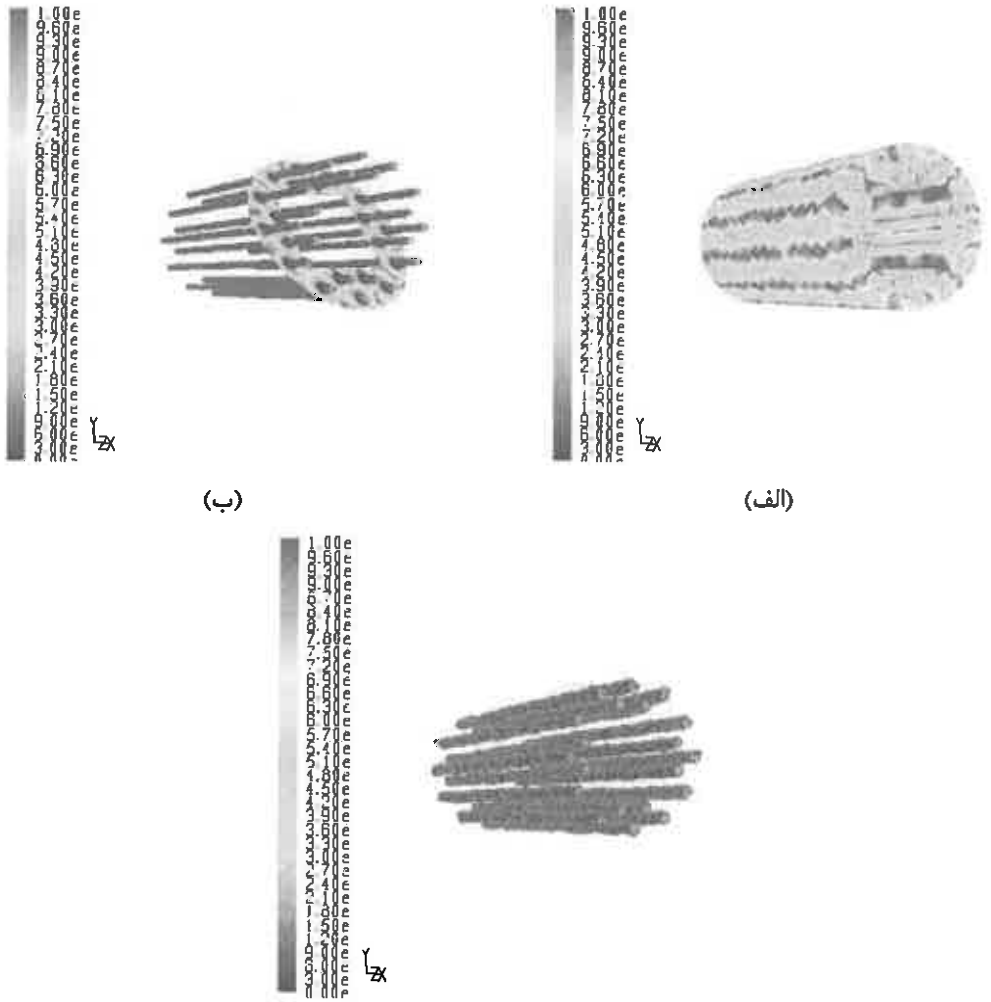


(ب) (الف)

(پ)

شکل(۴-۴): نماهای مختلف تشکیل یخ پس از ۶۰۰ ثانیه. (الف) میزان تغییرات ضریب مایع سیال درون مخزن بعد از ۶۰۰ ثانیه (ب) برشی عرضی از مخزن (پ) مقدار یخ تشکیل شده روی کویل

شکل بالا شروع کار مخزن و ورود مبرد به داخل کویل‌ها می‌باشد. فرض شده‌است که در درون مخزن آب صفر درجه قرار دارد. باشروع شارژ شدن سیستم آب کم کم شروع به یخ زدن می‌کند. همانطور که در شکل ۴-۴-الف مشاهده می‌شود، ضریب مایع آب درون مخزن در دور لوله در حال کاهش است. در شکل ۴-۴-ب نیز اولین ذرات یخ تشکیل شده روی مبدل مشاهده خواهد شد.

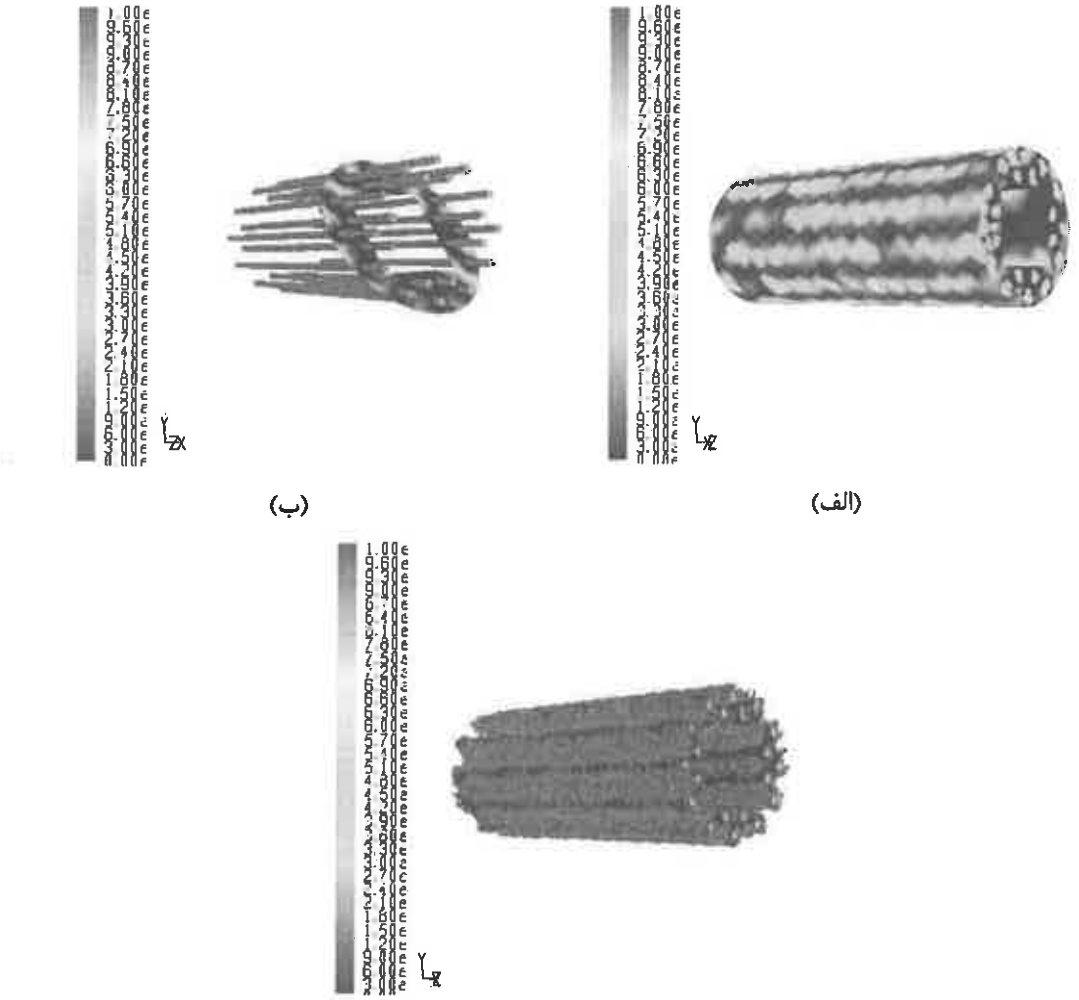


(ب) (الف)

(پ)

شکل(۴-۵): نماهای مختلف تشکیل یخ پس از ۲۰۰۰ ثانیه. (الف) میزان تغییرات ضریب مایع سیال درون مخزن بعداز ۲۰۰۰ ثانیه (ب) برشی عرضی از مخزن (پ) مقدار تشکیل یخ دور کویلهای

همانطور که در شکل ۴-۵ مشاهده می شود، بعد از گذشت زمان ۲۰۰۰ ثانیه مقدار یخ تشکیل شده در روی کویل‌ها افزایش می یابد، بطوری که کویل‌ها تقریبا از یخ پوشیده می‌شود. در شکل دیده می‌شود که، یخ بین کویل‌ها در حال نزدیک شدن و پیوستن به همدیگر هستند.



(ب) (الف)

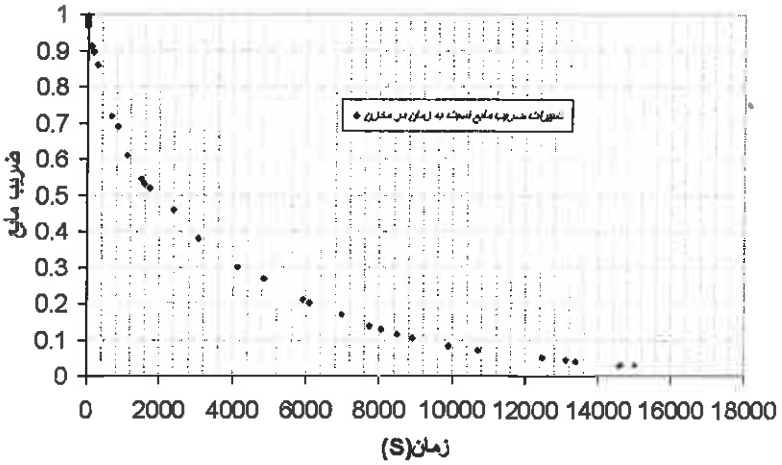
(پ)

شکل(۴-۶): نماهای مختلف تشکیل یخ پس از ۷۰۰۰ ثانیه . (الف) میزان تغییرات ضریب مایع سیال درون مخزن بعد از ۷۰۰۰ ثانیه (ب) برشی عرضی از مخزن (پ) مقدار تشکیل یخ دور کویل‌ها

در شکل بالا نماهای متفاوتی از مخزن در ۷۰۰۰ ثانیه بعد از شروع کار مخزن نشان داده شده‌است. همانطور که ملاحظه می‌شود، در جاهایی که کویلها نزدیک تر به هم هستند پل یخ زودتر تشکیل شده و بین کویل‌ها را یخ اشغال خواهد نمود. به همین دلیل باید در طراحی‌ها این مساله در نظر گرفته شود و فاصله بین کویل‌ها بگونه‌ای نباشد که بین کویل بسرعت یخ تشکیل شده و از انتقال حرارت جلوگیری شود.

نمودار بعدی که در زیر آورده شده تغییرات ضریب مایع در مخزن نسبت به زمان می‌باشد. با گذشت زمان و کم شدن مقدار مایع در مخزن ضریب مایع نیز کاهش خواهد یافت، اما سرعت کاهش آن با زمان تغییر خواهد نمود. سرعت کاهش آن وابسته به مقدار مقاومت حرارتی سیال

درون مخزن می‌باشد. با توجه به تبدیل آب به یخ و افزایش مقدار مقاومت حرارتی - همانطور که اشاره شد مقاومت حرارتی یخ بیشتر از آب است- مقدار حرارت منتقل شده در سیستم نیز، بالطبع کاهش خواهد یافت. همانطور که در نمودار زیر دیده می‌شود، ضریب مایع با گذشت زمان کاهش یافته و شیب نمودار نیز به همراه آن کاهش خواهد یافت، کاهش ضریب مایع همراه با کاهش سرعت یخ زدن در سیستم است. این کاهش تا جایی پیش خواهد رفت که، شیب نمودار بسیار کم شده و تقریبا ثابت خواهد شد.



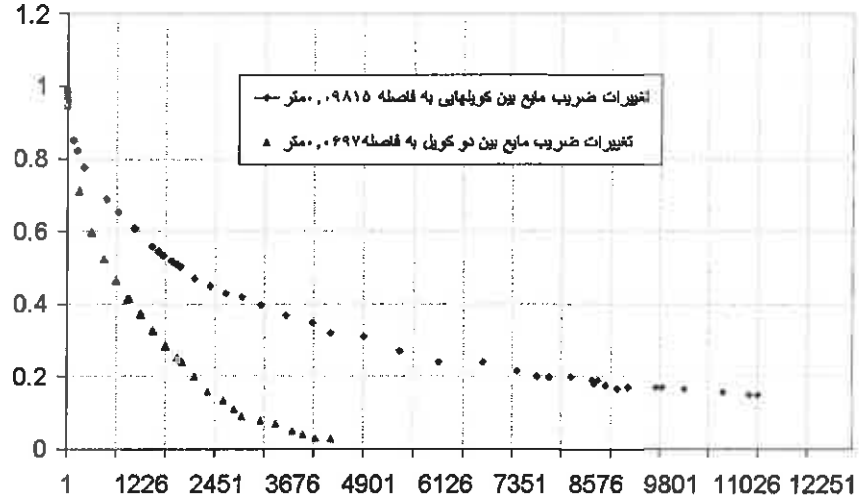
شکل(۴-۷): نمودار تغییرات B نسبت به زمان

در برش صفحه‌ای از سیال

همانطور که در نمودار ۴-۷ مشاهده شد، با گذشت زمان ضریب مایع کاهش خواهد یافت. با کاهش ضریب مایع مقدار یخ تشکیل شده افزایش یافته. تغییرات ضریب مایع نسبت عکس با تشکیل یخ دور کویلها دارد، ابتدا شیب نمودار زیاد است یعنی سرعت تشکیل یخ بالاست، با تشکیل لایه‌های یخ و افزایش ضخامت شیب نمودار کاهش یافته و این بعلت بالا رفتن مقاومت حرارتی در سطح لوله است که، با افزایش آن انتقال حرارت کاهش و بالطبع آن سرعت تشکیل یخ نیز کاهش خواهد یافت.

نمودار بعدی که مشاهده می‌شود، نمودار تغییرات ضریب مایع در بین کویل‌ها است. در این نمودار تاثیر فاصله کویلها در سرعت تغییرات ضریب مایع مشاهده می‌شود. در قسمت‌هایی که فاصله

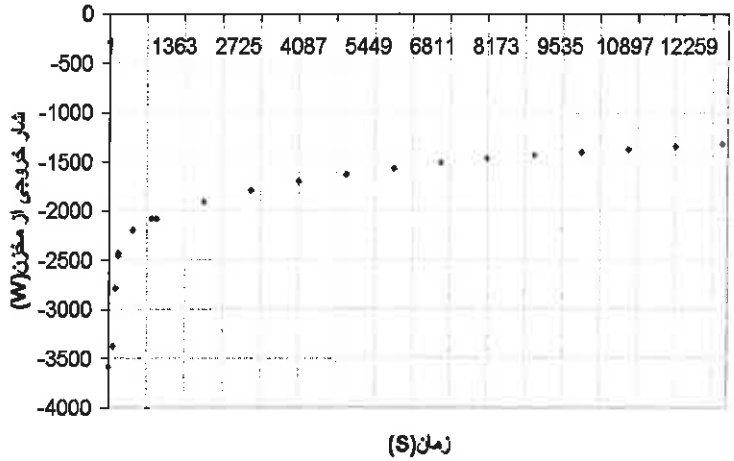
کویل‌ها نزدکتر است، ضریب مایع با سرعت بیشتری کاهش و بالطبع آن یخ نیز سریعتر تشکیل خواهد شد.



شکل(۴-۸): تشکیل یخ دور کویلها و تاثیر

فاصله بین کویلها در تشکیل یخ.

در ادامه نمودار شار ورودی به سیستم در زمان‌های مختلف مشاهده می‌شود.

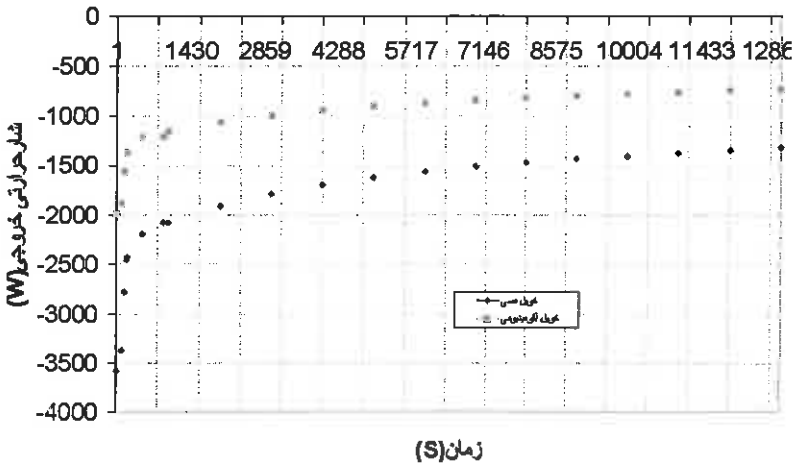


شکل(۴-۹): نمودار تغییرات انرژی خروجی از

سیستم نسبت به زمان

شکل(۴-۹) نمودار تغییرات شار حرارتی خروجی از مخزن می‌باشد. شاری که مبرد داخل کویل از سیال داخل مخزن گرفته و از سیستم خارج می‌نماید با گذشت زمان کاهش می‌یابد، همانطور که مشاهده می‌شود با افزایش ضخامت یخ شارژ سیستم با گذشت زمان کند خواهد شد. تغییر مقاومت

حرارتی کویل‌ها که به علت تشکیل یخ و افزایش ضخامت یخ روی کویل‌ها است، باعث کاهش مقدار انرژی خروجی از سیستم می‌شود. ابتدا مقدار شار خروجی از سیستم با شیب تندی کاهش یافته تا جائی که بعد از مدت زمانی ، شیب نمودار کاهش خوهد یافت و نمودار با شیب ملایم ادامه پیدا می‌کند. به همین دلیل ضخیم شدن یخ دور کویل باعث فشار به چیلر خواهد شد.

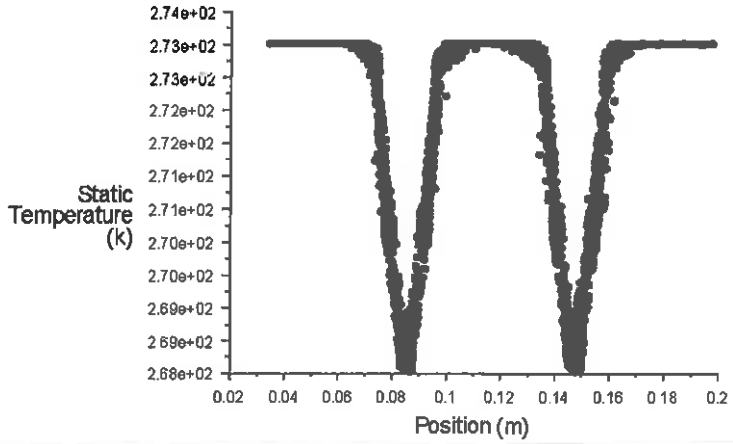


شکل(۴-۱۰): نمودار تاثیر جنس بر شار حرارتی خروجی

شکل (۴-۱۰) نمودار مقایسه بین مقدار شار ورودی حرارتی از کویل‌ها و تشکیل یخ روی کویل‌ها برای جنس‌های مختلف کویل است. بین کویل مسی و آلو مینیوم مقایسه‌ای از نظر سرعت کاهش ضریب مایع در درون مخزن انجام شده است.

همانطور که انتظار می‌رود، سرعت تبدیل یخ در کویل‌های مسی بیشتر از کویل‌های آلومینیومی می‌باشد. زمانی که از کوی‌لهای مسی استفاده می‌شود شارژ سیستم با سرعت بیشتر انجام خواهد شد. در شکل(۴-۱۰) نیز تاثیر جنس کویل در شار حرارتی عبوری را نشان می‌دهد. استفاده از کویل مسی می تواند، زمان شارژ مخزن را حدود ۳۵ درصد کاهش دهد.

در ادامه نمودار تغییرات دما در بین دو کویل، نشان داده شده است. با توجه به آنچه در نمودار مشاهده می‌شود دما در مخزن حدود ۲۷۳ کلوین است. همانطور که قبلا اشاره شد تمام مخزن دارای دمای ۲۷۳ درجه کلوین می‌باشد این دما تا جداره کویل‌ها به همین اندازه است، از جداره کویل‌ها تا مرکز کویل دما کمتر خواهد شد، تا جائی که دما در مرکز به کمترین مقدار خود خواهد رسید.

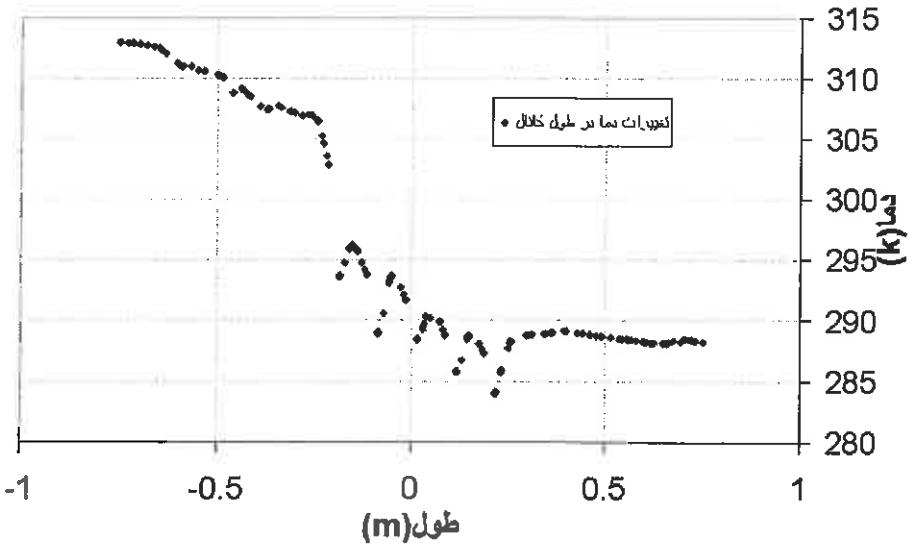


شکل(۴-۱۱): تغیرات دمای اطراف کویل در مخزن

۴-۳ بررسی روند دشارژ

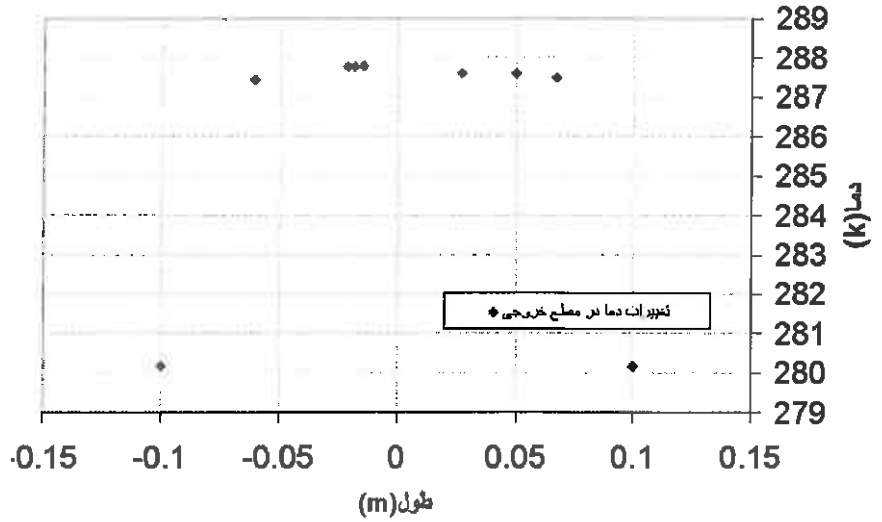
در این قسمت، دشارژ سیستم مورد بررسی قرار می‌گیرد. در این مرحله جریان هوا از درون کانال عبور کرده و خنک شده و وارد زون یا کانال اصلی می‌شود. دیواره‌های کانال عایق نمی‌باشد، بین دیواره و هوای عبوری از آن انتقال حرارت وجود دارد. تعداد و نحوه قرار گرفتن این مبدلها نیز مورد بررسی قرار گرفته است. با توجه به مقادیر اولیه سرعت هوا در پیک حرارتی مقدار سرعت مورد نیاز برای تامین سرمایش ما برابر با ۵ متر بر ثانیه می‌باشد.

مقدار انرژی خارج شده از مخزن و ورودی به هوا، باید به اندازه‌ای باشد که در یک ساعت بتواند حداکثر انرژی مورد نیاز برای آن ساعت را در پیک مصرف تامین کرد، با توجه به اینکه دبی هوا ثابت در نظر گرفته شده و با درنظر گرفتن مقدار سرمایش مورد نیاز، ابعاد کانال بدست خواهد آمد. مقدار انرژی حرارتی خروجی از سیستم در هنگام دشارژ در اوج مصرف، ثابت خواهد بود. شکل(۴-۱۲) نمودار تغییرات دمای هوا در طول کانال می‌باشد.



شکل(۴-۱۲): تغییرات دمای هوا در طول کانال

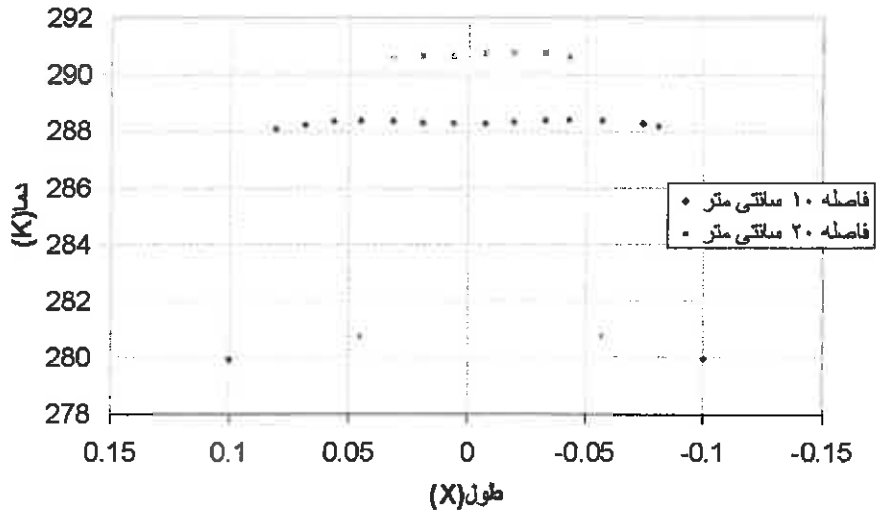
در شکل مشاهده می‌شود دمای هوا در طول کانال کاهش می‌یابد. این کاهش زمانی که هوا به کویل‌ها می‌رسد با سرعت بیشتر اتفاق خواهد افتاد.



شکل(۴-۱۳): متوسط دمای هوا در مقطع خروجی کانال

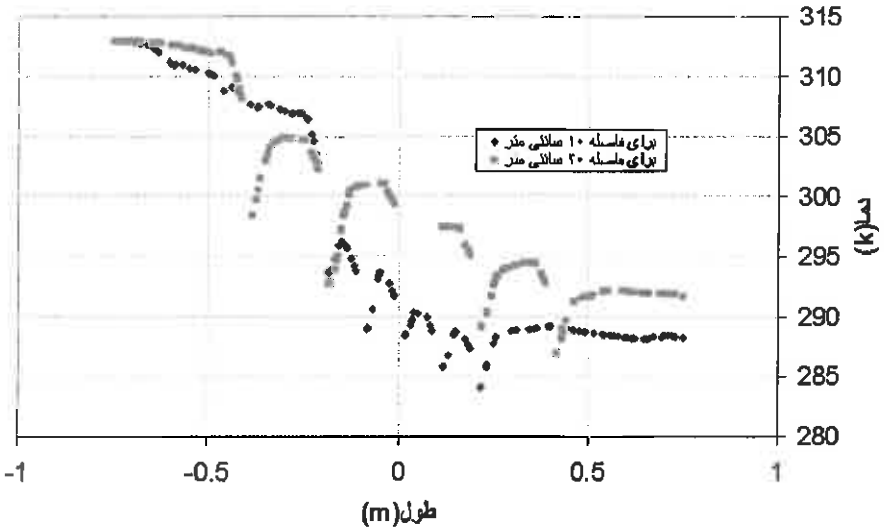
شکل(۴-۱۳) نمودار دمای هوا، در خروجی کانال می‌باشد. هوا با دمای حدود ۱۵ درجه وارد کانال اصلی یا زون خواهد شد.

شکل(۴-۱۴) نشان دهنده اثر تغییر فاصله بین دسته کویل‌ها در دمای هوای خروجی از سیستم می‌باشد. بنظر می‌رسد با توجه به نزدیک شدن فاصله بین کویل‌ها و انتقال حرارت سطح با هوا بیشتر شده و هوای خروجی دارای دمای پایین تری خواهد بود، اما این را هم باید در نظر گرفت که کاهش بیش از حد این فاصله باعث خواهد شد که در خروجی سرعت بیشتر از حد انتظار کاهش پیدا کند.



شکل(۴-۱۴): تاثیر تغییر فاصله بین دسته کویلها

در دمای هوای خروجی

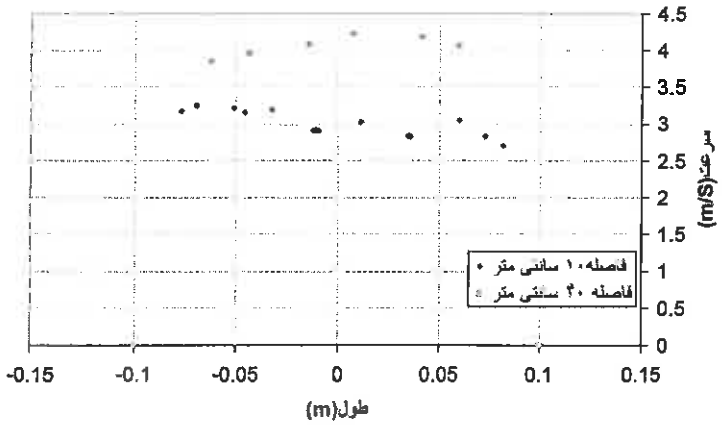


شکل(۴-۱۵): تغییرات دمای هوا در طول کانال، تاثیر تغییر

فاصله بین کویلها در تغییر دما هوا در طول کانال

با توجه به تغییرات فاصله بین کویل‌ها، هرچه کویل‌های نزدیکتر باشند سرعت خروجی نیز کاهش می‌یابد، در شکل(۴-۱۵)، تاثیر تغییر فاصله بین کویلها در سرعت خروجی مشاهده می‌شود. با توجه به داده‌هایی که بدست آمده، کم شدن فاصله بین کویل‌ها منجر به کاهش سرعت در خروجی

خواهد شد، با توجه به اینکه سرعت ورودی هوای تهویه شده نباید از مقدار خاصی پایین‌تر باشد ، نمی‌توان فاصله بین کویل‌ها را از حد خاصی کمتر نمود.



شکل(۴-۱۶): سرعت در مقطع خروجی برای دو حالتی که فاصله بین کویلها ۱۰ و ۲۰ سانتی متر می‌باشد.

فصل پنجم

طراحی و محاسبه سیستم

ذخیره سرمایی

۵-۱ مقدمه

در این قسمت برای نشان دادن تاثیر سیستم ذخیره انرژی برای نمونه واقعی طراحی انجام می‌شود. این فصل از دو قسمت تشکیل شده است. ابتدا در قسمت اول زمانی که از سیستم ذخیره انرژی در حالت کلی برای تامین نیاز زون در زمانی که سیستم تهویه، در دمای بهینه طراحی می‌شود،

استفاده می‌شود، طراحی انجام شده و باحالت اولیه که طراحی در دمای ماکزیمم انجام شده مقایسه می‌شود.

در قسمت دوم زمانی که از سیستم کنترل CAV همراه با باز گرمایش استفاده می‌شود، طراحی انجام شده و مقایسه‌ای با زمانی که از سیستم ذخیره انرژی در سیستم CAV استفاده می‌شود، مقایسه‌ای انجام می‌گردد.

۵-۲ محاسبات بار برودتی ساختمان

در شروع از یک ساختمان ۶ واحد به عنوان نمونه طراحی استفاده شده و برای آن سیستم تهویه مطبوعی طراحی شده است، سپس اساس طراحی را بر دمای بهینه قرار داده و طراحی انجام گرفته است، تا تاثیر منبع ذخیره انرژی نشان داده شود. همانطور که گفته شد، ساختمان اولیه دارای ۶ طبقه، که اساس طراحی برای شهر زاهدان بوده. در هر طبقه آن یک واحد ساختمانی وجود دارد.

محاسبه بار برودتی ساختمان از چند مرحله تشکیل شده است. ابتدا تعیین مشخصات محلی که ساختمان در آنجا قرار دارد، تعیین مشخصات معماری ساختمان، که با توجه به مشخصات تعیین شده و محل ساختمان، مقدار بار سرمایشی برای ساختمان از دو طریق بدست می‌آید.

۵-۲-۱ شرایط محل طراحی که ساختمان در آن قرار دارد

ساختمان مورد نظر در شهر زاهدان در استان سیستان و بلوچستان واقع شده که بدلیل شرایط آب و هوایی نیاز به تهویه به مدت طولانی در طول سال -حدود ۱۵۰ روز در سال- را دارد[۱۱].

نام شهر: زاهدان

دمای خشک در تابستان (F) : ۱۰۵

دمای مرطوب در تابستان (F) : ۷۶

دمای تغییرات روزانه[1] (F): ۳۲

دمای خشک در زمستان (F):۱۷

دمای مرطوب در زمستان (F):۱۶/۲

1. Daily range

طول جغرافیایی (درجه) : ۲۹

عرض جغرافیایی (درجه) :۵۱/۴-

ارتفاع از سطح دریا (ft) : ۴۵۰۰

ضریب صافی هوا: ۱ (عددی بین ۰/۸۵ و ۱/۱۵ می‌باشد)

ضریب تابش زمین اطراف ساختمان: ۰/۲ (از جدول کتاب کریر)

ضریب هدایت خاک : ۰/۸ (از جدول کتاب کریر)

۵-۲-۲ تشریح ساختمان

ساختمان مورد نظر یک ساختمان مسکونی دارای ۶ واحد می‌باشد، که در هر طبقه ۱واحد مسکونی قرار دارد. طبقه هم کف ساختمان پارکینگ قرار دارد و واحدهای مسکونی از طبقه اول شروع خواهد شد. در هر طبقه ۲ اتاق خواب، هال و پذیرایی، آشپزخانه، دستشویی و حمام وجود دارد. راهرو ورودی ساختمان و کانال هواکش بین حمام و دستشویی محیط تهویه نشده در نظر گرفته می‌شود، اما کمد درون اتاق خواب محیط تهویه شده در نظر گرفته شده است. در ادامه مشخصات دیگر ساختمان آورد شده است:

مساحت :۱۳۳/۶(متر مربع)(بدون در نظر گرفتن تراس)

مساحت کل ساختمان که تهویه می‌شود: ۸۰۱/۶ (متر مربع)

ارتفاع سقف :۳ متر

در ادامه از دو روش به محاسبه سیستم تهویه برای ساختمان می‌پردازیم.

الف) محاسبه بار برودتی با استفاده از جداول کریر.

ب)استفاده از نرم افزار کریر

۵-۲-۳ محاسبه بار برودتی با استفاده از جداول کریر:

محاسبه بار سرمایی ساختمان از ۹ قسمت تشکیل شده است. با استفاده از جداول کریر بار سرمایی مورد نیاز برای ساختمان را محاسبه و بدست می‌آید. بار سرمایی ساختمان از ۹ قسمت تشکیل شده است:

۱. محاسبه بار سرمایی تابشی از پنجره‌ها و شیشه‌های خارجی:

حرارت اکتسابی از خورشید با توجه به عرض جغرافیایی محل طراحی خوانده می‌شود. که بدترین شرایط آب و هوایی برای طراحی ما با توجه به عرض جغرافیایی ساختمان مورد نظر و سمت پنجره خوانده می‌شود. این مقدار برای حالت استانداردی که در جدول ذکر شده، انتخاب شده‌است. برای حالتی غیر از حالت نرمال از ضریب تصحیح استفاده می‌شود، که از جداول مربوط به آن خوانده خواهد شد. در نهایت ضریب ذخیره که از جدول مربوط به جنس مصالح ساختمانی استخراج

$Q_1 =$ حرارت اکتسابی از خورشید $Btu/hr.ft^2$ × ضریب تصحیح × ضریب ذخیره × مساحت پنجره یا شیشه ft^2

می‌شود. ضریب تصحیح به مقدار بار حرارتی که ساختمان در خود ذخیره می‌کند مربوط می‌شود و با وزن مصالح ساختمان متناسب خواهد بود.

۲. محاسبه بار سرمایی هدایتی از پنجره‌ها و شیشه‌های خارجی:

$$Q_2 = AU(t_0 - t_i) \qquad (۱-۵)$$

که U $(Btu/hr.ft.F)$ ضریب کلی هدایت حرارت پنجره است که به جنس پنجره بستگی دارد، A (ft^2) مساحت پنجره، $t_0(F)$ دمای طرح خارج و $t_i(F)$ دمای طرح داخل می‌باشد.

۳. محاسبه بار سرمایی تشعشعی و هدایتی جداره‌های خارجی

از فرمول $Q_3 = AU\Delta t_e$ برای بدست آوردن بار سرمایی تشعشعی و هدایتی جداره‌های خارجی استفاده می‌کنند. که در آن $A(ft^2)$ مساحت جداره خارجی، U $(Btu/hr.ft.F)$ ضریب کلی هدایت حرارت جداره و $\Delta t_e(F)$ اختلاف دمای معادل که مفهوم تشعشع و هدایت را در بر دارد و بعد از تصحیح مقدماتی از رابطه زیر بدست می‌آید:

(۵-۲-الف) برای رنگ روشن جداره $\Delta t_e = 0.55\frac{R_s}{R_m}\Delta t_{em} + (1-0.55\frac{R_s}{R_m})\Delta t_{es}$

(۵-۲-ب) برای رنگ نیمه روشن جداره $\Delta t_e = 0.78\frac{R_s}{R_m}\Delta t_{em} + (1-0.78\frac{R_s}{R_m})\Delta t_{es}$

در معادله بالا $\Delta t_{em}(F)$ اختلاف دمای معادل برای جداره مورد نظر تحت تابش پس از تصحیح، $\Delta t_{es}(F)$ اختلاف دمای معادل برای جداره مورد نظر تحت سایه پس از تصحیح، R_s حداکثر ماهیانه حرارت اکتسابی از خورشید از شیشه در عرض جغرافیایی محل طرح و در نهایت R_m حداکثر ماهیانه حرارت اکتسابی از خورشید از شیشه در عرض جغرافیایی ۴۰ درجه در ماه جولای که از جدول خوانده می‌شود.

۴. محاسبه بار سرمایی هدایتی جداره‌ها، پنجره‌ها و درهای داخلی (Q_4).

معادله $Q_4 = AU\Delta t$ برای بدست آوردن مقدار بار سرمایی مورد نظر استفاده می‌شود. که در آن $A(ft^2)$ مساحت پنجره، جداره و در داخلی می‌باشد، $\Delta t(F)$ اختلاف دمای خشک طرفین می‌باشد. که در محاسبات انجام شده دمای کل ساختمان به یک اندازه در نظر گرفته شده و بالطبع مقدار آن در طراحی صفر خواهد بود.

۵. محاسبه بار سرمایی محسوس ناشی از تهویه اتاقها

بار سرمایی محسوس ناشی از تهویه ساختمان با توجه به تعداد افراد داخل ساختمان و نیاز هر فرد برای تهویه بدست آمده‌است.

۶. محاسبه بار سرمایی محسوس ناشی از ساکنین و وسایل گرمازای داخل اتاق‌ها

این مقدار با توجه به تعداد افراد و نوع فعالیت آنها و همچنین مقدار و تعداد وسایل گرمازا و مقدار گرمای تولید شده توسط هر وسیله، از جداول مربوطه بدست آمده و محاسبه می‌شود.

۷. محاسبه بار سرمایی نهان موثر اتاق

بار سرمایی نهان موثر اتاق از موارد زیر تشکل شده است:

الف)بار سرمای نهان هوای خارج فراری از دستگاه تهویه که از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$Q_{lv} = V \times \Delta W \times BF \times \frac{60 \times h_{fg}}{7000 \times v} \quad (۳-۵)$$

که در معادله بالا $v(CFM)$ مقدار هوای لازم برای تهویه اتاق، $\Delta W(Grain/lb)$ اختلاف نسبت رطوبت هوای داخل و خارج و BF ضریب میانبر دستگاه که -از کاتالوگ کارخانه یا از جدول مربوط به آن خوانده می‌شود- $h_{fg}(Btu/lb)$ گرمای نهان بخار آب و $v(ft^3/lb)$ حجم مخصوص آب است.

ب) بار سرمایی نهان ساکنین اتاق

که از مجموع بار سرمایی نهان هر فرد بدست می‌آید.

ج)بار سرمایی نهان ناشی از وسایل گرمازا

۸. محاسبه بار سرمایی محسوس بقیه هوای خارج

بار سرمایی هوایی که هنگام عبور از دستگاه تهویه نمی‌شود. که از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$Q_b = V \times (t_0 - t_i) \times (1 - BF) \times 1.08 \quad (۴-۵)$$

که در رابطه بالا $V(CFM)$ حجم هوای لازم برای تهویه اتاق، $t_0(F)$ دمای طرح خارج، $t_i(F)$ دمای طرح داخل و BF ضریب میانبر می‌باشد.

۹. محاسبه بار سرمایی نهان بقیه هوای خارج:

$$Q_{lv} = V \times \Delta W \times (1 - BF) \times \frac{60 \times h_{fg}}{7000 \times v} \quad (۵-۵)$$

که مشخصات قبلا توضیح داده شد.

برای بدست آوردن بار برودتی سرمایی در ساختمان تمام موارد بالا محاسبه شده و با هم جمع می‌شود و در نهایت در ضریب اطمینان ضرب شده و بار برودتی ساختمان بدست خواهد آمد.
مقدار بدست آمده برای این ساختمان از جداول کریر حدود ۱۱ تن تبرید خواهد بود.

۵-۲-۴ محاسبه توسط نرم افزار کریر

در این قسمت توسط نرم افزار کریر بار سرمایی مورد نیاز برای ساختمان را محاسبه کرده و بدست آمده است. با توجه به مشخصات ساختمان و جنس دیواره‌ها و شرایط اقلیمی، بار برودتی ساختمان بدست خواهد آمد.

۵-۲-۵ مقایسه دو روش

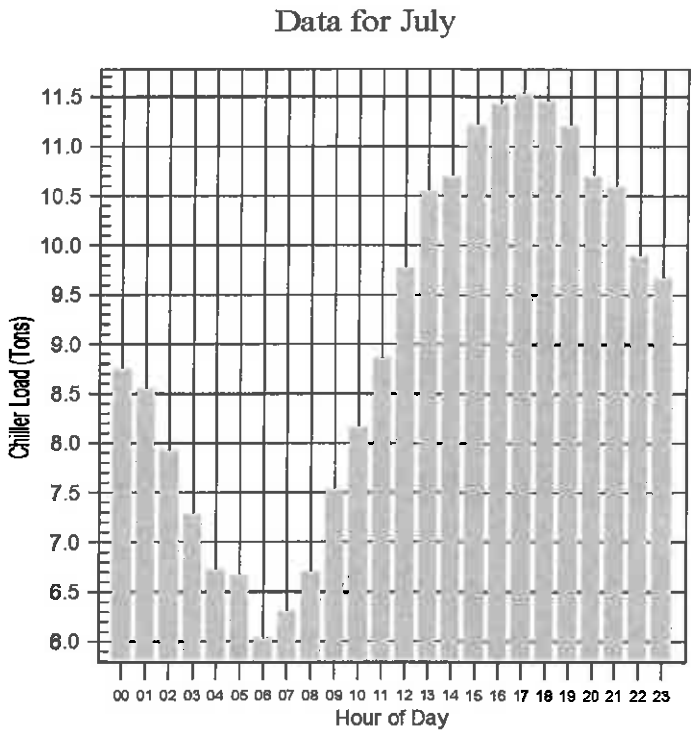
مقدار بدست آمده از نرم افزار کریر حدود ۱۱/۶ تن تبرید می‌باشد و مقدار بدست آمده از جداول کریر حدود ۱۱ تن تبرید خواهد بود. با توجه به مقدار بدست آمده تفاوت چندانی بین دو مقدار داده شده، وجود ندارد. اما برای اینکه ضریب اطمینان بالا برده شود، از مقداری که از نرم افزار کریر بدست آمده برای طراحی استفاده شده است.

جدول(۵-۱): مقادیر بدست آمده از نرم افزار کریر

ظرفیت تبرید	۱۱/۶ تن تبرید
دبی هوای مورد نیاز	۷۲۲۲CFM
دمای هوای ورودی به اتاق	۵۵° F (۱۲°/۷۸C)
دبی آب خروجی از چیلر	۲۷/۸۲Gpm

۵-۳ محاسبه ظرفیت سیستم ذخیره

اساس طراحی ما همانطور که گفته شد، بر اساس بیشترین درجه حرارت در گرمترین روز سال می‌باشد. که در نمودار زیر تناژ مورد نیاز در گرمترین روز سال نشان داده شده است. نمودار زیر نمودار تناژ تولیدی توسط چیلر در ساعات مختلف روز در بدترین روز سال از نظر شرایط آب و هوایی می‌باشد.



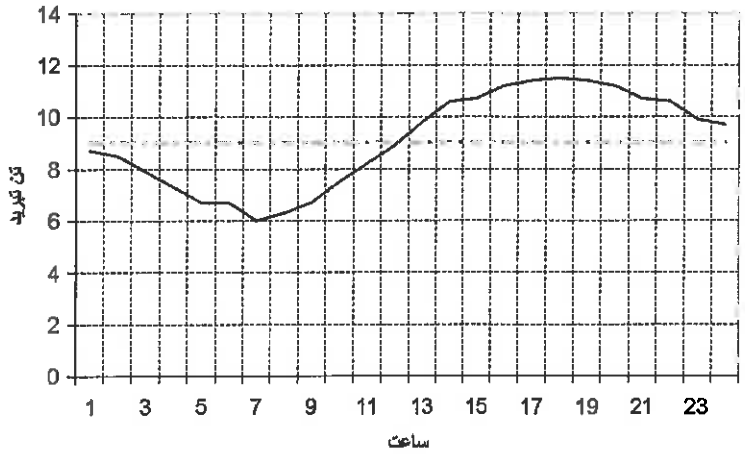
شکل(۵-۱):. نمودار تولید روزانه چیلر در

ساعات مختلف روز در پیک مصرف

مقدار ماکزیمم مصرفی که اساس طراحی می‌باشد، با توجه به شکل-۵-۱ برابر با ۱۱/۶ تن تبرید بدست خواهد آمد، نوع ذخیره انرژی از نوع ذخیره جزئی می‌باشد.

برای بدست آوردن ظرفیت مخزن ذخیره انرژی، در زمانی که دمای بهینه، اساس طراحی باشد، باید مابه‌التفاوت مقدار نیاز در منبع ذخیره شود.

بطور مثال برای محاسبه ظرفیت منبع ذخیره انرژی در این قسمت با توجه به نمودار زیر حجم منبع ذخیره انرژی ۱۹/۶ بدست می‌آید. مقدار انرژی مورد نیاز برای منبع ذخیره برابر با، مساحت بین نمودار نیاز برودتی ساختمان با خط ثابت ظرفیت بهینه طراحی می‌باشد.



شکل(۵-۲): نمودار مصرف روزانه چیلر در ساختمان

و خط مصرف بهینه

با توجه به نمودار شکل(۵-۲) و محاسبه مساحت **زیر منحنی** مقدار تناژ مورد نیاز برای ذخیره انرژی برابر با، ۱۹/۶ تن تبرید بدست می‌آید.

۵-۴ محاسبه حجم سیستم ذخیره

در قسمت قبل ظرفیت سیستم ذخیره انرژی بدست آمد. در این قسمت با توجه به ظرفیت سیستم حجم مخزن مورد استفاده بدست آورده می‌شود.

مخزن مورد استفاده دارای دو قسمت می‌باشد.

الف) قسمتی که ذخیره انرژی در آن انجام می‌شود. ظرفیت این قسمت به سیالی کـه انـرژی در آن ذخیره می‌شود مربوط می‌باشد.

ب)کانال درون مخزن، که به سرعت هوا درون آن بستگی دارد.

با توجه به فاکتورهای بالا و با توجه به رابطه $q = mh$ و مقدار ظرفیت نهان آب، مقـدار آب مـورد نیاز برای ذخیره این مقدار انرژی برابر با ۷۴۰/۸۸ کیلوگرم آب مورد نیاز است که در مخزن تبـدیل به یخ خواهد شد.

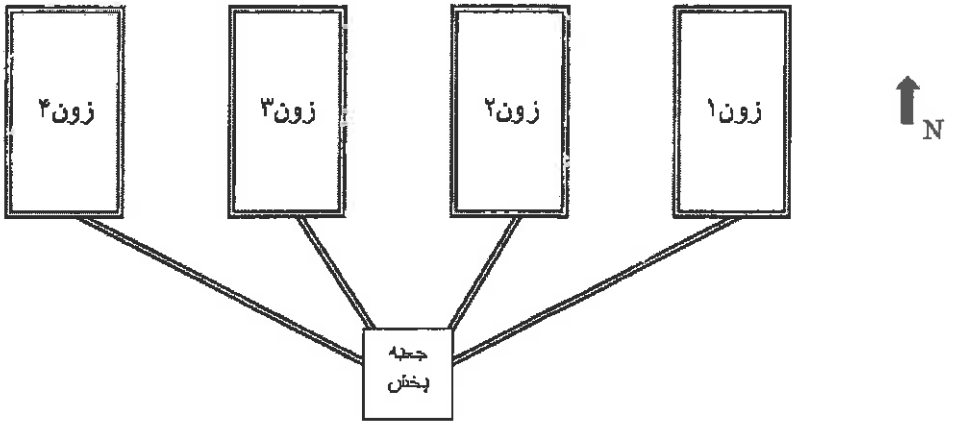
از طرف دیگر اندازه کانال بر اساس ماکزیمم ظرفیتی که از سیستم ذخیره انرژی انتظار وجود دارد تعیین می‌شود که برابر با ۲/۶ تن تبرید خواهد بود. بـا توجـه بـه ایـن مشخـصات و فـرض سـرعت

fpm ۱۰۰۰ بـرای هـوا در درون کانـال و دبـی هـوای مـورد نیـاز cfm ۱۶۰۰، ابعـاد کانـال $(۱۲*۱۲\,in^2)$ ۰/۳*۰/۳ m^2 بدست می‌آید.

حال اگر طول مخزن به اندازه ۱/۵ متر در نظر گرفته شود و با توجه به حجم آب مـورد نیـاز بـرای مخزن، حجم کل مخزن برابر با ۰/۹۱۳ متر مکعب می‌شود. این مقدار با توجه به افزایش حجمی که آب در هنگام تبدیل به یخ خواهد داشت، که برابر با حدود ۱۰ درصد می‌باشد و همچنین بـا توجـه به ۱۰ درصد حجم کویلهای داخل مخزن، حجم مخـزن را حـدود ۱ متـر مکعـب در نظـر خـواهیم گرفت.

۵-۵ محاسبه مقدار سرمایش برای حالتی که از CAV استفاده می‌شود.

بـرای نمونـه در شـکل(۵-۳) نمونـه‌ای از سـاختمان‌هـایی کـه در آنهـا از سیـستم کنتـرل بروش CAV استفاده شده‌است دیده می‌شود. دمـای درون تمـام زونهـا بجـز زون اول ۷۰ درجـه فارنهایت در نظر گرفته شده‌است و زون اول به دمای ۶۸ درجـه فارنهایـت نیـاز خواهـد داشـت، بالطبع مقدار انرژی مورد نیاز برای تامین تهویه ساختمانها نیز متفاوت اسـت. در حالـت معمـول طراحی برای سیستم کنترل CAV برای بدترین زون انجام خواهد شد و برای پخـش دبـی بـین زونهای مختلف که نیاز به دماهای مختلف وجود دارد، بدترین زون را انتخاب نمـوده و هـوا را بـا همان دما و با حجم ثابت به زونهای مختلف فرستاده خواهد شد. در ورودی هر زون و خروجی هر کانال، با قرار دادن کویل گرمایش در مسیر هوا، هوا به دمـایی کـه نیـاز هـر زون اسـت، رسـانده می‌شود.



شکل(۵-۳): شماتیکی از محیط در حال تهویه
به کمک سیستم CAV

مشخصات مکان در حال تهویه:

ساختمان دارای کاربرد مسکونی در شهر زاهدان که دمای مورد نیاز هر زون در ادامه آورده شده است.

جدول(۵-۲): مشخصات دمایی زونهای
در حال تهویه

	زون۱	زون۲	زون۳	زون۴
دما ی زون F^0	۶۸	۷۰	۷۰	۷۰

این ساختمان از ۴ بلوک جداگانه تشکیل شده است، که دارای مساحتهای برابر و مشخصات معماری یکسان می‌باشد. ورودی زونها در جنوب ساختمان قرار دارد و ساختمان دارای ۳ پنجره در سمت جنوب، شرق و غرب می‌باشد. تعداد افراد، مشخصات و جنس پنجره‌ها، دیوارها، درها، یکسان در نظر گرفته می‌شوند.

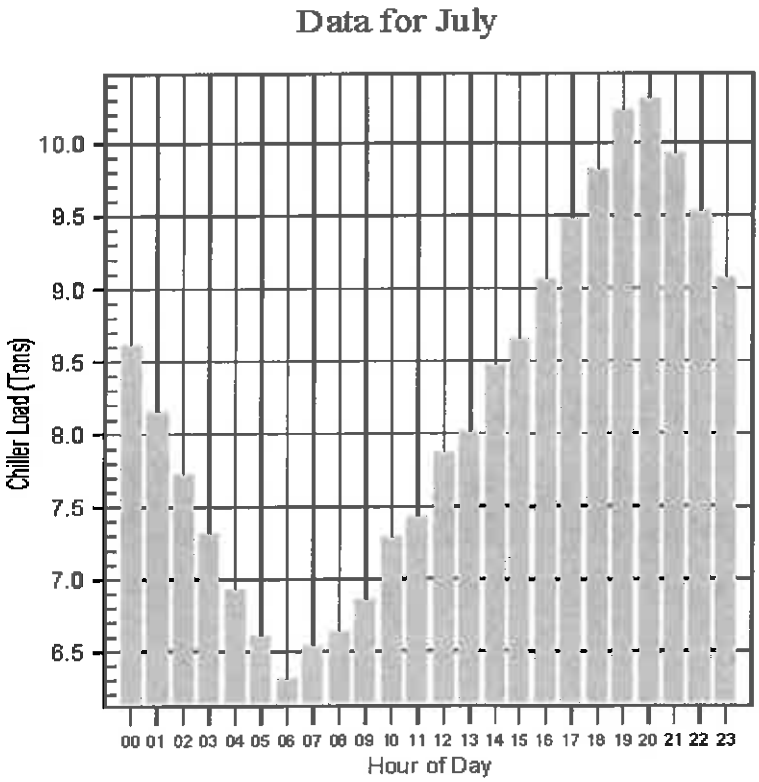
مقدار انرژی لازم برای هر بلوک در جدول زیر داده شده است:

جدول(۵-۳): انرژی مورد نیاز

برای تهویه هر زون

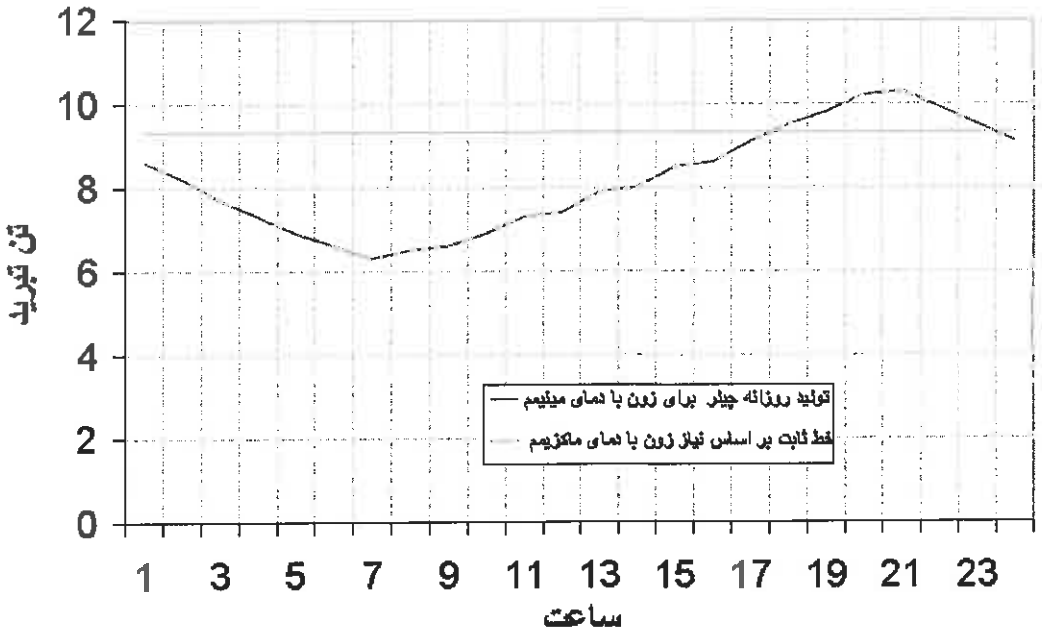
	زون۱	زون۲	زون۳	زون۴
انرژی(تن تبرید)	۱۰/۲۳	۹/۳۲	۹/۳۲	۹/۳۲

با توجه به داده‌های جدول بالا و مشخصات سیستم *CAV* ابتدا طراحی برای زون اول انجام می‌شود، زون‌های بعدی بر اساس زون اول طراحی خواهند شد. مقدار بار سرمایشی برای تامین نیاز سیستم برابر با ۴۰/۹۲ خواهد بود.مشخصات سیستم در حالت اول بر اساس مقدار ۴۰/۹۲ انتخاب خواهد شد.



شکل(۵-۴): نمودار تناژ تولیدی توسط چیلر

در حالت دوم مقدار انرژی لازم برای سیستم بر اساس مینیمم زون انجام خواهد شد که برابر با ۳۷/۲۸ تن تبرید می‌باشد و باقیمانده نیاز زون برای زون اول بوسیله سیستم ذخیره انرژی تامین خواهد شد. این مقدار با توجه به نمودار تامین نیاز سرمایش برای یک روز مقدار ظرفیت منبع ذخیره برابر با ۳/۲۸ تن تبرید خواهد شد.



شکل(۵-۵): نمودار تولید روزانه انرژی برای زون با دمای مینیمم برای تامین مقدار ظرفیت مخزن انرژی

مقدار سرمایش مورد نیاز که از طریق سیستم ذخیره انرژی تامین می‌شود برابر با ۳/۲۸ تن تبرید خواهد بود. ۱۲۱ کیلوگرم آب برای ذخیره این مقدار انرژی مورد نیاز است. حجم مخزنی که برای ذخیره انرژی در نظر می‌گیریم با توجه به ۱۰ درصد اضافه حجم آب در هنگام تبدیل به یخ شدن، ۲۰ درصد حجم لوله های مبدل درون مخزن و ۱۰ درصد به عنوان ضریب اطمینان و کانالی که در مرکز آن قرار دارد، حجم نهای مخزن برابر با ۲۰۰ لیتر خواهد شد.

فصل ششم

بررسی اقتصادی سیستم ذخیره انرژی

۶-۱ مقدمه

این فصل، در ادامه فصل‌های قبل برای نشان دادن و بررسی تاثیر سیستم ذخیره انـرژی در تهویـه مطبوع و تعیین کاهش هزینه اولیه و کاهش مصرف انرژی در کل سیستم، ساختمانی را برای نمونه حل کرده و مورد بررسی قرار داده است. در نمونه برای ساختمان سیستم تهویه طراحـی شـده و بـا حالتی که از ذخیره انرژی در سیستم اصلی استفاده می‌شود مقایسه شـده‌اسـت. در قـسمت بعـدی

برای حالتی که از سیستم CAV در کنترل تهویه استفاده می‌شود طراحی انجام شده و تاثیر سیستم ذخیره را در سیستم اصلی نشان داده خواهد شد.

۶-۲ انتخاب تجهیزات بر اساس ماکزیمم دما

طراحی و انتخاب تجهیزات برای ساختمان، بر اساس ماکزیمم تناژ انجام می‌شود. تناژ بدست آمده برای ساختمان: ۱۱/۶ تن تبرید معادل Btu/hr ۱۳۹۲۰۰ می‌باشد.

۶-۲-۱ انتخاب چیلر:

- چیلر از کاتالوگهای شرکت عمران تهویه انتخاب شده است، پارامترهای انتخاب چیلر در ادامه آمده:

۱- ظرفیت سرمایی چیلر بر حسب تن تبرید (RT) - از رابطه زیر استفاده می‌شود

$$[USRT]=\frac{1.1\times Q_t}{12000} \qquad (۱-۶)$$

۲- دمای آب سرد خروجی از چیلر-آب سردی که به کویل هواساز یا فن کویل و غیره ارسال می‌گردد. حدود بین ۴۰ تا ۵۰ درجه فارنهایت می‌باشد.

۳- دبی آب سرد خروجی از چیلر-عبارتست از آب سردی است که در سیستم جریان می‌یابد و از فرمول زیر محاسبه می‌شود.

$$USGPM=\frac{Q_t}{5000} \qquad (۲-۶)$$

اختلاف دمای آب سرد ورودی و خروجی چیلر - همان اختلاف آب سرد رفت و برگشت سیستم است و که معمولا برابر ۱۰ درجه فارنهایت در نظر می‌گیرند.

۴- دمای آب خروجی از کندانسور - منظور آب خنک کننده کندانسور است- که معمولا ۸۵ تا ۱۰۵ در جه فارنهایت در نظر می‌گیرند

۵- دمای تقطیر- منظور دمای تقطیر بخار مبرد درکندانسوراست- معمولا بین ۱۰۰ تا ۱۲۵ درجه فارنهایت است.

با توجه به اطلاعات بالا و داده‌هایی که در جدول (۶-۱) آمده است. در جدول (۶-۲) چیلر مورد نیاز و مشخصات آن آورده شده‌است.

جدول(۶-۱):داده‌های اولیه برای انتخاب چیلر

ردیف	پارامترهای انتخابی از کاتالوگ	مقدار پارامتر
۱	ظرفیت سرمایی چیلر بر حسب تن تبرید(RT)	۱۱/۶
۲	دمای آب سرد خروجی از چیلر(F)	۴۰
۳	دبی آب سرد خروجی از چیلر(gpm)	۲۷/۸۲
۴	اختلاف دمای آب سرد ورودی و خروجی چیلر(F)	۱۰
۵	دمای آب خروجی از کندانسور(F)	۸۵
۶	دمای تقطیر(F)	۱۰۰

جدول(۶-۲):مشخصات چیلر انتخابی

انتخاب از کاتالوگ			
توان KW	قیمت(ریال)	ظرفیت اسمی (تن تبرید)	مدل
۹/۳	۱۰۲۴۶۶۰۰۰	۱۵	10WLC15

۶-۲-۲ انتخاب برج خنک‌کن :

- برج خنک کن از کاتالوگ شرکت عمران تهویه انتخاب شده است، پارامترهای موثر در انتخاب برج خنک‌کن در ادامه آمده است :

۱- دمای مرطوب هوای خارج

۲- دمای آب ورودی به برج خنک‌کن

۳- نقصان دمای آب در برج خنک‌کن – که اختلاف دمای آب ورودی و خروجی برج خنک‌کن و معمولا برابر ۱۰ درجه فارنهایت است

۴- دمای آب خروجی از برج خنک‌کن

۵- دبی آب جریانی در برج خنک‌کن – که همان دبی آب خنک کننده کندانسور است و معمولا ۳gpm تا gpm ۴ به‌ازای هر تن تبرید ظرفیت چیلر است . که در اینجا در حدود ۴ در نظر گرفته شده است.

در ادامه با توجه به معیارهای انتخاب برج خنک کن که در بالا به آن اشاره شده است و مشخصاتی که در ادامه در جدول(۶-۳) آمده برج خنک کن مورد نیاز برای سیستم انتخاب می‌شود، در جدول(۶-۴) مشخصات برج خنک کن مورد نیاز آورده شده است.

جدول(۶-۳): داده‌های مورد نیاز برای انتخاب برج خنک‌کن

ردیف	پارامترهای انتخابی از کاتالوگ	مقدار پارامتر
۱	دمای مرطوب هوای خارج(F)	۸۰
۲	دمای آب ورودی به برج خنک‌کن(F)	۸۵
۳	نقصان دمای آب در برج خنک‌کن(F)	۱۰
۴	دمای آب خروجی از برج خنک‌کن(F)	۷۵
۵	دبی آب جریانی در برج خنک‌کن(gpm)	۴۶/۴

جدول(۶-۴): مشخصات برج خنک کن انتخابی

انتخاب از کاتالوگ		
مدل	جریان آب (gpm)	قیمت(ریال)
OMB-25	۴۶/۴	۲۳۵۰۰۰۰۰

۶-۲-۳ انتخاب هواساز

- هواساز از کاتالوگ شرکت آذر نسیم دما انتخاب شده، پارامترهای موثر در انتخاب هواساز در زیر آمده است:

۱- دبی کل هوای مورد نیاز جهت حمل بار حرارتی ساختمان (گرمایی و سرمایی) (CFM)

۲- بار حرارتی کل گرمایی و سرمایی ساختمان Btu/hr

۳- فشار استاتیک بادزن هواساز $(in.wg)$

با توجه به مشخصاتی که در جدول زیر برای انتخاب هواساز آمده است، هواسازی که نیاز داریم را انتخاب شده است. مشخصات آن در ادامه جدول آورده شده.

جدول(۶-۵): مشخصات هواساز انتخابی به همراه فن

(انتخاب هواساز)				
$Static\ \mathrm{Re}\ gain\ (in.wg)$	$Q(Btu/hr)$ (سرمایش)	$Q(Btu/hr)$ (گرمایش)	دبی کل [هوای گرمایش] (Cfm)	دبی کل [سرمایش هوای] (Cfm)
۰/۰۱	۱۳۹۲۰۰	۱۰۳۶۱۵	۷۲۲۲	۷۲۲۲

انتخاب از کاتالوگ		
قیمت	دبی (Cfm)	مدل
۳۹۶۰۰۰۰۰	۸۰۰۰	A-1000
مدل الکتروموتور فن	قدرت (hp)	برق مصرفی Kw
QU134M4AT	۷/۵	۱

۶-۲-۴ انتخاب پمپ:

پمپ از کاتالوگهای شرکت ابارا انتخاب شده است. در ادامه پمپهایی که در سیستم استفاده می‌شوند انتخاب می‌شوند.

الف)برای گردش آب سرد

پارامترهای موثر در انتخاب پمپ:

- دبی پمپ

$$USGPM = \frac{Q_t}{5000} \qquad (۶-۳)$$

- هد پمپ : که برابر افت در بلندترین و پر مقاومترن مسیر رفت و برگشت آب سرد از چیلر به واحد حرارتی (مثلا هواساز) می‌باشد.

جدول(۶-۶): مشخصات مورد نیاز برای انتخاب پمپ آب سرد

ردیف	پارامترهای انتخابی از کاتالوگ	مقدار پارامتر
۱	دبی پمپ (gpm)	۲۷/۸۴
۲	هد پمپ (Ft)	۳۳

*هد را با فرض اینکه طول لوله در رفت و برگشت برابر ۱۰ متر می‌باشد، ۳۳ فوت در نظر گرفته‌ایم.

جدول(۶-۷)مشخصات پمپ آب سرد انتخابی در سیستم

انتخاب از تجهیزات				
Kw	قدرت HP	قیمت(ریال)	تعداد	مدل
۰/۷۵	۰/۵۵	۴۰۶۰۰۰۰	۱	40-40M

ب)برای گردش آب از برج خنک کن تا کندانسور

پارامترهای موثر در انتخاب پمپ:

- دبی پمپ : که برابر با مقدار آب لازم از کندانسور به برج خنک کن است.
- هد پمپ طول مسیر رفت از کندانسوز به برج خنک کن

جدول(۶-۸): مشخصات مورد نیاز برای انتخاب پمپ آب برج خنک‌کن

ردیف	پارامترهای انتخابی از کاتالوگ	مقدار پارامتر
۱	دبی پمپ (gpm)	۳۴/۸
۲	هد پمپ (Ft)	۳۳

*هد را با فرض اینکه طول لوله در رفت و برگشت برابر ۱۰ متر می‌باشد، ۳۳ فوت در نظر گرفته‌ایم.

جدول(۶-۹): مشخصات پمپ برج خنک‌کن انتخابی در سیستم

انتخاب تجهیزات				
Kw	قدرت *HP*	قیمت(ریال)	تعداد	مدل
۰/۷۵	۱	۴۱۶۰۰۰۰	۱	40-75M

در پایان با توجه مشخصات سیستم انتخابی در جدول (۶-۱۰) کل هزینه اولیه و مقدار برق مصرفی در سیستم آورده شده است.

جدول(۶-۱۰): هزینه تمام شده و مقدار مصرف برق کل سیستم

قیمت تمام شده(ریال)	۱۷۳۷۸۶۰۰۰
برق مصرفی *kw*	۱۱/۴۵

۶-۳ انتخاب تجهیزات بر اساس دمای بهینه

طراحی و انتخاب تجهیزات بر اساس دمای بهینه انجام می‌پذیرد. مقدار ظرفیت برای طراحی سیستم ما ۹ تن تبرید می‌باشد و مقدار حجم مخزن ما برابر با ۲۰/۴ تن تبرید می‌باشد، که همان ظرفیت منبع ذخیره انرژی ما است.

۶-۳-۱انتخاب چیلر:

با توجه به مشخصات آورده شده در جدول (۶-۱۱)، مشخصات چیلر انتخابی در جدول (۶-۱۲) آمده است.

جدول(۶-۱۱): داده‌های اولیه برای انتخاب چیلر

ردیف	پارامترهای انتخابی از کاتالوگ	مقدار پارامتر
۱	ظرفیت سرمایی چیلر بر حسب تن تبرید (RT)	۹/۱
۲	دمای آب سرد خروجی از چیلر (F)	۴۰
۳	دبی آب سرد خروجی از چیلر (gpm)	۲۱/۸۴
۴	اختلاف دمای آب سرد ورودی و خروجی چیلر (F)	۱۰
۵	دمای آب خروجی از کندانسور (F)	۸۵
۶	دمای تقطیر (F)	۱۰۰

جدول(۶-۱۲)مشخصات چیلر انتخابی

انتخاب از کاتالوگ			
توان KW	قیمت(ریال)	ظرفیت اسمی (تن تبرید)	مدل
۷/۱	۹۱۷۹۴۰۰۰	۱۰	10WLC-10

۶-۳-۲ انتخاب برج خنک‌کن :

مشخصاتی که در ادامه در جدول (۶-۱۳) آمده برج خنک کن مورد نیاز برای سیستم انتخاب می‌شود. در جدول (۶-۱۴) مشخصات برج خنک کن مورد نیاز آورده شده است.

جدول(۶-۱۳): داده‌های مورد نیاز برای انتخاب برج خنک‌کن

ردیف	پارامترهای انتخابی از کاتالوگ	مقدار پارامتر
۱	دمای مرطوب هوای خارج (F)	۸۰
۲	دمای آب ورودی به برج خنک‌کن (F)	۸۵
۳	نقصان دمای آب در برج خنک‌کن (F)	۱۰
۴	دمای آب خروجی از برج خنک‌کن (F)	۷۵
۵	دبی آب جریانی در برج خنک‌کن (gpm)	۲۷/۳

جدول(۶-۱۴)مشخصات برج خنک‌کن انتخابی

انتخاب از کاتالوگ		
قیمت(ریال)	تعداد	مدل
۲۱۵۰۰۰۰۰	۱	OMB-20

۶-۳-۳ انتخاب هواساز:

با توجه به مشخصاتی که در جدول (۶-۱۵) برای انتخاب هواساز نیاز است آمده است، هواسازی که نیاز داریم را انتخاب کرده و مشخصات آن در ادامه جدول آورده‌ایم.

جدول(۶-۱۵): مشخصات و قیمت هواساز انتخابی به همراه فن

انتخاب هواساز				
$Static\ Re\ gain\ (in.wg)$	$Q(Btu/hr)$ (سرمایش)	$Q(Btu/hr)$ (گرمایش)	دبی کل [هوای گرمایش] (Cfm)	دبی کل [سرمایش هوای] (Cfm)
۰/۰۱	۱۰۸۰۰۰	۱۰۲۰۲۱	۵۵۳۸	۵۵۲۰
انتخاب از کاتالوگ				
قیمت(ریال)	دبی CFm		مدل	
۳۴۶۰۰۰۰۰	۶۲۵۰		A-700	
مدل الکتروموتور فن	قدرت (hp)		برق مصرفی KW	
QU134S4AT	۵/۵		۰/۸	

۶-۳-۴ انتخاب پمپ:

الف)برای گردش آب سرد

جدول(۶-۱۶): داده‌های اولیه برای انتخاب پمپ آب سرد

ردیف	پارامترهای انتخابی از کاتالوگ	مقدار پارامتر
۱	دبی پمپ (gpm)	۲۱/۸۴
۲	هد پمپ (Ft)	۳۳

*هد را با فرض اینکه طول لوله در رفت و برگشت برابر ۱۰ متر می‌باشد ۳۳ فوت در نظر می‌گیریم.

جدول(۶-۱۷): مشخصات پمپ انتخابی برای آب سرد

انتخاب کاتالوگ				
Kw	قدرت HP	قیمت(ریال)	تعداد	مدل
۰/۴	۰/۵۵	۳۹۳۰۰۰۰	۱	32-4M

ب)برای گردش آب از برج خنک کن تا کندانسور

جدول(۶-۱۸): داده‌های اولیه برای انتخابی پمپ برج خنک‌کن

ردیف	پارامترهای اتنخابی از کاتالوگ	مقدار پارامتر
۱	دبی پمپ (gpm)	۲۷/۳
۲	هد پمپ (Ft)	۳۳

*هد را با فرض اینکه طول لوله در رفت و برگشت برابر ۱۰ متر می‌باشد ۳۳ فوت در نظر گرفتیم.

جدول(۶-۱۹): مشخصات پمپ انتخابی برای برج خنک‌کن

انتخاب از کاتالوگ				
Kw	قدرت HP	قیمت(ریال)	تعداد	مدل
۰/۴	۰/۵۵	۳۹۳۰۰۰۰	۱	32-40M

۶-۳-۵ سیستم ذخیره انرژی:

این سسیستم شامل یک مخزن با عایق حرارتی و کویلهایی به عنوان مبدل حرارتی می‌باشد، همچنین یک فن که هوای مورد نیاز ما را تامین می‌کند، دریچه های ورودی و خروجی که در موقع لزوم بسته می‌شوند. در مجموع با توجه به هزینه ساخت این مخزن هزینه تمام شده مخزن برابر می‌شود با:

جدول(۶-۲۰): مشخصات مخزن ذخیره انرژی

جنس	مشخصات	قیمت (ریال)
مخزن ۱۰۰۰ لیتر	۱عدد (گالوانیزه 2.5_{mm})	۳۰۰۰۰۰۰
لوله مسی	۲۵۰ متر	۵۰۰۰۰۰۰
فن	اعدد فن $(0.1kw)$ ۲۰*۲۰	۲۴۰۰۰۰
شیر ترموستات	۲۲۰ولت ۶آمپر	۳۰۰۰۰
شیر سه راه	برنجی	۲۸۹۰۰
کانال	۲متر ۰/۲*۰/۲	۳۶۹۶۰۰
دریچه ورودی و خروجی	هر in^2 ۵۰۰ ریال	۱۴۰۰۰۰
عایق 10_{mm}	به مساحت $2m^2$	۴۰۰۰۰۰
مجموع		۹۲۰۸۵۰۰

با توجه به اینکه هزینه ساخت مخزن، قیمت تمام شده مخزن حدود ۱۳۸۱۲۷۵۰ ریال خواهد بود.

برق مصرفی برای سیستم ذخیره انرژی برابر با برق مصرفی فن است که برابر با $(0.1kw)$ می‌باشد.

جدول(۶-۲۱)هزینه تمام شده و برق مصرفی

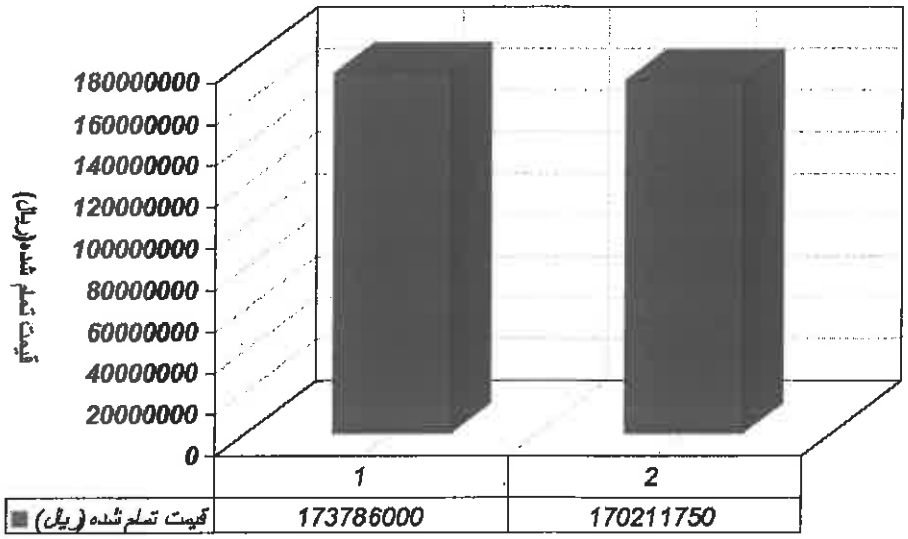
سیستم در حالت دوم

قیمت تمام شده(ریال)	۱۷۰۲۱۱۷۵۰
برق مصرفی	۸/۸

کانال از کاتالوگ شرکت کانی پلاست، شیر و اتصالات از کاتالوگ شرکت فن کنتری کوشا و دریچه از کاتالوگ شرکت شاهرخی انتخاب شده است.

۶-۴ مقایسه اقتصادی

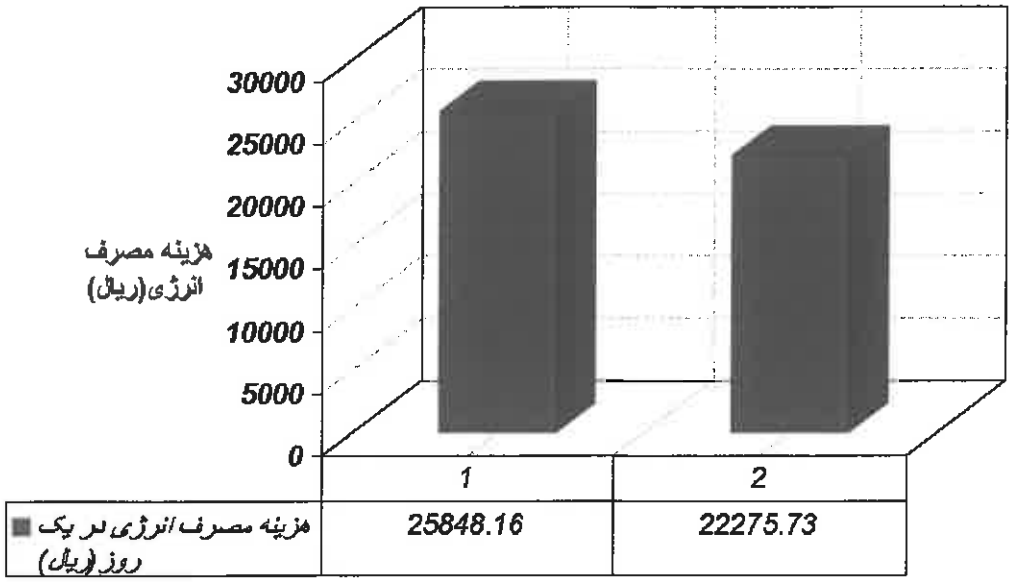
در این قسمت مقایسه بین قیمت تمام شده سیستم اولیه و سیستم با ذخیره انرژی صورت می‌گیرد و در ادامه مقایسه ای میان مقدار مصرف انرژی و کاهش هزینه ها در دو سیستم صورت می‌پذیرد. این برآورد هزینه ها بغیر از تاثیر کاهش اندازه فضای مورد نیاز در موتور خانه می‌باشد که این کاهش به قیمت زمینی که موتور خانه در آن ساخته شده است بستگی خواهد داشت.



شکل(۶-۱): نمودار مقایسه قیمت تمام شده سیستم در دو حالت

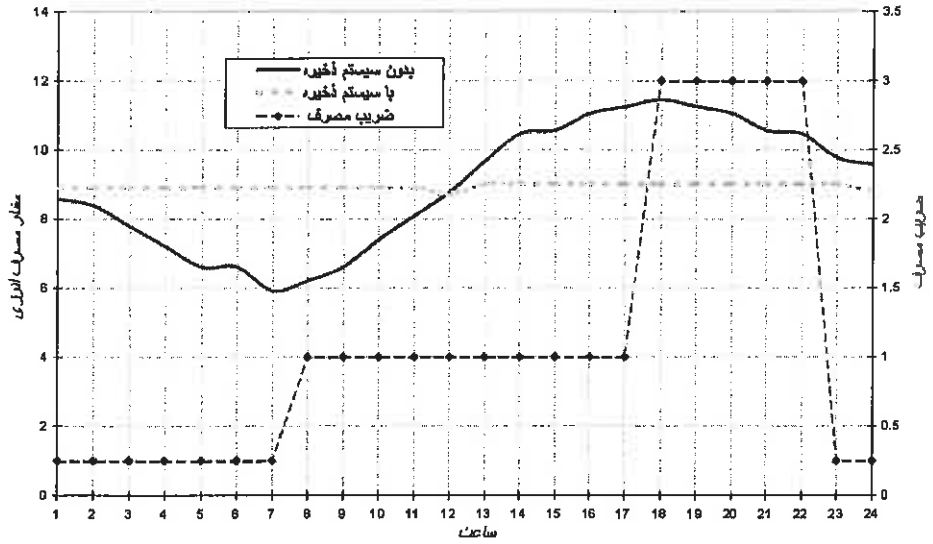
همانطور که در شکل(۶-۱) مشاهده می‌نمائیم مقدار هزینه سیستم برای دو حالت مقایسه شده‌است، در حالت دوم-تهویه بکمک سیستم ذخیره انرژی- هزینه کاهش پیدا خواهد کرد.این مقدار حدود ۲/۵ درصد مقدار اولیه می‌باشد این خود نشان می‌دهد که استفاده از این سیستم علاوه بر کاهش هزینه مقدار انرژی مصرفی، علاوه بر اینکه هزینه اولیه را افزایش نمی‌دهد، مقدار هزینه مصرف شده را نیز کاهش خواهد داد. این خود بعلت استفاده نکردن از تجهیزات اضافی برای دشارژ سیستم می‌باشد. بطور مثال می‌توان، عدم نیاز به پمپ اضافی و لوله کشی برای بازیافت انرژی از سیستم ذخیره پیشنهادی را از دلایل اصلی این رویداد دانست.

در ادامه مقایسه‌ای بین مقدار هزینه جاری مصرف انرژی در دو سیستم آورده شده‌است.



شکل(۶-۲): مقایسه هزینه مصرف انرژی در دو حالت طراحی شده

شکل(۶-۲)مقایسه‌ای بین هزینه مصرفی سیستم در روز ماکزیمم مصرف، انجام داده‌است.



شکل(۶-۳): نمودار مقایسه ای بین دو سیستم از نظر توان

مصرف انرژی در ساعات محتلف روز

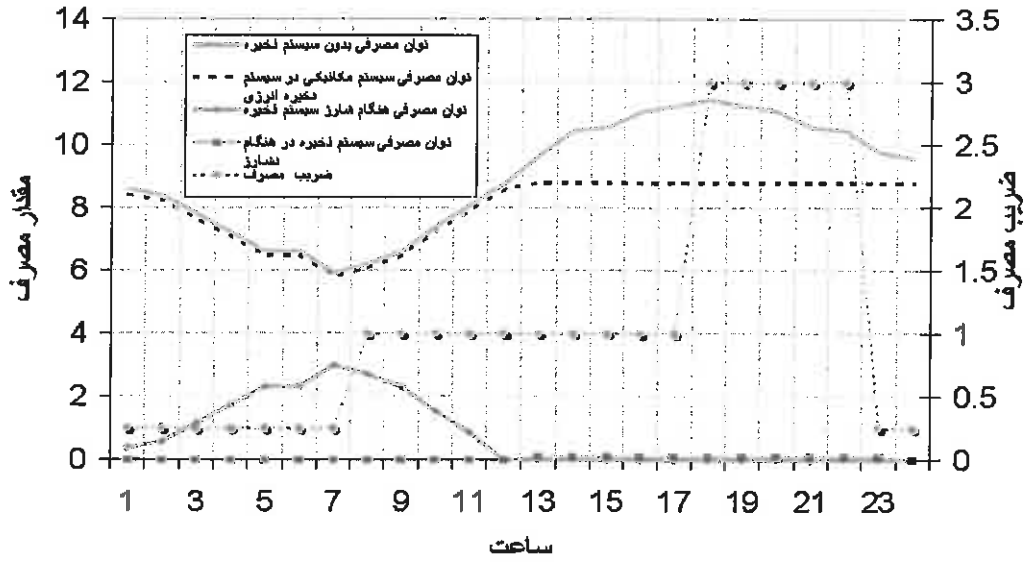
شکل(۶-۳) نمودار مقدار توان مصرفی در دو سیستم را در ساعات مختلف روز نشان می‌دهد. همانطور که در نمودار مشاهده می‌شود، منحنی مقدار مصرف برای حالتی که از سیستم ذخیره انرژی استفاده نمی‌شود، دارای یک قله در مصرف می‌باشد، با توجه به نمودار، همزمان با پیک باری که در مصرف برق وجود دارد، قیمت برق مصرفی با ضریب ۳ برابر حالت عادی محاسبه

خواهد شد. در حالتی که از سیستم ذخیره انرژی استفاده بشود، با توجه به ضریب مصرف برق که از جدول(۶-۲۲) تبعیت می‌کند مقدار هزینه مصرف برق در دو سیستم کاهش خواهد یافت، که در ادامه محاسبه شده‌است.

جدول(۶-۲۲): ضریب قیمت برای مصرف برق

در ساعات مختلف روز

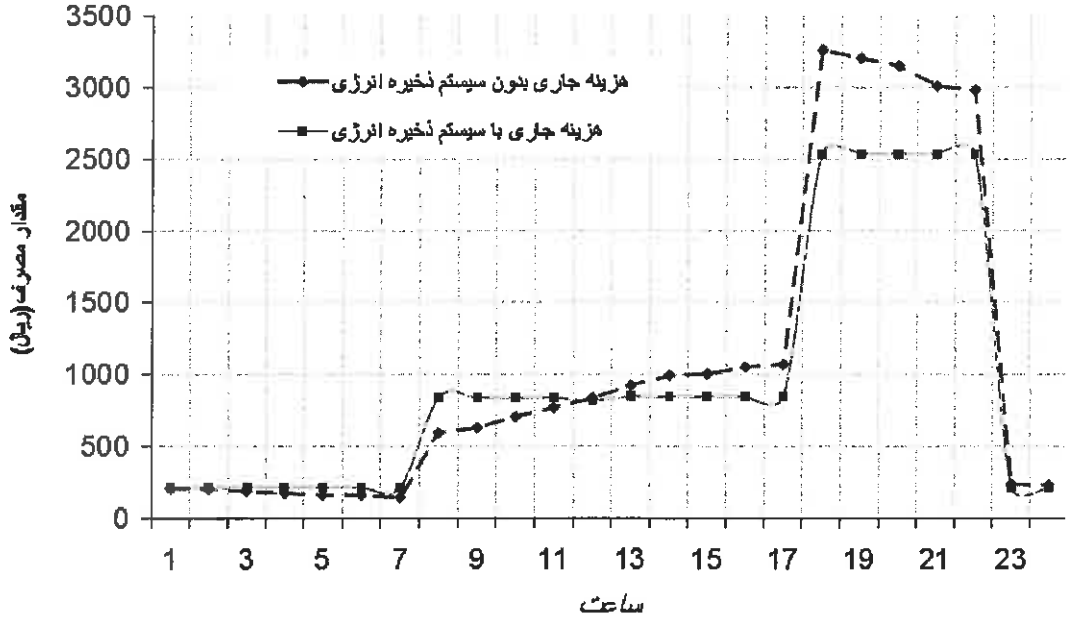
		معمولی	اوج بار	کم بار
نیمسال اول	ساعت	۷-۱۸	۱۸-۲۳	۲۳-۷
	ضریب	۱	بین ۲ تا ۳/۳	۰/۲۵
نیمسال دوم	ساعت	۵-۱۷	۱۷-۲۱	۲۱-۵
	ضریب	۱	بین ۲ تا ۳/۳	۰/۲۵



شکل(۶-۴): نمودار مقایسه مصرف انرژی در دو سیستم

و مقدار توان مصرفی قسمت‌های مختلف سیستم ذخیره انرژی در ساعات مختلف

شکل(۶-۴) نمودار توان مصرفی بخشهای مختلف در دو سیستم تهویه می‌باشد که با هم مقایسه شده‌است. با شیفت دادن زمان مصرف برق از زمان پیک به زمانی که قیمت برق ۰/۲۵ قیمت حالت عادی محاسبه می‌شود، قیمت تمام شده توان مصرفی کاهش می‌یابد.



شکل(۶-۵): مقایسه هزینه جاری توان مصرفی در
دو حالت در ساعات مختلف روز

در ادامه در شکل(۶-۵) مقایسه‌ای بین قیمت توان مصرفی در سیستم در دو حالت در روز انجام شده‌است. همانطور که در نمودار مشاهده می‌شود کاهش هزینه کاملا مشخص می‌باشد. با توجه به مقدار مصرف انرژی حدود ۱۱/۲ درصد کاهش هزینه خواهیم داشت.

در ادامه راندمان اقتصادی چیلر را معرفی شده‌است. هیچ سیستم تهویه‌ای در تمام طول مدت بهره‌برداری با ظرفیت کامل خود کار نمی‌کند و بار تهویه در ساعات مختلف روز متغیر است و بستگی به درجه حرارت و سایر شرایط دارد. از ظرفیت کامل چیلر فقط در چند ساعت از روز بهره‌برداری می‌شود. از این رو ضریبی به نام ضریب پراکندگی در محاسبات بکار گرفته می‌شود که عبارتند از:

$$\text{ضریب پراکندگی} = \frac{\text{تن ساعت واقعی}}{\text{تن ساعت دستگاه}}$$

به این معنی که مقدار تناژی که از چیلر در یک ساعت گرفته می‌شود تقسیم بر تناژ اسمی دستگاه، ضریبی بدست می‌آید که هرچه کوچکتر باشد راندمان اقتصادی نیز تقلیل می‌یابد.

با استفاده از سیستم ذخیره انرژی می‌توان مقدار مصرف انرژی در ساعات مختلف روز را به ظرفیت انرژی در سیستم نزدیک کرد و با اینکار راندمان اقتصادی سیستم را بالا برد.

کل انرژی مورد نیاز برای ساختمان در هر دو حالت تقریبا ثابت است. تفاوت دو سیستم تنها در بازده سیستم در زمانهای مختلف و بازده اقتصادی سیستمها در مقایسه با هم می‌باشد. سیستم دارای ذخیره انرژی بعلت بازده بالاتر –چون در ساعاتی از شبانه روز شارژ سیستم ذخیره انرژی صورت می‌گیرد که پیک دمایی وجود ندارد و بعلت نزدیک بودن مقدار مورد نیاز به ظرفیت نامی سیستم، بازده اقتصادی نیز بیشتر می‌باشد- در سیستم ذخیره انرژی و مقدار مصرف برق کاهش می‌یابد.

۶-۵ بررسی اقتصادی سیستم ذخیره انرژی در سیستم CAV

اتلاف انرژی - همانطور که قبلا اشاره شد- بزرگترین و شاید تنها ایرادی که به سیستم CAV می‌توان وارد کرد. در این سیستم طراحی تمام زونها بر اساس زونی که باید کمترین دما را داشته باشد، انجام می‌شود و در ورودی زونهایی که به دمائی بالاتر از دمای مینیمم نیاز وجود داشته باشد، کویلهای گرمائی قرار داده می‌شود، که با ایجاد گرما، به هوای ورودی به زون حرارت داده و دمای هوای ورودی به هر زون تا جائی که نیاز وجود دارد گرم خواهد شد. اما با کمک سیستم ذخیره انرژی می‌توان طراحی را بر اساس ماکزیمم دما انجام داد و در مواقع لزوم از سیستم ذخیره استفاده نمود.

۶-۵-۱ انتخاب تجهیزات در حالتی که از سیستم باز گرمایش در سیستم کنترل CAV استفاده نمی‌شود:

در این قسمت تجهیزات مورد نیاز برای دو سیستم انتخاب و از نظر اقتصادی مورد ارزیابی قرار می‌گیرند. در حالت اول سیستم بر اساس ۴۰/۹۲ تن تبرید طراحی می‌شود و در حالت دوم برای ۳۷/۲۸ تن تبرید طراحی صورت می‌گیرد، همراه با مخزنی به ظرفیت ۳/۲۸ تن تبرید که در ادامه هز ینه تمام شده دو سیستم آورده شده‌است

۶-۵-۱-۱ انتخاب چیلر:

جدول(۶-۲۳): داده‌های اولیه برای انتخاب چیلر

ردیف	پارامترهای انتخابی از کاتالوگ	مقدار پارامتر
۱	ظرفیت سرمایی چیلر بر حسب تن تبرید (RT)	۴۱
۲	دمای آب سرد خروجی از چیلر (F)	۴۰
۳	دبی آب سرد خروجی از چیلر (gpm)	۸۹/۳
۴	اختلاف دمای آب سرد ورودی و خروجی چیلر (F)	۱۰
۵	دمای آب خروجی از کندانسور (F)	۸۵
۶	دمای تقطیر (F)	۱۰۰

جدول(۶-۲۴): مشخصات چیلر انتخابی

انتخاب از کاتالوگ			
توان KW	قیمت(ریال)	ظرفیت اسمی (تن تبرید)	مدل
۲۹/۷	۱۸۹۰۷۰۰۰۰	۵۰	10WLC-50

۶-۵-۱-۲ انتخاب برج خنک‌کن :

جدول(۶-۲۵): داده‌های اولیه برای انتخاب برج خنک‌کن

ردیف	پارامترهای انتخابی از کاتالوگ	مقدار پارامتر
۱	دمای مرطوب هوای خارج (F)	۸۰
۲	دمای آب ورودی به برج خنک‌کن (F)	۸۵
۳	نقصان دمای آب در برج خنک‌کن (F)	۱۰
۴	دمای آب خروجی از برج خنک‌کن (F)	۷۵
۵	دبی آب جریانی در برج خنک‌کن (gpm)	۱۳۶

جدول(۶-۲۶): مشخصات برج خنک‌کن انتخابی

انتخاب از کاتالوگ		
قیمت(ریال)	تعداد	مدل
۵۶۲۶۰۰۰۰	۱	OMB-90

۶-۵-۱-۳ انتخاب هواساز:

جدول(۶-۲۷):مشخصات و قیمت هواساز مورد نیاز به همراه فن

انتخاب هواساز				
$Static\ \mathrm{Re}\ gain\ (in.wg)$	$Q(Btu/hr)$ (سرمایش)	$Q(Btu/hr)$ (گرمایش)	دبی کل [هوای گرمایش] (Cfm)	دبی کل [سرمایش هوای] (Cfm)
۰/۰۱	۴۱۰۰۰۰	۴۶۱۶۰۰	۲۲۴۵۲	۲۲۴۵۲

انتخاب از کاتالوگ		
قیمت(ریال)	دبی CFM	مدل
۶۰۸۰۰۰۰۰	۲۲۴۵۲	A-2500
مدل الکتروموتور فن	قدرت (hp)	برق مصرفی KW
M2BA160M	۷/۵	۱/۲

۶-۵-۱-۴ انتخاب پمپ:

الف)برای گردش آب سرد

جدول(۶-۲۸): داده‌های اولیه برای انتخاب پمپ آب سرد

ردیف	پارامترهای انتخابی از کاتالوگ	مقدار پارامتر
۱	دبی پمپ (gpm)	۸۹/۳
۲	هد پمپ (Ft)	۳۳

*هد را با فرض اینکه طول لوله در رفت و برگشت برابر ۱۰ متر می‌باشد ۳۳ فوت در نظر گرفته شده‌است.

جدول(۶-۲۹): مشخصات پمپ آب سرد انتخابی

انتخاب کاتالوگ				
Kw	قدرت HP	قیمت(ریال)	تعداد	مدل
۱/۵	۲	۵۰۲۰۰۰۰	۱	50-150M

*از دو پمپ بطور موازی در سیستم استفاده می‌شود.

ب)برای گردش آب از برج خنک کن تا کندانسور

جدول(۶-۳۰): داده‌های مورد نیاز برای انتخاب پمپ برج خنک‌کن

ردیف	پارامترهای انتخابی از کاتالوگ	مقدار پارامتر
۱	دبی پمپ (gpm)	۱۲۳
۲	هد پمپ (Ft)	۳۳

انتخاب پمپ سیرکولاتور

*هد را با فرض اینکه طول لوله در رفت و برگشت برابر ۱۰ متر می‌باشد ۳۳ فوت در نظر گرفته شده است.

جدول(۶-۳۱): مشخصات پمپ انتخابی برای برج خنک کن

انتخاب از کاتالوگ				
Kw	قدرت HP	قیمت	تعداد	مدل
۰/۷۵	۱	۴۱۶۰۰۰	۲	40-75M

در سیستم CAV در کانالهای ورودی به ساختمان از بازگرمایش استفاده می‌شود که با توجه نیاز ما در ساختمان قیمت این کویلها در جدول زیر آمده‌است.

جدول(۶-۳۲): مشخصات هیترهای بازگرمایش

نوع هیتر	قیمت(ریال)	تعداد
۱۰۹۲۰ *Btu / hr*	۶۵۰۰۰۰	۳

هر هیتر ۳/۲ کیلو وات انرژی مصرف می کند تا دمای هوای ورودی به داخل زونها به دمای ۷۰ درجه فارنهایت برساند. در مجموع ۹/۶ کیلووات انرژی مصرف می کنند.

جدول(۶-۳۴): هزینه تمام شده و مقدار توان مصرفی سیستم

در حالتی که از باز گرمایش استفاده می‌شود

قیمت تمام شده(ریال)	۳۲۱۴۲۰۰۰۰
برق مصرفی	۴۳/۵

۶-۵-۲ انتخاب تجهیزات در زمان استفاده از سیستم ذخیره انرژی در سیستم *CAV* :

با استفاده از سیستم ذخیره انرژی ما مینیمم_از نظر مقدار مورد نیاز انرژی- زون را بعنوان ملاک طراحی انتخاب می‌کنیم و برای جبران از سیستم ذخیره انرژی برای آن استفاده خواهیم نمود.

۶-۵-۲-۱ انتخاب چیلر:

جدول(۶-۳۵): داده‌های اولیه برای انتخاب چیلر

ردیف	پارامترهای انتخابی از کاتالوگ	مقدار پارامتر
۱	ظرفیت سرمایی چیلر بر حسب تن تبرید (RT)	۳۷/۳
۲	دمای آب سرد خروجی از چیلر (F)	۴۰
۳	دبی آب سرد خروجی از چیلر (gpm)	۸۱/۳
۴	اختلاف دمای آب سرد ورودی و خروجی چیلر (F)	۱۰
۵	دمای آب خروجی از کندانسور (F)	۸۵
۶	دمای تقطیر (F)	۱۰۰

جدول(۶-۳۵): مشخصات چیلر انتخابی

انتخاب از کاتالوگ			
توان KW	قیمت(ریال)	ظرفیت اسمی (تن تبرید)	مدل
۲۵/۲	۱۵۴۵۱۰۰۰۰	۴۰	10WLC-40

۶-۵-۲-۲ انتخاب برج خنک‌کن :

جدول(۶-۳۶): داده‌های اولیه برای انتخاب برج خنک‌کن

ردیف	پارامترهای انتخابی از کاتالوگ	مقدار پارامتر
۱	دمای مرطوب هوای خارج (F)	۸۰
۲	دمای آب ورودی به برج خنک‌کن (F)	۸۵
۳	نقصان دمای آب در برج خنک‌کن (F)	۱۰
۴	دمای آب خروجی از برج خنک‌کن (F)	۷۵
۵	دبی آب جریانی در برج خنک‌کن (gpm)	۱۲۵

جدول(۶-۳۷): مشخصات برج خنک‌کن

انتخاب از کاتالوگ		
قیمت(ریال)	تعداد	مدل
۴۹۶۹۰۰۰۰	۱	OMB-80

۶-۵-۲-۳ انتخاب هواساز:

جدول(۶-۳۸): مشخصات و قیمت هواساز مورد نیاز به همراه فن

انتخاب هواساز				
StatiRegain (inwg)	Q(Btu/hr) (سرمایش)	Q(Btu/hr) (گرمایش)	دبی کل [هوای گرمایش] (Cfm)	دبی کل [سرمایش هوای] (Cfm)
۰/۰۱	۴۰۶۴۸۷	۳۸۴۰۰۰	۲۰۰۰۰	۲۰۰۰۰

انتخاب از کاتالوگ		
قیمت(ریال)	دبی (Cfm) دبی	مدل
۴۹۹۰۰۰۰۰	۲۰۰۰۰	A-2000
مدل الکتروموتور فن	قدرت (hp)	برق مصرفی KW
M2BA160M	۷/۵	۱/۲

۶-۵-۲-۴ انتخاب پمپ:

الف)برای گردش آب سرد

جدول(۶-۳۹) داده‌های اولیه برای انتخاب پمپ آب سرد

ردیف	پارامترهای انتخابی از کاتالوگ	مقدار پارامتر
۱	دبی پمپ (gpm)	۸۱/۳
۲	هد پمپ (Ft)	۳۳

*هد را با فرض اینکه طول لوله در رفت و برگشت برابر ۱۰ متر می‌باشد ۳۳ فوت در نظر گرفته شده‌است.

جدول(۶-۴۰): مشخصات پمپ آب سرد انتخابی

انتخاب کاتالوگ				
Kw	قدرت HP	قیمت(ریال)	تعداد	مدل
۰/۷۵	۱	۴۴۲۰۰۰۰	۱	50-7M

ب)برای گردش آب از برج خنک کن تا کندانسور

جدول(۶-۴۱): داده‌های مورد نیاز برای انتخاب برج خنک‌کن

ردیف	پارامترهای انتخابی از کاتالوگ	مقدار پارامتر
۱	دبی پمپ (gpm)	۱۱۱/۹
۲	هد پمپ (Ft)	۳۳

*هد را با فرض اینکه طول لوله در رفت و برگشت برابر ۱۰ متر می‌باشد ۳۳ فوت در نظر گرفته شده‌است.

انتخاب پمپ:

جدول(۶-۴۲): مشخصات پمپ انتخابی برای برج خنک کن

انتخاب از کاتالوگ				
Kw	قدرت HP	قیمت	تعداد	مدل
۱/۵	۲	۵۰۲۰۰۰۰	۱	50-150M

در ادامه با توجه به حجم مخزن و تجهیزات مورد نیاز برای مخزن قیمت تمام شدن مخزن ذخیره بدست آمده‌است.

۶-۵-۲-۵ مشخصات مخزن ذخیره انرژی:

جدول(۶-۴۳): مشخصات مخزن ذخیره انرژی

جنس	مشخصات	قیمت (ریال)
مخزن ۲۰۰ لیتر	۱عدد (گالوانیزه 2.5_{mm})	۱۰۰۰۰۰۰
لوله مسی	۵۲ متر	۱۰۲۰۰۰۰
فن	اعدد فن $(0.1kw)$ ۲۰*۲۰	۲۴۰۰۰۰
شیر ترموستات	۲۲۰ولت ۶آمپر	۳۰۰۰۰
شیر سه راه	برنجی	۲۸۹۰۰
کانال	۲متر ۰/۲*۰/۲	۳۶۹۶۰۰
دریچه ورودی و خروجی	هر in^2 ۵۰۰ ریال	۱۴۰۰۰۰
عایق 10_{mm}	به مساحت $0/801\ m^2$	۴۰۰۰۰۰
مجموع		۳۲۲۸۵۰۰

هزینه تمام شده سیستم ذخیره انرژی با توجه به ۵۰ درصد هزینه ساخت برابر با ۴۸۴۲۷۵۰ ریـال خواهد بود.

جدول(۶-۴۴): هزینه تمام شده و برق مصرفی

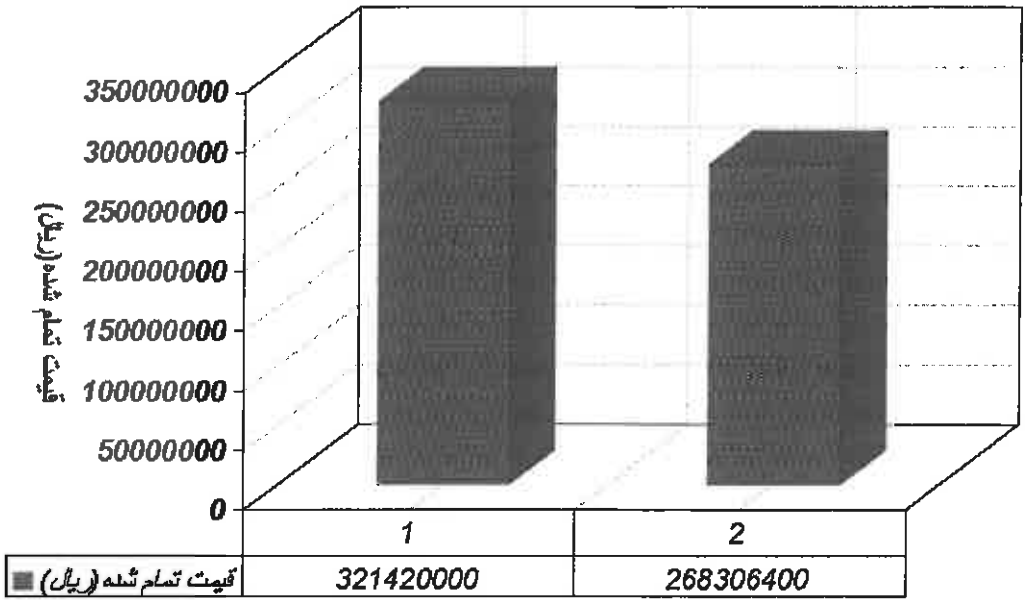
در حالت دوم

قیمت تمام شده(ریال)	۲۶۸۳۰۶۴۰۰
برق مصرفی	۲۸/۷۵

۶-۵-۳ مقایسه اقتصادی:

با توجه به برآورد هزینه انجام شده، بغیر از کاهش حجمی که در سیستم بوجود مـی‌آیـد و در اثر آن کاهش هزینه‌ای که در اثر کاهش مساحت موتور خانه- به قیمت زمینی که موتور خانه در

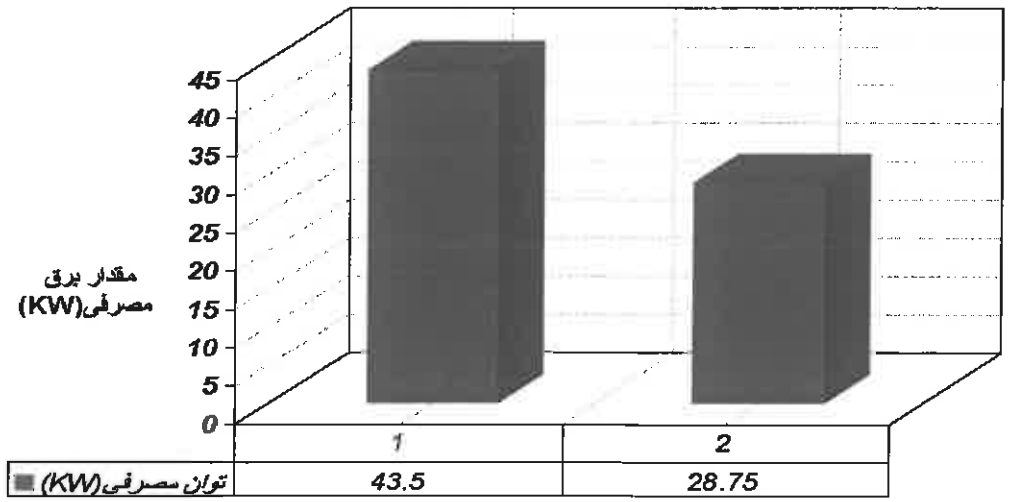
آن ساخته می‌شود بستگی دارد- ایجاد می‌شود، قیمت تمام شده سیستم و توان مصرفی بشکل زیر تغییر خواهد نمود.



شکل(۶-۶):مقایسه قیمت تمام شده دو سیستم

همانطور که در نمودار دیده می‌شود قیمت سیستم در حالتی که از سیستم ذخیره استفاده شده حدود ۱۶/۵ درصد کاهش خواهد یافت.

در ادامه نمودار کاهش مصرف انرژی در سیستم در دوحالت نشان داده شده‌است.



شکل(۶-۷): مقایسه توان مصرفی در

دو سیستم در ماکزیمم مصرف

همانطور که مشاهده می‌شود، مقدارمصرف انرژی در سیستم دوم کاهش چشمگیر پیدا کرده‌است. این کاهش حدود ۳۴ درصد مصرف در حالت ماکزیمم خواهد بود، این مقدار خود مقدار قابل ملاحظه‌ای می‌باشد، که می‌تواند سهم چشمگیری را در کاهش مصرف انرژی ایفا کند.

منابع

[۱].سعید امانی، محمد باقری، احمد رضا توکلی، محمدتقی زیاری، مطلب میری. صرفه‌جوئی و مدیریت انرژی در سیستم‌های حرارتی. تدوین و تالیف: گروه مولفان سازمان بهره‌وری انرژی ایران"سابا" تهران سازمان بهره وری انرژی ایران"سابا"۱۳۸۳. شابک: ۱-۱۴-۶۵۵۳-۹۶۴

[2]. American Society of Heating Refrigeration, and Air-Conditioning Engineers, "ASHRAE Handbook HVAC Applications," June 1995.

[۳].حمزه علی فضلی،"کاهش حداکثر بار الکتریکی مورد نیاز برای سرمایش ساختمانها با ذخیره‌سازی"،شابک:۳۲۴۱۵-۰۸

[4]. ASHRAE 1997 Handbook of Fundamentals6 Amerecan Society of Heating 6Refrigerating Air Conditioning Engineers 6Inc 6 1997.

[5]. ASHRAE. Handbook of HVAC Applications 2003 (IP). Chapter 50. Atlanta : American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc.

[6].ASHRAE_Handbook_1995_ 5Heating_ _Ventilating_ _and_ AirU_ Conditioning,Applications,MeltingAmerican,Societyof,Heating,Refrigeratg And,AirUConditioning,Engineers,Inc,5Atlanta,GA.

[7]. J.E. Braun, S.A. Klein, J.W. Mitchell, W.A. Beckman, Applications of optimal control to chilled water systems without storage, ASHRAE Transaction 95 (1989) 663–675.

[8]. V. R. Voller. Modeling Solidification Processes. Technical report, Mathematical Modeling of Metals Processing Operations Conference, American Metallurgical Society, Palm Desert, CA, 1987.

[9]. V. R. Voller, A. D. Brent, and K. J. Reid .A Computational Modeling Framework for the Analysis of Metallurgical Solidification Process and

Phenomena .Technical report, Conference for Solidification Processing, Ranmoor House, Sheffield, September 1987 .

[10]. Christopher D. Seybert, James W. Evans. PIV measurements of velocity of water in the presence of ice and comparison with calculated values. (2005) Berkeley , CA 94720 , USA.

[11].R.C. Weast (Ed.), Handbook of Chemistry and Physics, seventieth ed., CRC Press, Boca Raton, FL, 1989.

[۱۲].طباطبائی، سید مجتبی ،"محاسبات تاسیسات ساختمان"، چاپ هشتم،۱۳۸۱، شایک:X-۰۰-۹۶۴-۵۵۲۹

Abstract:

Usually to design HVAC system, the maximum cooling load is determined as the basis of system design. This will increase the system capacity and costs. As the maximum cooling load happens in the limited hours of hot seasons, one may use an.

Ice storage as a device for energy storing at low temperature. Part of cooling system capacity can be saved at low cooling load hours and used later during the peak hours, by using of the ice storage and its combination with HVAC.

Therefore, by applying ice storage, cooling cycle would by cheaper and smaller and as a result would answer the demands peak at hours. In this thesis, a new from of HVAC is studied and the new proposed position of storage in basic system is suggested. Finally, the system was evaluated economically.

Finally, the economic evaluation of the system was performed and analyzed.

Shahrood University of Technology
Department of Mechanical Engineering

Optimization of HVAC system by energy storage system

Under supervision
of
Dr.M.m.Shahmardan

Consultant
Ahmad Madadi
(Mech. Eng.)

By
Foaad Rakhshan

**A thesis submitted to the facutty of mechanical Engineering
in partial fulfillment of requirement for the degree of**
Master of Science
in
Mechanical Engineering
Feb 2008