

ارزیابی سیستم‌های تاسیسات سرمایشی و گرمایشی ساختمانی مختلف و تعیین سامانه بهینه برای شرایط اقلیمی شهر قم

شناسه پژوهش:

مجری:

ناظر:

چکیده

امروزه تهویه مطبوع، از اجزای جدایی ناپذیر ساختمان‌ها، می‌باشد. در فصول مختلف با توجه به نیاز به گرمایش و یا سرمایش متناسب با هر فصل، وجود سیستم تهویه مطبوع امری ضروری است. سیستم‌های تهویه مطبوع به دو زیر مجموعه سرمایشی و گرمایشی تقسیم می‌شوند. سیستم‌های سرمایشی و گرمایشی به سه دسته اصلی سیستم‌های زمستانی، تابستانی، و چهار فصل تقسیم‌بندی می‌شوند. سیستم‌های زمستانی مانند بویلر موتورخانه و پکیج به عنوان ایجادکننده آب گرم، و رادیاتورها، سیستم‌های گرمایش از کف، فن‌کوئل، هواساز و... به عنوان تبادل‌کننده حرارتی بین آب گرم و هوای درون ساختمان کاربرد دارند. سیستم‌های تابستانی مانند انواع چیلر و مینی‌چیلر، جهت ایجاد آب سرد و ارسال آن به واحدهای درون ساختمان مانند فن‌کوئل و هواساز از طریق لوله‌کشی، به کار می‌روند. سیستم‌های چهارفصل به صورت ترکیبی سرمایشی و گرمایشی عمل می‌کنند. از انواع آن‌ها می‌توان سیستم تهویه مطبوع مرکزی گازسوز GHP، و سیستم تهویه مطبوع الکتریکی VRF را نام برد. در انتخاب سیستم تهویه مطبوع مناسب، سعی بر انتخاب بهینه‌ترین حالت ممکن است، که سیستم انتخاب شده هم توانایی ایجاد شرایط مطلوب را دارا باشد؛ و هم از لحاظ اقتصادی و مصرف انرژی بهره‌وری خوبی داشته باشد، برای انتخاب بهترین سیستم تهویه مطبوع برای هر کاربری، باید تمام جوانب در نظر گرفته شود. شرایط اقلیمی منطقه از جمله دما و رطوبت و نوع کاربری مکان باید در نظر گرفته شوند، و بر این اساس بهترین گزینه انتخاب شود. تاکنون استاندارد دقیقی که مهندسان طراح سیستم‌های تهویه مطبوع، بتوانند طبق آن برای کاربری‌های مختلف و شرایط اقلیمی استان قم، سیستم تهویه مطبوع متناسب را به کار گیرند، وجود نداشت. این پژوهش در راستای تحقق این هدف گام برداشته‌است، و استاندارد مناسب برای انتخاب سیستم‌های تهویه مطبوع کاربردی برای شرایط اقلیمی و کاربری‌های مختلف در استان قم، ارائه می‌دهد.

کلمات کلیدی: تهویه مطبوع، سیستم‌های سرمایشی و گرمایشی، انتخاب سیستم‌های تهویه مطبوع، تقاضای انرژی ساختمان، انتخاب بهینه سیستم‌های تهویه مطبوع، شرایط آسایش، تلفات گرمایی ساختمان، نرم افزار انرژی پلاس، محاسبه انرژی ساختمان، بهره‌وری سیستم‌های تهویه مطبوع، بهینه‌سازی مصرف انرژی ساختمان، شرایط اقلیمی استان قم، سیستم‌های مرکزی، سیستم‌های مستقل

فهرست مطالب

مقدمه.....	۱
۱- انواع کلی سیستم‌های تهویه مطبوع.....	۳
۱-۱- سیستم‌های تمام هوا.....	۴
۱-۱-۱- روش سرمایش تبخیری.....	۴
۱-۱-۲- گرمایش و سرمایش به وسیله کویل آب.....	۴
۱-۱-۳- سرمایش و گرمایش با کویل انبساط مستقیم.....	۵
۱-۲- سیستم‌های تمام آب.....	۶
۱-۳- سیستم هوا-آب.....	۷
۱-۴- سیستم انبساط مستقیم.....	۷
۲- اطلاعات آب و هوایی و موقعیت جغرافیایی استان قم.....	۸
۲-۱- وضعیت طبیعی استان قم.....	۸
۲-۲- اطلاعات هواشناسی ایستگاه شهر قم.....	۱۱
۳- شبیه‌سازی انرژی ساختمان.....	۱۴
۳-۱- اتلاف گرمایی از جداره‌های گرمایی.....	۱۵
۳-۲- تلفات گرمایی از راه نفوذ یا تعویض هوا.....	۱۵
۳-۳- محاسبات بار سرمایی.....	۱۸
۳-۴- نرم‌افزار انرژی پلاس.....	۱۹
۴- اولویت‌ها و راهکارهای بهینه‌سازی مصرف انرژی ساختمان.....	۲۲
۴-۱- اولویت اول بهینه‌سازی مصرف انرژی ساختمان.....	۲۳
۵- معرفی انواع سیستم‌های تهویه مطبوع.....	۲۴
۵-۱- سیستم‌های مولد گرما.....	۲۷
۵-۱-۱- موتورخانه.....	۲۷
۵-۱-۲- کوره هوای گرم.....	۳۳

۳۷	۵-۱-۳- بخاری
۴۰	۵-۱-۴- شومینه
۴۱	۵-۱-۵- پکیج
۴۳	۵-۲- سیستم‌های مولد سرما
۴۳	۵-۲-۱- چیلر تراکمی
۴۶	۵-۲-۲- مینی چیلر
۴۷	۵-۲-۳- چیلر جذبی
۴۹	۵-۲-۴- خنک کننده‌های تبخیری
۵۰	۵-۳- سیستم‌های مولد چهار فصل (هم سرمایش و هم گرمایش)
۵۱	۵-۳-۱- چیلر جذبی شعله مستقیم
۵۳	۵-۳-۲- پمپ حرارتی گازسوز GHP
۵۵	۵-۳-۳- پمپ حرارتی الکتریکی VRF
۵۷	۵-۳-۴- دستگاه اسپلیت یونیت (کولر گازی)
۵۹	۵-۳-۵- داکت اسپلیت
۶۱	۵-۳-۶- دستگاه اکونوپک
۶۲	۵-۴- سیستم‌های نیمه مولد چهار فصل (مولد سرمایش، توزیع گرمایش)
۶۳	۵-۴-۱- نیمه مولد نوع تبخیری
۶۶	۵-۴-۲- نیمه مولد نوع تراکمی
۶۷	۵-۵- تجهیزات تک فصل برای توزیع گرمایش در محیط داخل
۶۷	۵-۵-۱- لوله‌های گرمایش از کف
۶۸	۵-۵-۲- دستگاه کنوکتور
۶۹	۵-۵-۳- رادیاتور
۷۱	۵-۶- تجهیزات چهار فصل برای توزیع سرمایش و گرمایش در محیط داخل
۷۱	۵-۶-۱- دستگاه فن کویل
۷۲	۵-۶-۲- دستگاه یونیت هیتر

- ۳-۶-۵- هواساز با قابلیت فیلتراسیون، رطوبت‌زنی رطوبت‌گیری ۷۳
- ۶- فناوری‌های نوین تهویه مطبوع ۷۴
- ۷- شناسایی مزایا و معایب سیستم‌های مختلف تهویه مطبوع ۷۹
- ۸- انتخاب سیستم‌های تهویه مطبوع برای کاربری‌های مختلف ۱۰۳
- ۸-۱- انتخاب گرمایش مرکزی یا مستقل ۱۰۳
- ۸-۱-۱- مزایای گرمایش مستقل ۱۰۳
- ۸-۱-۲- معایب گرمایش مستقل ۱۰۴
- ۸-۱-۳- مزایای گرمایش مرکزی ۱۰۴
- ۸-۱-۴- معایب گرمایش مرکزی ۱۰۵
- ۸-۱-۵- دلایل عمده کاهش راندمان موتورخانه مرکزی ۱۰۶
- ۸-۱-۶- نتیجه‌گیری برای انتخاب سیستم گرمایش مرکزی یا مستقل ۱۰۷
- ۸-۲- انتخاب سیستم‌های سرمایشی ۱۰۸
- ۸-۲-۱- سیستم‌های سرمایش تبخیری ۱۱۲
- ۸-۲-۲- نتیجه‌گیری برای انتخاب سیستم‌های سرمایش ۱۱۷
- ۸-۳- انتخاب سیستم‌های توزیع گرما و سرما ۱۱۸
- ۸-۴- راه حل مشکلات ناشی از مشاع بودن سیستم‌های مرکزی ۱۲۰
- ۹- محاسبه تقاضا گرمایش و سرمایش چند نمونه ساختمان ۱۲۳
- ۹-۱- تقاضا گرمایش و سرمایش واحد ۳۰۰ متری ۱۲۳
- ۹-۲- تقاضا گرمایش و سرمایش واحد ۲۱۵ متری ۱۲۸
- ۹-۳- تقاضا گرمایش و سرمایش واحد ۸۰ متری ۱۳۳
- ۹-۴- تقاضا گرمایش و سرمایش واحد ۲۱۰ متری ۱۳۷
- ۹-۵- تقاضا گرمایش و سرمایش واحد ۴۵ متری ۱۴۲
- ۹-۶- تقاضا گرمایش و سرمایش واحد ۱۱۰ متری ۱۴۵
- ۹-۷- صحت‌سنجی نتایج تقاضای سرمایش و گرمایش ۱۴۹
- ۹-۸- نتیجه‌گیری انتخاب سیستم‌های تهویه مطبوع ۱۵۰

فهرست جداول

- جدول ۱-۲: مشخصات ایستگاه‌های هواشناسی استان قم..... ۹
- جدول ۲-۲: موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌های هواشناسی استان قم..... ۱۰
- جدول ۳-۲: مقادیر پارامترهای مختلف مربوط به دمای هوا ایستگاه شهر قم..... ۱۱
- جدول ۴-۲: پارامترهای مختلف هواشناسی ایستگاه شهر قم..... ۱۲
- جدول ۵-۲: دمای سالانه ایستگاه‌های سینوپتیک از بدو تأسیس تا پایان سال ۱۳۹۷ (درجه سلسیوس)..... ۱۳
- جدول ۱-۳: دفعات تعویض هوای اتاق در ساعت..... ۱۶
- جدول ۲-۳: ضرایب ارتفاع برای اتاق‌هایی با ارتفاع بیش از ۴/۵ متر..... ۱۷
- جدول ۱-۷: بررسی مزایا و معایب سیستم‌های مولد گرما / موتورخانه / بویلر چدنی..... ۸۱
- جدول ۲-۷: بررسی مزایا و معایب سیستم‌های مولد گرما / موتورخانه / بویلر فولادی..... ۸۱
- جدول ۳-۷: بررسی مزایا و معایب سیستم‌های مولد گرما / موتورخانه / بویلر چگالشی..... ۸۲
- جدول ۴-۷: بررسی مزایا و معایب سیستم‌های مولد گرما / کوره هوای گرم / فن دار..... ۸۲
- جدول ۵-۷: بررسی مزایا و معایب سیستم‌های مولد گرما / کوره هوای گرم / بدون فن..... ۸۳
- جدول ۶-۷: بررسی مزایا و معایب سیستم‌های مولد گرما / کوره هوای گرم / تابشی..... ۸۳
- جدول ۷-۷: بررسی مزایا و معایب سیستم‌های مولد گرما / بخاری / گاز سوز..... ۸۴
- جدول ۸-۷: بررسی مزایا و معایب سیستم‌های مولد گرما / بخاری / برقی..... ۸۴
- جدول ۹-۷: بررسی مزایا و معایب سیستم‌های مولد گرما / شومینه / شومینه..... ۸۵
- جدول ۱۰-۷: بررسی مزایا و معایب سیستم‌های مولد گرما / پکیج / گاز سوز..... ۸۵
- جدول ۱۱-۷: بررسی مزایا و معایب سیستم‌های مولد گرما / پکیج / برقی..... ۸۶
- جدول ۱۲-۷: بررسی مزایا و معایب سیستم‌های مولد سرما / چیلر تراکمی / چیلر تراکمی آب خنک..... ۸۷
- جدول ۱۳-۷: بررسی مزایا و معایب سیستم‌های مولد سرما / چیلر تراکمی / چیلر تراکمی هوا خنک..... ۸۸
- جدول ۱۴-۷: بررسی مزایا و معایب سیستم‌های مولد سرما / چیلر تراکمی / مینی چیلر تراکمی هوا خنک..... ۸۸
- جدول ۱۵-۷: بررسی مزایا و معایب سیستم‌های مولد سرما / چیلر جذبی / تک اثره..... ۸۹
- جدول ۱۶-۷: بررسی مزایا و معایب سیستم‌های مولد سرما / چیلر جذبی / دو اثره..... ۸۹
- جدول ۱۷-۷: بررسی مزایا و معایب سیستم‌های مولد سرما / خنک کننده‌های تبخیری / کولر آبی..... ۹۰
- جدول ۱۸-۷: بررسی مزایا و معایب سیستم‌های مولد چهار فصلی / چیلر جذبی شعله مستقیم..... ۹۰

جدول ۷-۱۹: بررسی مزایا و معایب سیستم‌های مولد چهار فصلی / پمپ حرارتی گاز سوز GHP	۹۱
جدول ۷-۲۰: بررسی مزایا و معایب سیستم‌های مولد چهار فصلی / نوع تراکمی/پمپ حرارتی الکتریکی VRF	۹۲
جدول ۷-۲۱: بررسی مزایا و معایب سیستم‌های مولد چهار فصلی / دستگاه اسپلیت یونیت (کولر گازی)	۹۳
جدول ۷-۲۲: بررسی مزایا و معایب سیستم‌های مولد چهار فصلی / داکت اسپلیت	۹۳
جدول ۷-۲۳: بررسی مزایا و معایب سیستم‌های مولد چهار فصلی / دستگاه اکونوپک	۹۴
جدول ۷-۲۴: بررسی مزایا و معایب سیستم‌های نیمه مولد چهار فصلی / نوع تبخیری/ دستگاه زنت	۹۵
جدول ۷-۲۵: بررسی مزایا و معایب سیستم‌های نیمه مولد چهار فصلی / نوع تبخیری/ دستگاه ایرواشر	۹۶
جدول ۷-۲۶: بررسی مزایا و معایب سیستم‌های نیمه مولد چهار فصلی / نوع تراکمی/ دستگاه روفتاپ پکیج	۹۷
جدول ۷-۲۷: بررسی مزایا و معایب تجهیزات تک فصلی/ لوله‌های گرمایش از کف	۹۸
جدول ۷-۲۸: بررسی مزایا و معایب تجهیزات تک فصلی/ کنوکتور	۹۸
جدول ۷-۲۹: بررسی مزایا و معایب تجهیزات تک فصلی/ رادیاتور/ رادیاتور پره‌ای	۹۹
جدول ۷-۳۰: بررسی مزایا و معایب تجهیزات تک فصلی/ رادیاتور/ رادیاتور پنلی	۹۹
جدول ۷-۳۱: بررسی مزایا و معایب تجهیزات تک فصلی/ رادیاتور/ رادیاتور قرنیزی	۱۰۰
جدول ۷-۳۲: بررسی مزایا و معایب تجهیزات چهار فصلی/ دستگاه فن کویل	۱۰۰
جدول ۷-۳۳: بررسی مزایا و معایب تجهیزات چهار فصلی/ دستگاه یونیت هیت	۱۰۱
جدول ۷-۳۴: بررسی مزایا و معایب تجهیزات چهار فصلی/ دستگاه هواساز	۱۰۲
جدول ۹-۲: تقاضای بار سرمایشی و گرمایشی برای واحدهای با مترائ مختلف	۱۵۲
جدول ۹-۳: انتخاب سیستم‌های تهویه مطبوع برای ساختمان‌های با مترائ مختلف بر اساس اولویت	۱۵۲

فهرست شکل‌ها

شکل ۱-۱: روند انجام تحقیق حاضر	۲
شکل ۲-۱: سیستم‌های تهویه مطبوع بر اساس عامل انتقال انرژی	۳
شکل ۳-۱: روش سرمایش تبخیری [1]	۴
شکل ۴-۱: مهمترین اجزاء دستگاه هواساز [2]	۵
شکل ۵-۱: هواساز با کویل انبساط مستقیم (روفتاپ پکیج) [3]	۶
شکل ۶-۱: سیستم تمام آب [4]	۶
شکل ۷-۱: سیستم هوا-آب [4]	۷

شکل ۱-۸: سیستم انبساط مستقیم (کولر گازی اسپیلیت) [4].....	۸
شکل ۳-۱: عوامل مؤثر در تعیین بار سرمایی.....	۱۸
شکل ۳-۲: الگوریتم محاسبات و مدلسازی انرژی ساختمان در نرم افزار انرژی پلاس.....	۲۱
شکل ۴-۱: بیشترین مقادیر هدر رفت انرژی در ساختمان [5].....	۲۴
شکل ۵-۱: دسته‌بندی انواع سیستم‌های تهویه مطبوع.....	۲۶
شکل ۵-۲: نمایی از یک نوع بویلر چدنی و نحوه عملکرد آن [6] [7].....	۲۸
شکل ۵-۳: اجزای داخلی تشکیل دهنده بویلر چدنی [8].....	۲۸
شکل ۵-۴: نمونه یک مشعل اتمسفریک [9].....	۲۹
شکل ۵-۵: نمونه یک بویلر چدنی اتمسفریک و پره‌های آن [10].....	۲۹
شکل ۵-۶: نمای خارجی و داخلی از یک نمونه بویلر فولادی واتر تیوب [11].....	۳۰
شکل ۵-۷: نمای داخلی و دیاگرام از یک نمونه بویلر فولادی فایر تیوب [12] [13].....	۳۰
شکل ۵-۸: مقایسه دیاگرامی بویلر فولادی واتر تیوب و فایر تیوب [14].....	۳۰
شکل ۵-۹: دیاگرام عملکرد بویلر چگالشی [15].....	۳۲
شکل ۵-۱۰: نمای خارجی یک نمونه از بویلرهای چگالشی [16].....	۳۳
شکل ۵-۱۱: دو نمونه از کوره هوای گرم فن‌دار، بدون قابلیت نصب کانال [17] [18].....	۳۴
شکل ۵-۱۲: دو نمونه از کوره هوای گرم فن‌دار، با قابلیت نصب کانال [19] [20].....	۳۵
شکل ۵-۱۳: نمونه‌ای از جت هیتر گازوئیلی [19].....	۳۵
شکل ۵-۱۴: نمونه‌ای از کوره هوای گرم بدون فن [21].....	۳۶
شکل ۵-۱۵: نمونه‌ای از کوره هوای گرم تابشی [22] [23].....	۳۷
شکل ۵-۱۶: نمونه‌ای از بخاری معمولی زمینی [24].....	۳۸
شکل ۵-۱۷: نمونه‌ای از بخاری شومینه‌ای زمینی (دارای آجرنسوز) [25].....	۳۸
شکل ۵-۱۸: نمونه‌ای از بخاری بدون دودکش [26].....	۳۸
شکل ۵-۱۹: نمونه‌ای از بخاری برقی تابشی [27].....	۳۹
شکل ۵-۲۰: نمونه‌ای از بخاری برقی تابشی فن‌دار [28].....	۳۹
شکل ۵-۲۱: نمونه‌ای از بخاری برقی کنوکتوری [29].....	۴۰
شکل ۵-۲۲: نمونه شومینه تزئین شده با سنگ [30].....	۴۰
شکل ۵-۲۳: مقایسه دیاگرام پکیج تک مبدل و دو مبدل [31].....	۴۲
شکل ۵-۲۴: نمای داخلی و خارجی یک نمونه پکیج گاز سوز [32] [32].....	۴۲
شکل ۵-۲۵: نمای داخلی و خارجی یک نمونه پکیج برقی دو مبدل [33].....	۴۳

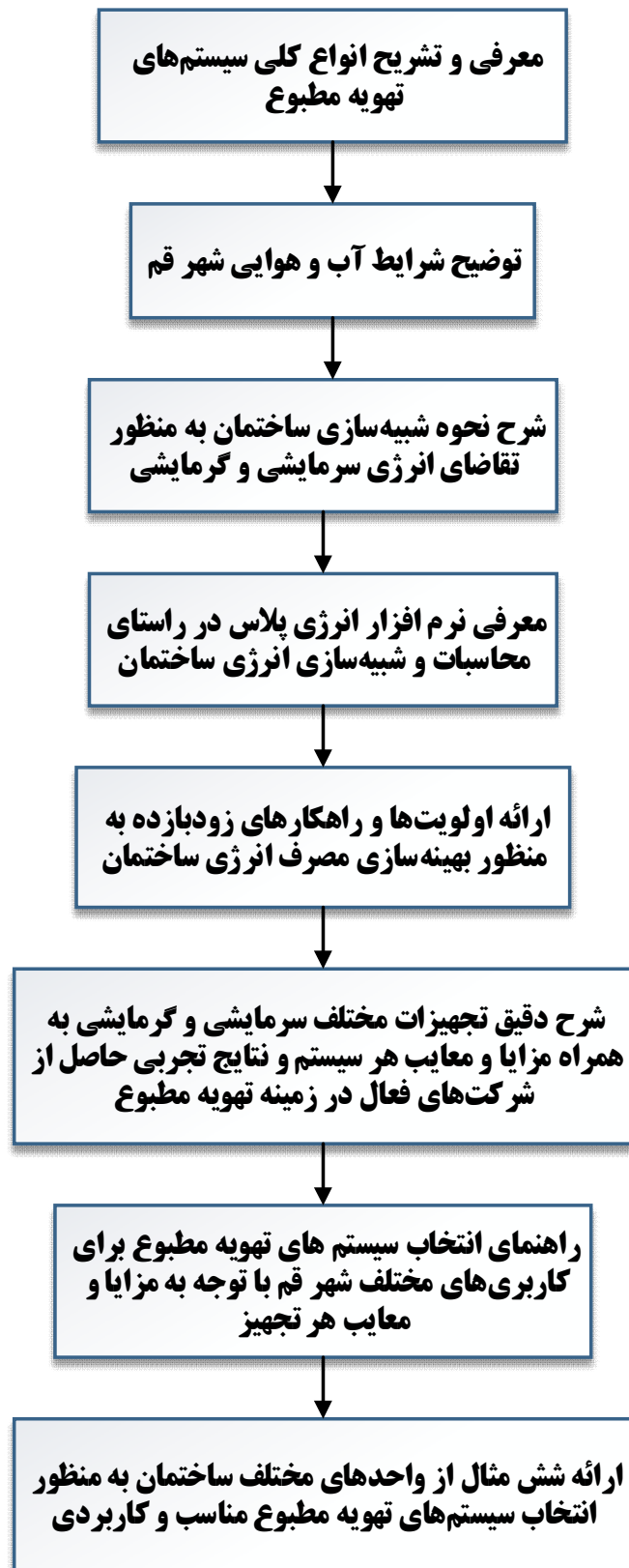
شکل ۵-۲۶: سیکل تبرید چیلر تراکمی [34]	۴۴
شکل ۵-۲۷: چیلر تراکمی آب خنک [3]	۴۵
شکل ۵-۲۸: چیلر تراکمی هوا خنک [3]	۴۶
شکل ۱-۲۹: نمایی از مینی چیلر [3]	۴۶
شکل ۵-۳۰: چرخه کاری چیلر جذبی [35]	۴۷
شکل ۵-۳۱: شماتیک چرخه کاری چیلر جذبی تک اثره [36]	۴۸
شکل ۵-۳۲: شماتیک چرخه کاری چیلر جذبی دو اثره [3]	۴۹
شکل ۵-۳۳: شماتیکی از فرآیند خنک سازی در یک کولر آبی [37]	۵۰
شکل ۵-۳۴: دیاگرام چیلر جذبی شعله مستقیم دو اثره [38]	۵۲
شکل ۵-۳۵: نمای خارجی یک نمونه از چیلر جذبی شعله مستقیم [39]	۵۳
شکل ۵-۳۶: دیاگرام سیکل سرمایش و گرمایش سیستم GHP [40]	۵۴
شکل ۵-۳۷: نمونه‌ای از یک سیستم GHP [41]	۵۵
شکل ۵-۳۸: دیاگرام کلی از نمونه سه لوله‌ای سیستم‌های VRF [42]	۵۷
شکل ۱-۳۹: نمایی از سیستم‌های VRF نصب شده روی پشت بام [43]	۵۷
شکل ۵-۴۰: دیاگرام سیکل تبرید اسپلیت یونیت [4]	۵۹
شکل ۵-۴۱: دو نمونه از اسپلیت یونیت [44] [45]	۵۹
شکل ۱-۴۲: نمونه‌ای از سیستم داکت اسپلیت [7]	۶۱
شکل ۵-۴۳: نمای خارجی یک نمونه از اکونوپک [46]	۶۲
شکل ۵-۴۴: نمای داخلی یک نمونه از سیستم زنت [2]	۶۴
شکل ۵-۴۵: نمای خارجی یک نمونه از سیستم زنت [47]	۶۴
شکل ۵-۴۶: نمای شماتیک یک نمونه از سیستم ایرواشر [2]	۶۵
شکل ۵-۴۷: نمای خارجی یک نمونه از سیستم ایرواشر [48]	۶۵
شکل ۵-۴۸: نمای داخلی یک نمونه از سیستم روفتاپ پکیج [49]	۶۶
شکل ۵-۴۹: نمای خارجی یک نمونه از سیستم روفتاپ پکیج [49]	۶۷
شکل ۵-۵۰: تصویری از زمان اجرای لوله‌های گرمایش از کف [50]	۶۸
شکل ۵-۵۱: نمای داخل دو نمونه از کنوکتور [51] [52]	۶۹
شکل ۵-۵۲: نمایی از رادیاتور پره‌ای و یک پره از آن [19]	۶۹
شکل ۵-۵۳: یک نمونه از رادیاتور پنلی [53]	۷۰
شکل ۵-۵۴: نمای درونی و بیرونی رادیاتور قرنیزی [54] [55]	۷۱

- شکل ۵-۵۵: چند نمونه از انواع فن کوپل‌ها [56]..... ۷۲
- شکل ۵-۵۶: نمایی از چند نمونه مختلف یونیت هیتر [38]..... ۷۳
- شکل ۵-۵۷: نمای داخلی و خارجی یک نمونه دستگاه هواساز [57] [58]..... ۷۴
- شکل ۶-۱: نمایی از کاربرد بانک یخ در کنار چیلر تراکمی [60]..... ۷۵
- شکل ۶-۲: دیاگرام کلی سیستم CHP [3]..... ۷۶
- شکل ۶-۳: نمونه‌ای از سیستم CHP با موتور رفت و برگشتی [61]..... ۷۸
- شکل ۱: دمای هوای خشک شهر قم به صورت ساعت به ساعت در طول سال..... ۱۱۴
- شکل ۲: دمای هوای خشک شهر قم به صورت میانگین روزانه در طول سال..... ۱۱۴
- شکل ۳: دمای هوای مرطوب شهر قم به صورت ساعت به ساعت در طول سال..... ۱۱۵
- شکل ۴: دمای هوای مرطوب شهر قم به صورت میانگین روزانه در طول سال..... ۱۱۵
- شکل ۹-۱: نقشه واحد ۳۰۰ متری به منظور محاسبه تقاضا گرمایش و سرمایش..... ۱۲۵
- شکل ۹-۲: نمودار تقاضا سرمایش واحد ۳۰۰ متری..... ۱۲۶
- شکل ۹-۳: نمودار تقاضای گرمایش واحد ۳۰۰ متری..... ۱۲۶
- شکل ۹-۴: نمودار میانگین روزانه تقاضای سرمایش واحد ۳۰۰ متری..... ۱۲۷
- شکل ۹-۵: نمودار میانگین روزانه تقاضای گرمایش واحد ۳۰۰ متری..... ۱۲۷
- شکل ۹-۶: نقشه واحد ۲۱۵ متری به منظور محاسبه تقاضا گرمایش و سرمایش..... ۱۲۹
- شکل ۹-۷: نمودار تقاضا سرمایش واحد ۲۱۵ متری..... ۱۳۰
- شکل ۹-۸: نمودار تقاضا گرمایش واحد ۲۱۵ متری..... ۱۳۰
- شکل ۹-۹: نمودار میانگین روزانه تقاضای سرمایش واحد ۲۱۵ متری..... ۱۳۱
- شکل ۹-۱۰: نمودار میانگین روزانه تقاضای گرمایش واحد ۲۱۵ متری..... ۱۳۱
- شکل ۹-۱۱: نقشه واحد ۸۰ متری به منظور محاسبه تقاضا گرمایش و سرمایش..... ۱۳۴
- شکل ۹-۱۲: نمودار تقاضا سرمایش واحد ۸۰ متری..... ۱۳۵
- شکل ۹-۱۳: نمودار تقاضا گرمایش واحد ۸۰ متری..... ۱۳۵
- شکل ۹-۱۴: نمودار میانگین روزانه تقاضای سرمایش واحد ۸۰ متری..... ۱۳۶
- شکل ۹-۱۵: نمودار میانگین روزانه تقاضای گرمایش واحد ۸۰ متری..... ۱۳۶
- شکل ۹-۱۶: نقشه واحد ۲۱۰ متری به منظور محاسبه تقاضا گرمایش و سرمایش..... ۱۳۸
- شکل ۹-۱۷: نمودار تقاضا سرمایش واحد ۲۱۰ متری..... ۱۳۹
- شکل ۹-۱۸: نمودار تقاضا گرمایش واحد ۲۱۰ متری..... ۱۳۹
- شکل ۹-۱۹: نمودار میانگین روزانه تقاضای سرمایش واحد ۲۱۰ متری..... ۱۴۰

- شکل ۹-۲۰: نمودار میانگین روزانه تقاضای گرمایش واحد ۲۱۰ متری. ۱۴۰
- شکل ۹-۲۱: نقشه واحد ۴۵ متری به منظور محاسبه تقاضا گرمایش و سرمایش. ۱۴۲
- شکل ۹-۲۲: نمودار تقاضا سرمایش واحد ۴۵ متری. ۱۴۳
- شکل ۹-۲۳: نمودار تقاضا گرمایش واحد ۴۵ متری. ۱۴۳
- شکل ۹-۲۴: نمودار میانگین روزانه تقاضای سرمایش واحد ۴۵ متری. ۱۴۴
- شکل ۹-۲۵: نمودار میانگین روزانه تقاضای گرمایش واحد ۴۵ متری. ۱۴۴
- شکل ۹-۲۶: نقشه واحد ۱۱۰ متری به منظور محاسبه تقاضا گرمایش و سرمایش. ۱۴۶
- شکل ۹-۲۷: نمودار تقاضا سرمایش واحد ۱۱۰ متری. ۱۴۷
- شکل ۹-۲۸: نمودار تقاضا گرمایش واحد ۱۱۰ متری. ۱۴۷
- شکل ۹-۲۹: نمودار میانگین روزانه تقاضای سرمایش واحد ۱۱۰ متری. ۱۴۸
- شکل ۹-۳۰: نمودار میانگین روزانه تقاضای گرمایش واحد ۱۱۰ متری. ۱۴۸
- شکل ۹-۳۱: مقادیر تقاضای بار سرمایشی برای مترهای مختلف واحدهای مسکونی. ۱۵۳
- شکل ۹-۳۲: مقادیر تقاضای بار گرمایشی برای مترهای مختلف واحدهای مسکونی. ۱۵۴

مقدمه

در فصل اول، انواع کلی سیستم‌های تهویه مطبوع شرح داده می‌شود. فصل دوم، اطلاعات آب و هوایی و موقعیت جغرافیایی استان قم را توضیح می‌دهد. در فصل سوم، اطلاعات تئوری مورد نیاز برای شبیه‌سازی انرژی ساختمان توضیح داده می‌شود. فصل چهارم، مربوط به اولویت‌ها و راهکارهای بهینه‌سازی مصرف انرژی ساختمان می‌باشد؛ در این فصل توضیح داده می‌شود که برای بهینه‌سازی مصرف انرژی ساختمان از مرحله طراحی و ساخت باید اقدامات لازم انجام شود. در فصل پنجم، انواع سیستم‌های تهویه مطبوع به تفصیل توضیح داده می‌شود. فصل ششم، فناوری‌های نوین در صنعت تهویه مطبوع را معرفی می‌کند. در فصل هفتم، خلاصه‌ای از مزایا و معایب سیستم‌های تهویه مطبوع در قالب جدول ارائه می‌شود؛ این جداول برای شناسایی سریع مزایا و معایب سیستم‌های مختلف، کمک شایانی به مهندسان طراح سیستم‌های تهویه مطبوع می‌کند، و آن‌ها را برای انتخاب بهینه سیستم‌ها یاری می‌کند. فصل هشتم، صراحتاً درباره انتخاب سیستم‌های تهویه مطبوع برای کاربری‌های مختلف در شهر قم توضیحات مفصلی ارائه می‌دهد. در فصل نهم، تقاضای بار سرمایشی و گرمایشی چند نمونه ساختمان با مترازهای مختلف به وسیله مدلسازی در نرم‌افزار انرژی پلاس، محاسبه می‌شود؛ و بهترین سیستم‌های تهویه مطبوع نیز برای آن‌ها انتخاب می‌شوند. روند انجام این تحقیق به صورتی که در شکل ۱-۱ آورده شده است، می‌باشد.



شکل ۱-۱: روند انجام تحقیق حاضر

۱- انواع کلی سیستم‌های تهویه مطبوع

انتخاب سیستم تهویه مطبوع مناسب برای ساختمان از حساسترین تصمیماتی است که مهندس طراح با آن مواجه است. زیباترین و گران‌بهاترین ساختمان‌ها در صورت انتخاب نادرست سیستم تهویه مطبوع قابل سکونت نخواهند بود. در این گزینش باید به رضایت شخصی که سرمایه‌گذاری لازم را انجام می‌دهد، ساکنین ساختمان و تطابق لازم میان سیستم انتخاب شده و ساختمان موردنظر، توجه شود.

تفاوت زیادی بین سرمایه‌ش معمولی یک اتاق یا ساختمان کوچک و تهویه مطبوع ساختمان‌های بزرگ با تکیه بر رعایت تمام اصول فنی و شرایط محیطی از جمله معماری، حذف ارتعاشات و صداهای مزاحم وجود دارد. تهویه مطبوع کامل، محیطی را به وجود می‌آورد که درجه حرارت، رطوبت، جابه‌جایی هوا، پاکیزگی و عدم آلودگی هوا، تجدید هوا و سطح صداهای ایجاد شده در حد مطلوب و قابل قبول باشد. عوامل مهم اقتصادی از جمله هزینه اولیه و هزینه‌های جاری نیز در انتخاب سیستم‌های تهویه مطبوع مطرح هستند و باید در نظر گرفته شوند.

سیستم‌های تهویه مطبوع براساس سه عامل انتقال انرژی گرمایی یعنی آب، هوا و سیال مبرد همانطور که در شکل ۱-۲ نشان داده شده است، به چهار صورت اجرا می‌شود: تمام آب، هوا آب، ترکیبی (آب و هوا)، تمام هوا، انبساط مستقیم.



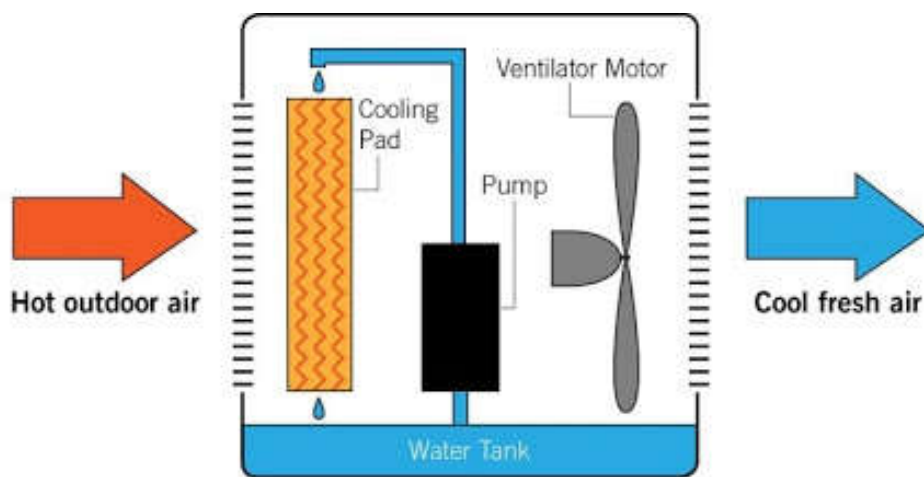
شکل ۱-۲: سیستم‌های تهویه مطبوع بر اساس عامل انتقال انرژی

۱-۱- سیستم‌های تمام هوا

در این سیستم، هوای مورد نیاز به سه روش اصلی سرد و یا گرم شده و از طریق سیستم کانال‌کشی به فضای موردنظر هدایت می‌شود، سه روش اصلی شامل این موارد می‌باشند: تبخیری، کویل آب سرد یا گرم، کویل انبساط مستقیم.

۱-۱-۱- روش سرمایش تبخیری

از دستگاه‌هایی مانند کولر آبی، زنت و ابروآش برای سرمایش یا گرمایش هوا استفاده می‌شود. در ابروآش هوای محیط که احیاناً دارای آلودگی است، توسط فن که در انتهای دستگاه قرار دارد به داخل دستگاه مکیده شده و پس از عبور از فیلترهای غبارگیر هوای نسبتاً تمیز وارد محفظه آب‌فشان می‌شود. هوا پس از برخورد با قطرات پودری آب که از نازل‌ها پاشیده می‌شود پس از تبادل گرما با آب و خنک شدن، از دستگاه خارج می‌شود. در این روش فقط از کانال رفت استفاده می‌شود، زیرا هوای خروجی از دستگاه رطوبت بالایی داشته و امکان استفاده مجدد از این هوا وجود ندارد. شکل ۱-۳ طرح کلی سیستم‌های سرمایش تبخیری را نشان می‌دهد.

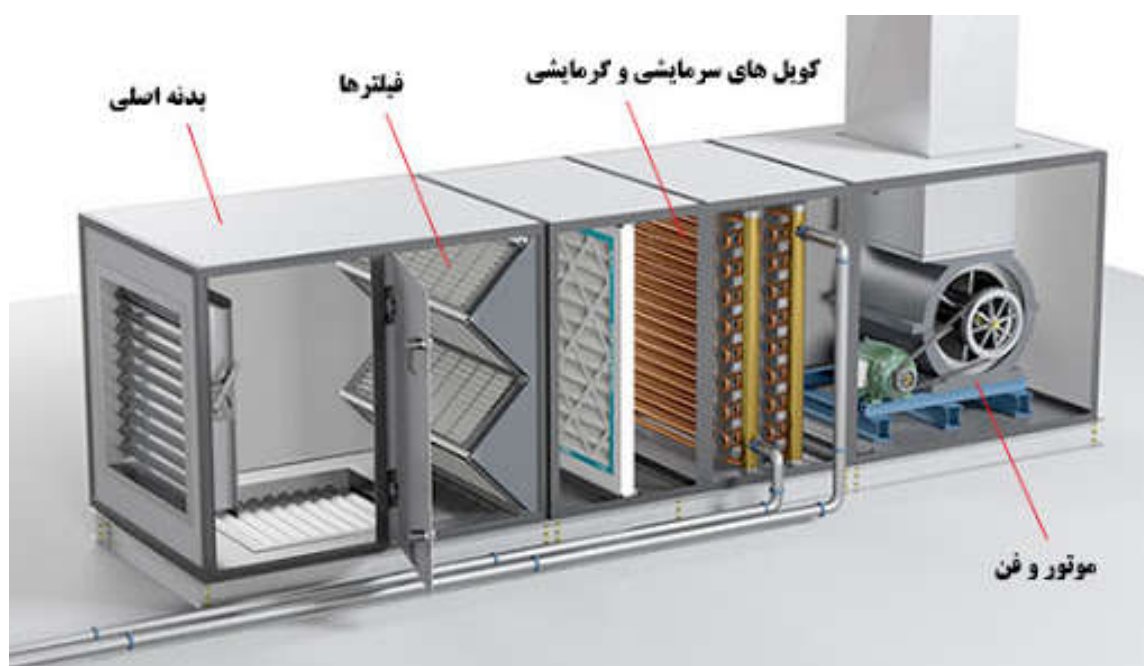


شکل ۱-۳: روش سرمایش تبخیری [1]

۱-۱-۲- گرمایش و سرمایش به وسیله کویل آب

دستگاه هواساز از قسمت‌های مختلفی تشکیل می‌شود که عبارتند از: فیلتر، فن دمنده، کویل‌های گرمایشی و سرمایشی و تجهیزات کنترلی و رطوبت زن. در هواسازها جهت تأمین گرمای مورد نیاز برای کویل گرمایشی معمولاً از آب داغ، برق و یا بخار و جهت تأمین سرمای مورد نیاز برای کویل سرمایشی از آب سرد استفاده می‌شود.

هوای برگشتی از ساختمان پس از اختلاط با هوای تازه در محفظه دستگاه هواساز و پس از عبور از کویل‌های سرمایشی و گرمایشی و سیستم رطوبت‌زن (در فصول سرد) وارد ساختمان می‌شود. فرآیند رطوبت‌زنی با استفاده از نازل‌های پاشنده آب و یا شبکه بخار می‌باشد و فرآیند رطوبت‌گیری توسط کویل‌های سرمایشی صورت می‌پذیرد. شکل ۴-۱ اجزای داخلی یک نمونه دستگاه هواساز را نشان می‌دهد.



شکل ۴-۱: مهمترین اجزاء دستگاه هواساز [2]

۳-۱-۱- سرمایش و گرمایش با کویل انبساط مستقیم

در این نوع هواساز به جای استفاده از آب، مبرد موجود در کویل انبساط مستقیم^۱ (DX) دمای هوای اطراف آن را کاهش یا افزایش می‌دهد. نمونه‌ای از دستگاه هواساز با کویل DX در شکل ۵-۱ نشان داده شده است.

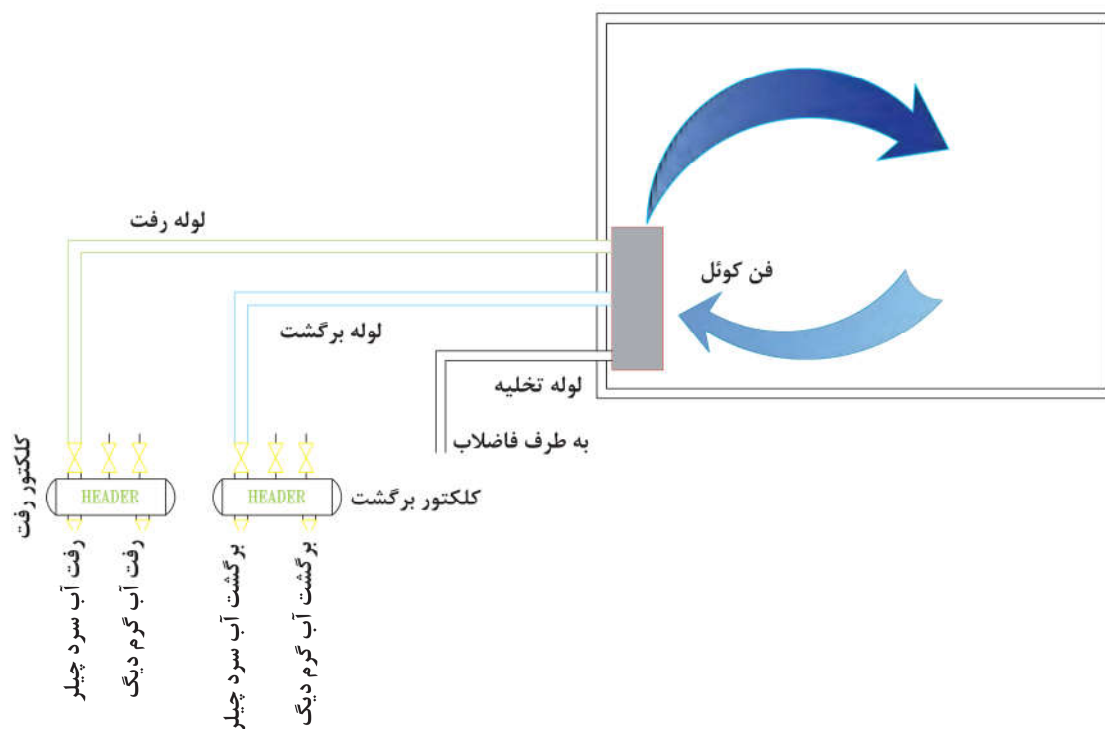
^۱ Direct Expansion



شکل ۱-۵: هواساز با کویل انبساط مستقیم (روفتاپ پکیج) [3]

۱-۲- سیستم‌های تمام آب

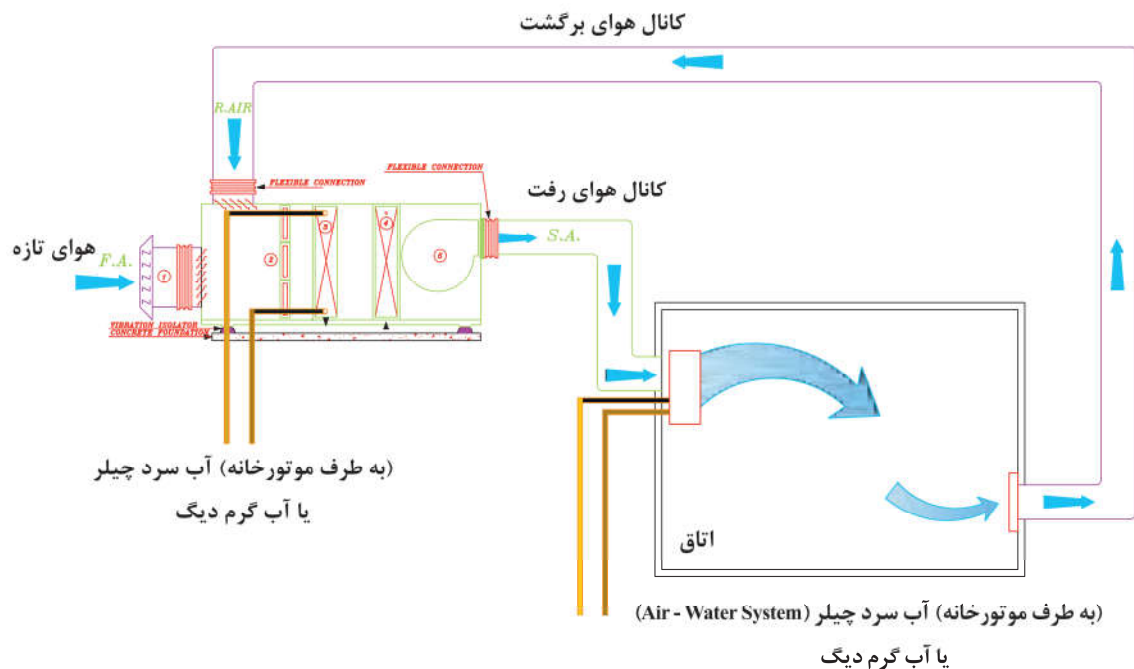
در موتورخانه مرکزی آب سرد توسط چیلر و آب گرم توسط دیگ تأمین شده و با استفاده از سیستم لوله‌کشی به دستگاه‌های توزیع که در اتاق نصب شده‌اند منتقل می‌شوند. شکل ۱-۶ سیستم تمام آب موتورخانه مرکزی را نشان می‌دهد.



شکل ۱-۶: سیستم تمام آب [4]

۳-۱- سیستم هوا-آب

در این سیستم هوا در هواساز به دمای مورد نظر نزدیک شده و توسط شبکه کانال کشی به اتاق منتقل می‌شود. همچنین آب سرد و گرم توسط شبکه لوله‌کشی از موتورخانه به طرف دستگاه توزیع اتاقی انتقال می‌یابد. از مزایای این روش می‌توان به تأمین هوای تازه مورد نیاز توسط شبکه کانال کشی، کاهش ابعاد شبکه کانال کشی و قطر شبکه لوله‌کشی اشاره نمود. شکل ۷-۱ طرح کلی یه سیستم هوا-آب را نشان می‌دهد.



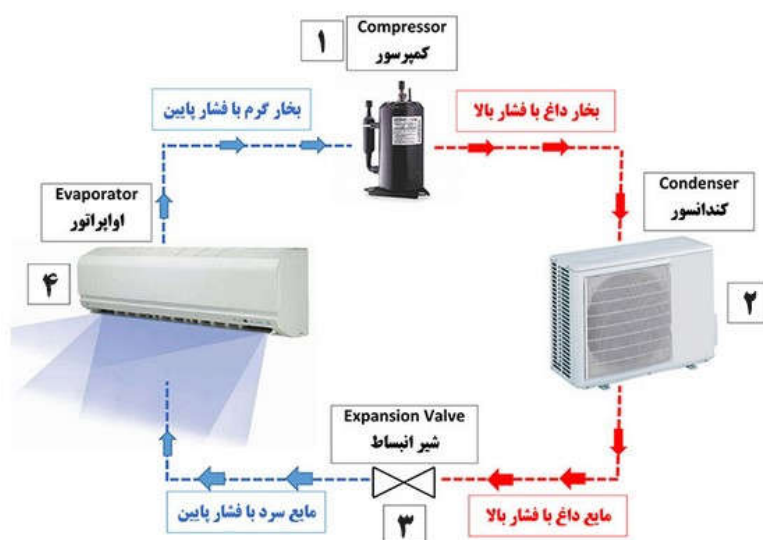
شکل ۷-۱: سیستم هوا-آب [4]

۴-۱- سیستم انبساط مستقیم

در این سیستم تجهیزات تبرید نظیر کمپرسور، کندانسور، شیر انبساط، کویل سرمایش و فن هوادهی وجود دارند. کویل سرمایش این سیستم از نوع انبساط مستقیم یا DX است. این دستگاه به صورت یکپارچه^۲ و یا دو تکه^۳ و در ظرفیت‌های متنوع ساخته می‌شود. معمولاً از این سیستم در فضاهایی استفاده می‌شود که نیاز به کنترل درجه حرارت مجزا و یا سیستم تهویه مطبوع مستقل داشته باشد.

^۲ Package

^۳ Split



شکل ۱-۸: سیستم انبساط مستقیم (کولر گازی اسپیلیت) [4]

۲- اطلاعات آب و هوایی و موقعیت جغرافیایی استان قم

استان قم تقریباً در مرکز ایران قرار دارد و از شمال به استان تهران، از شرق به استان سمنان، از جنوب به استان اصفهان و از غرب به استان مرکزی محدود می‌باشد؛ و در غرب دریاچه نمک واقع شده است. مساحت استان برابر ۱۱۲۳۸ کیلومتر مربع می‌باشد؛ و از نظر مختصات بین ۴۰-۴۰-۵۰ و ۵۱-۵۸-۱۰ طول شرقی و بین ۲۸-۹-۳۴ و ۱۵-۱۳-۳۵ عرض شمالی واقع شده است. شهر قم در نقطه حرم مطهر دقیقاً دارای مختصات ۲۶-۵۲-۵۰ طول شرقی و ۳۰-۳۸-۳۴ عرض شمالی می‌باشد. استان قم از نظر تقسیمات کشوری در سال ۱۳۹۷ دارای یک شهرستان، ۵ بخش، ۶ شهر، ۹ دهستان و ۳۶۱ آبادی که ۲۲۴ آبادی دارای سکنه و ۱۳۷ آبادی خالی از سکنه می‌باشد.

۲-۱- وضعیت طبیعی استان قم

عوامل اصلی شکل دهنده وضعیت طبیعی مناطق مختلف استان قم را می‌توان ارتفاع، عرض جغرافیایی، منابع آب، عوارض طبیعی و پوشش گیاهی خاص منطقه و سیستم‌های هواشناسی نام برد، علاوه بر عوامل اصلی ذکر شده عوامل فرعی نظیر فعالیت‌های کشاورزی، صنعتی و معدنی نیز بر اقلیم استان مؤثر واقع می‌شوند. استان قم در عرض‌های میانی نیم‌کره شمالی واقع است بنابراین قاعداً بایستی آب و هوای معتدل داشته باشد ولی دخالت عوارضی چون وجود کویر نمک و حوض سلطان و ساعات زیاد تابش مستقیم آفتاب و تبخیر بسیار زیاد در سطح کویر و نداشتن ارتفاعات چشمگیر در مرکز استان و وزش بادهای شرقی و غربی مخصوصاً بادهای شرقی که در فصل تابستان عامل گرد و غبار و گرما و آلودگی در سطح شهر و در زمستان عامل سرمای خشک می‌باشند؛ باعث ناپایداری اقلیم و گرم و خشک بودن منطقه در تابستان و سرد و خشک بودن آن در زمستان گردیده است.

در استان قم ۱۱ ایستگاه هواشناسی استقرار دارد که ۳ ایستگاه آن سینوپتیک است. مشخصات ایستگاه‌های هواشناسی استان قم بر مبنای آخرین گزارش سال ۱۳۹۷ در جدول ۱-۲ آورده شده است.

در سال ۱۳۹۷ بالاترین میانگین دمای هوا در تیرماه در شهر جعفریه با $33/5$ درجه سانتیگراد ثبت شده است و کمترین میانگین دمای هوای ثبت شده در استان مربوط به شهر دستجرد در دی ماه با $3/5$ درجه سانتیگراد می‌باشد.

بیشترین بارندگی در سال ۱۳۹۷، در اردیبهشت ماه و در شهر دستجرد با $62/6$ میلیمتر رخ داده است و حداکثر بارندگی در یک روز در سال ۱۳۹۷ متعلق است به شهر کهک که با $31/8$ میلیمتر در اسفند ماه باریده است.

جدول ۱-۲: مشخصات ایستگاه‌های هواشناسی استان قم.

ایستگاه	محل استقرار	نوع ایستگاه	سال تأسیس	ارتفاع از سطح دریا (متر)
ایستگاه جمکران	قمرود	خودکار	۱۳۹۲	۹۱۲
شهر دستجرد	دستجرد	خودکار	۱۳۸۹	۱۸۷۱
ایستگاه راهجرد	راهجرد شرقی	خودکار	۱۳۹۱	۱۶۸۲
ایستگاه سعادت‌مند	قمرود	خودکار	۱۳۹۱	۱۲۳۲
شهر سلفچگان	سلفچگان	سینوپتیک	۱۳۸۱	۱۳۹۳
شهر قم	قم	سینوپتیک	۱۳۶۴	۸۷۸
ایستگاه کوشک نصرت	قمرود	خودکار	۱۳۸۴	۹۲۷
ایستگاه کوه سفید	قمرود	خودکار	۱۳۹۳	۸۲۱
شهر کهک	کهک	سینوپتیک تکمیلی	۱۳۸۱	۱۴۰۲
ایستگاه مزرعه فدک	قمرود	خودکار	۱۳۹۳	۹۴۱
ایستگاه جعفریه	جعفریه	خودکار	۱۳۹۴	۱۰۲۶

موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌های هواشناسی استان قم در جدول ۲-۲ موجود است.

جدول ۲-۲: موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌های هواشناسی استان قم.

طول و عرض جغرافیایی						ایستگاه
عرض شمالی			طول شرقی			
درجه	دقیقه	ثانیه	درجه	دقیقه	ثانیه	
۳۴	۳۴	۵۰	۵۰	۵۴	۴۶	ایستگاه جمکران
۳۴	۳۳	۵۸	۵۰	۱۲	۳۱	شهر دستجرد
۳۴	۲۲	۵۳	۵۰	۲۲	۸	ایستگاه راهجرد
۳۵	۹	۵۱	۵۰	۵۸	۴۵	ایستگاه سعادت‌مند
۳۴	۲۹	۴	۵۰	۲۸	۸	شهر سلفچگان
۳۴	۴۶	۲۸	۵۰	۵۱	۱۷	شهر قم
۳۵	۵	۲۹	۵۰	۵۳	۲۹	ایستگاه کوشک نصرت
۳۴	۴۶	۵۶	۵۱	۱۰	۵۷	ایستگاه کوه سفید
۳۴	۲۴	۱۳	۵۰	۵۲	۱۱	شهر کهک
۳۴	۳۰	۱۱	۵۰	۵۹	۱۹	ایستگاه مزرعه فدک
۳۴	۴۵	۰	۵۰	۲۹	۲۴	ایستگاه جعفریه

۲-۲- اطلاعات هواشناسی ایستگاه شهر قم

مقادیر پارامترهای مختلف مربوط به دمای هوا ایستگاه شهر قم در سال ۱۳۹۷ در جدول ۲-۳ نشان داده شده است. همانطور که مشخص است، بالاترین بیشینه دمای هوا در تیرماه اتفاق می‌افتد و برابر است با ۴۵/۵ درجه سانتی‌گراد؛ و پایین‌ترین کمینه دمای هوا مربوط به دی‌ماه است که دمای هوا تا ۵/۱- درجه سانتی‌گراد رسیده است.

جدول ۲-۳: مقادیر پارامترهای مختلف مربوط به دمای هوا ایستگاه شهر قم.

شهر قم					ماه
دمای هوا (درجه سلسیوس)					
پایین ترین کمینه	بالاترین بیشینه	میانگین	میانگین کمینه	میانگین بیشینه	
۳/۳	۳۴/۲	۱۹/۰	۱۱/۲	۲۶/۸	فروردین
۷/۴	۳۴/۸	۲۱/۰	۱۳/۵	۲۸/۵	اردیبهشت
۱۴/۴	۴۱/۰	۲۸/۰	۱۹/۲	۳۶/۷	خرداد
۱۷/۶	۴۵/۵	۳۳/۰	۲۳/۲	۴۲/۸	تیر
۱۸/۸	۴۵/۰	۳۳/۲	۴۲/۲	۴۲/۲	مرداد
۱۴/۰	۴۱/۶	۲۸/۳	۱۸/۸	۳۷/۹	شهریور
۹/۷	۳۵/۹	۲۱/۸	۱۳/۶	۳۰/۰	مهر
۳/۹	۳۱/۲	۱۴/۱	۸/۶	۱۹/۵	آبان
-۱/۲	۲۰/۴	۱۰/۳	۴/۴	۱۶/۳	آذر
-۵/۱	۱۶/۲	۵/۷	-۰/۴	۱۱/۷	دی
-۴/۷	۱۷/۴	۷/۶	۰/۹	۱۴/۳	بهمن
-۳/۷	۲۲/۹	۹/۹	۲/۸	۱۷/۱	اسفند

مقادیر پارامترهای مختلف هواشناسی ایستگاه شهر قم در سال ۱۳۹۷ در جدول ۲-۴ آورده شده است. همانطور که مشخص است بیشترین بارندگی در اردیبهشت‌ماه و برابر ۳۳ میلی‌متر بوده است. رطوبت نسبی در گرم‌ترین ماه‌های سال یعنی تیر، مرداد و شهریور، مقادیر پایین و کمتر از ۲۴ درصد دارد، و به همین خاطر است که

سیستم‌های سرمایش تبخیری در ساعاتی از سال که دمای هوای خشک کمتر از ۳۵ درجه سانتی‌گراد است، عملکرد مناسبی دارند.

جدول ۲-۴: پارامترهای مختلف هواشناسی ایستگاه شهر قم.

ماه	شهر قم					
	بارندگی ماهانه (میلیمتر)	حداکثر بارندگی در یک روز (میلیمتر)	رطوبت نسبی (درصد)	تعداد روزهای یخبندان	تعداد روزهای همراه با گرد و غبار	ساعات آفتابی (ساعت)
فروردین	۸/۹	۴/۱	۳۹	۰	۱۴	۲۱۹/۹
اردیبهشت	۳۳/۰	۸/۵	۵۱	۰	۳	۲۲۹/۴
خرداد	۱۳/۳	۱۰/۳	۳۷	۰	۳	۳۲۹/۰
تیر	۰/۰	۰/۰	۲۲	۰	۹	۳۷۷/۳
مرداد	۰/۰	۰/۰	۲۲	۰	۱۱	۳۶۲/۴
شهریور	۰/۰	۰/۰	۲۴	۰	۱۰	۳۳۰/۵
مهر	۱۱/۴	۷/۵	۴۰	۰	۲	۲۶۵/۲
آبان	۲۶/۹	۱۰/۶	۵۸	۰	۰	۱۵۶/۴
آذر	۲۹/۲	۱۰/۹	۶۷	۵	۰	۱۷۷/۴
دی	۳۲/۹	۱۷/۴	۶۳	۱۵	۰	۱۸۹/۳
بهمن	۲۹/۴	۹/۲	۵۸	۱۵	۰	۲۱۰/۳
اسفند	۲۹/۳	۸/۷	۴۹	۶	۰	۲۲۳/۰

دمای سالانه شهرهای قم، سلفچگان و کهک که دارای ایستگاه سینوپتیک است، از بدو تأسیس تا پایان سال ۱۳۹۷ به صورت جدول ۲-۵ گزارش شده است.

جدول ۲-۵: دمای سالانه ایستگاه‌های سینوپتیک از بدو تأسیس تا پایان سال ۱۳۹۷ (درجه سلسیوس).

نام شهر	میانگین بیشینه	میانگین کمینه	میانگین	بالا ترین بیشینه	پایین ترین کمینه
قم	۲۶/۳	۱۰/۵	۱۸/۳	۴۷/۰	-۲۳/۰
سلفچگان	۲۲/۷	۱۱/۸	۱۷/۲	۴۶/۹	-۱۴/۸
کهنک	۲۲/۴	۱۱/۴	۱۶/۹	۴۲/۳	-۱۹/۰

همانطور که از مقادیر اطلاعات هواشناسی مشخص است در ماه‌های اردیبهشت تا مهر دمای میانگین هوا بیش از ۱۸ درجه سانتی‌گراد است و نیاز به سرمایش وجود دارد؛ و همچنین در ماه‌های آبان تا فروردین میانگین دمای هوا کمتر از ۱۸ درجه سانتی‌گراد است و نیاز به گرمایش وجود دارد. ماه‌های فروردین و مهر دمای هوا در شهر قم مطلوب است و معمولاً نیاز به تجهیزات گرمایشی و سرمایشی در این مواقع احساس نمی‌شود. از آنجا که محاسبات بار حرارتی ساختمان در نرم‌افزارهای محاسبات بار حرارتی ساختمان بر اساس ماه‌های میلادی انجام می‌شود، سیستم‌های سرمایشی^۴ در ماه‌های می^۵ تا اکتبر^۶ و سیستم‌های گرمایشی^۷ در ماه‌های نوامبر^۸ تا آپریل^۹ در نظر گرفته می‌شوند.

^۴ Cooling Systems

^۵ May

^۶ October

^۷ Heating Systems

^۸ November

^۹ April

۳- شبیه‌سازی انرژی ساختمان

شبیه‌سازی حرارتی بر اساس زمانبندی عملکرد انرژی ساختمان، این امکان را فراهم می‌کند که بتوان قبل از ساخت و بهره‌برداری از ساختمان، میزان مصرف انرژی ساختمان را تعیین نمود. همچنین با این روش علاوه بر تعیین عملکرد انرژی ساختمان در شرایط مختلف بهره‌برداری و آب و هوایی، می‌توان مشکلات ساختمان را مشخص و برای آن تدابیر لازم را اتخاذ نمود. با استفاده از شبیه‌سازی ساختمان می‌توان ضمن تعیین تأثیر عوامل مختلف بر بهبود کارایی انرژی ساختمان، میزان مصرف انرژی ساختمان را تعیین و رده انرژی ساختمان را مشخص نمود. همچنین با بررسی دقیق رفتار حرارتی ساختمان در زمان‌های مختلف، می‌توان نقاط ضعف ساختمان از منظر مصرف انرژی و تأمین آسایش حرارتی را مشخص و راهکارهای لازم را برای بهبود آن اتخاذ نمود. با این روش دیگر اطمینان کافی از مناسب بودن ظرفیت و توان سیستم‌های گرمایش و سرمایش و تضمین کارکرد مناسب آنها براساس کوچکترین ظرفیت ممکن تجهیزات میسر خواهد بود و دیگر نیازی به در نظر گرفتن ضرایب اطمینان غیرواقعی که بدلیل عدم شناخت کافی از شرایط آبی بهره‌برداری ساختمان لحاظ می‌گردید، نمی‌باشد؛ و طراح و سازنده ساختمان این اطمینان را خواهند داشت که با کمترین هزینه و بهترین شرایط آسایشی حرارتی و بصری، ساختمان مورد نظر را احداث می‌نمایند.

اتلاف گرمایی^{۱۰} یک ساختمان، مقدار گرمایی است که به روش‌های مختلف از محیط گرم ساختمان در زمستان به هوای سرد بیرون انتقال می‌یابد.

بار گرمایی^{۱۱} مقدار گرمایی است که برای ثابت نگه‌داشتن دمای هوا در داخل ساختمان، به وسیله دستگاه‌های گرمایی تولید می‌شود.

اتلاف گرمایی شامل دو قسمت است:

۱- تلفات پوسته ساختمان: تلفات جداره‌های خارجی، تلفات سقف، تلفات کف، تلفات از طریق درها و پنجره‌ها

۲- تلفات هوای تازه: تلفات هوای تازه و تخلیه (خواسته)، تلفات گرمایشی ناشی از نفوذ هوا (ناخواسته)

پس از تعیین دمای طرح داخل و خارج از ساختمان محاسبات تلفات گرمایی به ترتیب انجام داده می‌شود. با توجه به فرمول‌های کلی، یکی از عوامل تعیین کننده اتلاف گرمایی، دانستن دمای هوای داخل است، که دمای آسایش ساختمان نیز محسوب می‌شود. دمای هوای طرح داخل پیشنهادی مکان‌های مسکونی در زمستان ۲۲ درجه سانتی‌گراد و در تابستان ۲۵ درجه سانتی‌گراد می‌باشد.

برای دسترسی به دمای هوای خارج در شهر قم از اطلاعات هواشناسی پایگاه جهانی متونورم^{۱۲} استفاده می‌شود. نرم‌افزارهای شبیه‌سازی در مبحث ساختمان، برنامه‌های کامپیوتری هستند که برای محاسبه میزان مصرف انرژی در ساختمان‌ها استفاده می‌شوند. در حال حاضر تعداد این برنامه‌ها زیاد است، که هر کدام از آنها دارای

¹⁰ Heat Loss

¹¹ Heating Load

¹² Meteonorm

مدل، روش حل و فرضیات مخصوص به خود می‌باشند. نرم‌افزار انرژی پلاس^{۱۳} یکی از قدرتمندترین نرم افزارهای شبیه‌سازی انرژی حال حاضر دنیا می‌باشد؛ که به صورت رایگان در دسترس است. این نرم‌افزار یک شبیه‌ساز جامع انرژی ساختمان را در اختیار مهندسان، معماران و محققان به منظور کاربرد در مدل‌های انرژی و مصرف آب قرار می‌دهد. استفاده از انرژی پلاس توسط متخصصین بخش ساختمان سبب بهینه‌کردن طراحی برای استفاده‌ی کمتر از انرژی و آب خواهد گشت. انرژی پلاس، سیستم گرمایشی، سرمایشی، روشنایی، تهویه و دیگر جریان‌های انرژی را در کنار نیاز آب مدل می‌نماید. انرژی پلاس دارای توانمندی‌های خلاقانه و مفیدی در شبیه‌سازی همچون: آنالیز با بازه‌ی زمانی کمتر از یک ساعت، شرایط آسایش، تهویه طبیعی و شبیه‌سازی یکپارچه ساختمان، سیستم اصلی و ثانویه را دارا می‌باشد.

۳-۱- اتلاف گرمایی از جداره‌های گرمایی

برای محاسبه اتلاف گرمایی از جداره‌های ساختمان از قبیل دیوار، سقف، کف، در، پنجره و شیشه از فرمول زیر استفاده می‌شود.

$$H_1 = UA(T_i - T_o) \quad (3-1)$$

H اتلاف گرمایی محسوس ناشی از هدایت بر حسب وات، A مساحت دیوار خالص (پس از کسر مساحت در و پنجره) یا مساحت در و یا پنجره بر حسب متر مربع می‌باشد. U ضریب کلی هدایت گرمایی دیوار، در و یا پنجره بر حسب وات بر متر مربع بر کلوین، T_i دمای طرح داخل و T_o دمای طرح خارج بر حسب کلوین یا درجه سانتی‌گراد.

۳-۲- تلفات گرمایی از راه نفوذ یا تعویض هوا

برای محاسبه تلفات گرمایی از راه نفوذ یا تعویض هوا، ابتدا باید مقدار هوای نفوذ محاسبه شود. نفوذ هوا به داخل ساختمان همواره یکی از روش‌های مهم دفع گرما در زمستان است. سرعت باد باعث ایجاد فشار در سمت مشرف به باد و همچنین خلأ ملایمی در سمت داخل ساختمان شده، سبب نفوذ هوای خارج از درز درها و پنجره‌ها به داخل می‌شود. در زمستان نفوذ هوا از پایین ساختمان و رانش هوا از بالای ساختمان خواهد بود. مقدار هوای نفوذی بستگی دارد به میزان بسته بودن درها و پنجره‌ها، ارتفاع ساختمان، کیفیت روکار ساختمان، جهت و سرعت وزش باد و یا مقدار هوایی که برای تهویه یا تعویض در نظر گرفته می‌شود. تهویه

¹³ EnergyPlus

هوا به منظور تأمین اکسیژن مصرف شده توسط ساکنین و یا خروج دوده و گرما و غبار ناشی از بعضی وسایل در مکان‌هایی مثل کارخانجات امری ضروری است. این امر ممکن است به طور طبیعی با باز کردن درها و پنجره‌ها و یا به صورت اجباری توسط بادزن صورت گیرد. در محاسبات گرمایش مرکزی، حجم هوای ورودی به داخل ساختمان را می‌توان با یکی از روش‌های (۱) درزی یا (۲) حجمی محاسبه نمود.

در روش درزی، جهت محاسبه مقدار هوای نفوذی از این فرمول استفاده می‌شود:

$$V = v \times n \quad (3-2)$$

V حجم هوای نفوذی بر حسب متر مکعب در ساعت (CFH)، v حجم اتاق یا محیط مورد نظر بر حسب متر مکعب، n دفعات تعویض هوای اتاق در ساعت از جدول ۱-۳. همانطور که از رابطه ۲-۳ استنباط می‌گردد، در این روش مقدار هوای نفوذی از پایه تعداد دفعاتی که در مدت یک ساعت، هوای اتاق با هوای تازه تعویض می‌شود، برآورده می‌گردد.

جدول ۱-۳: دفعات تعویض هوای اتاق در ساعت.

وضعیت اتاق	تعداد تعویض هوا در ساعت
اتاق بدون در و پنجره خارجی	۰/۵
اتاق با در و پنجره خارجی از یک طرف	۱
اتاق با در و پنجره خارجی از دو طرف	۱/۵
اتاق با در و پنجره خارجی از سه یا چند طرف	۲

برای اتاق‌های در و پنجره‌دار، با زهوار و درزبند خوب، ۵۰٪ ارقام جدول منظور می‌شود. برای منازل مسکونی سه چهارم ارقام جدول محاسبه می‌شود. باید توجه نمود تعداد دفعات تعویض که در جدول ارائه گردیده بر مبنای نفوذ و تهویه طبیعی هوا می‌باشد.

در روش حجمی مقدار V را برای اتاق‌ها محاسبه می‌کنیم. در فضاهایی از قبیل آشپزخانه، کارگاه و... که از هواکش استفاده می‌شود، میزان هوای تازه نفوذی برابر با دبی یا ظرفیت هواکش خواهد بود. پس از محاسبه حجم هوای نفوذی به داخل اتاق، از طریق رابطه زیر، مقدار بار گرمایی آن محاسبه می‌شود.

$$H_2 = C_p \rho V (T_r - T_{od}) \quad (3-3)$$

H_2 اتلاف گرمایی محسوس ناشی از نفوذ بر حسب وات، V دبی هوای نفوذی بر حسب متر مکعب بر ساعت، C_p ضریب گرمایی ویژه هوا در فشار ثابت در شرایط استاندارد وات بر کیلوگرم بر درجه سانتی‌گراد، ρ جرم مخصوص هوا در شرایط استاندارد.

پس از اعمال مقادیر استاندارد و ساده‌سازی خواهیم داشت:

$$H_2 = \frac{1}{3}nV(T_i - T_o) \quad (3-4)$$

n تعداد تعویض هوای اتاق در ساعت در اثر نفوذ هوا، V حجم هوای اتاق بر حسب متر مکعب، nV دبی حجمی هوای نفوذی بر حسب متر مکعب بر ساعت می‌باشد.

اتلاف گرمایی محاسبه شده برای بعضی از ساختمان‌ها که شرایط ویژه‌ای دارند، نمی‌تواند ملاک تعیین ظرفیت دستگاه‌های گرمایش باشد. بنابراین لازم است که درصدی بار اضافی به عنوان ضرایب تصحیح به مقدار بار محاسبه شده اضافه شود که در برگه‌های محاسباتی تحت عنوان ضرایب تصحیح به صورت زیر تعریف می‌شوند.

الف) **ضریب جهت:** برای جدار سمت شمال و شرق ۱۰٪ و سمت مغرب ۵٪ در نظر گرفته می‌شود.
 ب) **ضریب موقعیت:** برای سطوحی که بادگیر هستند ۵ تا ۱۰٪، بادگیر بودن جدارها بستگی به جهت وزش باد دارد و در هر شهر متفاوت است، و با تغییر وضعیت آب و هوا تغییر می‌کند (در ایران معمولاً از غرب به شرق است).

ج) **ضریب تناوب:** برای ساختمان‌هایی که فقط روزها گرم می‌شوند ۱۰ تا ۱۵٪، برای ساختمان‌هایی که روزها مورد استفاده نیستند ۲۵ تا ۳۰٪، و برای ساختمان‌های که برای مدت طولانی گرم نمی‌شوند تا ۵۰٪ در نظر گرفته می‌شود.

د) **ضریب ارتفاع:** برای اتاق‌هایی که بیش از ۱۵ فوت (۴/۵ متر) ارتفاع دارند با استفاده از جدول ۳-۲:

جدول ۳-۲: ضرایب ارتفاع برای اتاق‌هایی با ارتفاع بیش از ۴/۵ متر.

۴/۵	۵/۵	۶/۴	۷/۳	۸/۲	۹	۱۰	۱۱	ارتفاع بر حسب متر
۱۵	۱۸	۲۱	۲۴	۲۷	۳۰	۳۳	۳۶	ارتفاع بر حسب فوت
۲/۵	۵	۷/۵	۱۰	۱۲/۵	۱۵	۱۷/۵	۲۰	درصد اضافی

۳-۳- محاسبات بار سرمایی

عوامل مؤثر در تعیین بار سرمایی در شکل ۳-۱ نشان داده شده است.



شکل ۳-۱: عوامل مؤثر در تعیین بار سرمایی.

محاسبات بار تهویه مطبوع با گرمایش مرکزی متفاوت است، زیرا علاوه بر انواع جدارها، جهت قرارگیری جدار از قبیل شمالی، جنوبی، شرقی یا غربی هم مؤثر است و علاوه بر آن در ساعات مختلف نیز اتلاف بار اتاق‌ها فرق می‌نماید، زیرا به علت جابه‌جایی خورشید و تغییرات میزان تشعشع آفتاب در جهات مختلف، هر اتاق در یک زمان مشخص بیشترین اتلاف بار را خواهد داشت.

اتاق‌هایی که پنجره و دیوار خارجی آن‌ها در جهت شرق قرار دارد در ساعات ۹ تا ۱۰ صبح، در جهت جنوب در ساعات ۱۲ ظهر تا ۲ بعد از ظهر، در جهت غرب در ساعات ۴ تا ۶ بعد از ظهر، در جهت شمال در ساعات ۶ تا ۸ بعد از ظهر بیشترین بار سرمایی را دارند.

برای محاسبه بار سرمایی مراحل زیر طی می‌شود:

۱- بارهای پوسته خارجی که در معرض تابش خورشید نیستند.

۲- بارهای پوسته خارجی که در معرض تابش خورشید هستند.

۳- بارهای تابش خورشید^{۱۴}

۴- بار ناشی از هوای تازه (خواسته یا ناخواسته)

۵- بار ناشی از نفرات شامل گرمای محسوس^{۱۵} و نهان^{۱۶}

۶- بار گرمایی محسوس ناشی از روشنایی

۷- بار ناشی از تجهیزات شامل گرمای محسوس و نهان

در محاسبات بار سرمایی، متغیرها زیاد است، جهت تابش خورشید در روز، تعداد نفرات در لحظات مختلف، میزان بار هوای تازه و... بنابراین برای جلوگیری از پیچیدگی معادلات بهترین راهکار، حل تک تک هفت پارامتر بالا به صورت مستقل است.

¹⁴ Solar Heat Gain

¹⁵ Sensible Heat

¹⁶ Latent Heat

۴-۳- نرم افزار انرژی پلاس^{۱۷}

نرم افزار انرژی پلاس یک نرم افزار شبیه سازی انرژی بسیار قدرتمند برای ساختمان است، که با دقت و سرعت خیلی بالایی می تواند شبیه سازی انرژی را انجام دهد. این نرم افزار رایگان است و در سال ۲۰۰۱ اولین نسخه از آن توسط دپارتمان انرژی ایالات متحده عرضه شد. به وسیله این نرم افزار انواع مصالح ساختمانی، پنجره های چندجداره، مواد تغییر فاز دهنده، سایبان ها، شیشه ها، انواع سیستم های تهویه مطبوع، کلکتورهای خورشیدی، پنل های فتوولتائیک و بسیاری دیگر از تجهیزات دیگر قابلیت مدلسازی دارد. این نرم افزار دوبار در سال به روزرسانی می شود و ایرادات احتمالی نسخه های قبلی در نسخه های جدید برطرف می شود. انرژی پلاس مجموعه ای از بسیاری از ماژول های برنامه نویسی است، که برای محاسبه انرژی مورد نیاز برای گرمایش و سرمایش ساختمان مورد استفاده قرار می گیرند. محاسبه انرژی در این نرم افزار بر اساس شرایط عملیاتی و محیط زیستی مختلفی که به آن اختصاص می یابد انجام می شود. هسته اصلی شبیه سازی مدلی از ساختمان است که بر اساس اصول اساسی تعادل گرمایی بنا شده است.

مانند تمام برنامه های شبیه سازی، انرژی پلاس شامل فایل های مختلف ورودی است، تا بتواند ساختمان و محیط اطراف را به خوبی مدل سازی کند. این برنامه چندین فایل خروجی تولید می کند، که برای درک نتایج شبیه سازی نیاز به توضیح و پردازش بیشتر است.

قبل از شبیه سازی به وسیله نرم افزار انرژی پلاس، باید پارامترهای ورودی مورد نیاز را به دست آورد. پارامترهای ورودی مورد نیاز شامل اطلاعات موقعیتی و اقلیمی شهر مورد نظر، اطلاعات ساختار ساختمان (دیوارهای خارجی، دیوارهای داخلی، کف، سقف، در و پنجره)، کاربری ساختمان به منظور مشخص شدن زمان های روشنایی و تعداد افراد (اداری، مسکونی و...)، و اطلاعات دمای طرح داخل می باشد.

در انرژی پلاس دو نوع سطح^{۱۸} تعریف می شود: (۱) سطوح انتقال حرارت (۲) سطوح ذخیره حرارت سطوحی که بین دو فضای با دمای متفاوت قرار دارند، سطوح انتقال حرارت هستند. مانند دیوارهای خارجی، کف و سقف. اما سطوحی که بین دو فضای با دمای یکسان قرار می گیرند سطوح ذخیره حرارت می باشند. مانند دیوارهای داخلی.

در نرم افزار انرژی پلاس مجموعه ای ویژه از اطلاعاتی که برای شبیه سازی ساختمان مورد نیاز است، وجود دارد. عناصر ساختمانی بر اساس هندبوک (ASHRAE Fundamentals (2005) فصل ۲۵ و ۳۰ آورده شده است. اطلاعات عناصر ساختمانی در سه بخش ساختمان سبک، متوسط و سنگین وجود دارد.

محاسبات بار گرمایی و سرمایی ساختمان بر مبنای تئوری که در بخش های قبل توضیح داده شد، انجام می شود. نتایج به صورت ساعت به ساعت گزارش می شود، و امکان تحلیل و ارزیابی نتایج فراهم می شود. استفاده از نرم افزار برای محاسبات بار سرمایشی و گرمایشی، دقت بسیار خوبی دارد و باعث می شود خطای

¹⁷ EnergyPlus Software

¹⁸ Surface

انسانی در محاسبات کاهش یابد، و امکان مقایسه نتایج برای تمام ساعات سال به وجود می‌آید. نتایج مدلسازی چند نمونه ساختمان در نرم‌افزار انرژی پلاس در فصل ۹ توضیح داده می‌شود.

مدلسازی و تحلیل انرژی ساختمان در نرم‌افزار انرژی پلاس شامل موارد زیر می‌باشد:

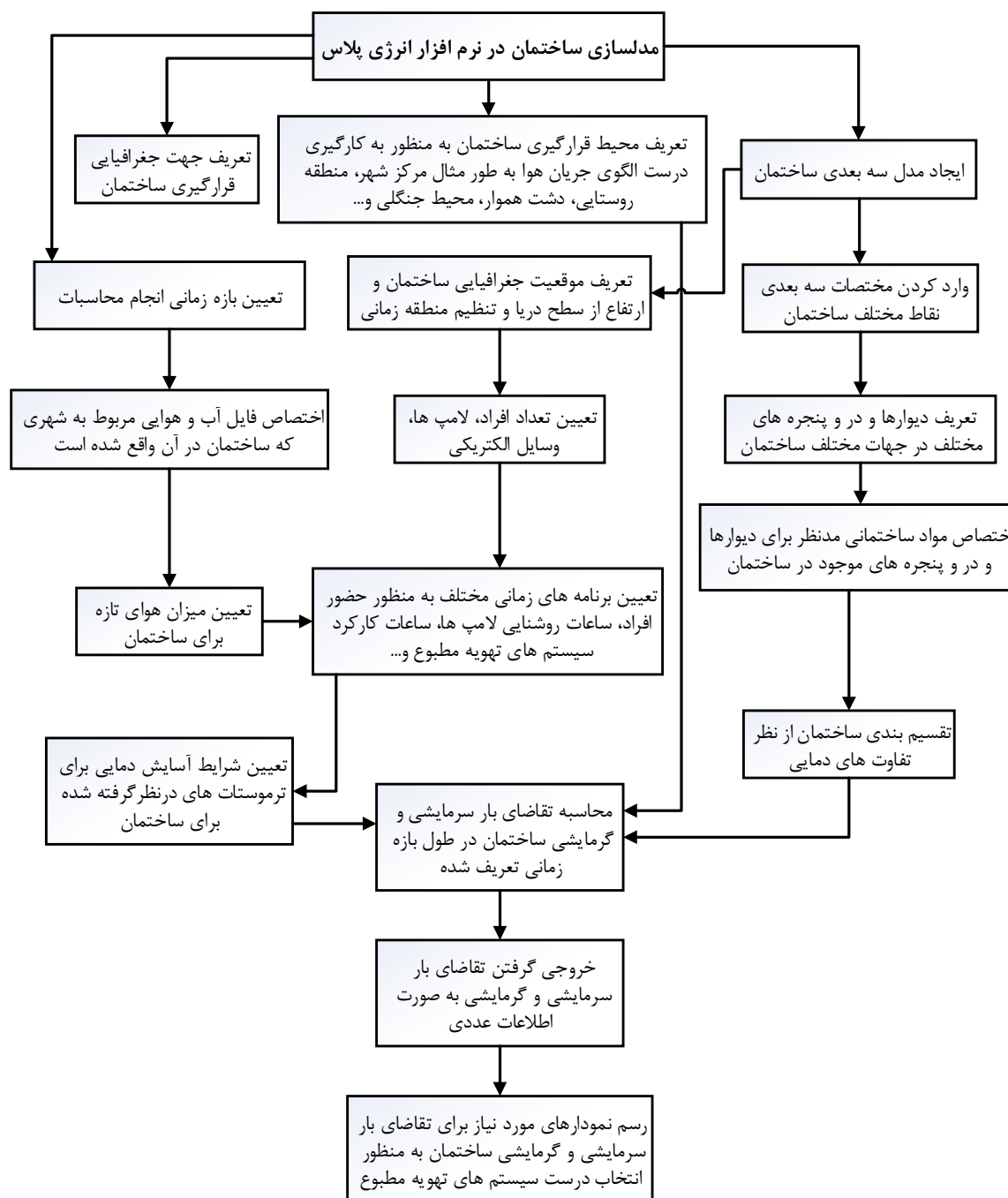
- ایجاد ساختمان و اختصاص مصالح ساختمانی مختلف به بخش‌های مختلف
- اختصاص بارهای داخلی مانند افراد، لامپ‌ها و وسایل الکتریکی برای ساختمان
- تعریف برنامه‌های زمانی و به‌کارگیری آن‌ها برای مدلسازی درست انرژی ساختمان
- خروجی گرفتن نتایج ساعت به ساعت بارهای سرمایشی و گرمایشی
- تحلیل اطلاعات خروجی بارهای سرمایشی و گرمایشی و رسم نمودارهای مورد نیاز

استفاده از نرم‌افزار به جای محاسبات دستی برای مدلسازی انرژی ساختمان، موجب بالارفتن دقت محاسبات شده و باعث می‌شود خطای محاسباتی در روند اجرای پروژه‌ها کاهش یابد. تئوری مورد استفاده در تمام نرم‌افزارهای مدلسازی انرژی ساختمان از جمله انرژی پلاس، به صورتی است که در بخش ۳-۱ تا ۳-۳ توضیح داده شد.

در محاسبات معمولی بدون استفاده از نرم‌افزار، می‌توان ضرایب کلی هدایت گرمایی دیوارها و کف و سقف را بر مبنای مواد ساختمانی مورد استفاده در آن‌ها محاسبه کرد. سپس با ضرب مساحت هر دیوار و کف و سقف، در ضریب کلی هدایت گرمایی دیوار، و اختلاف دمای محیط داخل و خارج، اتلاف گرمایی مربوط به هر دیوار محاسبه می‌شود. از طریق کاتالوگ‌های مربوط به پنجره‌ها و درب‌های مختلف مورد استفاده در ساختمان، ضریب کلی هدایت گرمایی آن‌ها نیز به دست می‌آید و به این ترتیب اتلاف گرمایی مربوط به درب‌ها و پنجره‌ها نیز محاسبه می‌شود. سپس همانطور که در بخش ۳-۲ توضیح داده شد، اتلاف گرمایی از طریق نفوذ هوا نیز محاسبه می‌شود، و ضرایب جهت، موقعیت، تناوب و ارتفاع نیز در نظر گرفته می‌شود تا دقت محاسبه تقاضای بار گرمایی ساختمان بالا رود.

برای محاسبه بار سرمایی ساختمان نیز باید ابتدا بار سرمایی ناشی از تابش خورشید به پنجره‌ها و شیشه‌های خارجی محاسبه شود، بنابراین باید در ساعت و جهت هر پنجره مورد نظر، میزان انرژی تابشی خورشید از طریق منابع و جداول موجود استخراج شود و مورد استفاده قرار گیرد. سپس بار سرمایی ناشی از هدایت در شیشه‌های خارجی محاسبه می‌شود. پس از آن، بار تشعشعی و هدایتی دیوارهای خارجی و بار حرارتی جداره‌ها و دیوارهای داخلی محاسبه می‌شود. تهویه اتاق از لحاظ هوای تازه نیز اهمیت دارد و باید محاسبات مربوط به هوای تازه نیز انجام شود. تعداد افراد و فعالیت آن‌ها و همچنین استفاده از وسایل گرمازا و بار سرمایی نهان نیز در محاسبات بار سرمایی باید در نظر گرفته شود. و در نهایت بار سرمایی محسوس و نهان هوای خارج نیز محاسبه می‌شود. مجموع بارهای سرمایی محاسبه شده، تقاضای بار سرمایی کل ساختمان را نتیجه می‌دهد.

همانطور که توضیح داده شد، روند محاسبات و مدلسازی انرژی ساختمان بسیار پیچیده و زمان‌بر است، و استفاده نکردن از نرم‌افزارهای موجود در این زمینه باعث اتلاف زمان بسیار و کاهش دقت محاسبات می‌شود. برای مدلسازی انرژی ساختمان کافی است مطابق شکل ۴-۱ پارامترهای ورودی مورد نیاز برای نرم‌افزار فراهم شود تا تقاضای بار سرمایی و گرمایی به درستی و با دقت بسیار خوبی محاسبه شود.



شکل ۳-۲: الگوریتم محاسبات و مدلسازی انرژی ساختمان در نرم افزار انرژی پلاس.

۴- اولویت‌ها و راهکارهای بهینه‌سازی مصرف انرژی ساختمان

بر اساس گزارش‌های وزارت نیرو و ترازنامه انرژی کشور در سال ۱۳۹۶، بیشترین میزان مصرف از کل مصرف انرژی کشور، در بخش ساختمان متمرکز شده است و این واقعیت روشن می‌شود که با وجود بیش از ۱۰ سال تلاش، خرج بودجه‌های کلان و درک واقعیت‌ها و اولویت‌های فراموش شده، اکنون نیز در بهینه‌سازی مصرف انرژی در بخش ساختمان کمترین موفقیت حاصل شده است.

سال‌های زیادی از تأسیس سازمان‌ها و شرکت‌های مرتبط با بهینه‌سازی مصرف انرژی در کشور شامل سابا، سانا، شرکت بهینه‌سازی مصرف سوخت و تدوین مبحث ۱۹ مقررات ملی ساختمان که بر بهینه‌سازی انرژی در ساختمان تأکید دارد، می‌گذرد. سال‌های زیادی است که برچسب انرژی برای بیشتر محصولات مصرف‌کننده انرژی تدوین و الزامی شده، و همچنان در مورد برخی از محصولات با وجود الزامی بودن اجرای استاندارد برچسب انرژی و الصاق آن روی محصول، این الزام قانونی رعایت نمی‌شود و برخی از شرکت‌ها از این الزام قانونی سرباز می‌زنند که این خود باعث عدم روشن‌سازی میزان شدت مصرف انرژی واقعی در کشور است.

از سوی دیگر چند سالی از طرح و تدوین استاندارد برچسب انرژی ساختمان می‌گذرد و هنوز زمان اجرای آن مشخص نیست. سال ۱۳۸۸ به عنوان سال اصلاح الگوی مصرف نامگذاری شد، فاز اول هدفمندی یارانه‌ها از اواخر آذر ۱۳۸۹ با چند برابر شدن بهای حامل‌های انرژی و مرحله دوم آن از اردیبهشت سال ۱۳۹۳ عملیاتی شد، و بسیاری رویدادهای دیگر، اما این اقدامات تأثیر خاصی بر روی بهینه‌سازی مصرف انرژی در بخش ساختمانی کشور نداشته‌اند.

به نظر می‌رسد هنوز در عمل و نه گفتار، اراده جدی برای بهینه‌سازی مصرف انرژی وجود ندارد و هنوز عمق بحران انرژی باور نشده است. به عنوان مثال، در همه گروه‌های کالاهای مصرفی (لوازم برقی، لوازم گازسوز، خودرو و...)، همچنان تولید محصولات پرمصرف و با رده پایین برچسب انرژی و یا فاقد برچسب انرژی ادامه دارد.

بهینه‌سازی انرژی در بخش‌های حمل و نقل، تولید و کشاورزی ضروری است اما به آسانی، سهولت و اهمیت بهینه‌سازی در بخش ساختمان نیست. بهینه‌سازی در بخش‌های اشاره شده یک ضرورت اجتناب‌ناپذیر است. بر اساس ترازنامه انرژی کشور حجم و سهم مصرف انرژی در بخش ساختمان بسیار بالاست (۴۰ درصد کل مصرف انرژی کشور) و اجرای پروژه‌های بهینه‌سازی در این بخش از نظر زمان و هزینه بسیار قابل توجیه است؛ و اهداف بهینه‌سازی در این بخش با هزینه کمتر و کمترین اثرات جانبی قابل تحقق می‌باشد.

۱-۴- اولویت اول بهینه‌سازی مصرف انرژی ساختمان

کشور ما نیازمند یک نهضت و انقلاب کیفی‌سازی در ساخت و ساز مسکن با کمک همه دست اندرکاران صنعت ساختمان و همه نهادها و دستگاه‌های قانون‌گذار، متولی، هدایتگر و ناظر می‌باشد. (مجلس، وزارت مسکن، سازمان ملی استاندارد، بهینه‌سازی، سازندگان مسکن، تولیدکنندگان مصالح و تجهیزات ساختمانی، رسانه‌ها و...). برای صرفه جویی در بخش ساختمان باید از گلوگاه‌ها و شاهراه‌های اصلی اتلاف یا هدررفت انرژی شروع کرد و اصطلاحاً جلوی اتلاف انرژی، باید از سرچشمه گرفته شود.

راهکار اصلی و اولویت اول قابل اجرا، هدف‌گذاری و هماهنگی و همسوسازی همه‌جانبه دستگاه‌های قانون‌گذار و اجرایی و ناظر، برای ترویج گسترده انواع عایق‌های استاندارد، و ساخت ساختمان‌های عایق (پوسته ساختمان و تاسیسات) در ساخت و سازهای جدید، و ممنوعیت قاطع برای ساخت ساختمان فاقد عایق مناسب از نقطه آغاز در زمان طراحی و تهیه نقشه‌ها، یعنی قبل از صدور پروانه ساخت و گودبرداری و شروع عملیات ساختمانی است.

بعد از برنامه ریزی برای اجرای پیشنهاد و راهکار اصلی فوق (عایق‌بندی استاندارد پوسته خارجی و تاسیسات در ساخت و ساز جدید)، راهکارهای ثانویه‌ای نیز قابل برنامه ریزی و اجراست:

- استفاده از محصولات و سیستم‌هایی با فناوری روز، راندمان بالا، کم مصرف و البته ایمن.
- استفاده از پنجره‌های دوجداره "یو پی وی سی" استاندارد با رعایت الزامات ایمنی دریاچه تامین هوا و جریان هوای تازه.
- استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر به ویژه انرژی خورشیدی.

هدر رفت انرژی از پوسته خارجی ساختمان‌ها بسیار قابل توجه است، و عایق‌کاری پوسته خارجی تأثیر زیادی در بهینه‌سازی مصرف انرژی ساختمان دارد. شکل ۴-۱ بیشترین مقادیر هدر رفت انرژی را در ساختمان نشان می‌دهد.

بنابراین اولویت اول بهینه‌سازی مصرف انرژی ساختمان، ساخت ساختمان‌های عایق و اجرای عایق‌بندی‌های استاندارد پوسته خارجی و تاسیسات می‌باشد؛ و مرحله بعدی استفاده از سیستم‌های مصرف‌کننده انرژی دارای بازدهی بالا است؛ که از این جهت استفاده از سیستم‌های سرمایشی و گرمایشی دارای راندمان انرژی بالا، اهمیت زیادی دارند، چون این سیستم‌ها سهم زیادی از مصرف انرژی ساختمان را به خود اختصاص می‌دهند.



شکل ۴-۱: بیشترین مقادیر هدر رفت انرژی در ساختمان [5]

۵- معرفی انواع سیستم‌های تهویه مطبوع

تهویه مطبوع عبارت است از انجام عملیاتی روی هوا تا بتوان شرایط هوای محل مورد نظر را برای زیستن، کار کردن و یا عملیات صنعتی معینی، راحت و بهداشتی کرد. تهویه مطبوع شاخه‌ای از تأسیسات در مهندسی مکانیک است، که با توجه به عملکرد و کاربری سیستم‌های مختلف در این زمینه، دارای تنوع بالایی می‌باشد. دسته‌بندی‌های مختلفی را در حیطه تهویه مطبوع می‌توان یافت که هر کدام در محدوده‌ی خود کارایی دارند. هر کس بر اساس حیطه کاری و نیاز خود می‌تواند این دسته‌بندی‌ها را تعمیم و یا تقلیل دهد. برخی بر اساس ساختار و نوع موتور و برخی دیگر بر اساس نوع سیستم‌ها، دسته‌بندی کرده‌اند. در مطلب پیش رو سعی بر آن شده تا با دسته‌بندی جامع (شکل ۵-۱)، شناخت مناسبی از سیستم‌های موجود در بازار بدست بیاید.

سیستم‌های تهویه مطبوع به دو دسته کلی **مولد و تجهیز توزیع** تقسیم می‌شوند. در این دسته‌بندی کلی سیستم‌های مولد به چهار دسته زیر تقسیم می‌شود:

- (۱) مولد گرما یا همان سیستم‌های حرارتی و گرم کننده
- (۲) مولد سرما یا همان سیستم‌های برودتی و سردکننده
- (۳) مولد چهار فصل

۴) نیمه مولد چهار فصل (مولد سرمایش، توزیع گرمایش)

تجهیزات توزیع نیز دارای دو دسته می باشد:

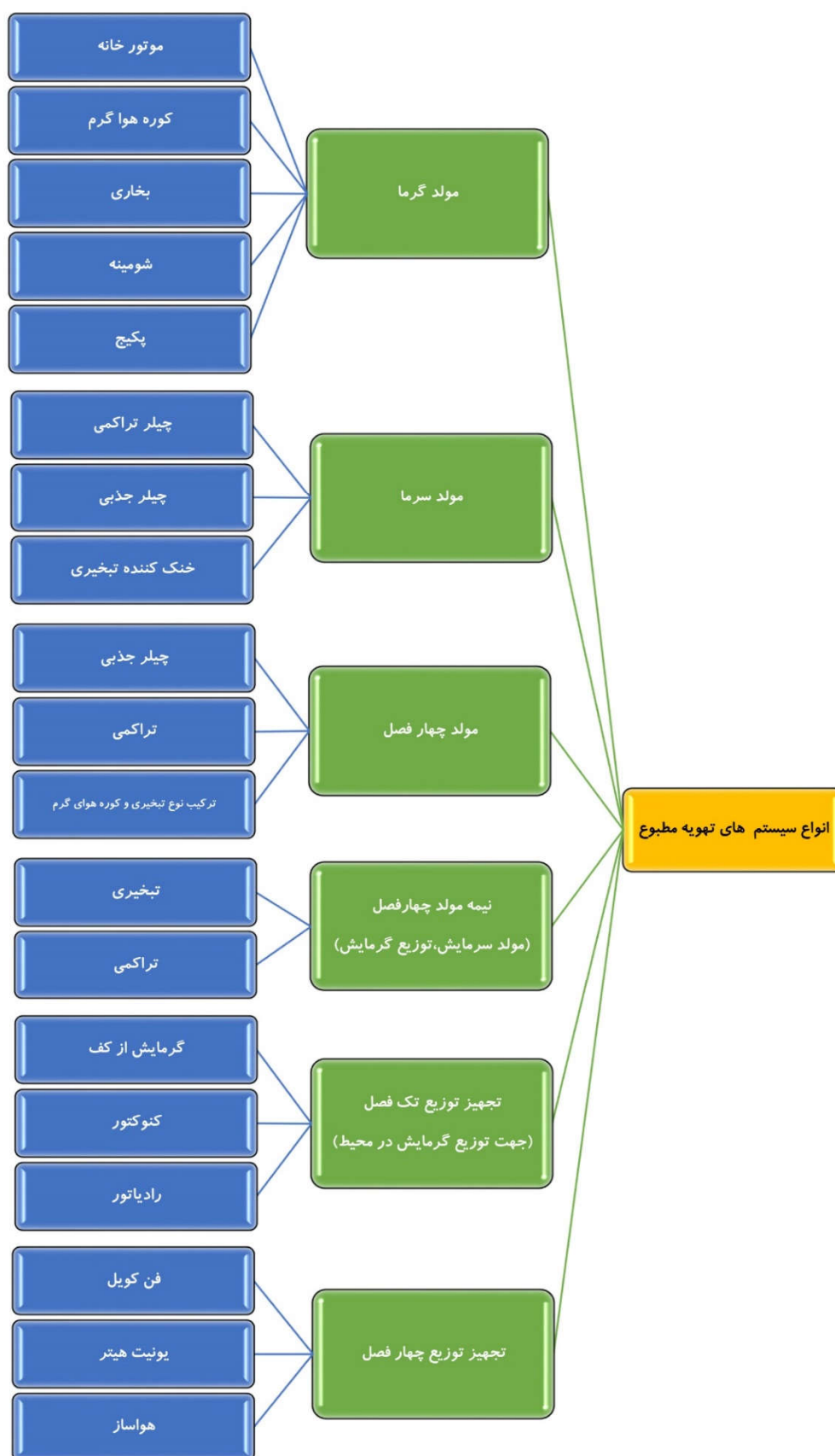
۱) تجهیز توزیع تک فصل (جهت توزیع گرمایش در محیط)

۲) تجهیز توزیع چهار فصل

در دسته بندی های انجام شده، منظور از سیستم های چهار فصل، سیستم هایی می باشند که هم در فصول گرم سال عملیات سرمایش را، و هم در فصول سرد سال عملیات گرمایش را انجام می دهند. به عنوان مثال از سیستم **اسپلیت یونیت** به عنوان یک سیستم چهار فصل یاد می شود.

نیمه مولدها در حالت سرمایش مولد هستند، اما جهت انجام فرایند گرمایش وابستگی دارند که به سبب همین وابستگی، به آنها نیمه مولد می گویند. به عنوان نمونه **روفتاپ پکیج** مولد سرمایش است ولی برای گرمایش مجهز به کویل می باشد که باید آب گرم این کویل از موتورخانه تامین شود.

در دسته بندی کلی برخی سیستم های مولد جهت انجام کامل فرایند تهویه نیازمند تجهیز توزیع می باشند، مانند سیستم **پکیج** اما برخی دیگر به طور مستقل فرایند تهویه را انجام می دهند، مانند **کولر آبی**.



شکل ۵-۱: دسته‌بندی انواع سیستم‌های تهویه مطبوع.

۱-۵- سیستم‌های مولد گرما

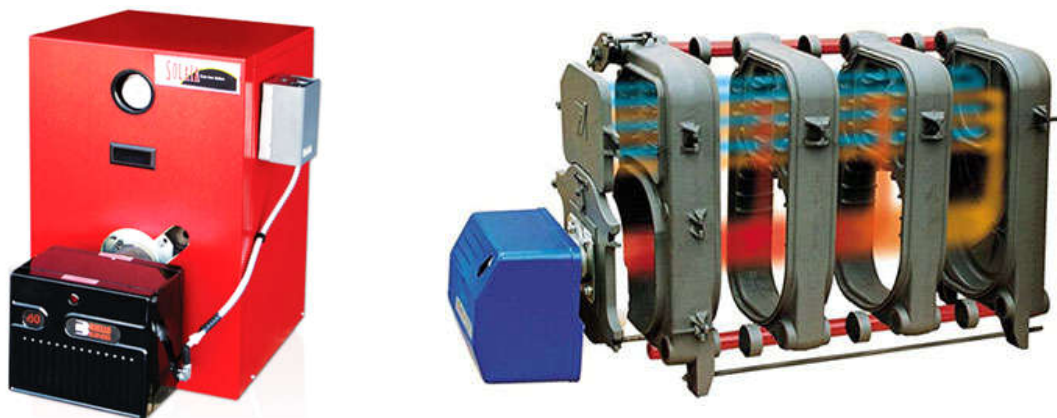
یکی از شاخه‌های سیستم‌های تهویه، سیستم‌های مولد گرما می‌باشد. این سیستم‌ها تولید کننده سیال‌های گرم مانند بخار، آب گرم، آب داغ و هوای گرم هستند. دیگ‌های موتورخانه، کوره هوای گرم، بخاری و... از جمله طبقه بندی‌های این شاخه می‌باشند.

۱-۱-۵- موتورخانه

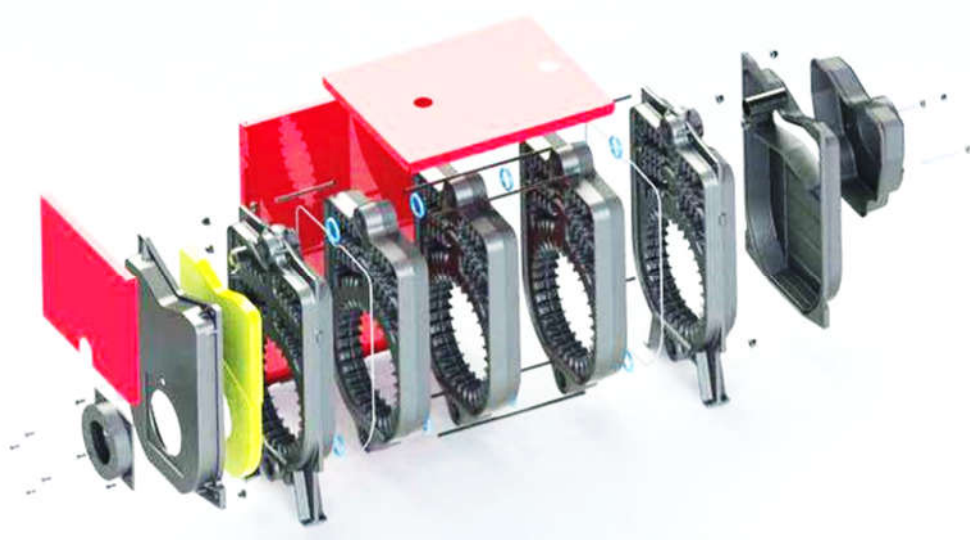
به صورت کلی می‌توان گفت یک بویلر با استفاده از گازهای حاصل از احتراق سوخت، درون محفظه خود، سیال را گرم نموده یا به بخار تبدیل می‌کند. این کلیتی تغییرناپذیر در تمامی بویلرهای تولید شده تا کنون است. اما بر اساس تغییرات در طراحی بویلرها، عملکرد آن‌ها نیز متفاوت شده‌است. موتورخانه به جهت دور بودن از واحدها ایمنی بالایی دارد و خطر آتش‌سوزی را از واحدها دور می‌کند. هزینه‌های اولیه، نسبتاً بالا بوده و مرکزی بودن وعدم استقلال هر واحد در این سیستم، هزینه شارژ ساختمان را افزایش می‌دهد. این نوع سیستم‌ها برای ساختمان‌های مرتفع و یا دارای تعداد واحد بالا و یا حتی ساختمان‌های با مساحت مفید بیش از ۳۰۰ متر و اماکن دارای استخر، بهترین گزینه می‌باشند.

۱-۱-۱-۵- بویلرهای چدنی

این نوع دیگ‌ها از اتصال پره‌های چدنی تشکیل شده‌است که تعداد این پره‌ها تعیین کننده ظرفیت دیگ می‌باشد؛ که با تغییر تعداد پره‌ها می‌توان ظرفیت را تغییر داد. این پره‌ها به وسیله مشعل، حرارت دیده و باعث تولید آب گرم می‌شوند (شکل ۵-۲). دیگ‌های چدنی در مقابل زنگ زدن و خوردگی بسیار مقاوم هستند، اما مشکل اصلی آن‌ها پیدایش ترک در جداره پره‌ها به دلایل مختلفی چون شوک حرارتی، رسوب سطح داخلی پره‌ها و فشار بالا است؛ که به ترکیدن دیگ معروف است. با توجه به اینکه جوشکاری چدن مشکل است، اغلب ترک برداشتن پره، منجر به تعویض آن می‌شود که این خود با مشکلاتی از جمله بازکردن اتصالات دیگ، تعویض پره، بستن دیگ و مسائل آب‌بندی و دودبندی دیگ همراه است. یکی از موارد دیگری که نیاز به تعویض پره‌ها می‌باشد، روشن بودن مشعل برای مدت طولانی در شرایط بدون آب بودن دیگ است. در شکل ۵-۳ نمای کلی از اجزای داخلی یک بویلر چدنی آورده شده‌است. با توجه به پره‌پره بودن دیگ، حمل و نقل آسان‌تری را نسبت به سایر دیگ‌ها دارد. فشار کاری این نوع دیگ در حدود ۵ بار است و راندمان پایین تری را نسبت به بویلرهای فولادی و چگالشی دارد. قیمت ارزان‌تر بویلر چدنی عامل استقبال آن در ساختمان‌های با ظرفیت گرمایی متوسط است.



شکل ۵-۲: نمایی از یک نوع بویلر چدنی و نحوه‌ی عملکرد آن [6] [7].



شکل ۵-۳: اجزای داخلی تشکیل دهنده بویلر چدنی [8].

۲-۱-۱-۵- بویلرهای چدنی اتمسفریک

این نوع دیگ‌ها نسل جدید دیگ‌های چدنی هستند. علیرغم قیمت بالاتر نسبت به نسل قبلی خود مزیت‌هایی چون راندمان بالاتر، صدای کارکرد کم‌تر و عمر طولانی‌تر مشعل (شکل ۵-۴) را دارا می‌باشند. این بویلرها باتوجه به نوع مشعل خود برای ساختمان‌های بسیار بلند مرتبه نامناسب می‌باشند، و بهتر است در ظرفیت‌های گرمایی متوسط استفاده شوند. در شکل ۵-۵ یک نمونه از این بویلرها را مشاهده می‌کنیم.



شکل ۵-۴: نمونه یک مشعل اتمسفریک [9].



شکل ۵-۵: نمونه یک بویلر چدنی اتمسفریک و پره‌های آن [10].

۳-۱-۱-۵- بویلرهای فولادی

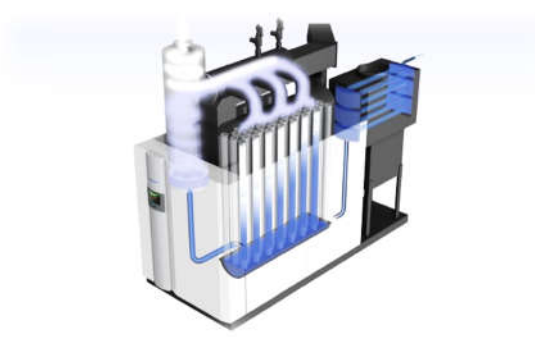
بویلرهای فولادی در دو نوع واتر تیوب^{۱۹} و فایر تیوب^{۲۰} تولید می‌شوند. در نوع واتر تیوب یک محفظ احتراق وجود دارد که لوله‌های حاوی آب در آن می‌گذرند. حرارت محفظ احتراق باعث بالا رفتن دمای آب داخل لوله‌ها می‌شود، و در نتیجه انتقال حرارت انجام می‌شود (شکل ۵-۶). دشواری رسوب‌زدایی در این نوع دیگ، باعث شده تا از استقبال کمتری برخوردار باشد. در نوع فایر تیوب یا لوله آتشی، آتش داخل لوله‌ها وجود دارد، و مخزن دیگ فولادی دارای حجم وسیعی از آب می‌باشد. با عبور حرارت آتش بین لوله‌های آتشخوار بدون درز، دمای آب داخل مخزن بالا می‌رود در نتیجه انتقال حرارت صورت می‌گیرد (شکل ۱-۷). این نوع بویلر دارای راندمان بیشتر و نگهداری و تعمیر آن بسیار راحت‌تر است و از بویلر واتر تیوب کمتر رسوب می‌گیرد. مقایسه ساختار این دو نوع بویلر فولادی، در شکل ۵-۸ آورده شده‌است.

به طور کلی دیگ‌های فولادی، عمر طولانی‌تر و راندمان بالاتری را نسبت به دیگ‌های چدنی دارند. باتوجه به تحمل فشار این دیگ‌ها و ظرفیت نامحدودشان، مناسب ساختمان‌های بسیار مرتفع و یا نیازمند ظرفیت گرمایی بالا می‌باشند؛ البته به سبب ساخت یکپارچه در کارخانه امکان تغییر ظرفیت را مانند دیگ‌های چدنی

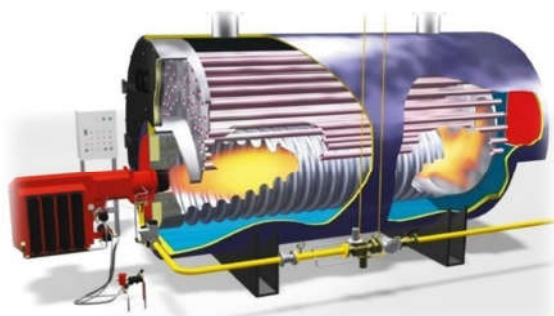
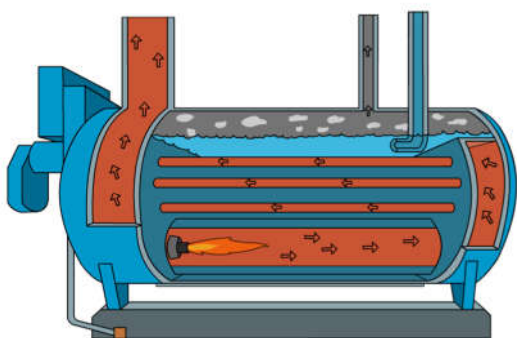
¹⁹ Water Tube

²⁰ Fire Tube

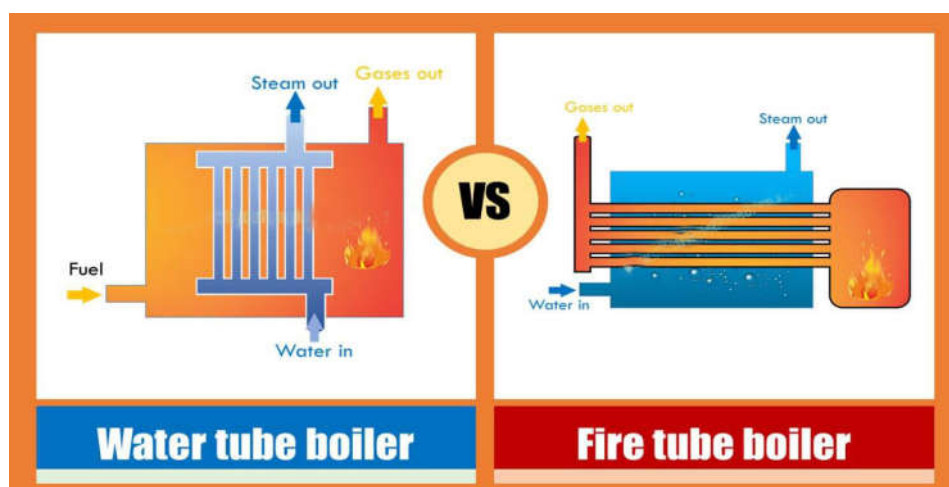
ندارند، و همچنین حمل و نقل سخت‌تری دارند. قیمت این نوع دیگ‌ها و هزینه نگهداری و تعمیرشان نسبت به دیگ‌های چدنی بالاتر است. از مزیت‌های دیگر این بویلرها، تحمل شوک حرارتی و تطابق با هر نوع سوخت را می‌توان نام برد.



شکل ۵-۶: نمای خارجی و داخلی از یک نمونه بویلر فولادی واتر تیوب [11].



شکل ۵-۷: نمای داخلی و دیاگرام از یک نمونه بویلر فولادی فایر تیوب [12] [13].



شکل ۵-۸: مقایسه دیاگرامی بویلر فولادی واتر تیوب و فایر تیوب [14].

۴-۱-۵- بویلرهای چگالشی

دیگ‌های چگالشی^۱ برخلاف سایر دیگ‌ها، حرارت ایجاد شده توسط گازهای داغ اگزاست که تلف می‌شوند را جذب می‌کنند. بدین صورت که بخار آب موجود در گازهای خروجی محصول احتراق، با از دست دادن گرمای نهان تبخیر، به آب مایع (یا به اصطلاح به کندانس) تبدیل می‌شود و این گرمای نهان نیز به آب داده می‌شود؛ که این عمل اضافی راندمان دیگ را بالا می‌برد. همین راندمان بالا در این بویلرها باعث شده تا علی‌رغم هزینه تقریباً دو برابری، مهم‌ترین دلیل برای نخستین و برترین انتخاب در کشورهای اروپایی باشد.

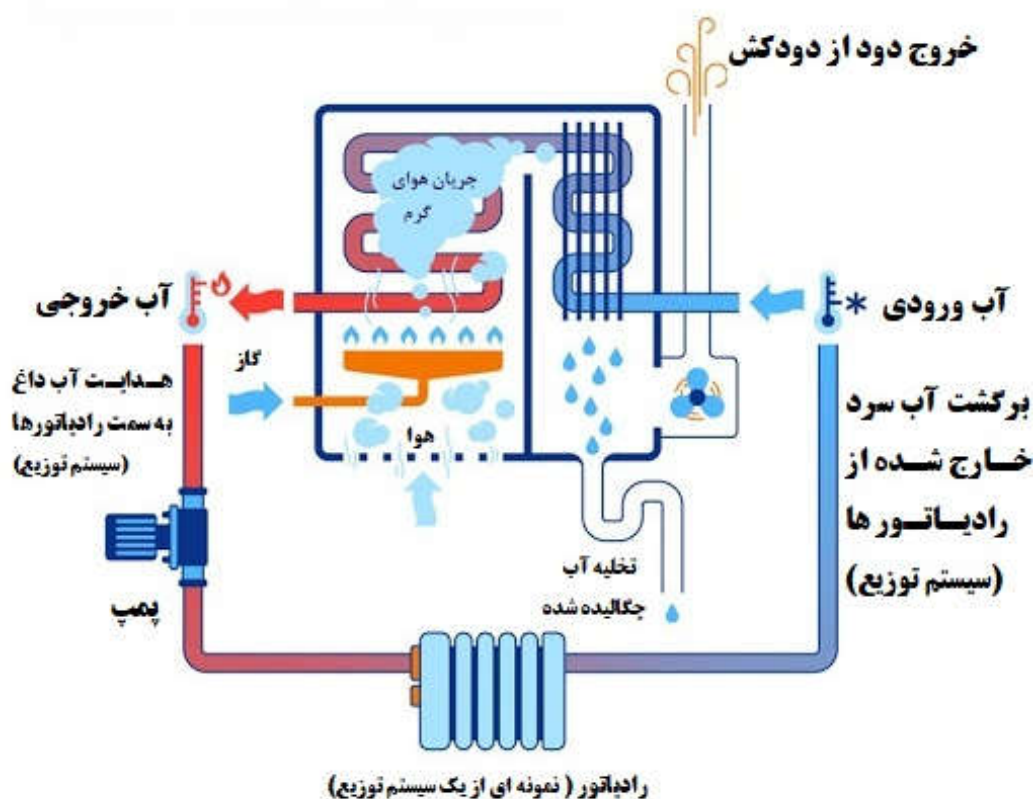
در حقیقت بخار آب یکی از محصولات احتراق است که در دیگ‌های معمولی در دمای بالا از دودکش خارج و اتلاف می‌شود؛ اما در دیگ‌های چگالشی با استفاده‌ی مجدد از گازهای دما بالای اگزاست، جهت پیش‌گرم کردن هوای ورودی به دیگ، دمای گازهای اگزاست تا ۶۰ درجه سانتیگراد پایین آورده می‌شود، که این کاهش دما سبب تبدیل بخار آب موجود در دودهای اگزاست به حالت مایع می‌گردد، به این پدیده کندانس گفته می‌شود؛ به دیگ‌هایی که از این تکنولوژی استفاده می‌کنند، دیگ‌های چگالشی یا کندانس می‌گویند. دیاگرام عملکرد این نوع از بویلرها در شکل ۵-۹ نشان داده شده است. عمل اضافی که اشاره شد، باعث می‌شود این نوع دیگ‌ها به فن خروج دود و سیستم تخلیه کندانسیت^۲ نیاز داشته‌باشند. راندمان بالای حرارتی و جنبه‌های مثبت زیست محیطی (مثلاً دود کمتر)، قابلیت مدولاسیون و کاهش میزان فضای اشغال شده در موتورخانه و اجرای بسیار زیبا (شکل ۵-۱۰)، سهولت در نصب و راه اندازی، افزایش طول عمر تأسیسات، کاهش هزینه‌های جاری ساختمان و همچنین کاهش میزان سر و صدا از ویژگی‌های مهم بویلرهای چگالشی می‌باشد. دیگ‌های چگالشی دارای نگهداری و تعمیر آسان^۳ هستند؛ یا به عبارت دیگر نیاز چندانی به نگهداری و تعمیر ندارند. اما در صورت نیاز، به دلیل دسترسی ساده و آسان به تمام اجزا، نگهداری و تعمیر سیستم با سرعت بالا و کمترین هزینه ممکن می‌باشد. در این دیگ‌ها قابلیت تغییر ظرفیت و کنترل پذیری باتوجه به سیستم کنترلی پیشرفته، به صورت کاملاً اتوماتیک انجام می‌شود. درحالی که بویلرهای متداول مورد استفاده، این قابلیت را نداشته و بدین ترتیب استهلاک دستگاه و مصرف بالای انرژی به وقوع می‌پیوندد. این دیگ‌ها به سیستم کنترل هوشمند محیطی براساس اندازه‌گیری دمای هوای بیرون، با قابلیت برنامه‌ریزی ساعتی، روزانه، هفتگی، ماهانه و سالانه مجهز می‌باشند، و بدین وسیله با برنامه ریزی کامل این سیستم، می‌توان صرفه‌جویی مضاعفی در مصرف انرژی ساختمان، علاوه بر راندمان بالای آن انجام داد. در بویلرهای چگالشی دمای آب برگشتی از سیستم حرارت مرکزی باید کمتر از ۵۵ درجه سانتیگراد باشد یا به عبارت دیگر دمای آب برگشتی می‌بایست پایین‌تر از دمای نقطه شبنم بخار آب باشد به این دلیل که تنها در این دماها است که چگالش به بهترین نحو انجام می‌گیرد. دماهای بالاتر از عدد ذکر شده می‌تواند عملاً مبدل کندانس را از جریان خارج کند و تنها به شکل بویلرهای معمولی کار کنند. از این مطلب بر می‌آید که تنها با تغییراتی در سیستم کنترلی می‌توان

¹ Condensing Boiler

² condensate

³ Maintenance Free

بویلرهای غیرچگالشی را به بویلرهای چگالشی تبدیل کرد، در حالی که باید این نکته را در نظر گرفت که کندانس تولید شده به سرعت قسمت‌هایی که دارای فولاد نرم یا چدن هستند را دچار خوردگی خواهد کرد و این همان دلیلی است که در مبدل بویلرها چگالشی از فولاد ضدزنگ یا آلیاژهای آلومینیوم و سیلیکون استفاده می‌کنند. هر چه دمای برگشتی پایین‌تر باشد عمل چگالش بیشتر انجام می‌گیرد. دمای پایین در سیستم‌هایی که در ذات دما پایین هستند مثل گرمایش از کف یا رادیاتورهای چدنی قدیمی بیشتر دیده می‌شود؛ به همین سبب این سیستم‌های توزیع را بهترین گزینه در کنار بویلرهای چگالشی می‌سازد. اما اگر سیستم توزیع گرمایش از نوع‌های ذکر شده نباشد، بیشتر تولیدکننده‌های بویلرهای چگالشی مسکونی سیستم‌های کنترلی را طوری طراحی می‌کنند که تنها در زمان راه‌اندازی اولیه عمل چگالش اتفاق بیفتد و مشخص است که بعد از آن افت بازدهی به وجود می‌آید؛ گرچه با این وجود از بازدهی بویلرهای قدیمی کمی بیشتر خواهد بود. اما با یک طراحی مناسب مثلاً با بزرگتر انتخاب کردن رادیاتور یا اضافه کردن حلقه به سیستم گرمایش از کف می‌توان دمای آب برگشتی به بویلر را برای هر چه بهتر شدن عمل چگالش پایین آورد و مناسب ساخت.



شکل ۵-۹: دیاگرام عملکرد بویلر چگالشی [15].



شکل ۵-۱۰: نمای خارجی یک نمونه از بویلرهای چگالشی [16].

۲-۱-۵- کوره هوای گرم

کوره هوای گرم یک نوع بخاری صنعتی است، که بازده تولید حرارت در آن‌ها بسیار بالا می‌باشد. این نوع هیترها امروزه به طور گسترده در انواع سالن‌های صنعتی و مکان‌های عمومی مورد استفاده قرار می‌گیرند. یکی از کاربری‌های محبوب این هیترها استفاده به عنوان بخاری گلخانه می‌باشد. این سیستم‌ها بدون نیاز به آب، عملیات انتقال حرارت را انجام می‌دهند. کوره هوای گرم گازی، گازوئیلی و دوگانه‌سوز در انواع پایه‌دار یا کابینتی، زمینی ایستاده و زمینی افقی در ظرفیت‌های بالا تولید می‌شوند که در مدل‌های پایه‌دار و کابینتی از فن‌های آکسیال استفاده شده که به هیچ عنوان قابلیت اتصال به کانال و یا نصب در محیط خارج را ندارند، ولی در مدل‌های زمینی عمودی و افقی از فن‌های سانتریفوژ با افت فشار استاتیک بالا جهت تأمین نیاز محیط و غلبه بر افت فشار دستگاه و مسیر کانال‌کشی استفاده می‌گردد. هیتر و کوره هوای گرم از نظر عملکرد به انواع فن‌دار، بدون فن و تابشی تقسیم می‌شوند. همچنین هیترها از نظر نحوه قرارگیری یا نصب نیز به سه گروه هیتر و کوره هوای گرم ایستاده، کابینتی و هیترهای تابشی تقسیم می‌شوند، که هیترها و کوره هوای گرم ایستاده و کابینتی از نظر عملکرد تفاوت چندانی با هم ندارند. حتی می‌توان گفت که از لحاظ نحوه عملکرد بسیار شبیه یکدیگر عمل می‌کنند و تفاوت اصلی آن‌ها در ظاهر و نحوه نصب آن‌ها می‌باشد. اما محل نصب هیترهای تابشی که بر مبنای گرمایش تابشی عمل می‌کنند، در زیر سقف سازه‌های بزرگ و یا فضاهای باز می‌باشد که از نظر کلی تفاوت‌های عمده‌ای با سایر کوره‌های هوای گرم دارند. نکته هائز اهمیت این سیستم محل نصب آن‌ها می‌باشد؛ چراکه در صورت نزدیک بودن مواد قابل احتراق به آن‌ها احتمال آتشسوزی وجود دارد.

۱-۲-۱-۵- کوره هوای گرم فن دار

در کوره هوای گرم فن دار، شعله آتش به صورت مستقیم کوره را گرم کرده و سپس توسط فن‌های آکسیال^۱ و یا در برخی مدل‌ها توسط سانتریفیوژ (جریان اجباری)^۲ هوای گرم دمیده می‌شود. در برخی مدل‌ها امکان نصب کانال نمی‌باشد (شکل ۵-۱۱)، اما در برخی دیگر با نصب فن سانتریفیوژ^۳ امکان کانال کشی میسر می‌شود (شکل ۵-۱۲). در هر صورت کانال کشی باعث اتلاف حرارت در مسیر انتقال است. این کوره‌ها دارای تنوع گوناگونی می‌باشند. دو نوع از رایج‌ترین آن‌ها کابینتی یا پایه‌دار (بیشتر در سالن‌ها) و جت هیتر (بیشتر در گلخانه‌ها) می‌باشد (شکل ۵-۱۳). نصب و راه‌اندازی آسان، راندمان حرارتی بالا، قابلیت نصب ترموستات محیطی جهت کنترل دقیق دما و پخش یکنواخت گرما به دلیل وجود فن، از دیگر مزایای این سیستم می‌باشد. البته این پخش یکنواخت که در اثر فن حاصل می‌شود مزاحمت صوتی و همچنین افزایش گرد و غبار محیط را در پی دارد.



شکل ۵-۱۱: دو نمونه از کوره هوای گرم فن دار، بدون قابلیت نصب کانال
[17] [18].

¹ Axial Fan
² Force Convection
³ Centrifugal Fan



شکل ۵-۱۲: دو نمونه از کوره هوای گرم فن دار، با قابلیت نصب کانال [19] [20].



شکل ۵-۱۳: نمونه‌ای از جت هیتر گازوئیلی [19].

۲-۲-۱-۵- کوره هوای گرم بدون فن

این نوع کوره همانند نمونه فن دار می‌باشد، با این تفاوت که کوره توسط حرارت شعله مشعل گرم شده و از طریق انتقال حرارت جابه‌جایی طبیعی^۴ هوای اطراف خود را گرم می‌کند. این نوع کوره در مقایسه با نمونه فن دار، سرعت پخش گرمای کمتری دارد، و در مقابل آن صدای کارکرد بسیار پایین‌تری را ایجاد می‌کند. در شکل ۵-۱۴ یک نمونه رایج کوره هوای گرم بدون فن را می‌توان دید.

⁴ Natural Convection



شکل ۵-۱۴: نمونه‌ای از کوره هوای گرم بدون فن [21].

۳-۲-۱-۵- کوره هوای گرم تابشی

متفاوت‌ترین نوع کوره هوای گرم، نوع تابشی آن است. این سیستم گرما را به صورت مستقیم و سریع، توسط امواج به سطح و اشیاء قرار گرفته در مسیر تابشی خود، انتقال می‌دهد. در روش گرمایش تابشی هوای اطراف سیستم گرم نمی‌شود و انرژی گرمایی به صورت مستقیم، باعث گرم شدن افراد و اشیاء می‌گردد. همین تابشی بودن باعث شده‌است تا بدون نیاز به دیوارکشی و تقسیم بندی محیط، گرمایش منطقه‌ای را برای ناحیه‌های تحت تابش ایجاد کرد. در واقع می‌توان گفت که این روش گرمایش، مانند روش گرمایشی خورشید است که با تابش، موجب گرم شدن سطح زمین می‌شود. یکی از مزیت‌های سیستم تابشی این است که گرمای تولید شده توسط آن، گرمای بسیار پاک، مطبوع و یکنواخت است. با توجه به این ویژگی که این سیستم به صورت مستقیم انرژی گرمایی را انتقال می‌دهد، می‌توان با درجه‌ی حرارت پایینی سطح مورد نظر را گرم کرد. به همین دلیل گرمای ساطع شده از این سیستم آزاردهنده و سوزاننده نیست. این سیستم برای فضاهای پر تردد، باز و یا دارای ارتفاع سقف بلند (در حدود ۴-۱۲ متر) مناسب می‌باشد. این سیستم نصب، راه اندازی و تعمیر سریع و آسانی دارد، و با توجه به نصب شدن زیر سقف، که فضای غیر مفیدی است، باعث کاهش اتلاف حرارتی زیر سقف می‌شود. کارکرد کم صدا و نیز مصرف سوخت کم از دیگر مزیت‌های این سیستم می‌باشد. این نوع سیستم نیز داری تنوع می‌باشد که بر اساس نیاز مورد استفاده قرار می‌گیرند.



شکل ۵-۱۵: نمونه‌ای از کوره هوای گرم تابشی [22] [23].

۳-۱-۵- بخاری

بخاری از قدیمی‌ترین سیستم‌های گرمایش می‌باشد که در گذر زمان تنوع زیادی پیدا کرده است. زمینی، دیواری، طرح شومینه، برقی و حتی بدون دودکش از جمله تنوع آن است. اساس کار این سیستم همرفت گرما می‌باشد. قیمت ارزان و قابلیت حمل و جابه‌جایی از ویژگی‌های مشترک انواع گوناگون آن است.

۱-۳-۱-۵- بخاری گازسوز

در این سیستم، شعله ایجاد شده توسط مشعل، محفظه فولادی (شکل ۵-۱۶) و همچنین در برخی مدل‌ها آجرهای نسوز روی مشعل (شکل ۵-۱۷) را گرم کرده و سپس از طریق همرفت محیط را گرم می‌کند. گاز مورد نیاز سیستم هم می‌تواند از طریق گاز لوله‌کشی و هم از طریق کپسول‌های گاز (با تغییر کوچکی در سیستم) تأمین شود. با توجه به محدودیت نیاز سیستم به دودکش، نمونه بدون دودکش این سیستم نیز موجود است (شکل ۵-۱۸)؛ که به کمک بهره‌مندی از سنسور اکسیژن از پایین آمدن بیش از حد اکسیژن محیط، با خاموش کردن مشعل، جلوگیری می‌کند. البته به طور کلی این سیستم، به سبب انجام عمل احتراق در محیط داخلی باعث کاهش اکسیژن محیط و همچنین افزایش مونوکسیدکربن و اکسیدهای نیتروژنی (البته در مقادیر بسیار کم) می‌شود؛ که برای بیماران ریوی و افراد دارای آلرژی مناسب نمی‌باشد. علی‌رغم نصب آسان، احتمال بروز خطراتی از قبیل سوختگی افراد و اشیاء و گاز گرفتگی در صورت عدم رعایت نکات نصب و نگهداری، بالا می‌باشد. اشغال فضای مفید داخلی و همچنین سیاه کردن دیوار و سقف کنار خود به مرور زمان، از جمله ناسازگاری‌های این سیستم با دکوراسیون داخلی می‌باشد. البته به دلیل قابل حمل بودن می‌توان با پایان فصل سرما، آن را به انباری منتقل کرد. جابه‌جا کردن ذرات گرد و غبار محیط به سبب همرفت و کاهش رطوبت محیط نیز از جمله معایب احتراق در فضای داخلی به وسیله این سیستم می‌باشد. راندمان و سرعت گرمایش بالا و همچنین هزینه تأمین، نگهداری و تعمیر پایین این سیستم از مهم‌ترین عوامل محبوبیت آن است.



شکل ۵-۱۶: نمونه‌ای از بخاری معمولی زمینی [24].



شکل ۵-۱۷: نمونه‌ای از بخاری شومینه‌ای زمینی (دارای آجرنسوز) [25].



شکل ۵-۱۸: نمونه‌ای از بخاری بدون دودکش [26].

۲-۳-۱-۵- بخاری برقی

این سیستم بر اساس مقاومت الکتریکی کار می‌کند و آلودگی محیط زیستی ندارد. از انواع آن می‌توان به تابشی (شکل ۵-۱۹)، فن‌دار (شکل ۵-۲۰) و کنوکتور (شکل ۵-۲۱) اشاره کرد. نمونه تابشی از المنت جهت ایجاد حرارت استفاده می‌کند؛ که این المنت‌ها اقسام گوناگونی چون المنت شیشه‌ای، فلزی و سفالی دارند. پس از ایجاد مقاومت الکتریکی المنت شروع به گرم شدن و سرخ شدن می‌کند و از طریق تابش محیط را گرم می‌کند. در پی جبران گرمایش غیریکنواخت محیط که یکی از معایب سیستم نوع تابشی می‌باشد، نمونه فن‌دار ایجاد شد تا علاوه بر تابش، جریان هوای گرم نیز حاصل شود. جدیدترین سیستم بخاری برقی کنوکتورهای برقی هستند که خطرات سوختگی کمتری را نسبت به دو نمونه ماقبل خود، به سبب شکل ظاهری و عملکردی دارند. خطر برق گرفتگی و ناکارآمدی برای محیط‌های بزرگ در کنار هزینه برق بالا باعث شده‌است، تا انتخاب مناسبی نباشند و بیشتر در اماکن کوچک که امکان نصب دودکش و یا گازکشی نباشد مورد استفاده قرار بگیرند.



شکل ۵-۱۹: نمونه‌ای از بخاری برقی تابشی [27].



شکل ۵-۲۰: نمونه‌ای از بخاری برقی تابشی فن‌دار [28].



شکل ۵-۲۱: نمونه‌ای از بخاری برقی کنوکتوری [29].

۴-۱-۵- شومینه

شومینه یکی از زیباترین سیستم‌های گرمایشی می‌باشد که در دو نوع چوب سوز یا هیزمی و گازسوز ساخته می‌شود. دیوار شومینه را می‌توان با آجرهای رنگی، سنگ مصنوعی و سنگ طبیعی تزئین نمود. با توجه به احتراق درون محفظه باز در فضای داخلی، کاهش اکسیژن محیط و خطرات آتش‌سوزی و سوختگی بسیار محتمل است. این سیستم گرمایشی مصرف بالا و غیر بهینه‌ای را در ازای گرمایش پایین ارائه می‌دهد و یکی از دلایل آن هم، خروج گرما از دودکش و ورود سرما از آن می‌باشد. مصرف سوخت این سیستم در حدود ۳۰ درصد نسبت به سایر سیستم‌های گرمایشی بیشتر است. نمونه‌ای از شومینه تزئین شده با سنگ در شکل ۵-۲۲ نشان داده شده است.

باتوجه به راندمان پایین و مصرف بالا و خطرات این سیستم، برای هیچ یک از کاربری‌ها پیشنهاد نمی‌گردد.



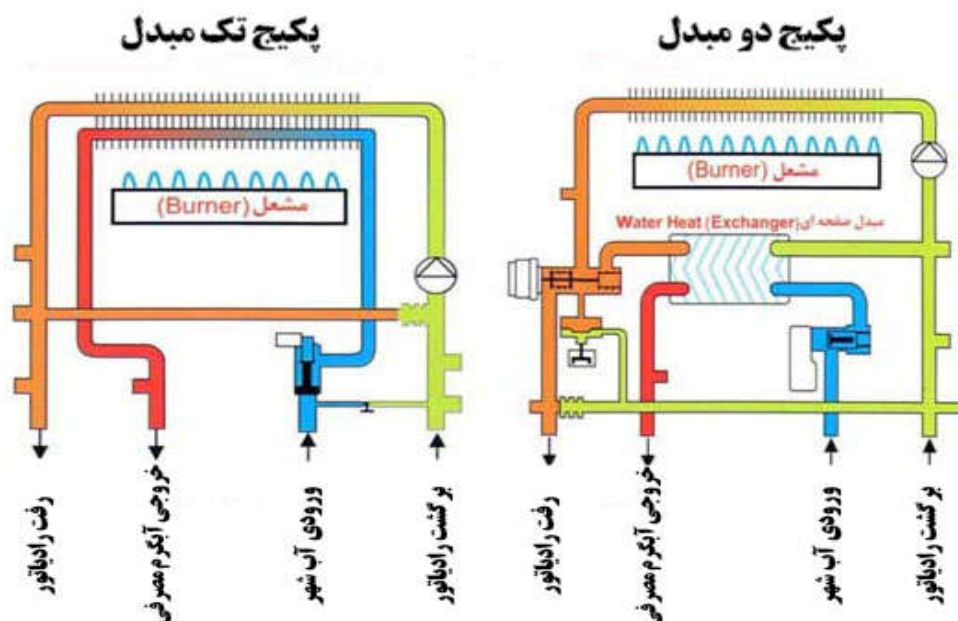
شکل ۵-۲۲: نمونه شومینه تزئین شده با سنگ [30].

۵-۱-۵- پکیج

پکیج سیستمی است که برای تامین گرمای خانه و آب گرم مصرفی مورد استفاده قرار می گیرد. پکیج ها به دو دسته گازی و برقی تقسیم بندی می شوند. این پکیج ها دارای مزایای گوناگونی بوده که از جمله آن می توان به اشغال کم فضا، نصب آسان و سریع با هزینه کمتر از موتورخانه، گرم کردن فوری آب اشاره کرد. استقلال هر واحد نیز از تمایزات مهم این سیستم در مقایسه با موتورخانه می باشد. از معایب این سیستم می توان به عدم تأمین آب گرم در زمان قطع برق و ناکارآمدی برای واحدهای با متراژ بالای ۳۰۰ متر و یا ساختمان های مرتفع یا دارای استخر اشاره کرد.

۱-۵-۱-۵- پکیج گازسوز

در سیستم پکیج گاز سوز، سنسور جریان آب وجود دارد که زمانی که شیر آب گرم باز می شود این سنسور به کار افتاده و آن را تشخیص می دهد و پس از آن جرقه زن پکیج، مشعل تعبیه شده برای تولید آب گرم را روشن کرده و پس از آن مبدل حرارتی پکیج، آبی که در آن جاری شده است را به مرور گرم می کند (شکل ۵-۲۳). از طرفی ترموستاتی در پکیج وجود دارد که مقدار گازی که به سمت مشعل می رود را کنترل کرده تا بتواند میزان دما را حفظ و کنترل نماید و سوخت را بهینه مصرف کند. این سیستم در مقایسه با سیستم معادل خود یعنی موتورخانه، عمر کمتری دارد. عدم توجه به نیاز تأمین هوای تازه یا اکسیژن مورد نیاز جهت احتراق سوخت مصرفی می تواند خطرات جبران ناپذیری را به دنبال داشته باشد. از دیگر مشکلات این سیستم در مقایسه با موتورخانه کاهش ظرفیت گرمایشی در صورت استفاده طولانی از آب گرم مصرفی است؛ و در صورت نیاز به تعمیر، منجر به رفت و آمد تکنسین به داخل واحد می باشد. در شکل ۵-۲۴ نمای داخلی و خارجی از یک نمونه پکیج قابل مشاهده است.



شکل ۵-۲۳: مقایسه دیاگرام پکیج تک مبدل و دو مبدل [31].



شکل ۵-۲۴: نمای داخلی و خارجی یک نمونه پکیج گاز سوز [32] [32].

۲-۵-۱-۵- پکیج برقی

این نوع از پکیج‌ها را برای مکان‌هایی استفاده می‌شوند، که دسترسی به گاز میسر نباشد. این سیستم نیز برای تأمین آب گرم گرمایش ساختمان و تأمین آب گرم مصرفی، کارایی دارد. در صورتی که دمای محیط از دمای پکیج کم‌تر باشد، ترموستات دستگاه یک سیگنال به بخش گرم‌کن سیستم ارسال کرده و از آن آب گرم می‌خواهد، در چنین شرایطی پکیج برای تأمین گرما روشن می‌شود. بنابراین آب به وسیله گرم‌کن برقی گرم شده و به رادیاتور وارد می‌شود تا گرمای اتاق را تأمین کند. بعد از عبور آب از گرم‌کن برقی، هوای اتاق و آب

رادیاتورها تبادل پیدا کرده، و آب موجود در رادیاتور گرمای خود را از دست داده و دوباره به داخل پکیج برمی گردد تا مجدد گرم شود. هنگامی که دمای اتاق به درجه تعیین شده رسید، ترموستات پکیج فرمان قطع گرمایش اتاق را می دهد و پکیج نیز خاموش می شود؛ بدین صورت دمای محیط قابل کنترل و تنظیم می باشد. در پکیج برقی با توجه به عدم نیاز به دودکش و عدم هدر رفت گرما از این طریق، بیشتر گرمای تولید شده صرف گرمایش آب می شود و درصد راندمان بسیار بالایی را به ارمغان می آورد. کارکرد بدون صدا و نگهداری آسان تر از نمونه گازی و همچنین ایمنی برقی به سبب وجود فیوز محافظ جان، از دیگر مزایای این سیستم است. در کنار تمام مزایای این سیستم باید به معایبی از قبیل هزینه قبض برق، تنوع کمتر و تعداد تعمیرکار کمتر و نیاز به رفت و آمد درون واحد جهت تعمیر این سیستم توجه کرد.



شکل ۵-۲۵: نمای داخلی و خارجی یک نمونه پکیج برقی دو مبدل [33].

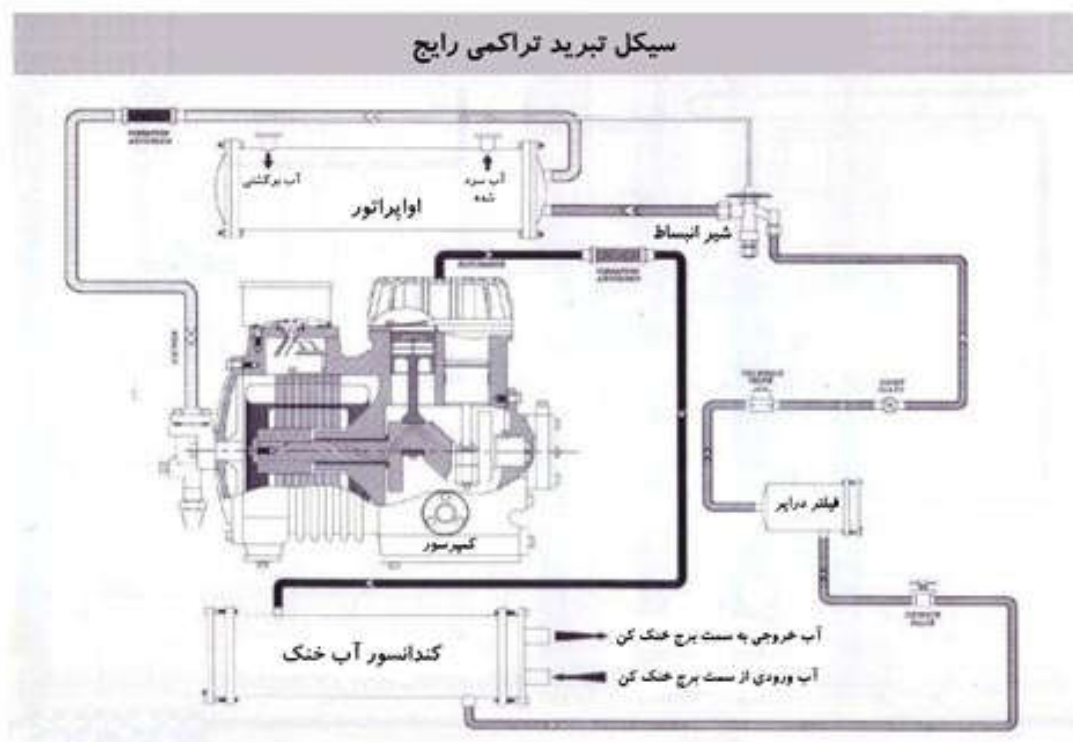
۲-۵- سیستم های مولد سرما

از جمله سیستم های مهم در تهویه مطبوع، سیستم های مولد سرما را می توان نام برد. این سیستم در فصول گرم سال، و به خصوص در مناطق گرمسیری نقش کلیدی در ایجاد یک تهویه مطبوع ایفا می کند. همان طور که پیش تر راجع به سیستم های مولد گرما مطرح شد، سیستم های مولد سرما نیز دارای انواعی هستند که با توجه به شرایطی نظیر آب و هوای اقلیم، هزینه، ارتفاع ساختمان و ... لازم است مناسب ترین آن انتخاب شود.

۱-۲-۵- چیلر تراکمی

چیلرهای تراکمی از جمله سیستم های سرماساز هستند. سیکل کاری چیلرهای تراکمی بر مبنای سیکل تبرید است که از یک سیال مبرد استفاده می کند (شکل ۵-۲۶). یک سیکل تبرید تراکمی در چهار مرحله تکمیل می شود. در مرحله اول، سیال مبرد با ورود به کمپرسور متراکم می شود و انرژی لازم را برای طی کردن فرایند سیکل دریافت می کند. سپس وارد بخش کندانسور می شود و دمای آن پایین می آید. به صورتی که تماماً به مایع اشباع تبدیل شود. مایع خروجی از بخش کندانسور باید از یک شیر انبساط عبور کند. عبور از شیر انبساط باعث افت شدید فشار سیال می شود و در نتیجه دمای سیال پایین آمده و تغییر فاز نیز می دهد. این سیال

پس از عبور از شیر انبساط وارد آخرین مرحله سیکل یا همان اواپراتور می‌گردد. در این مرحله است که سیال دمای محیط مورد نظر را کاهش می‌دهد. پس از عبور از این مرحله دوباره سیال مبرد باید وارد بخش کمپرسور شود تا این سیکل مجدداً تکرار شود.



شکل ۵-۲۶: سیکل تبرید چیلر تراکمی [34].

این سیستم تبریدی قدرت انتخاب بالایی را برای انتخاب واحدهای داخلی جهت خنک‌سازی محیط فراهم می‌سازد. به علاوه این امکان را فراهم می‌سازد تا هر واحد به صورت مجزا توسط تجهیزات الکترونیکی کنترل شود، و محیط به دمای مورد نظر برسد؛ و امکان نصب انواع ترموستات‌های محیطی را فراهم می‌سازد. همچنین در تأسیسات ساختمان ایجاد پیچیدگی نمی‌کند و فضای کمی را نیز اشغال می‌کند. البته برخلاف تأسیسات ساختمانی، در نصب و تعمیرات، این چیلرها دارای پیچیدگی هستند. با توجه به نوع کندانسور مورد استفاده، چیلرهای تراکمی به دو نوع آب خنک و هوا خنک تقسیم می‌شوند.

۱-۱-۲-۵- چیلر تراکمی آب خنک

در چیلرهای آب خنک از یک مبدل پوسته و لوله استفاده می‌شود؛ و با عبور آب از لوله و مبرد داغ از پوسته این انتقال حرارت انجام می‌شود. این چیلرها هزینه خرید اولیه و مصرف برق پایینی دارند و بر خلاف نوع هوا خنک نیازی به فضای آزاد برای استفاده از هوای آزاد ندارند. همچنین ابعاد و اندازه کوچکی مخصوصاً در ظرفیت‌های بالای برودتی دارا هستند. سطح صدا و لرزش کمی داشته و فشار کاری پایین و تهویه مطبوعی را

دارا هستند. همچنین راندمان سرمایشی بالایی داشته و برای مصارفی که احتیاج به دماهای زیر صفر می باشد، مناسب هستند. البته به علت استفاده از کندانسور بر مبنای آب، نیاز به برج خنک کننده، سیستم پمپاژ و سختی گیر آب جبرانی برج خنک کننده است. مصرف آب و هزینه تعمیر و نگهداری بالایی دارد و در انتخاب اقلیم مناسب دارای محدودیت است. در شکل ۵-۲۷ تصویر نمونه ای از این سیستم آورده شده است.



شکل ۵-۲۷: چیلر تراکمی آب خنک [3].

۲-۱-۲-۵- چیلر تراکمی هوا خنک

کندانسور هوا خنک، نوعی کویل هوا خنک می باشد، که یا به شکل فن و تیوب^۵ یا میکروکانال^۶ طراحی شده و جریان هوای محیط از روی آن عبور می کند. چنان که به کمک تعدادی فن محوری، جریان هوایی از روی کویل کندانسور شکل گرفته و از سوی دیگر بخار داغ مبرد خروجی از کمپرسور وارد لوله های کویل می شود و به این صورت انتقال حرارت انجام می شود. در شکل ۵-۲۸ نمای خارجی و کندانسور این سیستم قابل مشاهده است.

این چیلرها بر خلاف چیلرهای آب خنک به برج خنک کننده، سیستم پمپاژ و سختی گیر آب جبرانی برج خنک کننده احتیاج نداشته و در انتخاب اقلیم مناسب نیز محدودیتی ندارند. تنوع در ظرفیت های سرمایشی مختلف داشته و هزینه تعمیر و نگهداری پایینی را دارا هستند. البته هزینه خرید اولیه این نوع از چیلرها بالا بوده و مصرف برق بالایی دارند. همچنین نسبت به چیلرهای آب خنک راندمان سرمایشی پایین تر، ابعاد بزرگتر به خصوص در ظرفیت های بالای برودتی، فشار کاری بالاتر و سطح لرزش و صدای بیشتری نیز دارند. همچنین به دلیل استفاده از هوای آزاد در کندانسور، به فضای باز و دسترسی به هوای آزاد نیز نیاز است.

⁵ Fin & Tube

⁶ Micro Channel



کندانسور هوا خنک



چیلر تراکمی هوا خنک

شکل ۵-۲۸: چیلر تراکمی هوا خنک [3].

۵-۲-۲- مینی چیلر

مینی چیلرهای هواخنک مشابه چیلرهای هوا خنک هستند، که در ظرفیت‌های پایین مورد استفاده قرار می‌گیرند. این چیلرها سائز و ابعاد کوچک‌تری داشته (شکل ۵-۲۹) و در مقایسه با سایر چیلرها قیمت و مصرف انرژی پایین‌تر، و نصب و نگهداری راحت‌تری دارند. همچنین در آب و هوای مرطوب عملکرد مناسبی داشته و قابلیت لوله کشی برای فواصل طولانی و توانایی کنترل دقیق دما در هر فن کوئل متصل به مینی چیلر به صورت مستقل دارند، و به برج خنک‌کننده احتیاجی ندارند. از معایب آن می‌توان به طول عمر کوتاه و عدم پاسخگویی به نیازهای سرمایه‌شی اماکن بزرگ اشاره کرد.

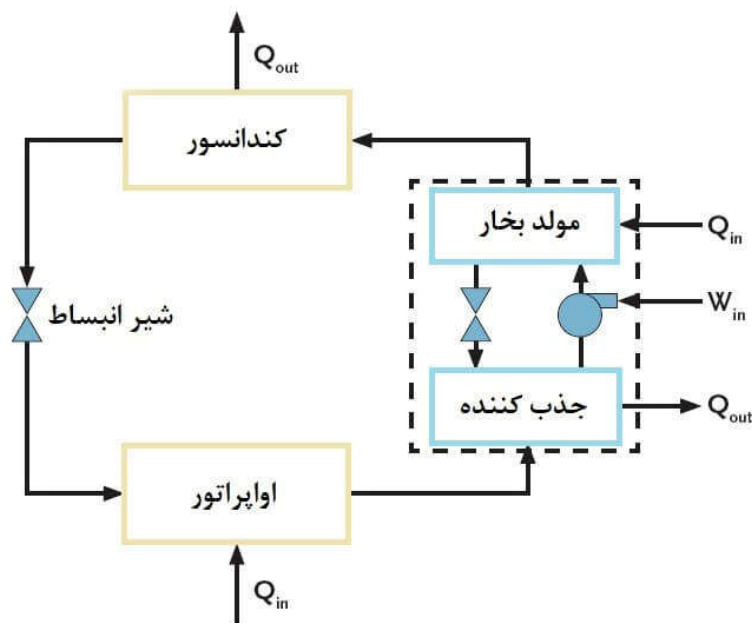


شکل ۱-۲۹: نمایی از مینی چیلر [3].

۳-۲-۵- چیلر جذبی

در چیلر جذبی^۷ نیز مانند چیلر تراکمی، با عملیات تبخیر در اواپراتور^۸ سرما ایجاد می‌شود، و سرمای ایجاد شده موجب کاهش دمای آب عبوری از اواپراتور می‌شود، و با گذر آب خنک از فن کویل‌ها^۹، سرمایش فضاهای مدنظر انجام می‌شود. ابتدا با ورود مبرد که همان آب مقطر می‌باشد به محفظه اواپراتور در فشار خلا، باعث تبخیر مبرد در دمای حدود 5°C می‌شود. برای خارج نمودن مبرد تبخیر شده از اواپراتور در چیلر جذبی از یک ماده جاذب رطوبت استفاده می‌شود. ماده جاذب ماده‌ای است که با جذب رطوبت، فشار محفظه را کاهش می‌دهد. گزینه مناسب و متداول برای رطوبت‌گیری استفاده از نمک‌ها است، که متخصصان این صنعت لیتیوم بروماید^{۱۰} را توصیه می‌کنند.

لیتیوم بروماید نمکی است که به صورت محلول، با جذب آب مقطر از اواپراتور رقیق می‌گردد. سپس محلول رقیق شده به وسیله پمپ ایزوربر^{۱۱} به ژنراتور^{۱۲} فرستاده می‌شود. ژنراتور مبدلی می‌باشد که با انتقال انرژی حرارتی به مدار لیتیوم بروماید رقیق باعث جداسازی مبرد که همان آب مقطر می‌باشد از محلول لیتیوم بروماید می‌شود و محلول غلیظ شده وارد ایزوربر و مبرد وارد چرخه اواپراتور می‌گردد (شکل ۵-۳۰).



شکل ۵-۳۰: چرخه کاری چیلر جذبی [35].

⁷ Absorption Chiller

⁸ Evaporator

⁹ Fan Coil

¹⁰ Lithium bromide

¹¹ Absorber

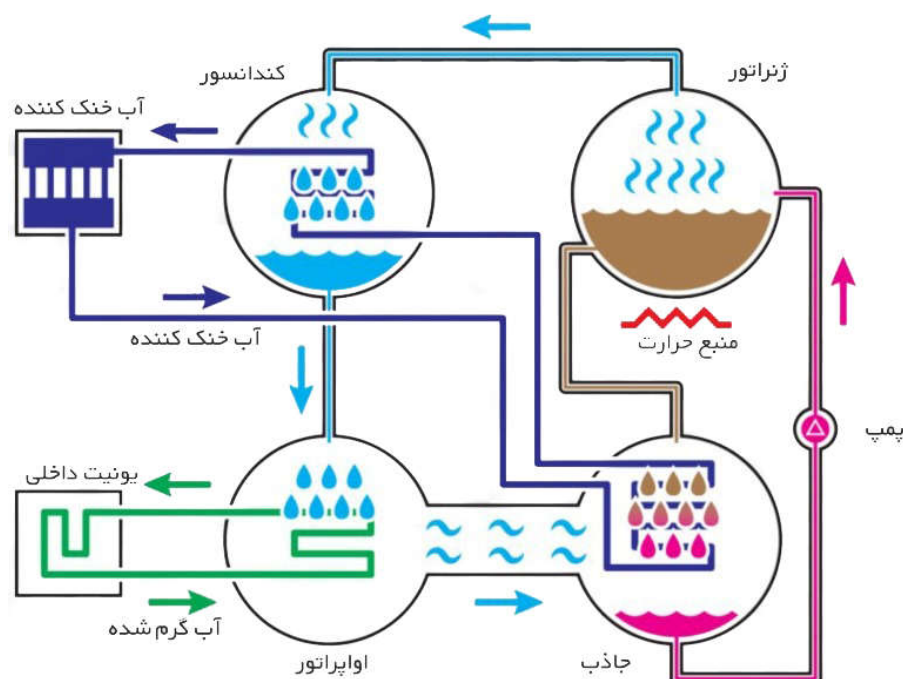
¹² Generator

چیلرهای جذبی نسبت به چیلرهای تراکمی صدای تولیدی کمتری داشته و به تجهیزات برق اضطراری احتیاجی ندارند. مصرف برق بسیار کمتری دارند، و به همین دلیل مناسب اماکنی هستند که برای تامین برق چیلرهای تراکمی با مشکل مواجه هستند. البته در مقایسه با چیلر تراکمی هزینه اولیه و فضای اشغال شده بیشتری داشته، و به دلیل وزن بالاتر نیاز به یک بستر محکم‌تری دارند. در مناطق مرطوب یا مناطق کم آب (به دلیل نیاز به آب کافی با خصوصیات قابل قبول) مناسب نیست و در محل نصب نیاز به دسترسی به سوخت‌های فسیلی دارد.

چیلرهای جذبی به دو نوع اصلی تک اثره و دو اثره تقسیم می‌شوند. در ادامه به بررسی این دو پرداخته می‌شود.

۱-۳-۲-۵- چیلر جذبی تک اثره

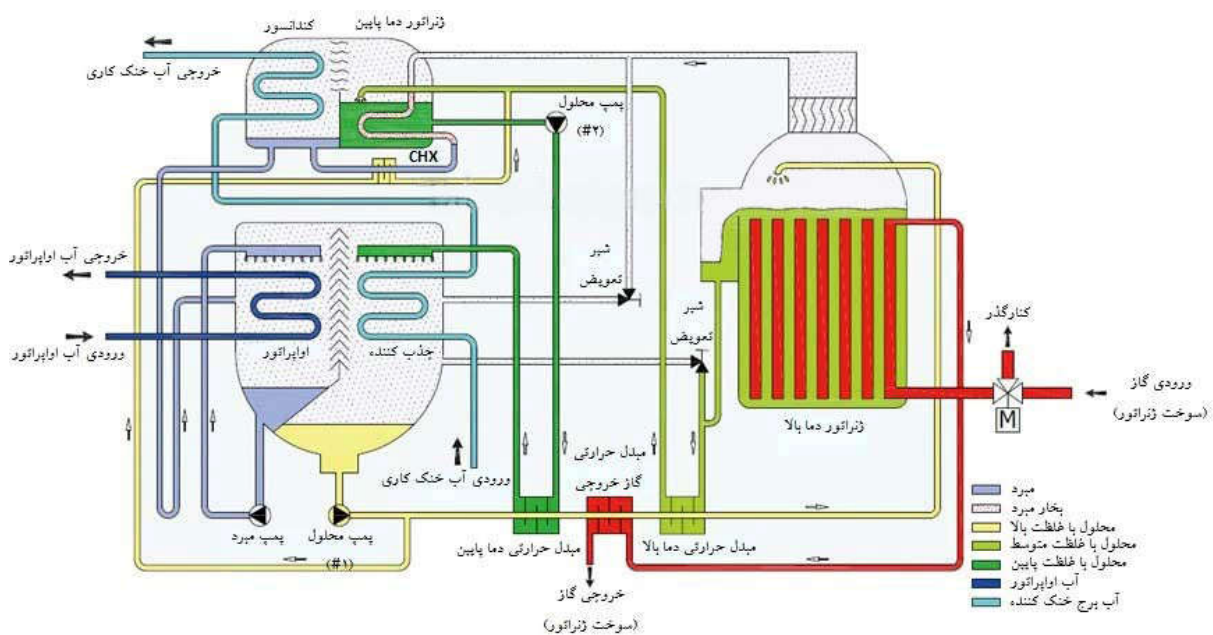
در چیلر جذبی تک اثره، مایع مبرد (آب) در قسمت اواپراتور که محفظه کم فشار سیکل جذبی است، گرمای جریان آب برگشتی از تجهیزات تبادل حرارتی را گرفته و تبخیر شده و سپس توسط ماده جاذب (لیتیوم بروماید) که در محفظه جاذب قرار دارد، جذب شده و وارد محفظه ژنراتور می‌شود (شکل ۵-۳۱). مطابق عملکرد چیلرهای جذبی که در بخش قبل توضیح داده شد، آب سرد شده در اواپراتور چیلر جذبی تک اثره که گرمای موجود در ساختمان را از تجهیزات تبادل حرارتی جذب کرده و با خود حمل می‌کند، در قسمت اواپراتور به مبرد انتقال داده و مجدد با دمای حدود ۶ یا ۷ درجه سانتی گراد به سمت تجهیزات تبادل حرارتی بر می‌گردد. لازم به ذکر این نکته است که این نوع از چیلر در بین انواع چیلرها دارای ضریب عملکرد پایین‌تری است.



شکل ۵-۳۱: شماتیک چرخه کاری چیلر جذبی تک اثره [36].

۲-۳-۵- چیلر جذبی دو اثره

چیلر جذبی دو اثره یا دو حالت از نظر فرآیند و چرخه سرمایش مشابه همان چیلر تک اثره است با این تفاوت که فرآیند غلیظ نمودن محلول جاذب و مبرد در دو مرحله صورت می‌گیرد. مرحله اول تغلیظ کردن در ژنراتور دما بالا و مرحله دوم در ژنراتور دما پایین انجام می‌شود. ژنراتور دما بالا تحت تاثیر گرمای بخار ارسالی از قسمت دیگ اصلی، عملیات تغلیظ را انجام می‌دهد و ژنراتور دما پایین با استفاده از بخار مبرد حاصل از عملیات ژنراتور اول، بخش دیگری از فرآیند تغلیظ را بر عهده دارد (شکل ۵-۳۲). این فرآیند تغلیظ در دو مرحله، سبب افزایش راندمان چیلرهای جذبی دو اثره می‌شود. همچنین در چیلرهای جذبی دو اثره به دلیل آنکه بخشی از بخار آب موجود در ژنراتور دما پایین، مجدداً بخشی از گرمای خود را به محلول نیمه رقیق جهت تغلیظ بیشتر ماده جاذب منتقل می‌کند، به انتقال حرارت کمتری برای تقطیر در کندانسور نیاز دارد. در نتیجه ظرفیت برج خنک‌کننده در چیلرهای جذبی دو اثره کمتر از چیلرهای تک اثره است.

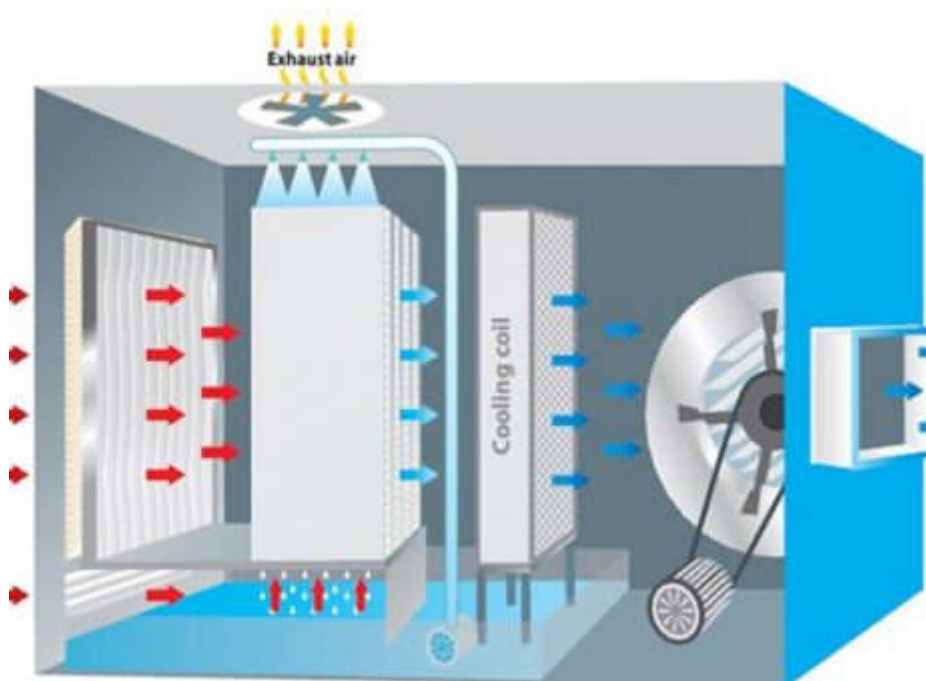


شکل ۵-۳۲: شماتیک چرخه کاری چیلر جذبی دو اثره [3].

۴-۲-۵- خنک‌کننده‌های تبخیری

همانطور که از اسم این روش پیداست، اساس کار این نوع از خنک‌کننده‌ها بر اساس تبخیر است. در این نوع خنک‌کننده‌ها که نمونه رایج آن کولرهای آبی است گرمای هوا از طریق آبی که بر روی پوشال‌ها ریخته می‌شود گرفته شده و هوای خنک شده از طریق محفظه کانال به سمت ساختمان یا محیط مورد نظر به منظور تهویه منتقل می‌شود (شکل ۵-۳۳). این سیستم قیمت بسیار مناسبی برای مصرف‌کننده نسبت به سایر روش‌ها دارد و مصرف انرژی پایینی نیز دارد. کاربری ساده و هزینه تعمیر و نگهداری پایینی دارد. البته قید این نکته

لازم است که این سیستم مناسب مناطقی با آب و هوای خشک است، و برای آب و هوای مرطوب و یا مناطقی که دمای هوا به بیش از ۴۰ درجه سانتی‌گراد می‌رسد کارایی ندارد. اگر چه این سیستم مزایایی مانند هزینه اولیه پایین دارد، اما دارای معایبی نیز هست. این سیستم قابلیت تنظیم دمای فضاهای مختلف را ندارد؛ و به جهت کانال‌کشی، زیبایی دکوراسیون داخلی را تحت شعاع قرار می‌دهد. مصرف آب بالایی داشته و رطوبت محیط را نیز افزایش می‌دهد. در این سیستم به دلیل رطوبت بالا امکان استفاده از کانال هوای برگشت وجود ندارد. به دلیل استفاده و گردش چند باره آب بدون فیلتراسیون امکان انتقال آلودگی آب به هوا وجود دارد. سیستم‌های سرمایش تبخیری برای اماکن دارای گرمای نهان بالا مثل سالن‌های ورزشی، تالارها و اماکن دارای پخت و پز زیاد یا افراد زیاد مناسب نیست.



شکل ۵-۳۳: شماتیکی از فرآیند خنک‌سازی در یک کولر آبی [37].

۳-۵- سیستم‌های مولد چهار فصل (هم سرمایش و هم گرمایش)

تا به این‌جا راجع به سیستم‌های مولد گرما و مولد سرما گفته شد؛ اما برخی دیگر از سیستم‌های مولد در تهویه مطبوع وجود دارند که هم بر سرمایش و هم بر گرمایش توانمند هستند و در تمامی فصول سال می‌توانند تهویه مطبوع را ایجاد کنند. این سیستم‌ها را چهار فصل می‌خوانند.

۱-۳-۵- چیلر جذبی شعله مستقیم

همانطور که در بخش‌های قبل اشاره شد، چیلر جذبی^{۱۳} یکی از سیستم‌های رایج در صنعت تهویه مطبوع است که بر اساس سیکل تبرید جذبی کار می‌کند. بر خلاف چیلرهای تراکمی که از انرژی الکتریکی و کمپرسور در سیکل تبرید تراکمی استفاده می‌کنند، نقطه عطف چیلرهای جذبی این است که با حذف کمپرسور، از انرژی گرمایی یا حرارتی به منظور تولید برودت بهره می‌برند و همین امر سبب کاهش مصرف برق در این نوع سیستم‌ها شده است. این انرژی گرمایی به عنوان محرک سیکل برودت جذبی می‌تواند از طریق بخار داغ، احتراق گاز طبیعی و حتی گرمای اتلافی یک فرایند تأمین شود.

چیلر جذبی شعله مستقیم^{۱۴} نوعی پرکاربرد از انواع دستگاه‌های سرمایشی است که در آن انرژی لازم برای به حرکت درآوردن سیکل کاری دستگاه، توسط یک مشعل و شعله مستقیم آتش تأمین می‌شود. این مشعل که در ژنراتور دستگاه جاسازی شده می‌تواند با استفاده از سوخت گاز طبیعی یا سوخت مایع (مانند گازوئیل یا نفت سفید) و... فرایند احتراق را در ژنراتور به وجود آورد. نحوه کار چیلر جذبی شعله مستقیم با وجود این که در طرح‌های گوناگونی ساخته می‌شوند، تقریباً یکسان است. سیکل برودتی چیلر جذبی به این ترتیب است که در اواپراتور، آب که مبرد اصلی سیکل است، با تبخیر شدن حرارت را جذب می‌کند و باعث ایجاد سرمایش می‌گردد. سپس آب بخار شده توسط لیتیوم بروماید در جاذب یا همان ابزوربر، جذب می‌شود و محلول رقیق لیتیوم بروماید به دست می‌آید. در ادامه این محلول به ژنراتور منتقل می‌شود، که در آنجا با استفاده از حرارت ژنراتور محلول به دو قسمت تقسیم می‌گردد. بخار آب به کندانسور منتقل شده که پس از میعان آماده است تا مجدداً در اواپراتور حرارت دریافت کند. لیتیوم بروماید نیز از ژنراتور به جاذب برگردانده می‌شود. به این ترتیب در چیلر جذبی حرارت در اواپراتور گرفته شده و در کندانسور دفع می‌گردد (شکل ۵-۳۴). نمای خارجی از یک نمونه چیلر جذبی شعله مستقیم در شکل ۵-۳۵ مشاهده می‌شود.

از جمله مزیت‌های این سیستم می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

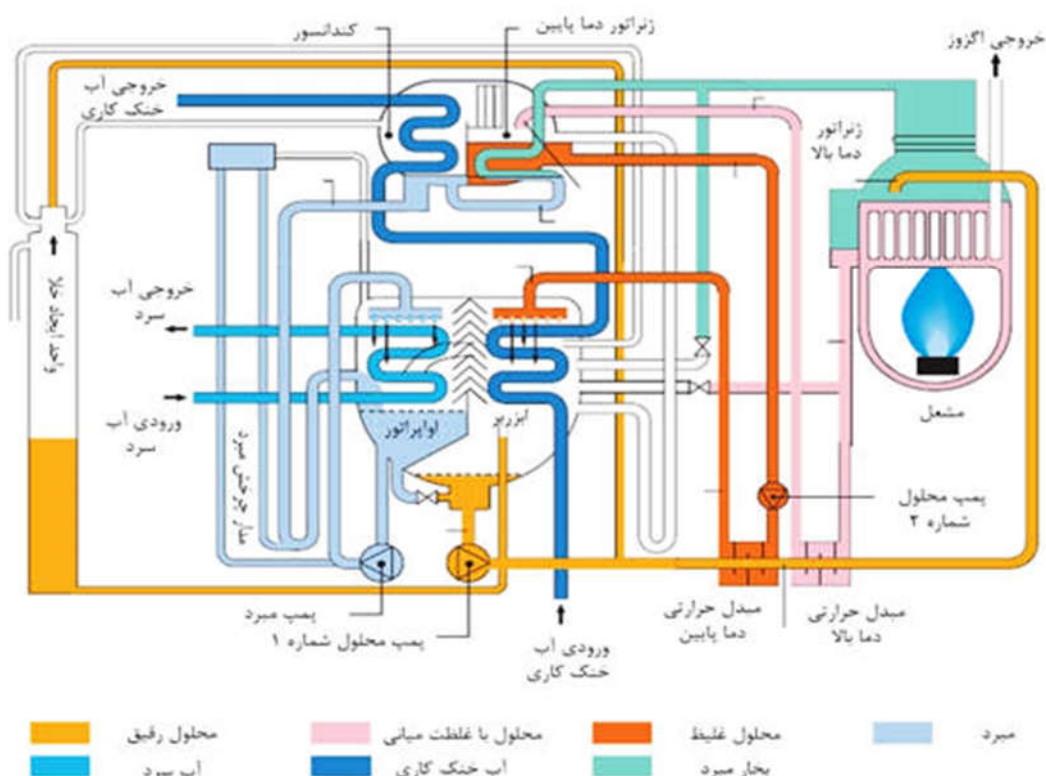
- ✓ عدم نیاز به مولد گرمایی جداگانه نسبت به سایر چیلرهای جذبی به دلیل دارا بودن مشعل.
- ✓ سر و صدای کمتری را در مقایسه با چیلرهای تراکمی ایجاد می‌کند.
- ✓ برای اماکنی که مشکل تأمین برق جهت استفاده از چیلرهای تراکمی (به جهت مصرف برق کمپرسورهای برقی) را دارند، مناسب می‌باشد.
- ✓ مصرف گاز به جای برق برای ایجاد برودت (سرمایش) که منجر به کاهش هزینه‌های جاری می‌شود. مخصوصاً در کشور ما که گاز شهری ارزان و قابل دسترس است. البته در چیلرهای جذبی هم مصرف برق به منظور راه اندازی پمپ‌ها، فن برج خنک کننده و مدار کنترلی داریم ولی مقدار آن در برابر چیلرهای تراکمی که با کمپرسور کار می‌کنند بسیار کمتر است.

¹³ Absorption Chiller

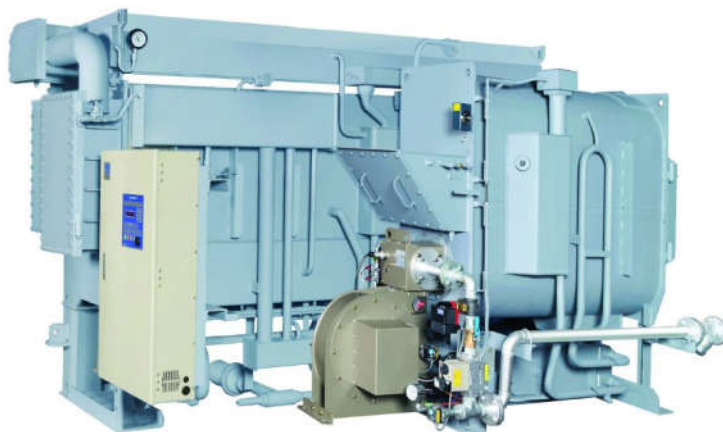
¹⁴ Direct Fired

این سیستم همانند سایر سیستم‌ها معایبی را نیز دارد. برخی از این معایب عبارتند از:

- ✓ دارای اثرات مخرب محیط‌زیستی حاصل از احتراق است.
- ✓ راندمان پایین‌تری نسبت به چیلرهای تراکمی دارند که موجب بالارفتن هزینه انرژی مصرفی می‌شود.
- ✓ حالت گرمایش در مناطق سردسیری و معتدل به صرفه و منطقی نیست.
- ✓ در صورت استفاده به صورت چهار فصل استهلاک و هزینه نگهداری بالایی دارد.
- ✓ هزینه اولیه و قیمت این چیلرها، بیشتر از چیلرهای تراکمی می‌باشد.
- ✓ برای مناطق کم آب به جهت نیاز به مقدار کافی آب با خصوصیات قابل قبول نامناسب است.
- ✓ نیازمند در دسترس بودن سوخت‌های فسیلی مانند گاز یا گازوئیل در محل نصب می‌باشد.
- ✓ با توجه به سیکل عملکرد و نیاز به خنک‌کاری با آب، برای مناطق مرطوب نامناسب است.
- ✓ به جهت وزن بالا، نیاز به بستر محکم‌تری در مقایسه با نمونه تراکمی دارد.
- ✓ فضای بیشتری را نسبت به نمونه تراکمی اشغال می‌کند.



شکل ۵-۳۴: دیاگرام چیلر جذبی شعله مستقیم دو اثره [38].



شکل ۵-۳۵: نمای خارجی یک نمونه از چیلر جذبی شعله مستقیم [39].

۲-۳-۵- پمپ حرارتی گازسوز GHP

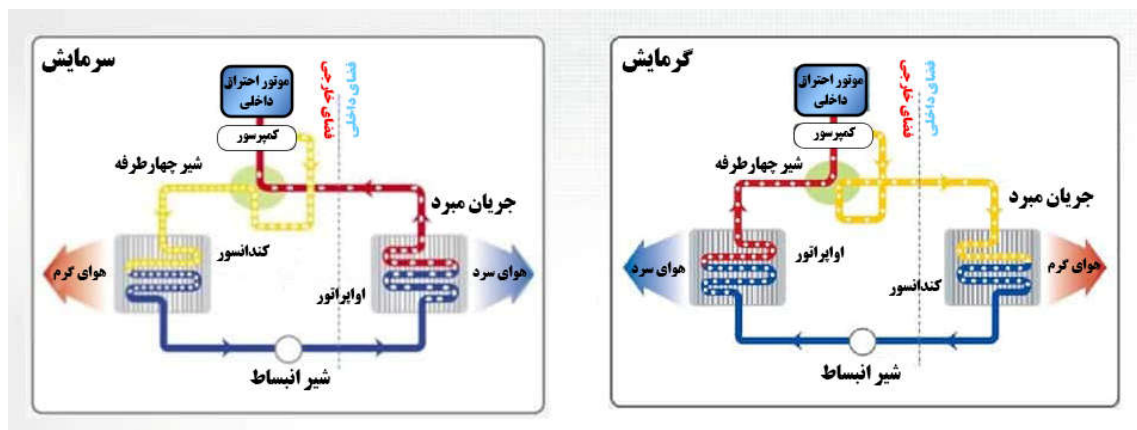
در این سیستم، تبرید تراکمی انجام می‌شود، با این تفاوت که کمپرسور در این سیستم به وسیله یک موتور احتراق داخلی گازسوز به حرکت در می‌آید و بخار مبرد خروجی از اواپراتور را متراکم می‌کند تا با فشار بالاتری راهی کندانسور شود. در کندانسور دمای بالای بخار مبرد از طریق سیال واسطه (عمدتاً هوا) وارد محیط می‌شود و به دلیل افت دمای ایجاد شده در ماده مبرد، تبدیل به مایع شده و در واقع عملیات چگالش در کندانسور رخ می‌دهد. سپس بعد از عبور از کندانسور مجدداً به شیر انبساط می‌رسد و این سیکل به طور پیوسته در سیستم GHP تکرار می‌شود (شکل ۵-۳۶). در واقع این سیکل تشریحی از عملکرد یک پمپ حرارتی^{۱۵} است که در بسیاری از سیستم‌های تهویه مطبوع کاربرد فراوانی دارد. به همین دلیل سیستم GHP (شکل ۵-۳۷) با نام هیت پمپ نیز شناخته می‌شود.

از جمله مزیت‌های این سیستم به موارد زیر می‌توان اشاره کرد:

- ✓ با استفاده از این سیستم هزینه برق ساختمان با توجه به سرمایش و گرمایش به وسیله گاز به شدت کاهش می‌یابد.
- ✓ گاز استفاده شده در این سیستم از نوع سازگار با محیط‌زیست است.
- ✓ با توجه به وجود موتور احتراق داخلی در این سیستم، کارکرد بدون افت راندمان در بازه دمایی ۲۵- تا ۵۴+ درجه سانتی‌گراد را دارد.
- ✓ در این سیستم نیاز به متعلقاتی چون دیگ بخار یا دیگ آب گرم، برج خنک‌کن، پست برق سه فاز و سایر تجهیزات موتورخانه‌ای و تأسیسات لوله‌کشی آب و ... نمی‌باشد.

¹⁵ Heat Pump

- ✓ با توجه به قطعات و سیکل سیستم، امکان تبدیل سریع از سیستم خنک کاری به سیستم گرمادهی و بالعکس فراهم است.
 - ✓ فضای مفید ساختمان با توجه به نصب در فضاهایی مانند پشت بام، اشغال نمی شود.
 - ✓ نیاز به سیکل یخ زدایی از کویل ها ندارد.
 - ✓ کارکرد کم سرو صدایی دارد.
 - ✓ در این سیستم نیاز به آب به صورت مستقیم و یا غیرمستقیم وجود ندارد.
 - ✓ قدرت انتخاب پنل های داخلی به سبب تنوعی که دارند، بالا می باشد.
 - ✓ کنترل مصرف انرژی با توجه به نیاز واحدهای مصرف کننده و استفاده از کمپرسورهای دور متغیر اسکرال منجر به بهینه سازی در مصرف انرژی در این سیستم شده است.
 - ✓ دارای راندمان بالا هستند و مصرف انرژی در بهینه ترین حالت را دارند.
 - ✓ با توجه به ساده سازی نحوه استفاده از این سیستم نسبت به سیستم های مرکزی دیگر مانند چیلر و موتورخانه، به اپراتور حرفه ای نیاز ندارد.
 - ✓ امکان کنترل دما به صورت مجزا برای هر پنل میسر است.
 - ✓ عیب یابی پیشرفته و اتوماتیک و قابلیت برنامه ریزی را دارا می باشد.
- معایب این سیستم بسیار محدود است و می توان مرکزی بودن، و عدم امکان استفاده همزمان از سرمایش و گرمایش و کمبود متخصص برای نگهداری و تعمیرات این سیستم را نام برد.



شکل ۵-۳۶: دیاگرام سیکل سرمایش و گرمایش سیستم GHP [40].



شکل ۵-۳۷: نمونه‌ای از یک سیستم GHP [41].

۳-۳-۵- پمپ حرارتی الکتریکی VRF

در این سیستم مایع مبرد حاصل از چگالش در یونیت خارجی، به انشعاب‌های مختلفی تقسیم و راهی یونیت‌های داخلی شده و بعد از عبور از شیر انبساط، وارد کویل سرمایش DX می‌گردد. از سمت دیگر، هوای ورودی به یونیت داخلی (هوای اتاق) از روی کویل عبور کرده و پس از کاهش دما به اتاق دمیده می‌شود. بنابراین در سیستم VRF نیز از سیکل تبرید تراکمی استفاده می‌شود. در فناوری VRF، به واسطه استفاده از کمپرسورهای دیجیتالی یا کمپرسورهای اسکرال اینورتردار، نرخ جریان^{۱۶} مبرد^{۱۷} ورودی به کویل یونیت‌های داخلی، می‌تواند متغیر^{۱۸} باشد. به این ترتیب با تغییر نرخ جریان مبرد، به راحتی امکان کنترل دمای هر فضا، بطور جداگانه وجود خواهد داشت.

از مزیت‌های فراوان این سیستم می‌توان به موارد ذیل اشاره کرد:

- ✓ در این سیستم با توجه به این که یکی از پیشرفته‌ترین تکنولوژی‌های روز دنیا در سیستم‌های تهویه مطبوع می‌باشد، راندمان مصرف انرژی در بالاترین مقدار است.
- ✓ با سرمایش و گرمایش ماژولار به کمک سیستم کنترل پیشرفته این سیستم، آسایش بهتری فراهم می‌شود.

¹⁶ Flow

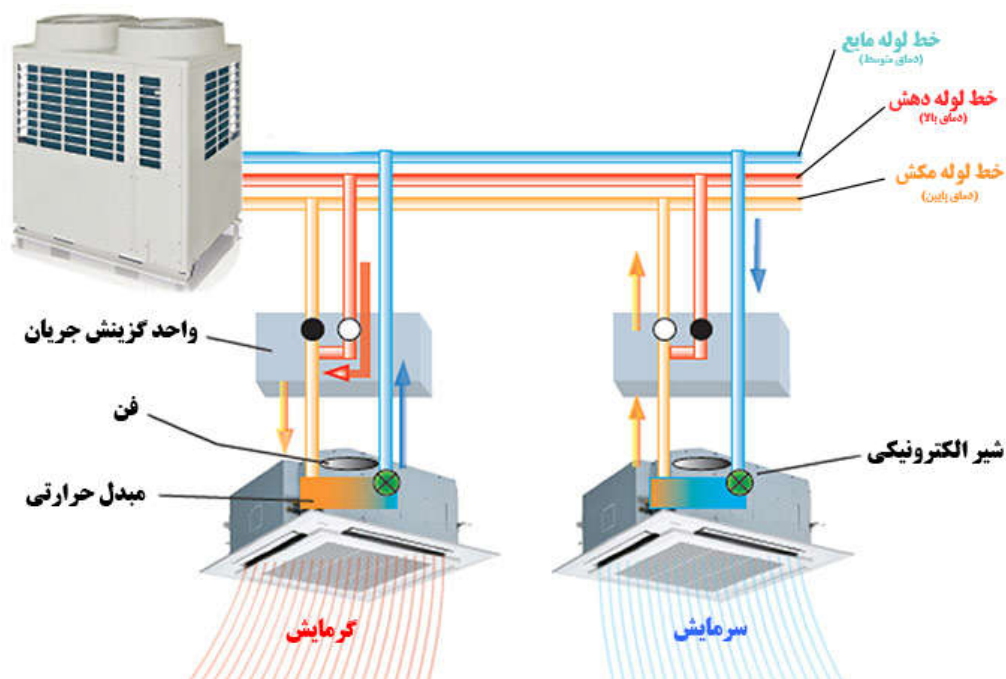
¹⁷ Refrigerant

¹⁸ Variable

- ✓ در این سیستم با استفاده از یک یونیت خارجی می‌توان از تعداد زیادی یونیت داخلی استفاده کرد.
- ✓ برای اماکن با تعداد زون بالا (مانند ساختمان‌های اداری و ...) گزینه مناسبی می‌باشد.
- ✓ در مقایسه با سیستم‌های اسپلیت دارای اتصالات الکتریکی کمتری می‌باشد.
- ✓ انجام لوله‌کشی مبرد در مترها‌های بالا در این سیستم امکان پذیر است.
- ✓ امکان سرمایش و گرمایش همزمان تمامی بخش‌های فضای داخلی در نوع سه لوله‌ای سیستم‌های VRF (مانند فن کویل‌های چهار لوله‌ای) مزیت خاص این سیستم می‌باشد.
- ✓ در سیستم VRF کنترل دما در هر فضا، به شکل مستقل و مجزا امکان پذیر است.
- ✓ این سیستم در مقایسه با سیستم اسپلیت (کولر گازی) و داکت اسپلیت مصرف برق کمتری دارد.
- ✓ به جهت سرمایش خشک و رطوبت‌گیری از محیط برای مناطق مرطوب بسیار مناسب است.
- ✓ بدون نیاز به لوله‌کشی گاز، اجرای دودکش و کانال ورودی هوای احتراق و استفاده از گازهای سازگار با لایه اوزون از ویژگی‌های مطلوب محیط زیستی این سیستم است.
- ✓ کارکرد بسیار کم صدا و ظاهر زیبا در کنار هزینه تعمیرات و نگهداری پایین از دیگر مزیت‌های این سیستم می‌باشد.

در کنار تمام مزیت‌هایی که این سیستم دارد، می‌توان به معایبی از قبیل موارد زیر اشاره کرد:

- ✓ برای کاربری‌هایی که به هوای تازه نیازمندند (مانند کاربری‌هایی نظیر بیمارستان، آزمایشگاه، تالارها و...) در صورتی که از هواساز برای تأمین هوای تازه استفاده نشود، نامناسب است.
- ✓ اجرای این سیستم (با توجه به مواردی چون لوله‌کشی‌های طولانی و...) پیچیدگی‌های خاص خود را دارد.
- ✓ برای کارکرد بدون دردسر، این سیستم دقت و نگهداری بسیار مناسبی (همانند چیلرهای بزرگ) را می‌طلبد.
- ✓ احتمال نشتی مبرد به جهت لوله‌کشی‌های طولانی سیستم بالاست.
- ✓ عیب‌یابی و پیدا کردن محل نشتی در هنگام نصب بسیار سخت و زمان‌بر است.
- ✓ استفاده از کمپرسور جهت تولید گرمایش منجر به هزینه برق بالا در این سیستم شده است.
- ✓ امکان تغییر جای یونیت داخلی در صورت تغییر معماری با توجه به لوله‌کشی‌های طراحی اولیه امکان پذیر نیست.



شکل ۵-۳۸: دیاگرام کلی از نمونه سه لوله‌ای سیستم‌های VRF [42].



شکل ۱-۳۹: نمایی از سیستم‌های VRF نصب شده روی پشت بام [43].

۴-۳-۵- دستگاه اسپلیت یونیت (کولر گازی)

سیستم‌های کولرگازی اسپلیت مانند سیستم‌های تراکمی که در بخش‌های قبل توضیح داده شد، در حالت سرمایش، مبنی بر تبرید تراکمی، مبرد در فاز گاز درون کمپرسور متراکم شده و با فشار به سمت کندانسور می‌رود. در آنجا گرما را از دست داده و تبدیل به مایع می‌شود. سپس مایع خارج شده از کندانسور از شیر انبساط عبور کرده و دچار افت فشارشدید می‌شود که در اثر این افت فشار، حالت مایع به خود گرفته و به سمت ورودی اواپراتور هدایت می‌شود. در اواپراتور تحت تأثیر دمای محیط، تبخیر و دوباره تبدیل به گاز شده و بنابراین در اواپراتور سرمایش ایجاد می‌شود. هوای اتاق با گردش فن خنک کننده (در پنل داخلی) از یک

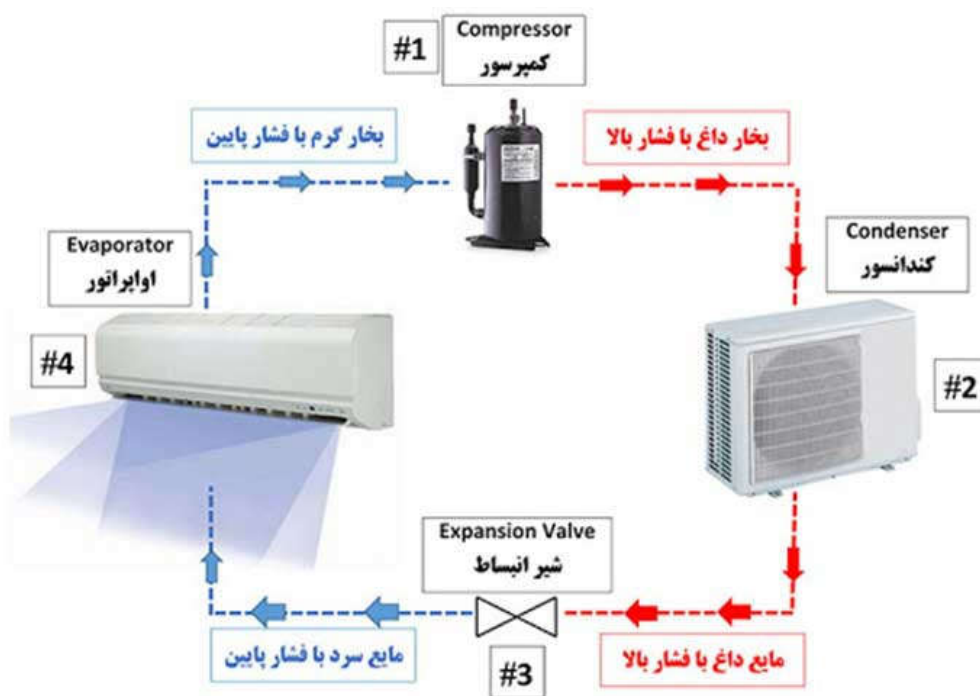
سمت پنل داخلی وارد شده و بعد از عبور از بین کویل اواپراتور، سرد شده و از سمت دیگر به داخل اتاق هدایت می‌شود. مبرد تبخیر شده در اواپراتور دوباره توسط کمپرسور مکش شده و این چرخه ادامه می‌یابد (شکل ۵-۴۰). در حالت گرمایش، این سیکل وارونه شده و جای اواپراتور و کندانسور جابه‌جا می‌شود. دو نمونه از این سیستم در شکل ۵-۴۱ مشاهده می‌شود.

برخی از مزایای این سیستم عبارتند از:

- ✓ بر خلاف سیستم‌های داکت اسپلیت، امکان کنترل مستقل دما در فضاهای مختلف ساختمان از طریق پنل داخلی میسر است.
- ✓ به جهت فن‌دار بودن پنل داخلی، سرمایش و گرمایش یکنواختی را ایجاد می‌کند.
- ✓ به جهت سرمایش خشک و رطوبت‌گیری از محیط مناسب مناطق مرطوب می‌باشد.
- ✓ سرمایش مطبوع، داشتن ترموستات دمایی و تنظیم دمای مطلوب نیز از جمله ویژگی‌های این سیستم است.

همچنین برخی از معایب آن نیز عبارتند از:

- ✓ محدودیت ظرفیت دارد، و برای فضاهای بزرگ نامناسب است.
- ✓ فاصله بین یونیت‌های داخلی و خارجی نباید بیش از ۱۵ متر فاصله داشته باشند.
- ✓ حالت گرمایش با توجه به ارزان‌تر بودن هزینه گاز نسبت به برق، مقرون و به صرفه نیست.
- ✓ با توجه به کیفیت پایین گرمایش تولید شده، برای مناطق سردسیری نامناسب می‌باشد.
- ✓ در ظرفیت مشابه، مصرف برق بیشتری را نسبت به داکت اسپلیت دارد.
- ✓ امکان استفاده از هوای تازه و ایجاد فشار مثبت در فضای داخلی برای تهویه در این سیستم میسر نیست و در نتیجه برای اماکنی که نیاز به هوای تازه باشد مناسب نمی‌باشد.



شکل ۵-۴۰: دیاگرام سیکل تبرید اسپلیت یونیت [4].



شکل ۵-۴۱: دو نمونه از اسپلیت یونیت [44] [45].

۵-۳-۵- داکت اسپلیت

این سیستم مانند اسپلیت دیواری از دو بخش یونیت داخلی (هواساز) و یونیت خارجی (گندانسور) تشکیل شده است؛ و بدین صورت عمل می‌کند که مکش هوای داخلی و ایجاد سرمایش و یا گرمایش به عهده یونیت داخلی می‌باشد. عمل سرمایش این دستگاه مانند اسپلیت یونیت است. اما در خصوص عمل گرمایش دو شیوه وجود دارد. یکی آن‌که سیکل تراکمی در مدار باشد و تنها با تغییر در جهت حرکت مبرد، جای اوپراتور و کمپرسور تغییر کرده، و هوای عبور داده‌شده از روی کویل هواساز گرم شود و به محیط بازگشت داده‌شود (همانند اسپلیت یونیت). با توجه به هزینه‌ی بالای برق در این شیوه، روش دیگری بجای استفاده از

سیکل تراکمی وجود دارد. در این شیوه از آب گرم تولید شده توسط پکیج یا موتورخانه استفاده می‌شود، تا از کویل تعبیه شده در دستگاه عبور کند، و با این کار هوای عبوری از روی کویل را گرم می‌کند و به محیط منتقل می‌نماید (مانند فن کویل). در عمل سرمایش منبع مصرفی سیستم، برق و در عمل گرمایش به شیوه دوم گاز است.

داکت اسپلیت در سقف کاذب ساختمان‌ها قرار می‌گیرد و به وسیله کانال‌هایی که به آن‌ها متصل می‌شود، هوای گرم یا خنک را در محیط پخش می‌کند. نمونه‌ای از این سیستم در شکل ۵-۴ آورده شده است.

از جمله مزایای این سیستم می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

- ✓ در این سیستم می‌توان چندین فضا را به صورت همزمان تهویه کرد.
- ✓ برای مناطق گرمسیر تا دمای ۵۴ درجه سانتی‌گراد پاسخ مطلوبی دارد.
- ✓ به جهت سرمایش خشک و رطوبت‌گیری از محیط مناسب مناطق مرطوب می‌باشد.
- ✓ با توجه به توضیحات ذکر شده در شیوه دوم گرمایش، امکان نصب کویل آب گرم جهت عمل گرمایش و در نتیجه صرفه جویی در مصرف برق در فصول سرد سال دارد.
- ✓ این سیستم مجهز به فیلتر ضد قارچ با قابلیت شست و شو می‌باشد.
- ✓ برای تنظیم دلخواه دمای محیط به ترموستات مجهز است.
- ✓ مصرف برق کمتر این سیستم نسبت به اسپلیت یونیت در فصل تابستان، کاهش قبض برق را در پی دارد.
- ✓ برای فضاهای کوچک و بزرگ مناسب است.
- ✓ این سیستم را می‌توان متناسب با گرم‌ترین و سردترین مناطق طراحی کرد.
- ✓ استقلال واحدهای ساختمانی از یکدیگر در این سیستم امکان پذیر است.
- ✓ تامین هوای تازه با اکسیژن بالا از بیرون و ارسال آن به درون ساختمان در برخی از مدل‌ها امکان پذیر است.

همچنین از جمله معایب این سیستم می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

- ✓ تنظیم دمای تک‌تک فضاهای داخلی امکان پذیر نیست.
- ✓ فاصله بین یونیت های داخلی و خارجی نباید بیش از ۱۵ متر فاصله داشته باشند.
- ✓ ظرفیت خنک‌سازی دستگاه داکت اسپلیت از اسپلیت کمتر است.
- ✓ نصب و راه‌اندازی داکت اسپلیت بسیار سخت است.
- ✓ صدای کارکرد کمی مزاحمت ایجاد می‌کند.
- ✓ نسبت به چیلر و مینی‌چیلر مصرف برق بیشتری دارد.



شکل ۱-۴۲: نمونه‌ای از سیستم داکت اسپلیت [7].

۶-۳-۵- دستگاه اکونوپک

این نوع سیستم‌ها برای برطرف کردن هر دو نیاز سرمایش و گرمایش طراحی شده‌اند و بسته به نیاز مشتری می‌توانند دارای اجزای مختلف و چیدمان‌های داخلی متفاوتی باشند. اکونوپک یک سیستم سرمایشی و یک سیستم گرمایشی درون یک دستگاه است (شکل ۵-۴۳) که هم منبع تولید کننده گرمایش و سرمایش و هم توزیع کننده آن همگی در یک پک اقتصادی به نام اکونوپک تعبیه شده‌است. در حالت سرمایش با در نظر گرفتن میزان هزینه کارفرما می‌توان به سه شیوه، استفاده از کویل‌های آب سرد و اتصال آن به چیلر، استفاده از پدهای سلولوزی (پوشال) همانند دستگاه زنت و یا استفاده از نازل‌های پاشش آب همانند دستگاه ابروآش طراحی، تولید و نهایتاً خریداری کرد. در حالت گرمایش اکونوپک از یک مشعل و کوره هوای گرم که با استفاده از سوخت گاز شهری یا گازوئیل و یا ... کار می‌کند، تشکیل شده‌است.

از مزیت‌های این سیستم می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

- با توجه به نداشتن کمپرسور مصرف برق بسیار پایین است.
- از اتلاف انرژی‌های مسیر انتقال (لوله‌کشی) از واحد تولید به واحد توزیع در این سیستم جلوگیری می‌شود.
- هزینه‌های عایق‌کاری لوله‌ها و مسیر انتقال حرارت در این سیستم وجود ندارد.
- در اکونوپک هزینه‌های احداث و نگهداری به سبب عدم نیاز به موتورخانه کاهش می‌یابد.

- مناسب سوله‌ها، سالن‌ها و اماکن با فضای بزرگ به دلیل گرمایش بسیار قوی می‌باشد.
- امکان فیلتر کردن هوای ورودی به محیط به جهت مجهز بودن به انواع فیلترهای قابل شستشوی فراهم می‌باشد.
- هزینه‌های اولیه، جاری و نیز نگهداری و تعمیر اکونوپک به خاطر سادگی آن نسبت به سایر سیستم‌های تهویه مطبوع کمتر است.

از معایب این سیستم جامع و بهینه می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

- در صورت کانال کشی طولانی اتلاف حرارتی زیادی به وجود می‌آید.
- به دلیل صدای کارکرد فن مزاحمت صوتی ایجاد می‌کند.
- در صورت استفاده سرمایش به حالت زنت و ابروآشر برای مناطق مرطوب و یا سالن‌هایی که تجمع افراد زیاد است، مناسب نیست.
- امکان استفاده از کانال هوای برگشت به دلیل رطوبت بالای هوای خروجی دستگاه در حالت زنت و ابروآشر فراهم نیست.
- برای مناطق بسیار گرم با بیشینه دمای بیش از ۴۰ درجه سانتیگراد مناسب نمی‌باشد.



شکل ۵-۴۳: نمای خارجی یک نمونه از اکونوپک [46].

۴-۵- سیستم‌های نیمه مولد چهارفصل (مولد سرمایش، توزیع گرمایش)

این سیستم‌ها در اصل مولد سرما هستند که با یک تغییر و تعبیه یک کویل آب گرم و اتصال به مولد گرما می‌توان از آن برای تأمین گرمایش نیز استفاده کرد.

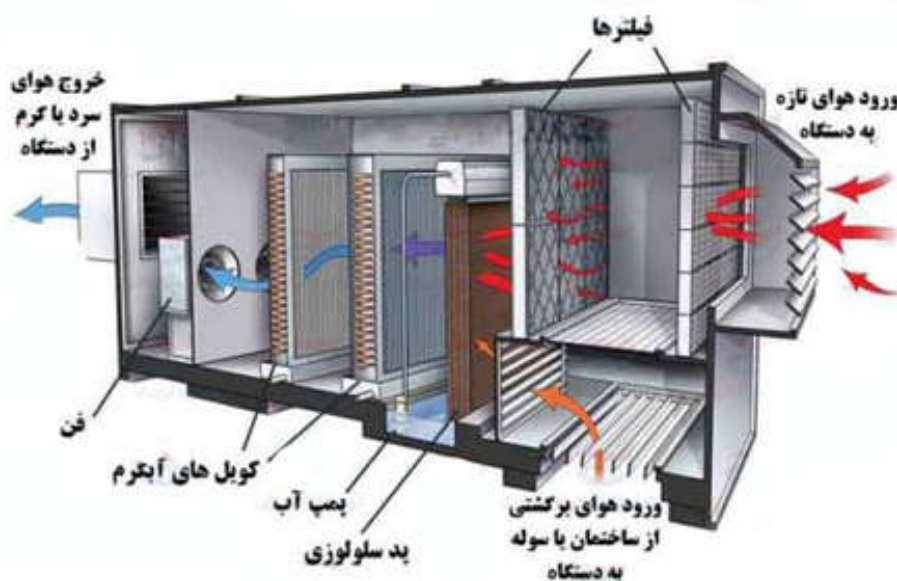
۱-۴-۵- نیمه مولد نوع تبخیری

در این نوع سیستم‌ها تولید سرما بر اساس سیستم‌های تبخیری که پیش‌تر توضیح داده شد انجام می‌شود و به منظور گرمایش کویل مخصوص آب گرم به مجموعه اضافه می‌شود و با ورود آب گرم (موتورخانه یا پکیج) به داخل کویل و یک فن، گرمایش انجام می‌شود. این سیستم شامل دو نوع زنت و ایرواشر هست که با کویل ترکیب می‌شوند. در ادامه مزایا و معایب هر کدام بررسی می‌شود.

۱-۴-۵-۱- زنت سرمایشی به همراه کویل آب گرم

زنت از سر وازه سه لغت زمستانه، نیمه و تابستانه گرفته شده‌است و از لحاظ سیکل کاری همانند سیستم‌های تبخیری با در تماس بودن هوای خشک ورودی با آب در یک محفظه آدیاباتیک دمای هوا تا دمای مرطوب کاهش یافته و همزمان به حالت کاملاً اشباع می‌رسد. البته در عمل هوای خروجی هیچ‌گاه به حالت اشباع کامل نمی‌رسد. به منظور استفاده از گرمایش همانطور که گفته شد، کویل مخصوص آب گرم به مجموعه اضافه می‌شود و با ورود آب گرم به داخل کویل و یک فن گرمایش انجام می‌شود (شکل ۵-۴۴). نمای خارجی یک نمونه از این سیستم، در شکل ۵-۴۵ مشاهده می‌شود.

از نظر قیمت هزینه بسیار کمتری نسبت به سیستم‌های مشابه نظیر روفتاپ پکیج و یا ترکیب چیلر و هواساز دارد. همچنین از نظر ابعادی کوچکتر از ایرواشر است و به دلیل وزن پایین نیاز به زیرسازی سبک‌تری برای جایگذاری دستگاه دارد. نصب و راه اندازی آسان و کم هزینه‌ای دارد و به دلیل نداشتن کمپرسور مصرف انرژی و برق پایینی دارد. توانایی تأمین هوای تازه و ایجاد فشار مثبت و قابلیت استفاده به صورت چهار فصلی نیز از مزایای این سیستم است. نسبت به رادیاتور مدت زمان کمتری برای گرم نمودن فضای مدنظر دارد و به لوله‌کشی احتیاجی ندارد. در زمستان قابلیت رطوبت زنی به هوا را داشته و جریان ملایم و گردش مناسبی در درون ساختمان ایجاد می‌کند. البته به علت رطوبت بالای هوای خروجی امکان استفاده از کانال هوای برگشت وجود ندارد و در شرایط اقلیمی مرطوب و یا مناطق بسیار گرم با بیشینه دمای بالاتر از ۴۰ درجه سانتی‌گراد و اماکن با گرمای نهان بالا مانند مساجد و حسینیه‌ها که تراکم جمعیت در آن‌ها وجود دارد و یا آشپزخانه‌ها و رستوران‌ها، قابل استفاده نیست. در مقایسه با سیستم‌های مشابه نظیر روفتاپ پکیج سرمایش ضعیف‌تری دارد، و برخلاف دستگاه‌های هواساز امکان کنترل دمای هوای خروجی در فصول گرم را ندارد. مصرف آب زیادی دارد و امکان انتقال آلودگی آب به هوا با توجه به گردش چند باره آب بدون فیلتراسیون وجود دارد.



شکل ۵-۴۴: نمای داخلی یک نمونه از سیستم زنت [2].

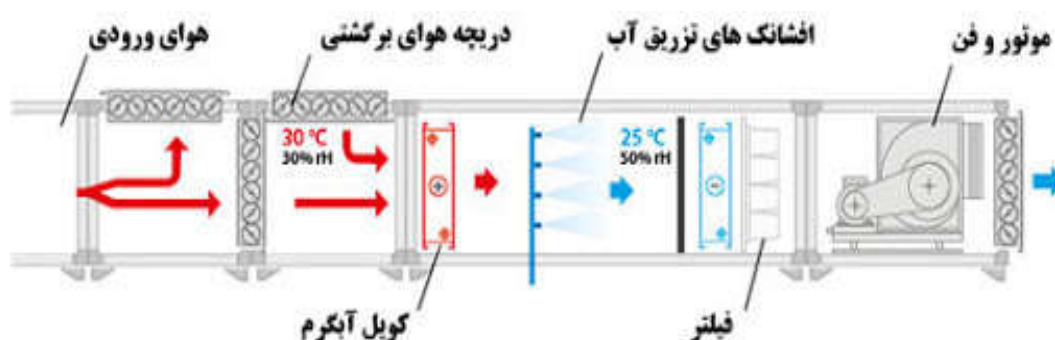


شکل ۵-۴۵: نمای خارجی یک نمونه از سیستم زنت [47].

۲-۱-۴-۵- ابرواشر سرمایشی به همراه کویل آب گرم

ابرواشر سرمایشی به این صورت عمل می‌کند که آب با فشار بالا توسط افشانک در مسیر عبور هوا پاشیده می‌شود و ذرات آب با برخورد به هوای عبوری، دمای هوا را گرفته و تبخیر شده و هوا را خنک می‌کنند. نحوه استفاده از گرمایش نیز به این صورت است که مانند زنت، کویل مخصوص آب گرم به مجموعه اضافه شده و با ورود آب گرم به داخل کویل و یک فن، گرمایش انجام می‌شود (شکل ۵-۴۶). در شکل ۵-۴۷ نمای خارجی یک نمونه از این سیستم را می‌توان دید.

از مزایای این سیستم می‌توان به قیمت اولیه پایین، تعمیرات ارزان، نگهداری آسان، صدای کم و مصرف بهینه آب و برق اشاره کرد. در ایرواشرهای ساختمانی از برق تک فاز استفاده می‌شود. قابلیت فیلتراسیون هوا با نصب فیلتر هوای ورودی مناسب داشته، و توانایی بالایی در گرمایش و سرمایش فضاهای بزرگ و سالن‌ها دارد. همانند دستگاه زنت در ایرواشر نیز سرمایی ترکیبی با کویل آب گرم به علت رطوبت بالای هوای خروجی امکان استفاده از کانال هوای برگشت وجود ندارد و در شرایط اقلیمی مرطوب و یا مناطق بسیار گرم با بیشینه دمای بالاتر از ۴۰ درجه سانتیگراد و اماکن با گرمای نهان بالا مانند مساجد و حسینیه‌ها که تراکم جمعیت در آن‌ها وجود دارد و یا آشپزخانه‌ها و رستوران‌ها، قابل استفاده نیست. سایز دستگاه بزرگ بوده و در جانمایی دستگاه محدودیت وجود دارد. در این سیستم تمیزکاری و برنامه نگهداری مرتب کوتاه مدت جهت جلوگیری از گرفتگی افشانک‌ها نیاز است. همچنین امکان انتقال آلودگی آب به هوا با توجه به گردش چند باره آب بدون فیلتراسیون وجود دارد.



شکل ۵-۴۶: نمای شماتیک یک نمونه از سیستم ایرواشر [2].



شکل ۵-۴۷: نمای خارجی یک نمونه از سیستم ایرواشر [48].

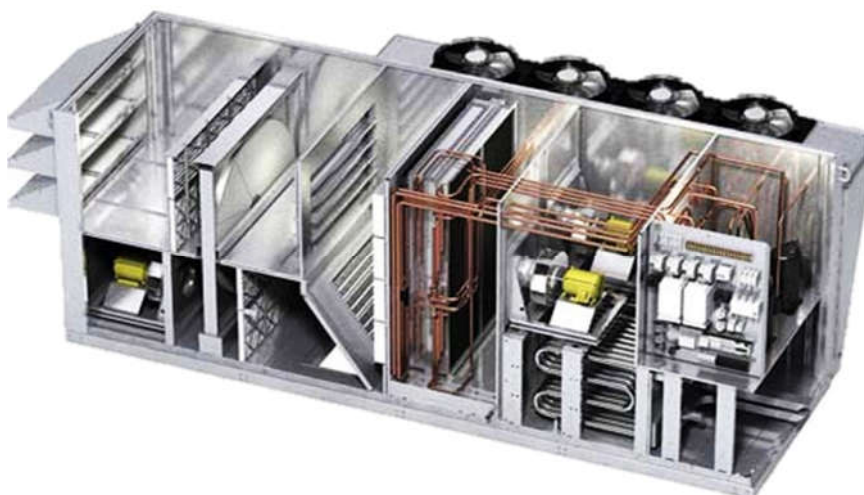
۲-۴-۵- نیمه مولد نوع تراکمی

در نوع تراکمی سیستم‌های نیمه مولد نیز همانند نوع تبخیری اساس سیستم تولید سرما می‌باشد؛ با این تفاوت که در این سیستم تولید سرما بر اساس روش تراکمی انجام می‌شود که پیشتر توضیح داده شد. در این سیستم، از تجهیز روفتاپ پکیج (پکیج یونیت) به همراه کویل آب گرم استفاده می‌شود.

۱-۲-۴-۵- دستگاه روفتاپ پکیج (پکیج یونیت)

روفتاپ پکیج از دو بخش چیلر و هواساز تشکیل شده است که چیلر وظیفه تولید سرما دارد، و در قسمت هواساز نیز کویل آب گرم موجود است، که با اتصال به پکیج یا موتورخانه توانایی تولید گرما را نیز پیدا می‌کند. نمایی از این دستگاه در شکل ۵-۴۸ مشاهده می‌شود. در شکل ۵-۴۹ نمای خارجی یک نمونه از این سیستم را می‌توان دید.

این تجهیز راندمان بالایی داشته و آلودگی صوتی کمتری ایجاد می‌کند. به دلیل نصب بر روی پشت بام در فضا صرفه‌جویی شده و در برابر سرقت ایمن است. در تأمین میزان سرمایش و گرمایش فضا به دلیل امکان اضافه یا کم کردن روفتاپ پکیج انعطاف‌پذیری وجود دارد. همچنین به دلیل قرارگیری همه تجهیزات (البته به جز کانال) در یک پکیج، هزینه نصب پایینی دارد. امکان استفاده از هوای محیط و نصب انواع مختلف PLC را داشته و تعمیر و نگهداری آسانی دارد. در این سیستم به لوله‌کشی‌های طولانی احتیاجی نیست. از مزایای مهم این دستگاه قابل کنترل بودن آن به وسیله ترموستات است. همچنین امکان استفاده از کانال هوای برگشتی وجود داشته و تنوع گرمایش بالایی (به صورت کوره‌های گازی، برقی و یا کویل آب گرم) دارد. از معایب این تجهیز می‌توان به وزن زیاد، کانال‌کشی افقی روی پشت بام، عدم توانایی کنترل دمای فضاهای مختلف و نامناسب بودن برای فضاهای کوچک اشاره کرد.



شکل ۵-۴۸: نمای داخلی یک نمونه از سیستم روفتاپ پکیج [49].



شکل ۵-۴۹: نمای خارجی یک نمونه از سیستم روفتاپ پکیج [49].

۵-۵- تجهیزات تک فصل برای توزیع گرمایش در محیط داخل

این تجهیزات وظیفه انتقال گرما و یا سرما و نه تولید آن را بر عهده دارند. در ادامه به بررسی آن‌ها پرداخته می‌شود.

۱-۵-۵- لوله‌های گرمایش از کف

در سیستم گرمایش از کف، گرما از طریق سطح زمین پخش می‌شود و هنگام راه رفتن روی کف ساختمان، گرما احساس می‌شود. در این تجهیز نیاز است تا در ابتدا در کف‌سازی محیط لوله‌های مخصوص این تجهیز تعبیه شود (شکل ۵-۵۰). سپس آب گرم خروجی از مولد در داخل لوله‌های اصلی جریان می‌یابد و از طریق آن به کلکتورهای این تجهیز منتقل می‌شود. سپس آب گرم از کلکتور به لوله‌های تعبیه شده در کف محیط منتقل می‌شود و باعث گرمایش محیط می‌شود.

این تجهیز قابلیت تنظیم سطح گرمایش را دارد، هوای محیط را خشک نکرده و فضای داخلی را اشغال نمی‌کند. همچنین سر و صدای اضافه تولید نکرده و باعث صرفه‌جویی در مصرف انرژی نیز می‌شود. اما عملکرد آن وابستگی زیادی به دقت طراحی و اجرای صحیح دارد و در اول فصل سرما نیاز به پیش‌گرمایش طولانی دارد. در فضاهای مفروش به فرش (قالی و قالیچه) عملکرد آن کاهش یافته و به دلیل پخش شدن گرد و غبار و پرزهای قالی در هوا در صورت تجاوز دما به بیش از ۳۰ درجه سانتیگراد می‌تواند منجر به ابتلا به بیماری‌های تنفسی شود. نیاز به بستر هموار برای اجرا داشته و پس از اجرا امکان تغییر کف‌سازی ساختمان را ندارد. همچنین به دلیل احساس گرمای بیش از حد در کف پا در کاربری مسکونی، نارضایتی افراد را در پی دارد.

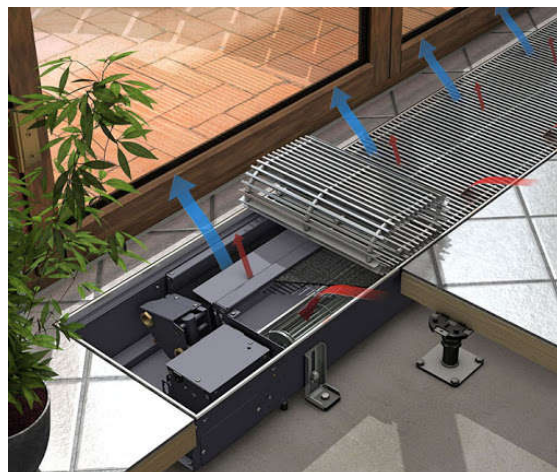


شکل ۵-۵۰: تصویری از زمان اجرای لوله‌های گرمایش از کف [50].

۲-۵-۵- دستگاه کنوکتور

این سیستم گرمایشی بر اساس انبساط و حرکت طبیعی هوای گرم اطراف آن عمل می‌کند. کنوکتور با استفاده از یک منبع گرمایی یک جریان جابجایی ایجاد می‌کند، این جریان جابجایی هوای گرم اطراف کنوکتور را در فضایی که قصد گرمایش آن وجود دارد، به گردش در می‌آورد؛ این گردش هوا تا خاموش شدن دستگاه و یا رسیدن دمای محیط به دمای قسمت گرم کننده کنوکتور ادامه می‌یابد. در این تجهیز با استفاده از لوله‌های پره‌داری که داخل آن وجود دارد، گرمایش هوای اطراف پره‌ها ایجاد می‌شود، و سپس این هوای گرم به داخل محیط فرستاده می‌شود (شکل ۵-۵۱). این تجهیز به دلیل گرم نمودن هوا و عدم تماس مستقیم با منبع حرارتی، خطر سوختگی ناشی از تماس مستقیم با منبع حرارتی را ندارد. در مقایسه با رادیاتور سرعت گرمایش بیشتری دارد و با اجرای توکار فضای بسیار کمی را در دکوراسیون داخلی اشغال می‌کند. طول عمر بالایی دارد و به نگهداری ویژه‌ای نیاز ندارد. همچنین قابلیت تنظیم دما را نیز دارا می‌باشد.

این دستگاه توزیع گرمایش، نیاز به هواگیری داشته و نصب و راه اندازی اولیه پرهزینه‌تری نسبت به رادیاتور دارد. توانایی تأمین هوای تازه را نداشته و برای اماکن با سقف بلند مناسب نیست. تمیزکاری دشواری داشته و جهت مفروش نمودن با قالی ایجاد مزاحمت می‌کند.



شکل ۵-۵۱: نمای داخل دو نمونه از کنوکتور [51] [52].

۳-۵-۵- رادیاتور

یکی از رایج‌ترین تجهیزات گرمایشی رادیاتور می‌باشد. در رادیاتور ابتدا آب گرم از مولد گرما به داخل رادیاتور منتقل می‌شود. سپس با گرم شدن رادیاتور، هوا اطراف رادیاتور گرم شده و آبی که دمای خود را از دست داده از طریق لوله‌ها دوباره به مولد بر می‌گردد. رادیاتورهای انواعی دارند که در ادامه بررسی می‌شود.

۱-۳-۵-۵- رادیاتور پره‌ای (آلومینیومی)

ظاهر این رادیاتورها به صورت پره‌هایی در کنار هم می‌باشد. این رادیاتورها از جنس آلومینیوم ساخته می‌شوند. این رادیاتورها نیازی به تعویض کلیه پره‌ها در تعمیرات نداشته و به دلیل سبک بودن حمل و نقل آسانی دارند. تعمیر و تعویض آسانی دارند و چون از جنس آلومینیوم هستند، انتقال گرمای مناسبی دارند. از معایب این رادیاتورها این است که نصب دشواری داشته و احتمال شکستن پره‌ها در هنگام نصب و راه اندازی وجود دارد. رادیاتورهای پره‌ای نیازمند هواگیری مرتب بوده و با پکیج دیواری سازگاری ندارند.



شکل ۵-۵۲: نمایی از رادیاتور پره‌ای و یک پره از آن [19].

۲-۳-۵-۵- رادیاتور پنلی (فولادی)

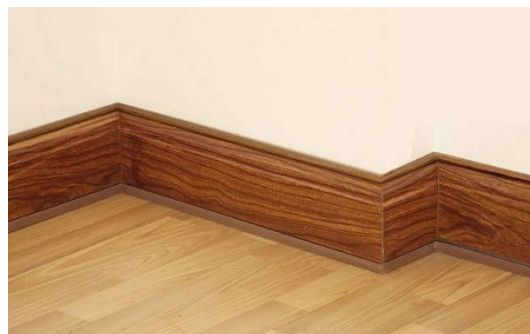
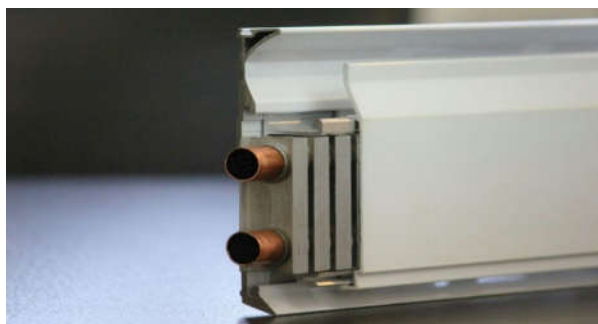
این رادیاتورها از جنس فولاد بوده و شکل ظاهری آنها به صورت مسطح و یک پارچه است (شکل ۵-۵۳). این رادیاتورها گرمای یکنواختی ایجاد کرده و سازگاری خوبی با پکیج دارند. ظاهر مدرن و امروزی داشته و به دلیل سطح یک پارچه تمیزکاری آسانی دارند. نصب آسانی داشته و نیاز به هواگیری مداوم ندارند. البته این رادیاتورها برای سیستم گرمایش مرکزی مناسب نبوده و در برابر خوردگی مقاومت کمی دارند. نیاز به حمل و نقل اصولی داشته و در تعمیرات و در صورت زنگ زدگی نیاز به تعویض کلی دارند.



شکل ۵-۵۳: یک نمونه از رادیاتور پنلی [53].

۳-۳-۵-۵- رادیاتور قرنیزی:

این رادیاتورها از جمله جدیدترین انواع رادیاتور بوده و در لبه‌های پایینی دیوار همانند قرنیز نصب می‌شوند (شکل ۵-۵۴). لوله‌های آب گرم در درون این لبه‌ها و قرنیزها جریان داشته و از این طریق هوای موجود در محیط را گرم می‌کنند. آب داخل لوله‌ها پس از دفع گرمای خود به مولد برمیگردد. همانطور که مشخص است این رادیاتورها ظاهر زیبایی دارند. بازدهی بالایی داشته و باعث صرفه جویی در مصرف انرژی می‌شوند. مکانیزم پیچیده‌ای نداشته، در مدت زمان کوتاهی گرمایش ایجاد کرده و گرمایش یکنواختی را ایجاد می‌کنند. در صورت نیاز به تعمیرات دسترسی آسانی داشته و فضای داخلی بسیار کمی را اشغال می‌کنند (کاربرد تزئینی در پایین ترین نقطه دیوار). این رادیاتورها تحمل فشار بیش از ۱۰ بار را دارند. البته این رادیاتورها در جانمایی وسایل خانه ایجاد محدودیت می‌کنند. و احتمال رسوب گرفتن لوله‌ها وجود دارد.



شکل ۵-۴: نمای درونی و بیرونی رادیاتور قرنیزی [54] [55].

۵-۶- تجهیزات چهار فصل برای توزیع سرمایش و گرمایش در محیط داخل

در این قسمت به بررسی تجهیزات چهار فصل پرداخته می‌شود که وظیفه توزیع سرمایش و گرمایش در محیط داخل را بر عهده دارد.

۱-۵-۶- دستگاه فن کویل

فن کویل آخرین بخش از یک سیستم تهویه مطبوع است که در ساختمان‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد. این دستگاه عمل انتقال حرارت و تهویه هوا را به صورت جابجایی اجباری انجام می‌دهد. فن کویل‌ها می‌توانند هم به صورت دستی توسط سوئیچ خاموش/روشن و هم از طریق ترموستات کنترل شوند. فن کویل یک تجهیز است که از یک فن و یک مبدل حرارتی تشکیل شده است (شکل ۵-۵) که اساس کار ساده‌ای دارد و فن با دمیدن باعث انتقال دما از مبدل حرارتی به هوا و یا بالعکس می‌شود؛ و هوا به محیط انتقال داده می‌شود. این تجهیز توانایی تفکیک مستقل هر بخش ساختمان را دارد. همچنین این تجهیز از انتشار آلودگی بین اتاق‌ها جلوگیری می‌کند. توزیع دمای مناسبی داشته و توانایی ایجاد سرمایش و گرمایش به صورت همزمان را دارد. از مهم‌ترین مزایای این سیستم، قابلیت تنظیم دمای اتاق‌ها به صورت مجزا می‌باشد. اجرای ساده‌ای داشته و در زیر سقف فضای کمی را اشغال می‌کند و به کانال‌کشی احتیاجی ندارد. در مقایسه با سیستم‌های دارای کانال‌کشی ایمنی و کنترل بیشتری در هنگام آتش‌سوزی دارد. امکان استفاده از گرمای خورشید برای تامین آب گرم نیز از طریق این سیستم فراهم می‌شود.

این تجهیز نسبت به دیگر تجهیزات گرمایشی- سرمایشی نیاز به تعمیرات بیشتری داشته و در فصل تابستان دچار کندانس می‌شود و نیاز به تشتک و لوله تخلیه برای جلوگیری از نشت آب تقطیر شده دارد. توانایی تامین هوای تازه و کنترل رطوبت را نداشته و بازدهی نسبتاً کمی دارد. همچنین این تجهیز فیلتراسیون ضعیفی دارد.



شکل ۵-۵: چند نمونه از انواع فن کویل ها [56].

۲-۶-۵- دستگاه یونیت هیتر

یونیت هیتر یک تجهیز گرمایشی است که با استفاده از مولدهای انرژی مختلفی کار می‌کند. این دستگاه راندمان گرمایشی بالایی دارد و به سادگی می‌تواند دمای مورد نظر را در محیط ایجاد کند. در مواردی این سیستم را با مینی چیلر و یا چیلر جهت توزیع سرمایش کوپل می‌کنند. یونیت هیتر بیشتر برای گرمایش و گاهی نیز برای سرمایش مورد استفاده می‌گیرد. این تجهیز مشابه فن کویل از لوله‌های پره‌داری تشکیل شده‌است، که به صورت مارپیچ درون یک جعبه فلزی در چند ردیف قرارداده شده‌اند؛ که سیال انتقال حرارت از مولد به درون این لوله جریان می‌یابد و پشت این لوله‌های کویل، یک فن جاسازی شده‌است که با دمیدن به لوله‌ها باعث انتقال گرما از لوله‌ها به هوا و یا بالعکس می‌شود و این هوا به محیط فرستاده می‌شود. در خروجی هوا یونیت هیتر تیغه‌هایی موجود است، که امکان جهت‌دهی به هوا را می‌دهد و توانایی تنظیم به صورت دستی یا خودکار را دارد. این تجهیز به دلیل وجود خاصیت قدرت پرتاب باد بالا در فن، برای گرم کردن محیط سرعت بالایی دارد که در نتیجه مدت زمان کمتری برای پیش راه اندازی نیاز دارد. امکان استفاده از آب گرم یا بخار داغ را دارا بوده، و با نصب چند دستگاه در قسمت‌های مختلف توانایی توزیع مناسب هوای گرم به مناطق دلخواه وجود دارد. همچنین به دلیل استفاده از انتقال حرارت اجباری (وجود دمنده هوا) راندمان بالایی داشته و گرمایش یکنواختی دارد. در سقف و یا محل‌های غیر قابل استفاده قابل نصب و استفاده بوده و قیمت نسبتاً ارزانی دارند. به کانال‌کشی نیازی نداشته و طول عمر بالا و تعمیرات آسانی دارند. این تجهیز مناسب فضاهای بزرگ است. از معایب این دستگاه به این موارد می‌توان اشاره کرد که، توانایی تأمین هوای تازه و کنترل رطوبت را نداشته و فاقد تنوع در فیلترها است. صدای نسبتاً زیادی دارد (حدود ۸۰ db و بالاتر) و نیاز به قرار دادن لوله‌کشی معکوس و نقشه‌کشی برای نصب است. نسبت به تراز نبودن حساس بوده و احتیاج

به رسوب زدایی و شستشوی سالیانه فن جهت حفظ راندمان است. در شکل ۵-۵۶ می‌توان چند نمونه از این سیستم را مشاهده کرد.



شکل ۵-۵۶: نمایی از چند نمونه مختلف یونیت هیتر [38].

۳-۶-۵- هواساز با قابلیت فیلتراسیون، رطوبت‌زنی رطوبت‌گیری

هواسازها سیستم‌هایی هستند که هوای تازه را تصفیه و سپس تهویه می‌کنند تا هوای محیط داخلی را مطلوب نمایند. این تجهیز مناسب‌ترین گزینه برای اماکنی است که به هوای تازه زیادی نیاز دارند. هواساز دستگاهی که به منظور مواردی نظیر فیلتر نمودن، تنظیم دما و رطوبت، و توزیع هوای محیط به فضای داخلی مدنظر، استفاده می‌شود. این تجهیز مولد برودت یا حرارت نیست؛ و تنها وظیفه توزیع هوای گرم و خنک را دارد. حرارت توسط مولد گرما یا سرما ایجاد شده و آب گرم و یا خنک شده در کویل‌های هواساز وارد می‌شود، و هوای تازه پس از فیلتر شدن با برخورد به این کویل‌ها، دمای آن تنظیم شده و وارد محیط می‌شود. در شکل ۵-۵۷ می‌توان نمای داخلی و خارجی یک نمونه از هواساز را مشاهده کرد.

این تجهیز قابلیت استفاده از هوای برگشت را دارد. همچنین قابلیت استفاده از سیستم‌های هوشمند به منظور کنترل سیستم، و به دنبال آن صرفه جویی در مصرف انرژی را دارد. راندمان بالایی (بیش از ۹۰ درصد) دارد. قیمت اولیه و هزینه‌های عملکردی بسیار مناسبی نسبت به سایر سیستم‌های تهویه مطبوع دارد. نصب و تعمیر و نگهداری آسان و کم هزینه دارد و مناسب فضاهای بزرگ است. قابلیت استفاده از فیلترهای نمدی، کاغذی، رول فیلتر و یا فیلتر کیسه‌ای علاوه بر فیلترهای موجود بر روی دستگاه را دارد. به دلیل نصب بر روی پشت بام فضای ساختمان را اشغال نمی‌کند. قابلیت تامین هوای تازه و رطوبت‌زنی و رطوبت‌گیری را دارد و تبدیل از وضعیت تابستانی به زمستانی بسیار ساده‌ای همراه با سیستم‌های کنترل خودکار دارد. این تجهیز نیاز به موتورخانه و بویلر و کانال کشی دارد، و به دلیل نیاز به کانال کشی هزینه‌های مربوطه نیز افزایش می‌یابد. برای

مناطق با رطوبت بالا و برای فضاهای کوچک و دارای اتاق مناسب نبوده و دمای فضاهای مختلف به طور مجزا قابل تنظیم نیست.



شکل ۵-۵۷: نمای داخلی و خارجی یک نمونه دستگاه هواساز [57] [58].

۶- فناوری‌های نوین تهویه مطبوع

در صنعت تهویه مطبوع، مانند سایر شاخه‌های صنعتی مجموعه‌ای از تکنولوژی‌های نو و مدرن وجود دارد. استفاده از پنل‌های خورشیدی، سیستم‌های زمین‌گرمایی، سیستم‌های کنترلی و ترموستات‌های هوشمند، استفاده از بانک یخ برای ذخیره‌سازی انرژی برودتی، و سیستم‌های تولید همزمان برق و حرارت^{۱۹} یا CHP از مهمترین تکنولوژی‌های کاربردی و نوین در این صنعت می‌باشد.

بانک یخ یا به عبارت دیگر سیستم ذخیره‌سازی انرژی برودتی یخ، مکانیزمی است نسبتاً جدید به منظور بهینه‌سازی مصرف انرژی در تهویه مطبوع و برودت صنعتی، که در کنار چیلر تراکمی به منظور کاهش مصرف برق استفاده می‌شود. این سیستم، مشخصاً در صنایع غذایی بخصوص صنعت لبنیات بسیار پرکاربرد بوده و در فرایندهای مختلف تولید محصولات لبنی مورد استفاده قرار می‌گیرد. بانک یخ یک روش ذخیره‌سازی انرژی گرمایی^{۲۰} در دمای پایین می‌باشد. سرما مفهوم فیزیکی ندارد و در واقع نبود یا کاهش انرژی گرمایی سبب کاهش دما و ایجاد سرما می‌شود. به همین دلیل بانک یخ یک نوع سیستم ذخیره‌سازی گرما در دمای پایین به حساب می‌آید. به عبارت دیگر، تولید یخ در بانک یخ نتیجه و محصول نبود گرماست. در این روش پس از تولید یخ (ذخیره گرما در دمای پایین)، از انرژی برودتی آن در زمان دیگری استفاده می‌شود. در تهویه مطبوع و برودت صنعتی یکی از چالش‌های موجود، میزان مصرف برق چیلرهای تراکمی است. از طرفی چون کاربرد چیلرها در سرمایش واحدهای مسکونی، تجاری، اداری و حتی برودت صنعتی مدام رو به افزایش بوده و استفاده از آنها بسیار رایج شده است، بکارگیری بانک یخ‌ها (بخصوص در پروژه‌های بزرگ) نیز روزبه‌روز در حال توسعه

¹⁹ Combined Heat and Power

²⁰ Thermal Energy Storage

می‌باشد. افزایش هزینه و تعرفه انرژی‌ها از جمله انرژی الکتریسیته سبب گسترش بیشتر استفاده از بانک یخ‌ها شده است.

هنگام استفاده از بانک یخ در کنار چیلر تراکمی، بار برودتی مورد نیاز فن کویل‌ها، می‌تواند از خود چیلر، و یا بانک یخ و یا استفاده همزمان از چیلر و بانک یخ حاصل شود. در ساعت‌هایی از طول روز که مصرف برق بالاست و تعرفه قیمت آن نیز به مراتب بیشتر است، سعی می‌شود به وسیله بانک یخ فرآیند سرمایش به طور کامل یا جزئی انجام شود؛ و از طرفی در ساعت‌هایی که مصرف و هزینه برق پایین است (فاصله شب تا صبح)، از چیلر برای تولید یخ استفاده می‌شود. این روش در روزهای گرم سال مانند فصل بهار و به ویژه فصل تابستان به خوبی باعث کاهش هزینه‌های مصرف برق خواهد شد. شکل ۶-۱ کاربرد بانک یخ در کنار چیلر تراکمی را نشان می‌دهد.

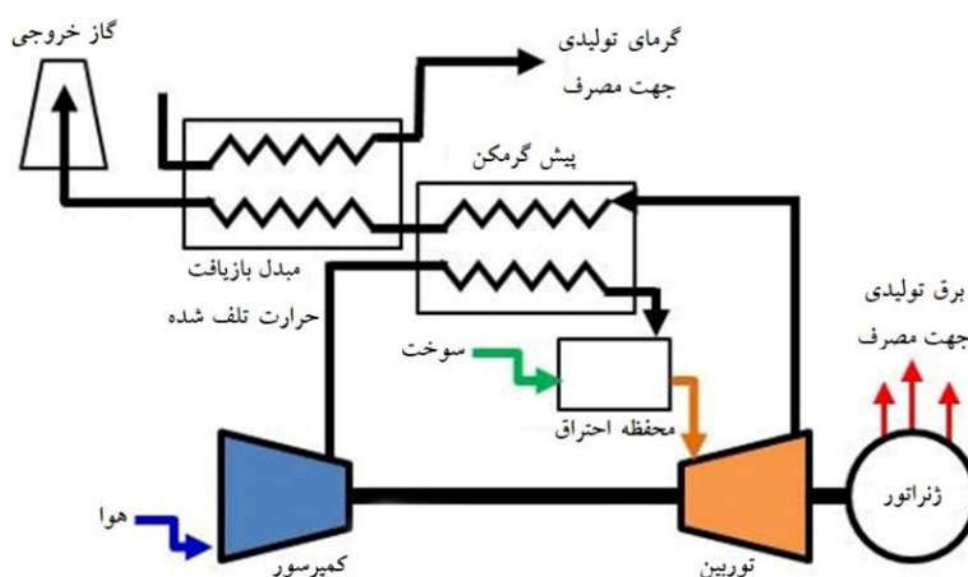


شکل ۶-۱: نمایی از کاربرد بانک یخ در کنار چیلر تراکمی [60].

سیستم CHP یکی از روش‌های بهینه‌سازی مصرف انرژی است که در آن برق و حرارت به طور همزمان تولید می‌شود. در سیستم‌های CHP حرارت حاصل از تولید برق در مولدهای محرک ژنراتور، به منظور تأمین انرژی لازم جهت گرمایش، مورد استفاده قرار می‌گیرد. فرایند تولید همزمان را می‌توان بر اساس انواع مولدهای نیروی محرکه، از جمله توربین‌های گاز، توربین‌های بخار، موتورهای احتراق داخلی و مولدهای دیگر طبقه‌بندی

نمود. منابع تولید انرژی اولیه نیز شامل دامنه وسیعی از جمله سوخت‌های فسیلی^{۲۱}، زیست توده^{۲۲}، زمین-گرمایی^{۲۳} و یا انرژی خورشیدی^{۲۴} می‌باشند.

تولید همزمان^{۲۵} از نگاه ترمودینامیکی به معنای تولید دو یا چند شکل از انرژی با استفاده از یک منبع انرژی اولیه می‌باشد؛ و از آنجا که دو شکل معمول انرژی، حرارتی و مکانیکی هستند، و انرژی مکانیکی غالباً محرک ژنراتور الکتریکی به کار برده می‌شود، این فرآیند به تولید همزمان برق و حرارت شناخته می‌شود. دیاگرام کلی سیستم CHP در شکل ۶-۲ نشان داده شده است.



شکل ۶-۲: دیاگرام کلی سیستم CHP [3].

در صورت به کارگیری چیلر جذبی جهت تولید برودت و استفاده از گرمای قابل بازیافت نیروگاه تولید برق، به منظور تأمین انرژی مورد نیاز ژنراتور چیلر، امکان تولید همزمان برق، گرما و سرما^{۲۶} نیز وجود خواهد داشت که چنین سیستمی را CCHP می‌نامند.

در مقابل سیستم‌های متمرکز تولید برق (نیروگاه‌های حرارتی سنتی)، سیستم CHP یک روش تولید غیر-متمرکز و محلی^{۲۷} به حساب می‌آید. به این معنا که می‌توان برای هر منطقه و محله‌ای، یک نیروگاه تولید برق مستقل پیش‌بینی نمود. این چنین به علت نزدیکی محل تولید برق به محل مصرف، تلفات ناشی از انتقال جریان الکتریسیته بسیار ناچیز خواهد بود. میزان اتلاف در مسیرهای انتقال شبکه‌های سراسری در حدود ۲۰

²¹ Fossil

²² Biomass

²³ Geothermal

²⁴ Solar Energy

²⁵ Cogeneration

²⁶ Combined Cooling Heat and Power

²⁷ District

درصد می‌باشد (البته در بعضی از شهرهای ایران نظیر شهر اهواز، اتلاف برق در شبکه توزیع تا ۳۰ درصد نیز گزارش شده است). انرژی گرمایی ناشی از بازیافت تلفات حرارتی در مولدهای محرک ژنراتور و همچنین در سیستم‌های خنک‌کاری نیروگاه‌های CHP (برج‌های خنک‌کننده) را می‌توان در دو حوزه پرمصرف و کاربردی، مورد بهره‌برداری قرار داد:

تهویه مطبوع: به منظور تأمین انرژی لازم جهت تولید آب گرم مورد نیاز برای گرمایش ساختمان‌های مسکونی، اداری، تجاری و...

صنعت: جهت برآورده کردن نیاز بسیاری از فرایندهای صنعتی به انرژی گرمایی، در صنایع مختلفی همچون پتروشیمی‌ها، کارخانجات و...

در نیروگاه‌های CHP با توجه به تولید الکتریسیته به صورت محلی و مستقل (غیر متمرکز) و استفاده همزمان از گرمای تلف شده، کارایی مولدهای تولید برق به میزان قابل توجهی افزایش یافته است. چنان‌که راندمان تولید برق در نیروگاه‌های گازی، حدود ۳۰ درصد می‌باشد، که با افزایش هزینه‌های سرمایه‌گذاری و مجهز شدن به تجهیزات سیکل ترکیبی، راندمان آن نهایتاً تا ۵۵ درصد قابل افزایش است. این در حالی است که با بهره‌گیری از فناوری تولید همزمان برق و حرارت، آن هم بصورت مستقل، بازدهی انرژی این مولدها به حدود ۷۵ تا ۹۵ درصد نیز خواهد رسید؛ که این راندمان بالا در مقایسه با توربین‌های گازی و سیکل ترکیبی، در بهینه‌سازی مصرف سوخت بسیار مؤثر است.

در سیستم‌های CHP میزان تولید CO₂ به ازای واحد تولید برق بسیار پایین‌تر از روش‌های مرسوم دیگر بوده که از منظر کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای و مالیات بر CO₂ بسیار جالب توجه خواهد بود. تا آنجا که بسیاری از دولت‌های اروپائی، آمریکا و حتی در بعضی از کشورهای آسیایی نظیر ژاپن، سیاست‌ها و قوانینی را برای ترغیب به استفاده از نیروگاه‌های CHP وضع نموده‌اند و این نشان‌دهنده اهمیت CHP در کاهش مصرف انرژی می‌باشد. شکل ۳-۶ نمونه‌ای از سیستم CHP با در نظر گرفتن گاز طبیعی به عنوان منبع تولید انرژی اولیه، و موتور رفت و برگشتی^{۲۸} را نشان می‌دهد. انواع دیگر این سیستم‌ها نیز وجود دارند که از توربین‌های گازی^{۲۹}، میکروتوربین‌ها^{۳۰}، توربین‌های بخار^{۳۱} و پیل‌های سوختی^{۳۲} استفاده می‌کنند.

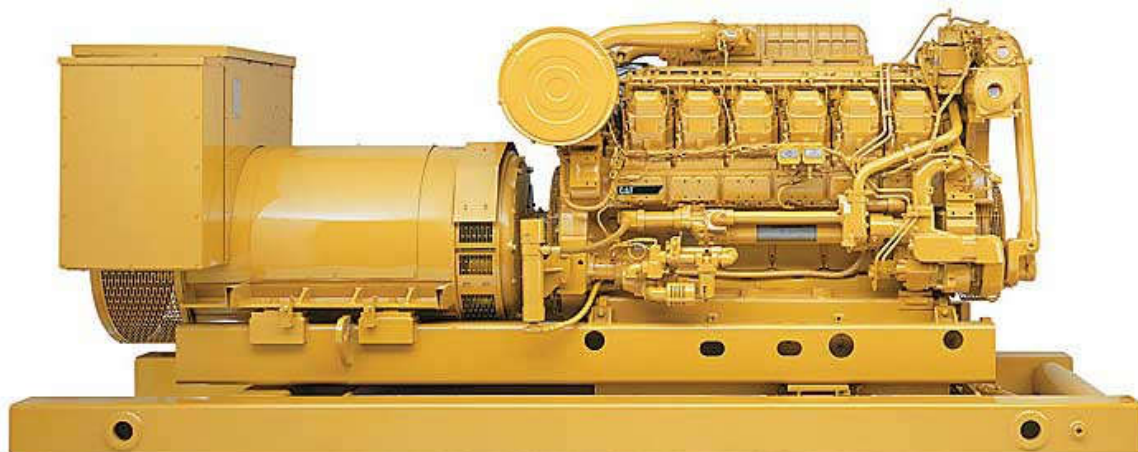
²⁸ Reciprocating Engines

²⁹ Gas Turbines

³⁰ Micro Turbines

³¹ Steam Turbines

³² Fuel Cells



شکل ۳-۶: نمونه‌ای از سیستم CHP با موتور رفت و برگشتی [61].

در توجیه‌پذیری واحدهای CHP باید محدودیت‌های مالی به دقت لحاظ شود. معمولاً واحدهای تولید همزمان به سرمایه‌گذاری بیشتری نسبت به سیستم‌های معمول تبدیل انرژی نیاز دارند. ولی میزان مصرف انرژی در آن‌ها بسیار پایین‌تر است. به عبارت دیگر، هزینه‌های متوسط تبدیل یک واحد انرژی در سیستم‌های CHP پایین‌تر از سایر روش‌ها می‌باشد. در کشور ما به علت ارزان بودن انرژی و پایین بودن سهم هزینه‌های انرژی نسبت به سایر هزینه‌ها در سبد هزینه خانوار، تا کنون در خصوص چگونگی مصرف انرژی و راه‌های کاهش مصرف آن اقدامات اساسی انجام نشده است. اما به تدریج که قیمت انرژی مصرفی با توجه به جهانی شدن اقتصاد و تجارت، خود را به سمت قیمت‌های بین‌المللی می‌رساند، و نسبت بالاتری را در هزینه خانواده‌ها پیدا می‌کند، مصرف و اتلاف بی‌رویه آن به سرمایه‌های ملی و چرخه اقتصادی کشور لطمه بیشتری می‌زند، لذا یافتن راهکارهایی برای بهینه‌سازی مصرف انرژی در نیروگاه‌ها که یکی از پر مصرف‌ترین صنایع کشور می‌باشند، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. علاوه بر عواید اقتصادی، این سیستم‌ها برای نجات محیط زیست از آلودگی‌های سیستم‌های قدیمی و ناکارآمد، بسیار مفید است.

۷- شناسایی مزایا و معایب سیستم‌های مختلف تهویه مطبوع

بنابر دسته‌بندی که در فصل ۵ ارائه شده، سیستم‌های مختلف تهویه مطبوع را، می‌توان به شش مجموعه تقسیم‌بندی که هر مجموعه شامل زیر مجموعه‌هایی می‌باشد:

۱- مولد گرما

۱-۱- موتورخانه

۱-۱-۱- بویلرهای چدنی

۱-۱-۲- بویلرهای چدنی اتمسفریک

۱-۱-۳- بویلرهای فولادی

۱-۱-۴- بویلرهای چگالشی

۱-۲- کوره هوای گرم

۱-۲-۱- کوره هوای گرم فن‌دار

۱-۲-۲- کوره هوای گرم بدون فن

۱-۲-۳- کوره هوای گرم تابشی

۱-۳- بخاری

۱-۳-۱- بخاری گازسوز

۱-۳-۲- بخاری برقی

۱-۴- شومینه

۱-۵- پکیج

۱-۵-۱- پکیج گازسوز

۱-۵-۲- پکیج برقی

۲- مولد سرما

۲-۱- چیلر تراکمی

۲-۱-۱- چیلر تراکمی آب خنک

۲-۱-۲- چیلر تراکمی هوا خنک

۲-۲- مینی چیلر

۲-۳- چیلر جذبی

۲-۳-۱- چیلر جذبی تک اثره

۲-۳-۲- چیلر جذبی دو اثره

۲-۴- خنک‌کننده‌های تبخیری

۳- مولد چهارفصل

۳-۱- چیلر جذبی شعله مستقیم

۳-۲- پمپ حرارتی گازسوز GHP

۳-۳- پمپ حرارتی الکتریکی VRF

۳-۴- اسپلیت یونیت (کولرگازی)

۳-۵- داکت اسپلیت

۳-۶- دستگاه اکونوپک

۴- نیمه مولد چهارفصل

۴-۱- نیمه مولد نوع تبخیری

۴-۱-۱- زنت سرمایشی به همراه کویل آب گرم

۴-۱-۲- ایرواشر سرمایشی به همراه کویل آب گرم

۴-۲- نیمه مولد نوع تراکمی

۴-۲-۱- دستگاه روفتاپ پکیج

۵- تجهیزات توزیع تک فصل

۵-۱- لوله‌های گرمایش از کف

۵-۲- دستگاه کنوکتور

۵-۳- رادیاتور

۵-۳-۱- رادیاتور پره‌ای

۵-۳-۲- رادیاتور پنلی

۵-۳-۳- رادیاتور قرنیزی

۶- تجهیزات توزیع چهارفصل

۶-۱- دستگاه فن کویل

۶-۲- دستگاه یونیت هیتر

۶-۳- دستگاه هواساز

نحوه کارکرد و چرخه کاری هر سیستم به صورت کامل در فصل ۵ ارائه شد. در ادامه این فصل، مزایا و معایب هر سیستم تهویه مطبوع به صورت جداگانه، و در قالب جدول آورده می‌شوند. با دانستن این مزایا و معایب و مقایسه سیستم‌های مختلف در یک نگاه از طریق جدول، می‌توان به انتخاب درست آن‌ها برای کاربری‌های مختلف رسید.

جدول ۷-۱: بررسی مزایا و معایب سیستم‌های مولد گرما / موتورخانه / بویلر چدنی.

بویلر چدنی	
مزایا:	• مقاوم در برابر خوردگی و زنگ زدگی و نهایتاً عمر طولانی • حمل و نقل آسان به دلیل قابلیت جدا شدن پره‌های دیگ • ظرفیت حرارتی قابل تغییر با افزایش یا کاهش تعداد پره‌ها • قابلیت تغییر پره‌ها • ارزان بودن نسبت به نمونه‌های دیگر
معایب:	• ترک برداشتن جدار پره‌ها در اثر تنش‌های حرارتی، فشار زیاد سیستم، ایجاد رسوب روی سطح داخلی پره‌ها • بروز مشکل آب‌بندی و دودبندی در صورت عدم دقت کافی هنگام تعویض پره‌ها • پایین بودن راندمان حرارتی نسبت به دیگ‌های سه پاس فولادی • مقاومت پایین در برابر برخورد مستقیم شعله (در صورتی که در داخل دیگ آب نباشد و مشعل بیشتر از ۵ دقیقه روشن بماند کل پره را باید تعویض کرد). • نامناسب برای مناطق خیلی سرد به دلیل امکان شوک حرارتی • بالا بودن هزینه نصب و جمع کردن

جدول ۷-۲: بررسی مزایا و معایب سیستم‌های مولد گرما / موتورخانه / بویلر فولادی.

بویلر فولادی (واتر تیوب و فایر تیوب)	
مزایا:	• طول عمر بالا • راندمان و بازده حرارتی بالاتر نسبت به نمونه چدنی • مناسب جهت پروژه‌های بزرگ به سبب ظرفیت تقریباً نامحدود • قابلیت تحمل شوک‌های حرارتی • مناسب جهت ساختمان‌های مرتفع به سبب تحمل فشارهای خیلی بالا • قابلیت تطابق با هر نوع سوخت
معایب:	• قیمت بالاتر نسبت به دیگ‌های چدنی • حمل و نقل مشکل به دلیل ساخت یکپارچه در کارخانه • بالاتر بودن هزینه تعمیر نسبت به نمونه چدنی • ظرفیت ثابت و غیر قابل تغییر

جدول ۷-۳: بررسی مزایا و معایب سیستم‌های مولد گرما / موتورخانه / بویلر چگالشی.

بویلر چگالشی	
مزایا:	• راندمان بالای حرارتی در مقایسه با سایر نمونه‌ها • قابلیت تغییر ظرفیت و کنترل پذیری • کاهش میزان فضای اشغال شده در موتورخانه • سهولت در نصب و راه اندازی • تسهیل تعمیر و نگهداری • کاهش هزینه‌های جاری ساختمان در پی کاهش مصرف سوخت • کاهش میزان سر و صدا در مقایسه با نمونه های دیگر • کاهش آلودگی محیط زیست به سبب کاهش گازهای آلاینده (دوستدار محیط زیست) • افزایش طول عمر تأسیسات • نخستین گزینه در کشورهای اروپایی (تنها انتخاب مجاز کشور انگلستان) • بسیار مناسب برای گرمایش استخر و فضاهای بزرگ • کاهش مصرف انرژی تا بیش از ۳۰٪ • اجرای بسیار زیبا، قابلیت مدولاسیون و گرمایش مناطق حرارتی مختلف • حجم کم دود • جبران هزینه اولیه بالا طی ۲-۵ سال از طریق پایین بودن مصرف سوخت
معایب:	• قیمت حدود ۵۰٪ بیشتر نسبت به نمونه معمولی • نیاز اجباری به نصب فن به منظور خروج دود • نیاز به سیستم تخلیه کندانسیت

جدول ۷-۴: بررسی مزایا و معایب سیستم‌های مولد گرما / کوره هوای گرم / فن دار.

کوره هوای گرم فن دار	
مزایا:	• نصب و راه اندازی ساده • سازگار با انواع سوخت گازویلی، گازی و حتی دوگانه سوز • عدم نیاز به آب گرم جهت گرمایش • گرم شدن کل مجموعه با استفاده از گاز شهری با بالاترین راندمان • بازدهی بالا در ایجاد حرارت (فقط ۱۰ الی ۱۵ درصد پرت حرارتی) • قابلیت نصب ترموستات محیطی جهت کنترل دقیق دمای محیط • هوارسانی بصورت مستقیم، دمپر و کانال کشی • ایجاد گرمای مطبوع و پخش یکنواخت

معایب:	- افزایش میزان گرد و غبار محیط به دلیل کارکرد فن - اتلاف حرارتی زیاد در صورت کانال کشی طولانی - نیاز به نصب سانتریفیوژ در کانال کشی های طولانی - ایجاد مزاحمت صوتی به دلیل صدای کارکرد فن
--------	--

جدول ۵-۷: بررسی مزایا و معایب سیستم های مولد گرما / کوره هوای گرم / بدون فن.

کوره هوای گرم بدون فن	
مزایا:	- نصب و راه اندازی ساده - سازگار با انواع سوخت گازوئیلی، گازی و حتی دوگانه سوز - عدم نیاز به آب گرم جهت گرمایش - گرم شدن کل مجموعه با استفاده از گاز شهری بدون هزینه برق و با بالاترین راندمان - بازدهی بالا در ایجاد حرارت (فقط ۱۰ الی ۱۵ درصد پرت حرارتی) - قابلیت نصب ترموستات محیطی جهت کنترل دقیق دمای محیط - هوارسانی بصورت مستقیم، دمپر و کانال کشی - ایجاد گرمای مطبوع و پخش یکنواخت
معایب:	- اتلاف حرارتی زیاد در صورت کانال کشی طولانی - نیاز به نصب سانتریفیوژ در کانال کشی های طولانی

جدول ۶-۷: بررسی مزایا و معایب سیستم های مولد گرما / کوره هوای گرم / تابشی.

کوره هوای گرم تابشی	
مزایا:	- مناسب فضاهایی با سقف ۴ تا ۱۲ متر ارتفاع و جلوگیری از هدر رفت انرژی - سازگار با انواع سوخت گازوئیلی، گازی و حتی دوگانه سوز - عدم نیاز به آب گرم جهت گرمایش - تولید گرمای بسیار پاک - بیش از ۷۰٪ کاهش مصرف سوخت - گرمایش منطقه ای بدون نیاز به جداکننده فیزیکی - گرمایش مطلوب و یکنواخت در کف - مستقل بودن هر سامانه - گرمایش سریع - کارکرد بدون صدا - مناسب فضاهای باز و پرتردد - کاهش اتلاف حرارتی در زیر سقف

• نصب در فضای غیر مفید • نصب، راه اندازی و تعمیر سریع و آسان	
• گرم کردن محدوده تحت تابش در نتیجه عدم گرمایش هوا • نیاز به ارتفاع سقف بلند جهت نصب	معایب:

جدول ۷-۷: بررسی مزایا و معایب سیستم‌های مولد گرما / بخاری / گاز سوز.

بخاری گاز سوز	
• قیمت ارزان • راندمان بالا • قابل حمل و جابه‌جایی • میزان هدر رفت گرمای تولید شده پایین • هزینه تعمیر و نگهداری پایین	مزایا:
• کاهش اکسیژن محیط • نامناسب برای افراد دارای آلرژی و مشکلات ریوی به دلیل تولید مونوکسید کربن و اکسیدهای نیتروژنی (البته در مقادیر کم) • خطر سوختگی و گاز گرفتگی زیاد • اشغال زیاد فضای مفید داخلی • جابه‌جا کردن ذرات گرد و غبار در اثر همرفت • کاهش رطوبت محیط • سیاه کردن دیوار و سقف نزدیک به خود در مرور زمان	معایب:

جدول ۷-۸: بررسی مزایا و معایب سیستم‌های مولد گرما / بخاری / برقی.

بخاری برقی	
• قیمت ارزان • قابل حمل و جابه‌جایی • مناسب مکان‌های فاقد گاز • بدون آلودگی زیست محیطی	مزایا:
• قیمت بالاتر در مقایسه با نمونه گازسوز • وجود خطر آتش سوزی • وجود خطر برق گرفتگی • نامناسب برای فضاهای بزرگ	معایب:

• هزینه برق بالا • عدم گرمایش یکنواخت	
--	--

جدول ۷-۹: بررسی مزایا و معایب سیستم‌های مولد گرما / شومینه / شومینه.

شومینه	
مزایا:	• زیبایی ظاهری جهت تزئین و دکوراسیون داخلی
معایب:	• مصرف بالا و غیر بهینه • گرمایش پایین • خطر آتشسوزی به دلیل احتراق در فضای باز • خروج هوای گرم از دودکش و ورود هوای سرد از آن • مصرف بیشتر نسبت به سایر سیستم های گرمایشی

جدول ۷-۱۰: بررسی مزایا و معایب سیستم‌های مولد گرما / پکیج / گاز سوز.

پکیج گاز سوز	
مزایا:	• اشغال فضای داخلی کم • ایمنی بالا • نصب و راه اندازی آسان • گرم کردن آب در زمان کوتاه • استقلال کامل هر واحد مسکونی • تنظیم دما به میزان دلخواه • مصرف بهینه سوخت
معایب:	• عدم تأمین آب در زمان قطع برق • عمر کمتر این سیستم نسبت به موتورخانه • کارایی کمتر در متراژهای بالای ۳۰۰ متر • نیاز تأمین هوای تازه یا اکسیژن موردنیاز برای احتراق سوخت مصرفی پکیج

جدول ۷-۱۱: بررسی مزایا و معایب سیستم‌های مولد گرما / پکیج / برقی.

پکیج برقی	
مزایا:	• دارای راندمان ۹۵٪ • عدم نیاز به دودکش • ایمنی برقی به دلیل دارا بودن فیوز محافظ جان • کارکرد بدون صدا • هزینه نصب و راه اندازی پایین • نگهداری راحت‌تر از نمونه گازسوز • استقلال کامل هر واحد مسکونی • تنظیم دما به میزان دلخواه
معایب:	• برای محیط‌های بزرگ مناسب نیستند • عدم تامین آب در زمان قطع برق • افزایش قبض برق • تنوع کمتر در مقایسه با نمونه گازی • تعمیرکاران کمتر نسبت به نمونه گازی

جدول ۷-۱۲: بررسی مزایا و معایب سیستم‌های مولد سرما / چیلر تراکمی / چیلر تراکمی آب خنک.

چیلر تراکمی آب خنک	
مزایا:	• هزینه خرید اولیه پایین • مصرف برق پایین • عدم نیاز به فضای باز و دسترسی به هوا آزاد • سطح صدا و لرزش کم • ابعاد و اندازه کوچک مخصوصاً در ظرفیت‌های بالای برودتی • فشار کاری پایین • راندمان سرمایشی بالا • مناسب جهت دماهای زیر صفری • حق انتخاب فراوان در مورد یونیت‌های داخلی • کنترل مجزای کوچکترین فضاها توسط دستگاه الکترونیکی • نداشتن پیچیدگی در تأسیسات داخلی ساختمان • قابلیت نصب انواع ترموستات محیطی • اشغال فضای داخلی کم
معایب:	• هزینه تعمیرات و نگهداری بالا • نیاز به برج خنک‌کننده • نیاز به سیستم پمپاژ برج خنک‌کننده • نیاز به سختی‌گیر آب جبرانی برج خنک‌کننده • محدودیت در انتخاب اقلیم • مصرف زیاد آب • پیچیدگی در نصب و تعمیر

جدول ۷-۱۳: بررسی مزایا و معایب سیستم‌های مولد سرما / چیلر تراکمی / چیلر تراکمی هوا خنک.

چیلر تراکمی هوا خنک	
مزایا:	• هزینه تعمیرات و نگهداری پایین • عدم نیاز به برج خنک‌کننده • عدم نیاز به سیستم پمپاژ برج خنک‌کننده • حذف سختی‌گیر آب جبرانی برج خنک‌کننده • عدم محدودیت در انتخاب اقلیم • تنوع در ظرفیت سرمایشی • حق انتخاب فراوان در مورد یونیت‌های داخلی • کنترل مجزای کوچکترین فضاها توسط دستگاه الکترونیکی • نداشتن پیچیدگی در تاسیسات داخلی ساختمان • قابلیت نصب انواع ترموستات محیطی
معایب:	• هزینه خرید اولیه بالا • مصرف بالای برق • نیاز به فضای باز و دسترسی به هوا آزاد • سطح صدا و لرزش بیشتر • ابعاد بزرگتر نسبت به چیلر تراکمی آب خنک در ظرفیت‌های بالای برودتی • فشار کاری بالاتر • راندمان سرمایشی پایین • پیچیدگی در نصب و تعمیر

جدول ۷-۱۴: بررسی مزایا و معایب سیستم‌های مولد سرما / چیلر تراکمی / مینی چیلر تراکمی هوا خنک.

مینی چیلر تراکمی هوا خنک	
مزایا:	• سایز و ابعاد کوچک • قیمت ارزان‌تر در مقایسه با سایر چیلرها • مصرف انرژی کمتر • نصب و نگهداری راحت‌تر در مقایسه با سایر چیلرها • عملکرد مناسب در آب و هوای مرطوب • عدم نیاز به برج خنک‌کننده • قابلیت لوله کشی برای فواصل طولانی • توانایی کنترل دقیق دما در هر فن کویل متصل به مینی چیلر به صورت مستقل

• طول عمر کوتاه • عدم پاسخگویی به نیازهای سرمایشی اماکن بسیار بزرگ	معایب:
---	--------

جدول ۷-۱۵: بررسی مزایا و معایب سیستم‌های مولد سرما / چیلر جذبی / تک اثره.

چیلر جذبی تک اثره	
مزایا:	• سر و صدای کمتر در مقایسه با نمونه تراکمی • عدم نیاز به تجهیزات برق اضطراری • مناسب اماکن داری مشکل تأمین برق برای چیلرهای تراکمی • مصرف برق بسیار کمتر در مقایسه با نمونه تراکمی
معایب:	• هزینه اولیه بیشتر در مقایسه با نمونه تراکمی • نامناسب مناطق کم آب به جهت نیاز به مقدار کافی آب با خصوصیات قابل قبول • در دسترس بودن سوخت های فسیلی مانند گاز یا گازوئیل در محل نصب • نامناسب برای مناطق مرطوب • پایین ترین ضریب عملکرد در تمامی چیلرها • نیاز به بستر محکم تر در مقایسه با نمونه تراکمی به جهت وزن بالا • اشغال فضای بیشتر نسبت به نمونه تراکمی

جدول ۷-۱۶: بررسی مزایا و معایب سیستم‌های مولد سرما / چیلر جذبی / دو اثره.

چیلر جذبی دو اثره	
مزایا:	• سر و صدای کمتر در مقایسه با نمونه تراکمی • عدم نیاز به تجهیزات برق اضطراری • مناسب اماکن داری مشکل تأمین برق برای چیلرهای تراکمی • مصرف برق بسیار کمتر در مقایسه با نمونه تراکمی • ضریب عملکرد بیشتر نسبت به نمونه تک اثره
معایب:	• هزینه اولیه بیشتر در مقایسه با نمونه تراکمی • نامناسب مناطق کم آب به جهت نیاز به مقدار کافی آب با خصوصیات قابل قبول • در دسترس بودن سوخت های فسیلی مانند گاز یا گازوئیل در محل نصب • نامناسب برای مناطق مرطوب • نیاز به بستر محکم تر در مقایسه با نمونه تراکمی به جهت وزن بالا • اشغال فضای بیشتر نسبت به نمونه تراکمی

جدول ۷-۱۷: بررسی مزایا و معایب سیستم‌های مولد سرما / خنک کننده‌های تبخیری / کولر آبی.

کولر آبی	
مزایا:	• قیمت بسیار مناسب • مصرف انرژی بسیار پایین • کاربری ساده • هزینه تعمیر و نگهداری پایین • مناسب مناطق خشک
معایب:	• عدم امکان تعیین دمای محیط • ورود گرد و غبار محیط توسط پوشال‌ها • ایجاد رطوبت بالا در محیط • مصرف بالای آب • نیاز به سرویس هر ساله • عدم امکان استفاده از کانال هوای برگشت به دلیل رطوبت بالای هوای خروجی دستگاه • امکان انتقال آلودگی آب به هوا با توجه به گردش چند باره آب بدون فیلتراسیون • نامناسب برای مناطق بسیار گرم با بیشینه دمای بیش از ۴۰ درجه سانتیگراد • عدم امکان استفاده برای اماکن با گرمای نهان بالا مانند سالن‌های ورزشی و تالارها و اماکن دارای پخت و پز زیاد و اماکن دارای افراد زیاد

جدول ۷-۱۸: بررسی مزایا و معایب سیستم‌های مولد چهار فصلی / چیلر جذبی شعله مستقیم.

چیلر جذبی شعله مستقیم	
مزایا:	• عدم نیاز به مولد گرمایی جداگانه نسبت به سایر چیلرهای جذبی • چهار فصل بودن با توجه به داشتن سیستم احتراق • سر و صدای کمتر در مقایسه با نمونه تراکمی • مناسب اماکن دارای مشکل تأمین برق برای چیلرهای تراکمی • مصرف برق بسیار کمتر در مقایسه با نمونه تراکمی
معایب:	• دارای اثرات محیط زیستی حاصل از احتراق • به صرفه و منطقی نبودن حالت گرمایش در مناطق سردسیری و معتدل • استهلاک و هزینه نگهداری بالا در صورت استفاده چهار فصل • هزینه اولیه بیشتر در مقایسه با نمونه تراکمی • نامناسب مناطق کم آب به جهت نیاز به مقدار کافی آب با خصوصیات قابل قبول • در دسترس بودن سوخت‌های فسیلی مانند گاز یا گازوئیل در محل نصب

• نامناسب برای مناطق مرطوب • نیاز به بستر محکم‌تر در مقایسه با نمونه تراکمی به جهت وزن بالا • اشغال فضای بیشتر نسبت به نمونه تراکمی	
---	--

جدول ۷-۱۹: بررسی مزایا و معایب سیستم‌های مولد چهار فصلی / پمپ حرارتی گاز سوز GHP.

پمپ حرارتی گاز سوز GHP	
مزایا:	• قابلیت سرمایش و گرمایش در یک سیستم واحد • دارای راندمان بالا و مصرف انرژی در بهینه‌ترین حالت خود • کاهش هزینه برق ساختمان به دلیل سرمایش و گرمایش با استفاده از گاز • استفاده از گاز مبرد سازگار با محیط زیست • قابلیت کارکرد بدون افت راندمان در بازه دمایی ۲۵- درجه سانتی‌گراد تا ۵۴+ (به علت وجود موتور احتراق داخلی) • عدم نیاز به متعلقاتی چون دیگ بخار یا دیگ آب گرم، برج خنک‌کن، پست برق سه فاز و سایر تجهیزات موتورخانه ای و تاسیسات لوله کشی آب • قابلیت تبدیل سریع از سیستم خنک‌کاری به سیستم گرمادهی و بالعکس • نصب در فضاهای غیر مفید مانند پشت بام و عدم اشغال فضاهای مفید ساختمان • عدم نیاز به وجود سیکل یخ‌زدایی (دیفرست) از کویل‌ها • کارکرد کم سرو صدا • عدم وابستگی به آب به صورت مستقیم یا غیرمستقیم • تنوع در انتخاب پنل‌های داخلی • استفاده از کمپرسورهای دور متغیر اسکرال و کنترل مصرف انرژی با توجه به نیاز واحدهای مصرف کننده و در نتیجه بهینه‌سازی در مصرف انرژی • عدم نیاز به اپراتور حرفه‌ای به دلیل ساده‌سازی نحوه استفاده از این سیستم نسبت به سیستم‌های مرکزی دیگر مانند چیلر و موتورخانه • قابلیت کنترل دما به صورت مجزا برای هر پنل • قابلیت برنامه‌ریزی و عیب‌یابی پیشرفته و اتوماتیک
معایب:	• مرکزی بودن این سیستم • عدم امکان استفاده همزمان حالت سرمایشی و گرمایشی • هزینه اولیه بسیار بالا • کمیاب بودن در داخل کشور

جدول ۷-۲۰: بررسی مزایا و معایب سیستم‌های مولد چهار فصلی / نوع تراکمی / پمپ حرارتی الکتریکی VRF.

پمپ حرارتی الکتریکی VRF	
مزایا:	• دارای پیشرفته‌ترین تکنولوژی‌های روز دنیا • بالاترین راندمان مصرف انرژی • استفاده از یک یونیت خارجی برای تعداد زیادی یونیت داخلی • اتصالات الکتریکی کمتر در مقایسه با سیستم‌های اسپلیت • قابلیت انجام لوله‌کشی مبرد در مترهای بالا • کارکرد بسیار کم صدا • فراهم شدن آسایش بهتر با سرمایش و گرمایش ماژولار به کمک سیستم کنترل پیشرفته • استفاده از گازهای سازگار با لایه اوزون • بدون نیاز به لوله‌کشی گاز، اجرای دودکش و کانال ورودی هوای احتراق • هزینه تعمیرات و نگهداری پایین • امکان سرمایش و گرمایش همزمان تمامی زون‌ها در نوع سه لوله‌ای سیستم های VRF • امکان کنترل دما در هر فضا، به شکل مستقل • مصرف برق کمتر در مقایسه با کولرگازی و داکت اسپلیت
معایب:	• نامناسب برای کاربریهایی با نیاز هوای تازه زیاد • پیچیدگی‌های اجرا (لوله‌کشی‌های طولانی و...) • نیاز به دقت و نگهداری بسیار مناسب همانند چیلرهای بزرگ • عیب یابی و پیدا کردن محل نشتی بسیار سخت و زمان‌بر • گرمایش پرهزینه به دلیل استفاده از کمپرسور جهت تولید گرمایش • هزینه برق بالا • احتمال بالای نشتی مبرد به جهت لوله کشی های طولانی سیستم • عدم امکان تغییر جای یونیت داخلی در صورت تغییر معماری • هزینه اولیه بسیار بالا

جدول ۷-۲۱: بررسی مزایا و معایب سیستم‌های مولد چهار فصلی / دستگاه اسپلیت یونیت (کولر گازی).

دستگاه اسپلیت یونیت (کولر گازی)	
مزایا:	• امکان کنترل مستقل دما در اتاق یا فضاهای مختلف ساختمان • مستقل بودن هر واحد • سرمایش و گرمایش یکنواخت و مطبوع در فضا • مجهز بودن به ترموستات دمایی و تنظیم دمای مطلوب • مناسب مناطق مرطوب
معایب:	• نامناسب برای فضاهای بزرگ • محدودیت در فاصله بین یونیت های داخلی و خارجی • به صرفه نبودن حالت گرمایش • نامناسب برای مناطق سردسیری با توجه به کیفیت پایین گرمایش تولید شده • مصرف برق بیشتر نسبت به داکت اسپلیت (با ظرفیت مشابه) • عدم امکان استفاده از هوای تازه و ایجاد فشار مثبت در فضای داخلی برای تهویه

جدول ۷-۲۲: بررسی مزایا و معایب سیستم‌های مولد چهار فصلی / داکت اسپلیت.

داکت اسپلیت	
مزایا:	• تهویه چندین فضا به صورت همزمان • امکان استفاده در مناطق گرمسیر تا دمای ۵۴ درجه • امکان نصب کویل آب گرم جهت گرمایش • دارا بودن فیلتر ضد قارچ • دارا بودن ترموستات برای تنظیم دلخواه دمای محیط • عدم نیاز به لوله کشی • مناسب برای فصل تابستان و کاهش مصرف برق نسبت اسپلیت یونیت • مناسب برای فضاهای کوچک و بزرگ • قابلیت طراحی سیستم مناسب با گرم‌ترین و سردترین مناطق • حذف کانال کشی عمودی و به تبع آن استفاده مناسب از فضا • استقلال واحدهای ساختمانی • تأمین هوای تازه با اکسیژن بالا از بیرون و ارسال آن به درون ساختمان • بازگرداندن هوای داخل ساختمان به اواپراتور دستگاه • مصرف برق کمتر از کولر گازی اسپلیت
معایب:	• عدم توانایی تنظیم دمای تک تک زون‌ها • نصب و راهاندازی داکت اسپلیت مشکل‌تر نسبت به اسپلیت یونیت

• مزاحمت صدای کارکرد • مصرف برق بیشتر نسبت به چیلر و مینی چیلر	
---	--

جدول ۷-۲۳: بررسی مزایا و معایب سیستم‌های مولد چهار فصلی / دستگاه اکونوپک.

دستگاه اکونوپک	
مزایا:	• مصرف برق بسیار پایین • جلوگیری از اتلاف انرژی‌های مربوط به انتقال (لوله کشی) از واحد تولید به واحد توزیع • حذف هزینه‌های عایق کاری لوله‌ها و مسیر انتقال حرارت • عدم نیاز به موتورخانه و به تبع آن کاهش هزینه‌های احداث و نگهداری آن • گرمایش بسیار قوی و مناسب برای سوله‌ها، سالن‌ها و اماکن با فضای بزرگ • قابلیت فیلتر کردن هوای ورودی به محیط با فیلترهای قابل شستشو و مجهز شدن به انواع فیلترها • کاهش هزینه‌های اولیه، جاری و نیز تعمیر و نگهداری اکونوپک به خاطر سادگی آن • نسبت به سایر سیستم‌های تهویه مطبوع • استفاده به صورت زنت، ایرواشر و یا هواساز در حالت سرمایش وابسته به نیاز
معایب:	• اتلاف حرارتی زیاد در صورت کانال کشی طولانی • ایجاد مزاحمت صوتی به دلیل صدای کارکرد فن • نامناسب برای مناطق مرطوب در حالت زنت و ایرواشر • عدم امکان استفاده از کانال هوای برگشت به دلیل رطوبت بالای هوای خروجی دستگاه • نامناسب برای مناطق بسیار گرم با بیشینه دمای بیش از ۴۰ درجه سانتیگراد • عدم امکان استفاده برای اماکن با گرمای نهان بالا مانند مساجد، حسینیه‌ها، سالن‌های ورزشی، تالارها و اماکن دارای پخت و پز زیاد مانند آشپزخانه‌ها، رستوران‌ها و اماکن دارای افراد زیاد.

جدول ۷-۲۴: بررسی مزایا و معایب سیستم‌های نیمه مولد چهار فصلی / نوع تبخیری / دستگاه زنت.

دستگاه زنت سرمایشی به همراه کوئل آب گرم	
مزایا: • قیمت بسیار کمتر در مقایسه با سیستم‌های مشابه از جمله روفتاپ پکیج و یا ترکیب چیلر و هواساز • وزن پایین و در نتیجه نیاز به زیرسازی سبک‌تر برای جایگذاری دستگاه • ابعاد کوچکتر نسبت به ایرواشر • تأمین هوای تازه و امکان ایجاد فشار مثبت • نصب و راه‌اندازی آسان و کم هزینه • مصرف انرژی پایین • قابلیت استفاده به صورت چهار فصل • مصرف برق اندک به علت نداشتن کمپرسور (مصرف برق تنها در حد گردش یک فن و پمپ) • حذف سیستم رادیاتور و سیستم لوله‌کشی در ساختمان یا سوله (زیرا هوای سرد و گرم با کانال توزیع می شود) • کاهش مدت زمان گرم شدن فضای مورد نظر نسبت به رادیاتور در حالت گرمایشی • قابلیت رطوبت زنی به هوا در زمستان • جریان ملایم و گردش مناسب هوا درون ساختمان	
معایب: • عدم امکان استفاده از کانال هوای برگشت به دلیل رطوبت بالای هوای خروجی دستگاه • سرمایش ضعیف‌تر در مقایسه با سیستم های مشابه مثل روفتاپ پکیج و یا ترکیب چیلر و هواساز • عدم امکان استفاده در شرایط اقلیمی مرطوب • عدم امکان استفاده برای اماکن با گرمای نهان بالا مانند مساجد، حسینیه‌ها، سالن‌های ورزشی، تالارها و اماکن دارای پخت و پز زیاد مانند آشپزخانه‌ها، رستوران‌ها و اماکن دارای افراد زیاد. • عدم امکان کنترل دمای هوای خروجی (در فصل گرما) بر خلاف دستگاه‌های هواساز • مصرف آب زیاد • امکان انتقال آلودگی آب به هوا با توجه به گردش چند باره آب بدون فیلتراسیون • نامناسب برای مناطق بسیار گرم با بیشینه دمای بیش از ۴۰ درجه سانتیگراد	

جدول ۷-۲۵: بررسی مزایا و معایب سیستم‌های نیمه مولد چهار فصلی / نوع تبخیری / دستگاه ایرواشر.

دستگاه ایرواشر سرمایشی به همراه کویل آب گرم	
مزایا:	• قیمت اولیه پایین • مصرف بهینه برق • کم صدا • تعمیرات ارزان و نگهداری آسان • فیلتراسیون هوا (قابلیت نصب فیلتر هوای ورودی متناسب با نیاز) • توانایی بالا در گرمایش و سرمایش فضاهای بزرگ و سالن‌ها • استفاده از برق تک فاز در ایرواشرهای آپارتمانی • مصرف بهینه آب • تهویه مناسب خروجی هوای تصفیه شده • سازگار بودن با محیط زیست
معایب:	• عدم امکان استفاده از کانال هوای برگشت به دلیل رطوبت بالای هوای خروجی دستگاه • عدم امکان استفاده در شرایط اقلیمی مرطوب • محدودیت جانمایی با توجه به بزرگی سائز دستگاه • امکان انتقال آلودگی آب به هوا با توجه به گردش چند باره آب بدون فیلتراسیون • عدم تنظیم رطوبت و افزایش دهنده آن • نیاز به تمیزکاری و برنامه نگهداری مرتب کوتاه مدت جهت جلوگیری از گرفتگی افشانک‌ها • نامناسب برای مناطق بسیار گرم با بیشینه دمای بیش از ۴۰ درجه سانتیگراد • عدم امکان استفاده برای اماکن با گرمای نهان بالا مانند مساجد، حسینیه‌ها، سالن‌های ورزشی، تالارها و اماکن دارای پخت و پز زیاد مانند آشپزخانه‌ها، رستوران‌ها و اماکن دارای افراد زیاد.

جدول ۷-۲۶: بررسی مزایا و معایب سیستم‌های نیمه مولد چهار فصلی / نوع تراکمی / دستگاه روفتاپ پکیج.

دستگاه روفتاپ پکیج (پکیج یونیت) به همراه کویل آب گرم	
مزایا:	• راندمان بالا • صرفه جویی در فضا به دلیل نصب در روی پشت بام • آلودگی صوتی کمتر • انعطاف‌پذیری در تأمین میزان سرمایش و گرمایش • هزینه نصب کم به دلیل قرارگیری همه تجهیزات به جز کانال در یک پکیج • امکان استفاده از هوای تازه • سهولت تعمیر و نگهداری • قابلیت نصب انواع مختلف PLC • عدم نیاز به لوله‌کشی‌های طولانی • قابلیت کنترل به وسیله ترموستات • استفاده از کانال هوای برگشتی • تنوع گرمایش به صورت کوره‌های گازی، برقی و یا کویل آب گرم
معایب:	• وزن زیاد پکیج • کانال‌کشی افقی روی پشت بام • عدم توانایی کنترل دمای فضاهای مختلف به صورت مجزا • نامناسب فضاهای کوچک

جدول ۷-۲۷: بررسی مزایا و معایب تجهیزات تک فصلی / لوله‌های گرمایش از کف.

لوله‌های گرمایش از کف	
مزایا:	• سطح گرمایش قابل تنظیم • صرفه‌جویی در انرژی • عدم اشغال فضای داخلی • کارکرد بدون سروصدا • خشک نکردن هوای محیط
معایب:	• وابستگی زیاد عملکرد به دقت طراحی و اجرای صحیح • نیاز به پیش‌گرمایش طولانی در اول فصل سرما • کاهش عملکرد در فضاهای مفروش به فرش (قالی و قالیچه) • عدم امکان تغییر کف‌سازی ساختمان پس از اجرا • نیاز به هموار بودن بستر اجرا • ابتلا به بیماری‌های تنفسی ناشی از پخش شدن گرد و غبار و پرز های قالی در هوا، در صورت تجاوز دما به بیش از ۳۰ درجه سانتیگراد • نارضایتی افراد به دلیل احساس گرمای بیش از حد در کف پا در کاربری مسکونی

جدول ۷-۲۸: بررسی مزایا و معایب تجهیزات تک فصلی / کنوکتور.

کنوکتور	
مزایا:	• عدم خطر سوختگی‌های ناشی از تماس مستقیم با منبع حرارتی • سرعت گرمایش بیشتر در مقایسه با رادیاتور • اشغال فضای بسیار کم داخلی با اجرای توکار • طول عمر بالا • عدم نیاز به نگهداری ویژه • قابلیت تنظیم دما
معایب:	• نیاز به هواگیری • نصب و راه اندازی اولیه پرهزینه‌تر از رادیاتور • عدم تأمین هوای تازه • نامناسب برای اماکن با سقف‌های بلند • تمیزکاری دشوار • مزاحمت جهت مفروش کردن با قالی

جدول ۷-۲۹: بررسی مزایا و معایب تجهیزات تک فصلی / رادیاتور / رادیاتور پره‌ای.

رادیاتور پره‌ای	
مزایا:	• عدم نیاز به تعویض کلیه پره‌ها در تعمیرات • حمل و نقل آسان به علت سبک بودن • تعمیر و تعویض آسان • انتقال گرمای مناسب به دلیل جنس آلومینیومی پره‌ها
معایب:	• نصب سخت و احتمال شکستن پره‌ها در هنگام نصب و راه‌اندازی • نیازمند هواگیری مرتب • ناسازگاری با پکیج دیواری

جدول ۷-۳۰: بررسی مزایا و معایب تجهیزات تک فصلی / رادیاتور / رادیاتور پنلی.

رادیاتور پنلی	
مزایا:	• ایجاد گرمای یکنواخت • تمیزکاری آسان به دلیل سطح یکپارچه • نصب آسان • سازگاری خوب با پکیج • عدم نیاز به هواگیری مداوم • ظاهر مدرن و امروزی
معایب:	• نیاز به تعویض کلی در تعمیرات و در صورت زنگ زدگی • مقاومت کم در برابر خوردگی • نیاز به حمل و نقل اصولی • نامناسب برای سیستم گرمایش مرکزی

جدول ۷-۳۱: بررسی مزایا و معایب تجهیزات تک فصلی / رادیاتور / رادیاتور قرنیزی.

رادیاتور قرنیزی	
مزایا:	• ظاهر زیبا • بازدهی بالا • صرفه جویی در مصرف انرژی • عدم پیچیدگی در مکانیزم • گرمایش یکنواخت • گرمایش در زمان کوتاه • دسترسی آسان در صورت نیاز به تعمیرات • اشغال بسیار کم فضای داخلی (کاربرد تزیینی در پایین ترین نقطه دیوار) • امکان تحمل بیش از ۱۰ بار فشار
معایب:	• تمرکز روی دیوارهای داخلی • رسوب گرفتن لوله ها • انبساط در رادیاتور • محدود کردن جانمایی وسایل خانه

جدول ۷-۳۲: بررسی مزایا و معایب تجهیزات چهار فصلی / دستگاه فن کویل.

دستگاه فن کویل	
مزایا:	• تفکیک مستقل بخش ها • توزیع دمای مناسب • سرمایش و گرمایش همزمان • اجرای ساده تر و اشغال فضای کمتر زیر سقف (عدم نیاز به کانال کشی) • تعمیرات آسان نسبت به تعمیرات موتورخانه • صرفه جویی در مصرف انرژی • استفاده آسان • ایمنی و کنترل بیشتر هنگام آتش سوزی در مقایسه با سیستم های دارای کانال کشی • تنظیم دمای اتاق ها به صورت مجزا • امکان استفاده از گرمای خورشید برای تأمین آب گرم • جلوگیری از انتشار آلودگی بین اتاق ها
معایب:	• عدم تأمین هوای تازه

• نیاز به تشتک و لوله تخلیه برای جلوگیری از نشت آب تقطیر شده • فیلتراسیون ضعیف • ناتوانی در کنترل رطوبت	
---	--

جدول ۷-۳۳: بررسی مزایا و معایب تجهیزات چهار فصلی / دستگاه یونیت هیتر.

دستگاه یونیت هیتر	
مزایا:	• سرعت بالا در گرم کردن محل و در نتیجه مدت زمان کمتر برای پیش راه اندازی به خاطر وجود خاصیت قدرت پرتاب باد بالا در فن • امکان استفاده از آبگرم یا بخار داغ • توزیع مناسب هوای گرم به مناطق دلخواه با نصب چند دستگاه در قسمت های مختلف • راندمان بالا به دلیل انتقال حرارت اجباری (وجود دمنده هوا) • گرمایش یکنواخت • نصب در سقف و یا استفاده محل های غیر قابل استفاده • قیمت نسبتا ارزان • عدم نیاز به کانال کشی • مناسب فضاهای بزرگ • طول عمر بالا و تعمیر آسان
معایب:	• استفاده بیشتر برای گرمایش و در برخی موارد محدود برای سرمایش • عدم تامین هوای تازه • عدم تنوع در فیلترها • ناتوانی در کنترل رطوبت • صدای نسبتا زیاد (حدود ۸۰ دسیبل و بالاتر) • نیاز به قرار دادن لوله کشی معکوس • حساس به تراز نبودن • احتیاج به شستشوی سالیانه فن جهت حفظ راندمان • احتیاج به رسوب زدایی

جدول ۷-۳۴: بررسی مزایا و معایب تجهیزات چهار فصلی / دستگاه هواساز.

دستگاه هواساز (با قابلیت فیلتراسیون، رطوبت زنی و رطوبت گیری)	
مزایا: • استفاده از کانال هوای برگشت • قابلیت استفاده از سیستم‌های هوشمند به منظور کنترل سیستم و به دنبال آن صرفه‌جویی در مصرف انرژی • راندمان بالا (بیش از ۹۰ درصد) • قیمت اولیه و هزینه‌های عملکردی بسیار مناسب نسبت به سایر سیستم‌های تهویه مطبوع • مناسب فضاهای بزرگ • نصب، تعمیر و نگهداری آسان • کم‌هزینه بودن تعمیر و نگهداری • قابلیت استفاده از فیلترهای نمدی، کاغذی، رول فیلتر و یا فیلتر کیسه‌ای علاوه بر فیلترهای موجود بر روی دستگاه • مستقل بودن تهویه مطبوع هر واحد از آپارتمان • خروجی هوای فیلتر شده و پاک • عدم اشغال فضای خانه به دلیل نصب بر روی پشت بام • تأمین هوای تازه • قابلیت رطوبت‌زنی و رطوبت‌گیری • تبدیل از وضعیت تابستانی به زمستانی بسیار ساده و با سیستم‌های کنترل خودکار	
معایب: • نیاز به موتورخانه و تجهیزات تبرید تراکمی و بویلر • نیاز به کانال‌کشی و افزایش هزینه‌های مربوطه • نامناسب فضاهای کوچک	

۸- انتخاب سیستم‌های تهویه مطبوع برای کاربری‌های مختلف

در فصل‌های قبل انواع سیستم‌های تهویه مطبوع و نحوه عملکرد آن‌ها و مزایا و معایب آن‌ها به تفصیل ذکر شد. با در نظر گرفتن کارایی هر سیستم، می‌توان به این نتیجه رسید که استفاده از کدام تجهیز برای کاربری مدنظر مناسب است. در این فصل به منظور انتخاب دقیق‌تر سیستم‌های تهویه مطبوع برای کاربری‌های مختلف، مطالبی آورده می‌شود، و در هر بخش توصیه‌هایی داده می‌شود، تا انتخاب سیستم‌های تهویه مطبوع به صورتی دقیق، بهینه از نظر اقتصادی و مصرف انرژی باشد، و کمترین اثرات مخرب محیط زیستی را داشته باشد. قطعاً استفاده از سیستم‌های با هزینه اولیه کمتر، همیشه نمی‌تواند انتخاب خوب و بهینه‌ای باشند؛ و در نظر گرفتن هزینه بسیار بالای بعضی تجهیزات پربازده نیز، امری نامطلوب است.

۸-۱- انتخاب گرمایش مرکزی یا مستقل

انتخاب تأسیسات گرمایش مرکزی (موتورخانه) و مستقل (پکیج) همواره یکی از موضوعات چالش برانگیز بوده و در نظر گرفتن مزایا و معایب هر کدام از سیستم‌ها و دخالت دادن سلايق شخصی کارشناسی نشده منجر به انتخاب اشتباه سیستم‌ها می‌شود. بنابراین برای انتخاب درست و به جای سیستم‌های گرمایش، باید نگاه کارشناسی و دقیقی به مزایا و معایب هر سیستم داشت. در ادامه مزایا و معایب سیستم‌های گرمایش مرکزی و مستقل شرح داده می‌شود؛ و راهکارهای افزایش بهره‌وری سیستم‌های مرکزی توضیح داده می‌شود.

۸-۱-۱- مزایای گرمایش مستقل

۱- راندمان حرارتی بالای پکیج: راندمان حرارتی پکیج‌های موجود در بازار وابسته به نوع تولیدکنندگان متفاوت و تا ۹۳ درصد نیز موجود است و نسبت به موتورخانه‌های سنتی مقدار بالایی دارد. اگرچه در سیستم مرکزی دیگ‌های چگالشی راندمان بیش از ۹۸ درصد دارند، اما ظرفیت دیگ‌های چگالشی معمولاً بیش از ۱۰۰ کیلووات می‌باشد، و برای واحدهای با مساحت کوچک و ساختمان‌های با تعداد واحد کم این ظرفیت زیاد است، در صورتی که پکیج با ظرفیت کمتر از ۵۰ کیلووات موجود است. در استفاده از پکیج، لوله‌کشی محدودتری از محل تولید انرژی تا محل مصرف، نسبت به موتورخانه نیاز است و اتلاف انرژی پایین‌تری دارد. عدم وجود منبع ذخیره آب باعث می‌شود تنها در هنگام باز شدن شیر مصرف آب گرم و یا فعالیت پمپ گردش آب گرم، مشعل روشن شود و به این صورت در مصرف سوخت صرفه‌جویی می‌شود.

۲- هزینه اولیه پایین: هزینه اولیه پکیج برای ظرفیت‌های حرارتی پایین، نسبت به موتورخانه کمتر است.

۳- عدم نیاز به فضای زیاد: پکیج به فضای زیادی نیاز ندارد.

۲- مشاع نبودن: برخی افراد حساسیت زیادی روی اختصاصی بودن استفاده از سامانه مولد گرما و آب گرم دارند. سامانه‌های موتورخانه مرکزی در برخی ساختمان‌های سنتی از زمانی که بیشتر ساکنین احساس سرما کنند توسط مدیر مجموعه شروع به فعالیت می‌کند و این ممکن است برای فردی که احساس نیاز بیشتری به سیستم گرمایشی دارد، آزاردهنده باشد. همچنین در خصوص پرداخت هزینه گاز در بیشتر ساختمان‌های سنتی با سیستم موتورخانه مرکزی، این هزینه به مترائز ساختمان‌ها تقسیم می‌شود و این نیز برای افرادی که حس می‌کنند انرژی حرارتی کمتری مصرف می‌کنند مناسب نیست. همچنین مشاع بودن هزینه‌های انرژی می‌تواند تأثیر زیادی بر عدم انگیزه صرفه‌جویی و مصرف درست انرژی داشته باشد.

۲-۱-۸- معایب گرمایش مستقل

۱- امکان خطر جانی برای ساکنین: در صورت عدم نصب صحیح سیستم پکیج و نشتی دودکش خروجی، و در نظر نگرفتن دریچه ورود هوای تازه، امکان خطر جانی برای ساکنین وجود خواهد داشت.

۲- صدای روشن و خاموش شدن: جانمایی و محل نصب پکیج بسیار اهمیت دارند تا کسانی که به صدای روشن و خاموش شدن پکیج حساس هستند، مورد آزار قرار نگیرند.

۳- مختل شدن گرمایش هنگام استفاده طولانی از آب گرم: با توجه به این که در پکیج، اولویت اول با آب گرم مصرفی است، تا زمانی که در هر موقعیتی، آب گرم مورد استفاده قرار می‌گیرد، پکیج از گرم نمودن آب گرم گرمایشی خودداری می‌کند، و آب گرم مصرفی را گرم می‌نماید. لذا در صورت طولانی شدن زمان استفاده از آب گرم مصرفی گرمایش ساختمان مختل می‌شود.

۴- گرم و سرد شدن آب گرم مصرفی: در صورتی که فشار آب ورودی پکیج نوسان داشته باشد، آب گرم مصرفی دمای یکنواخت ندارد و گرم و سرد می‌شود.

۵- طول عمر پایین: عمر مفید پکیج وابسته به سختی و املاح موجود در آب بین ۵ تا ۷ سال است.

۳-۱-۸- مزایای گرمایش مرکزی

۱- وجود آب گرم همیشه در دسترس: در سامانه موتورخانه مرکزی به دلیل وجود مخزن آب گرم مصرفی، همواره میزان قابل ملاحظه‌ای آب گرم یکنواخت برای مصرف وجود دارد و در صورت فشار کم آب در هنگام استحمام، آب گرم و سرد نمی‌شود؛ این مشکل در سیستم پکیج‌های موجود دیده می‌شود و آزاردهنده است.

۲- عمر بیشتر: طول عمر سیستم‌های گرمایش مرکزی موتورخانه به طور متوسط چهار برابر بیشتر از پکیج است. همه ساکنین از سیستم موتورخانه مرکزی استفاده می‌کنند، بنابراین نگهداری این سیستم با دقت بیشتری توسط مدیریت ساختمان انجام می‌شود و طراحی نیز همواره سیستم پشتیبان در نظر گرفته می‌شود؛ بنابراین در زمان‌های خرابی سیستم، گرمایش ساختمان مختل نمی‌شود.

۳- ایمنی بیشتر: چون موتورخانه مرکزی در فضایی خارج از محل مسکونی تعبیه می‌شود، به لحاظ ایمنی بهتر بوده و اگر نگهداری و تعمیرات به موقع و اصولی انجام شود، خطرات کمتری را برای ساکنین به همراه خواهد داشت.

۴- صرفه اقتصادی: استفاده از سیستم‌های حرارت مرکزی در پروژه‌های بزرگ، از نظر اقتصادی به صرفه‌تر می‌باشد، و هزینه نگهداری و تعمیرات نیز به نسبت استفاده کنندگان تقسیم خواهد شد.

۵- استفاده از هوای آزاد بیرون برای احتراق: در سیستم موتورخانه مرکزی، برای سوخت و احتراق از هوای آزاد بیرون استفاده می‌شود، لذا کیفیت هوای داخل ساختمان بسیار مناسب است و دچار کمبود اکسیژن نخواهد شد.

۶- کاهش ظرفیت کلی: در سیستم متمرکز، همه تجهیزات الکتریکی و مکانیکی مورد نیاز در یک محل تجمع دارند، بنابراین با در نظر گرفتن ضریب همزمانی، میزان ظرفیت کلی دستگاه‌های حرارتی از سیستم‌هایی که به صورت مستقل و غیر متمرکز استفاده می‌شوند، کمتر است. در سیستم‌های مستقل، دستگاه بر اساس پیک بار هر واحد انتخاب می‌شود.

۴-۱-۸- معایب گرمایش مرکزی

۱- اشغال فضای زیاد: موتورخانه مرکزی فضای بیشتری نسبت به پکیج اشغال می‌کند.

۲- مشاع بودن: مشاع بودن هزینه‌های موتورخانه مرکزی می‌تواند سبب ایجاد اختلاف نظر در میزان حق شارژ بین ساکنین باشد؛ و همچنین انگیزه صرفه جویی مصرف انرژی در این سیستم پایین است.

۳- نگهداری و تعمیرات دائمی: موتورخانه مرکزی نیاز به نگهداری دائمی دارد تا تعمیرات مورد نیاز به موقع انجام شود و اختلالی در عملکرد آن به وجود نیاید.

۴- مشکلات دودکش ساختمان: تصور این که در ساختمان‌های مجهز به سیستم‌های حرارت مرکزی، حادثه گازگرفتگی رخ نمی‌دهد یک فرض کاملاً اشتباه است. اما مشکل از سیستم دیگ و مشعل نیست، مشکل در مکش دودکش موتورخانه، نحوه اجرای نامناسب دودکش و اتصال و درزبندی قطعات دودکش داخل دیوار در زمان ساخت و ساز و همچنین مشکل در ورود هوای تازه به موتورخانه و تهویه هواست که در صورت مختل شدن هر یک به علت ظرفیت بالای مشعل موتورخانه، خطر گازگرفتگی بسیار بیشتر و شدیدتر خواهد بود. با نشت گاز مونواکسیدکربن از طریق رایزرها و راه‌پله‌ها به واحدهای مسکونی، نشت گاز از ترک‌های دیواری که دودکش موتورخانه از آن عبور کرده و دودکش عایق بندی مناسبی نگردیده و یا دچار ترک و شکستگی شده است، گازگرفتگی گروهی رخ می‌دهد.

۵-۱-۸- دلایل عمده کاهش راندمان موتورخانه مرکزی

هرچند ممکن است راندمان هر یک از اجزاء موتورخانه به صورت مجزا بالاتر از ۸۰ درصد اعلام شود، اما طبق گزارش شرکت بهینه‌سازی مصرف سوخت کشور راندمان سیستم حرارت مرکزی یا موتورخانه‌های موجود، حدود ۵۵ درصد اعلام شده است. موتورخانه یک قطعه یا یک محصول نیست بلکه یک سیستم و مجموعه است که از اجزا و قطعات متعدد تشکیل یافته که بر راندمان کل سیستم تأثیرگذار است. طراحی و اجرای کل موتورخانه و منبع دوجداره، لوله‌کشی ساختمان، وضعیت عایق‌بندی منبع ذخیره آب گرم و لوله‌های رفت و برگشت، مکش دودکش و تهویه هوا و... راندمان کل را تعیین می‌کند. در ادامه دلایل راندمان پایین موتورخانه‌های موجود آورده می‌شود:

- عدم تنظیم دقیق مشعل و در برخی موارد پایین بودن راندمان مشعل و دیگ.
- عدم عایق‌بندی صحیح منبع آب گرم داخل موتورخانه، منبع انبساط روی پشت بام، لوله‌های رفت و برگشت شوفاژها و لوله‌های آب گرم بهداشتی.
- نبود تناسب صحیح ظرفیت حرارتی دیگ با مشعل موتورخانه.
- استفاده از دیگ چدنی به عنوان مولد حرارت.
- نبود طراحی و اجرای مناسب کل سیستم موتورخانه بر اساس محاسبات فنی مهندسی.
- نبود انطباق درست ظرفیت حرارتی موتورخانه با بار حرارتی کل ساختمان.
- نبود استفاده از فناوری‌های نوین و پیشرفته مثل مبدل‌های صفحه‌ای برای تامین آب گرم فوری و به کارگیری مخازن بزرگ ذخیره آب گرم.
- رسوب‌گیری زیاد در داخل پره‌های دیگ و منبع آب گرم که بخش زیادی از آن به دلیل وجود املاح در آب است.
- نامناسب بودن دودکش و تهویه هوای لازم برای احتراق.
- نبود بکارگیری یا نبود اجرای مناسب سیستم مدیریت هوشمند موتورخانه (BMS) و در بعضی موارد خارج کردن ترموستات‌ها از حالت هوشمند و اتوماتیک به حالت دستی توسط اپراتورها یا کاربران و در نتیجه عدم تنظیم صحیح و دقیق ترموستات.
- فاصله ی زیاد منبع آب گرم از مصرف کنندگان.
- نبود امکان تنظیم دماهای مناسب برای آب گرم مصرفی و گرمایش به صورت مجزا.
- لزوم راه اندازی سیستم گرمایش سالانه با اولین درخواست (سکونت اولین خانواده در یکی از واحد های مسکونی ساختمان های نوساز و اولین خانواده ای که احساس سرما کند).
- عامل فرهنگی: چرا من باید صرفه جویی کنم ولی هزینه مصرف بالای بقیه را پرداخت کنم؟ (عدم مدیریت مصرف انرژی توسط خانواده ها).
- نبود وجود سامانه ای دقیق و قابل اعتماد برای تعیین سهم مصرفی هر واحد مسکونی برای تقسیم شارژ.

- نبود قابلیت تنظیم درجه‌ای توان کارکرد مشعل متناسب با نیاز که البته در فناوری‌های جدید سیستم ماژول شعله وجود دارد که خود مزیت بسیار بزرگی برای کاهش مصرف گاز به حساب می‌آید.

۶-۱-۸- نتیجه‌گیری برای انتخاب سیستم گرمایش مرکزی یا مستقل

در کاربری مسکونی با مساحت مفید کمتر از ۳۰۰ متر مربع، در صورت عدم وجود استخر، و همچنین ساختمان‌های با تعداد طبقات محدود استفاده از پکیج به منظور گرمایش توصیه می‌شود. با توجه به توضیحاتی که در بخش‌های قبل آورده شد، در ساختمان‌هایی با مجموع مساحت مفید بیش از ۶۰۰ متر مربع استفاده از گرمایش مستقل (پکیج) منطقی نیست، و استفاده از موتورخانه مدرن با دیگ‌های چگالشی توصیه می‌شود. اولویت اول برای موتورخانه‌ها استفاده از دیگ‌های چگالشی می‌باشد؛ استفاده از دیگ‌های فولادی در اولویت دوم قرار دارد. برای موتورخانه‌های با ظرفیت پایین استفاده از دیگ‌های چدنی اتمسفریک بی‌صدا نیز توصیه می‌شود. در صورتی که امکان بروز اختلاف ناشی از مشاع بودن هزینه‌های سیستم مرکزی احساس می‌شود، استفاده از سامانه انرژی متر برای رفع این مشکل توصیه می‌شود.

در کاربری‌های اداری و تجاری، بیمارستان و هتل، برای گرمایش اتاق‌های مختلف، استفاده از سیستم گرمایش موتورخانه مرکزی و فن کویل، مناسب‌ترین انتخاب است. برای گرمایش و سرمایش فضاهای بزرگ مانند مساجد، حسینیه‌ها، تالارهای پذیرایی، رستوران‌ها، سالن‌های سمینار و اجتماعات، فروشگاه‌ها و مراکز خرید زنجیره‌ای، نمایشگاه‌ها، سالن‌ها و باشگاه‌های ورزشی، فضای مشاع هتل‌ها و مراکز تفریحی، استفاده از سامانه‌های گرمایش تابشی، مناسب است و راندمان احتراق و مصرف سوخت بهینه دارند و بهره‌وری انرژی قابل قبولی دارند. استفاده از روفتاپ پکیج و هواساز در مکان‌های اشاره شده، در اولویت دوم قرار دارد. استفاده از کوره‌های هوای گرم تابشی، در مواقعی که خطر آتشسوزی زیاد باشد و یا مواد قابل اشتعال در محل وجود داشته باشند، انتخاب خوبی نیست، و بهتر است در این مواقع از هواساز استفاده شود. اتاق‌های مراکز درمانی علاوه بر گرمایش نیاز به هوای تازه نیز دارند، که حتماً باید به وسیله هواساز هوای تازه بعد از فیلتراسیون و گرمایش از طریق کانال‌کشی، به اتاق‌ها منتقل شود.

در کاربری‌های صنعتی، کارخانه و کارگاه‌های صنعتی، در صورتی که استفاده از کوره‌های هوای گرم تابشی خطر آفرین نباشند، استفاده از آن‌ها به دلیل راندمان احتراق و مصرف سوخت بهینه، ارجحیت دارد، در غیر این صورت، استفاده از هواساز و روفتاپ پکیج، استفاده بسیار مناسبی برای ایجاد شرایط آسایش و رساندن دما به حد مطلوب می‌باشد. و برای فضاهای محدود مانند اتاق‌ها اگر ظرفیت محدود باشد استفاده از پکیج و رادیاتور مناسب است؛ و اگر تعداد اتاق‌ها و مجموع ظرفیت آن‌ها زیاد باشد، استفاده از موتورخانه مرکزی و فن کویل برای این منظور توصیه می‌شود.

۲-۸- انتخاب سیستم‌های سرمایشی

در استفاده از کولرگازی اسپلیت، برای هر فضا باید یک دستگاه کولرگازی مجزا در نظر گرفته شود، هر دستگاه کولرگازی دارای یک پنل خارجی است. محدودیت طول و ارتفاع لوله‌کشی و تعداد پنل‌های خارجی زیاد، استفاده از کولرگازی اسپلیت را برای پروژه‌های بزرگ محدود می‌کند.

رعایت حداکثر طول و ارتفاع لوله‌کشی برای کولرهای گازی اسپلیت بسیار اهمیت دارد و اگر رعایت نشود موجب افت راندمان و نهایتاً خرابی کمپرسور می‌شود. برای کولرهای گازی اسپلیت با ظرفیت‌های کمتر از ۱۲۰۰۰ بی‌تی‌یو بر ساعت، حداکثر طول و ارتفاع لوله‌کشی به ترتیب ۱۵ و ۷ متر، و برای ظرفیت‌های بیشتر از ۱۲۰۰۰ بی‌تی‌یو بر ساعت، حداکثر طول و ارتفاع لوله‌کشی به ترتیب ۳۰ و ۱۵ متر می‌باشد. بنابراین استفاده از کولرگازی اسپلیت برای ساختمان‌های مرتفع (بیش از ۵ طبقه) توصیه نمی‌شود.

برای کنترل دما و ایجاد شرایط آسایش، در صورت استفاده از کولرگازی اسپلیت، برای هر فضا باید یک دستگاه جداگانه در نظر گرفته شود، این مسئله باعث می‌شود که تعداد پنل‌های خارجی زیاد شود، جایگذاری تعداد زیاد پنل خارجی روی پشت بام، به نحوی که در عملکرد یکدیگر تأثیر نداشته باشند مشکل و بعضی مواقع که تعداد فضاهای داخلی ساختمان زیاد باشد، تقریباً غیرممکن است. به ازای هر پنل داخلی، تخلیه آب کندانس نیز باید در نظر گرفته شود، که این مسئله نیز از چالش‌های این سیستم است. در ساختمان‌های با تعداد فضای زیاد، استفاده از تعداد زیاد دستگاه کولرگازی اسپلیت باعث افزایش تقاضای برق ساختمان می‌شود، و خرید انشعاب برق برای ساختمان هزینه‌بر است. استفاده از سیستم‌های سرمایش مرکزی مانند چیلرها و اسپلیت مرکزی (VRF)، باعث کاهش تقاضای برق ساختمان و کاهش هزینه‌های تحمیل شده به ساختمان در جهت بالا رفتن آمپر مصرفی می‌شود.

در سیستم‌های داکت اسپلیت، طول مجاز لوله‌کشی برای برندهای مختلف و تناژ مختلف سیستم‌ها متفاوت است، و در کاتالوگ دستگاه مشخص گردیده است؛ معمولاً حداکثر ارتفاع مجاز لوله‌کشی بین ۱۰ تا ۳۰ متر می‌باشد.

استفاده از داکت اسپلیت به طور کلی به دلیل مشکلاتی که در زمینه هوای مورد نیاز هر فضا دارد و کنترل دمای فضاهای مختلف به درستی انجام نمی‌شود، توصیه نمی‌شود. استفاده از داکت اسپلیت فقط برای فضاهای با مساحت بزرگ داخل ساختمان مسکونی به منظور جلوگیری از نصب چند کولرگازی اسپلیت منطقی است (با در نظر گرفتن سیستم سرمایشی جدا برای اتاق خواب‌ها).

سیستم‌های VRF قابلیت لوله‌کشی در طول و ارتفاع بالا را دارند. در این سیستم امکان لوله‌کشی کل سیستم ۱۰۰۰ متر و ارتفاع ۱۱۰ متر می‌باشد، که مناسب برای ساختمان‌های با ارتفاع بلند است.

اسپلیت مرکزی یا همان VRF به این صورت است که به طور همزمان می‌توان چندین یونیت داخلی را تنها به یک یونیت خارجی متصل نمود؛ از این جهت نسبت به کولرهای گازی اسپلیت که به ازای هر فضا در ساختمان نیازمند یونیت داخلی و خارجی جداگانه است، بسیار بهتر است. از طرف دیگر با استفاده از اسپلیت

مرکزی کنترل دمای هر فضا به راحتی امکان پذیر است؛ و امکان نصب این سیستم در ساختمان‌های با مترای بالا و چند واحد مستقل وجود دارد؛ در صورتی که داکت اسپلیت تنها برای تهویه مطبوع یک واحد مجزا طراحی شده و با قرار گرفتن در سقف، به واسطه کانال، هوای ایجاد شده را به فضاهای مختلف منتقل می‌کند؛ و امکان کنترل دمای هر فضا به صورت جداگانه وجود ندارد. همچنین با توجه به متغیر بودن جریان مبرد سیستم‌های اسپلیت مرکزی، کنترل در بخش‌های مختلف مقدار مصرف انرژی، به حد قابل توجهی نسبت به داکت اسپلیت کاهش می‌یابد. بنابراین اسپلیت مرکزی نسبت به داکت اسپلیت نیز برتری دارد. اگرچه مزایای اسپلیت مرکزی نسبت به کولرگازی و داکت اسپلیت بیشتر است و تکامل یافته این سیستم‌ها می‌باشد، اما این سیستم وارداتی و گران قیمت است و در مقایسه با چیلر مرکزی از لحاظ هزینه خرید اولیه بسیار گرانتر (حدود دو برابر) می‌باشد. بنابر نتایج تجربی شرکت مهندسی تهویه نگار، در به کارگیری سیستم VRF برای پروژه‌های بزرگ، به دلیل مسائل کنترلی، پیچیدگی‌های لوله‌کشی و نیز کاهش راندمان یونیت‌های داخلی دور از یونیت خارجی، ترجیح بر این است که برای هر واحد، یک یونیت خارجی جداگانه در نظر گرفته شود؛ در این شرایط مصرف برق VRF حدود ۲۰ تا ۳۰ درصد بیشتر از چیلر مرکزی و فن کویل می‌شود؛ چون چیلر مرکزی در تمام زمان مصرف در حالت تمام بار^{۳۳} کار نمی‌کند؛ و همچنین ظرفیت چیلر مرکزی درصدی از مجموع ظرفیت فن کویل‌ها در نظر گرفته می‌شود، در صورتی که برای انتخاب VRF تقریباً ظرفیتی معادل تمام ظرفیت یونیت‌های داخلی، لحاظ می‌گردد [3].

به لحاظ اقتصادی، هزینه‌های اولیه و نگهداری و تعمیرات چیلر بیشتر از داکت اسپلیت و کولرگازی اسپلیت می‌باشد؛ اما کیفیت عملکردی چیلر بسیار بهتر از داکت اسپلیت و کولرگازی اسپلیت است. فن کویل‌هایی که برای چیلر استفاده می‌شوند بسیار کم صдатر از پنل داخلی داکت اسپلیت‌ها می‌باشند. در استفاده از چیلر و فن کویل، امکان کنترل دمای هر فضا به صورت جداگانه، به طور مثال امکان خاموش کردن فن کویل اتاق خواب در طول روز که از آن استفاده نمی‌شود، وجود دارد.

در محاسبه ظرفیت برودت چیلر مرکزی برای یک ساختمان، این موضوع در نظر گرفته می‌شود که تمامی فن کویل‌های نصب شده در ساختمان، همزمان روشن نیستند؛ بنابراین ظرفیت چیلر مرکزی درصدی از مجموع ظرفیت فن کویل‌ها می‌باشد. این درصد در محاسبات مینی‌چیلرها یا لحاظ نمی‌شود، یا درصد به مراتب بیشتری در نظر گرفته می‌شود. بنابراین استفاده از مینی‌چیلرها تنها در ساختمان‌های با ظرفیت محدود (کمتر از ۱۰ تن تبرید) توصیه می‌شود. بنابر نتایج تجربی شرکت مهندسی تهویه نگار، اگر در ساختمان‌های با مترای بالا و تعداد طبقه و واحدهای زیاد، به طور جداگانه برای هر واحد یک مینی‌چیلر در نظر گرفته شود، به دلیلی که گفته شد، هزینه تمام شده مینی‌چیلرها بسیار گرانتر از چیلر مرکزی می‌شود (حدود دو برابر)؛ همچنین از لحاظ برق مصرفی نیز اگر از مینی‌چیلر دو کمپرسور و اینورتردار استفاده نشود، نسبت به چیلر مرکزی مصرف برق و در نتیجه هزینه آن بسیار بیشتر می‌شود (حدود دو برابر) [3].

³³ Full load

استفاده از مینی چیلرها برای ساختمان های بزرگ با واحدهای متعدد، به لحاظ هزینه خرید و فضای لازم برای جانمایی دستگاهها، انتخاب مناسبی نیست. از طرفی هرچند بکارگیری چیلر مرکزی بسیار مقرون به صرفه تر بوده و فضای به مراتب کمتری را اشغال می کند، اما در هر صورت یک سیستم مرکزی است و خرابی چنین سیستمی به منزله محروم شدن کل ساختمان از آب سرد مورد نیاز فن کویل ها خواهد بود. لذا، در پروژه های بزرگ تهویه مطبوع، استفاده از مینی چیلرهای مدولار به عنوان جایگزین چیلر مرکزی توصیه می شود. یعنی استفاده همزمان از چند چیلر کوچک با ظرفیت های نسبتاً زیاد و معمولاً یکسان که با یکدیگر مدولار می شوند. به عنوان مثال، در یک ساختمان مسکونی ۳۰ واحدی، که هر واحد به ۵ تن تبرید نیاز دارد، می توان به جای استفاده از ۳۰ دستگاه مینی چیلر ۵ تن تبریدی، و یا به جای استفاده از یک دستگاه چیلر مرکزی با ظرفیت ۱۵۰ تن تبرید، ۱۰ دستگاه مینی چیلر مدولار به ظرفیت هریک ۱۵ تن تبرید را جایگزین نمود. این چنین در مقایسه با ۳۰ دستگاه چیلر کوچک مستقل، هزینه خرید و فضای لازم برای بهره برداری کاهش یافته و در مقایسه با چیلر مرکزی، امنیت بهره برداری از سیستم افزایش می یابد.

راندمان عملکردی چیلرهای جذبی پایین تر از چیلرهای تراکمی است. طبق گزارشی که از نتایج تجربی به دست آمده است، شرکت به فیکس مقایسه ای از میزان ضریب عملکرد چیلرهای مختلف ارائه داده است؛ که در نتیجه این گزارش ضریب عملکرد چیلر جذبی هوا خنک ۲/۱۴، چیلر تراکمی آب خنک ۳/۵۸، چیلر جذبی تک اثره ۰/۷۹، و چیلر جذبی دو اثره ۱/۱۷ به دست آمده است. اگر چه سوخت مصرفی چیلرهای جذبی گاز طبیعی می باشد و نسبت به برق ارزان تر است، اما به دلیل راندمان پایین چیلرهای جذبی، هزینه های انرژی در چیلر جذبی بیشتر از چیلر تراکمی می باشد. این نتیجه نیز از گزارش فنی شرکت به فیکس نتیجه گیری می شود. طبق این گزارش فنی، هزینه انرژی (گاز و برق) چیلر جذبی تک اثره بیشترین مقدار، و بعد از آن چیلر جذبی دو اثره بیشترین هزینه انرژی را دارند؛ و چیلر تراکمی هواخنک و آب خنک به ترتیب در رتبه سوم و چهارم می باشند [59]. هزینه های نگهداری و تعمیرات چیلرهای جذبی نیز در مقایسه با چیلرهای تراکمی بیشتر است. در پروژه های بزرگ که تأمین نیاز زیاد سرمایه ای وجود دارد، چیلرهای جذبی چون ظرفیت های بالایی دارند، در مجموع حجم کمتری را اشغال می کنند. در برخی کاربردهای خاص در صورتی که محل موتورخانه نباید آلودگی های صوتی داشته باشد، چیلرهای جذبی در مقایسه با چیلرهای تراکمی ساکت تر هستند. چیلرهای جذبی به دلیل سوزاندن سوخت های فسیلی اگر در کاربری های مسکونی استفاده شوند، سبب آلودگی های شهری نیز می شوند، و مواد ضد خوردنده که به ماده جاذب (لیتیوم بروماید) آن اضافه می شود، بسیار سمی و خطرناک هستند و از تماس مستقیم با آن ها باید جلوگیری شود. تمایز آشکار چیلرهای تراکمی و جذبی مصرف برق و تأمین آن می باشد. در ظرفیت های زیاد نیاز به تبرید، آمپر مصرفی چیلرهای تراکمی بسیار زیاد می شود، و نیاز به خرید انشعاب سنگین برق برای چیلرهای تراکمی وجود دارد، که هزینه های نسبتاً گرانی دارند؛ در این مواقع چیلرهای جذبی کاربرد دارند چون نیاز به انشعاب برق بسیار پایین تر دارند؛ و هزینه های خرید انشعاب گاز ارزان تر است. استفاده از چیلرهای جذبی دو اثره چون راندمان بالاتری دارند، در مکان هایی که انرژی گرمایی به وفور در دسترس می باشد (مانند نیروگاه ها)، می تواند مفید باشد.

استفاده از دستگاه پکیج یونیت^{۳۴} یا روف تاپ پکیج^{۳۵} برای سرمایش مکان‌های بزرگ که در آن‌ها افراد زیادی حضور و فعالیت دارند، مانند مساجد، حسینیه‌ها، سالن‌های آمفی‌تئاتر، و یا آشپزخانه‌هایی که پخت و پز در آن‌ها صورت می‌گیرد، و هر مکان دیگری که گرمای نهان زیادی داشته باشد، توصیه می‌شود. همانطور که در بخش‌های قبل گفته شد، این دستگاه تهویه مطبوع، عمل تهویه کامل هوا شامل کنترل درجه حرارت هوای ورودی به محیط (سرمایش و گرمایش)، کنترل رطوبت و نیز فیلتر کردن هوا را در یک واحد یکپارچه انجام می‌دهد. در این دستگاه به جای این که از آب در مدار سیستم استفاده شود، مبرد جاری در بخش چیلر دستگاه پکیج یونیت مستقیماً به کویل بخش هواساز آن منتقل می‌شود و مستقیماً موجب کاهش دمای هوای عبوری از سطح کویل‌ها می‌گردد؛ بنابراین با حذف آب از مدار، ضمن افزایش راندمان (به علت کاهش اتلافات مربوط به کاهش دمای آب به عنوان سیال واسطه)، کل سیستم در یک مجموعه واحد طراحی شده است. گرمایش پکیج یونیت به این صورت است که از کویل آب گرم در آن استفاده می‌شود؛ در فصل زمستان با گرم شدن آب در موتورخانه یا پکیج و پمپاژ آن به درون کویل‌های آبگرم جاسازی شده در دستگاه پکیج یونیت و همزمان با آن، با دمیده شدن هوا توسط فن از اطراف کویل‌ها، هوا گرم شده و با کانال کشی در سرتاسر ساختمان توزیع می‌شود. یکپارچه بودن روف تاپ پکیج و ادغام چیلر و هواساز، منجر به بزرگ شدن ابعاد دستگاه و وزن سنگین آن می‌شود، و برای پروژه‌های با ظرفیت برودتی کمتر از ۱۰۵ تن تبرید و ظرفیت هوادهی کمتر از ۳۵۰۰۰ فوت مکعب در دقیقه توصیه می‌شود. در پروژه‌های با ظرفیت برودتی و هوادهی بسیار بالا، استفاده از هواساز با کویل انبساط مستقیم (DX) و کندانسینگ یونیت^{۳۶}، امکان استفاده از فیلترهای متعدد، و مؤلفه‌هایی از جمله: رطوبت‌زن، رطوبت‌گیر، فن برگشت و سیستم بازیاب حرارت، را دارند، و حجم فضای داخلی هواساز برای استفاده از مؤلفه‌های کنترلی مختلف، بیشتر است.

سیستم تهویه مطبوع GHP به علت استفاده از موتور احتراق داخلی گازسوز جهت چرخش کمپرسور و نیز استفاده از مبدل حرارتی بازیافت‌کننده گرمای موتور، کندانسور را در فصل سرما گرم نگه داشته و راندمان سیکل تبرید تراکمی را در حالت گرمایش افزایش داده و از ایجاد برفک در آن جلوگیری می‌کند، و به همین خاطر به عنوان سیستم تهویه مطبوع سرمایشی و گرمایشی راندمان بالا مطرح شده است. بنابراین در صورت استفاده از GHP به سیستم مکمل حرارتی نیازی نیست و تنها با یک سیستم یکپارچه، تقاضای سرمایشی گرمایشی ساختمان تأمین می‌شود. در حالی که در صورت استفاده از چیلر، به مکمل حرارتی در زمستان مانند تجهیزات دیگ آب گرم و موتورخانه نیاز خواهد بود. حذف موتورخانه، ضمن کاهش هزینه‌های اولیه موجب می‌شود که بتوان از فضای اختصاص یافته برای موتورخانه استفاده‌های دیگری به عمل آورد.

مبرد R-11 بیشترین پتانسیل تخریب لایه ازن را دارد. به جز این مبرد سایر مبردهایی چون R-114، R-12، R-113، نیز برای محیط زیست خطرناک هستند. با توجه به اینکه امروزه در سیستم‌های تهویه GHP

³⁴ Package Unit

³⁵ Roof Top Package

³⁶ Condensing Unit

از گاز R134a و گازهای مشابه به عنوان مبرد استفاده می‌شود، پتانسیل تخریب لایه ازن آن صفر بوده و در صورت آزاد شدن، هیچ آسیبی به لایه ازن نمی‌زند و برای محیط زیست خطرناک نیست. افزون بر آن این مبرد راندمان عملکرد GHP را نیز افزایش می‌دهد. استفاده مستقیم سیستم GHP از گاز طبیعی از دیگر مزیت‌های GHP است، که موجب می‌شود هزینه‌های ناشی از راندمان پایین نیروگاه‌ها و اتلاف انرژی در مسیرهای انتقال نیرو حذف گردد؛ و از سوی دیگر حداکثر استفاده از منابع طبیعی فراهم آید. به نحوی که راندمان کمتر از ۲۵ درصد روند تولید و انتقال برق را، نسبت به انرژی گاز طبیعی به بالاتر از ۹۵ درصد می‌رساند. صرفه اقتصادی ناشی از صرفه جویی و جلوگیری از اتلاف انرژی از این لحاظ، بسیار زیاد است.

بر مبنای گزارش فنی شرکت مهندسان ایرانی خودکفا (ماخ)، به منظور بررسی هزینه‌های جاری (برق و گاز)، برای تامین سرمایه‌گذاری در سیستم‌های برقی به ازای هر تن تبرید به ۰۰۹ تا ۱۰۱ کیلووات (بسته به نوع سیستم انتخابی مانند چیلر و VRF و...) برق و در مجموع برای ۱۰۰ تن تبرید به حدود ۱۰۰ کیلووات برق نیاز است. در حالی که سیستم گازسوز GHP برای ۱۰۰ تن تبرید به حدود ۲۴ متر مکعب بر ساعت گاز و به حدود ۱۰ کیلووات برق نیاز دارد، که با توجه به قیمت‌های برق و گاز، هزینه‌ها بسیار کاهش می‌یابد. با کاهش مصرف برق در پروژه‌های بزرگ نیاز به خرید انشعابات برق گران‌قیمت نمی‌باشد، و از این طریق هزینه‌ها کاهش می‌یابد [2]. تنها مشکل این سیستم‌ها وارداتی بودن آن‌ها است، که باعث شده در حال حاضر هزینه اولیه بسیار گران داشته باشند، و در داخل کشور کمیاب هستند. از دیدگاه ملی، استفاده از سیستم GHP به عنوان یک انتخاب مناسب، موجب کاهش هزینه‌های تلف شده، صرفه جویی در مصرف انرژی و صرفه اقتصادی خواهد گردید. منافع حاصل از این بخش، بسیار زیاد بوده و دولتمردان بایستی به صورت ویژه سیستم GHP را به عنوان یک سیستم به صرفه اقتصادی و کاربردی برای سرمایه‌گذاری و گرمایش، در سطح ملی، مانند سایر سیستم‌های مدرن بهینه‌سازی مصرف انرژی مورد لحاظ و حمایت قرار دهند. بدیهی است که سیاست‌های حمایتی و تشویقی برای استفاده از این سیستم و حتی در گام بزرگتر، بومی‌سازی و متداول نمودن آن گامی اساسی در تقویت اقتصاد ملی می‌باشد.

۱-۲-۸- سیستم‌های سرمایه‌گذاری تبخیری

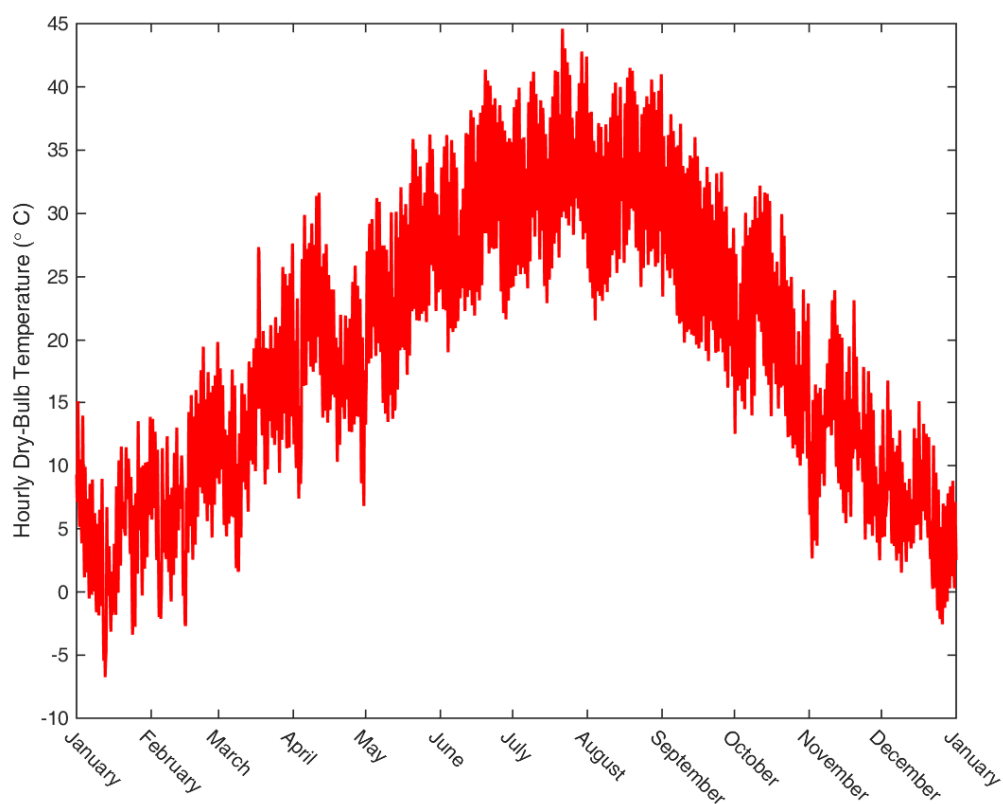
در سرمایه‌گذاری تبخیری از انرژی نهان تبخیر استفاده می‌شود، به این صورت که هوای محیط بیرون به یک واسط اشباع از آب (پوشال یا سلولز) دمیده می‌شود، و آب گرمای هوای مجاور خود را می‌گیرد تا تبخیر شود. هوای سرد شده به واسطه یک دمنده به محیط ارسال می‌شود. سرمایه‌گذاری تبخیری مستقیم تا زمانی که جریان هوا نزدیک اشباع است به هوا رطوبت می‌دهد. در این حالت دمای حباب خشک^{۳۷} کاهش می‌یابد، در حالی که

³⁷ Dry-Bulb Temperature

دمای حباب مرطوب^{۳۸} تغییر نمی‌کند. سرمایش تبخیری برای مناطق مرطوب کارایی ندارد، اما برای مناطق گرم و خشک انتخاب مناسبی هستند و سرمایش کم هزینه‌ای را به ارمغان می‌آورند. در بهترین حالت سرمایش تبخیری، دمای هوای خشک می‌تواند تا دمای هوای مرطوب کاهش یابد. بر این اساس راندمان سیستم‌های سرمایش تبخیری به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$\eta = \frac{T_{db} - T_o}{T_{db} - T_{wb}} \quad (1)$$

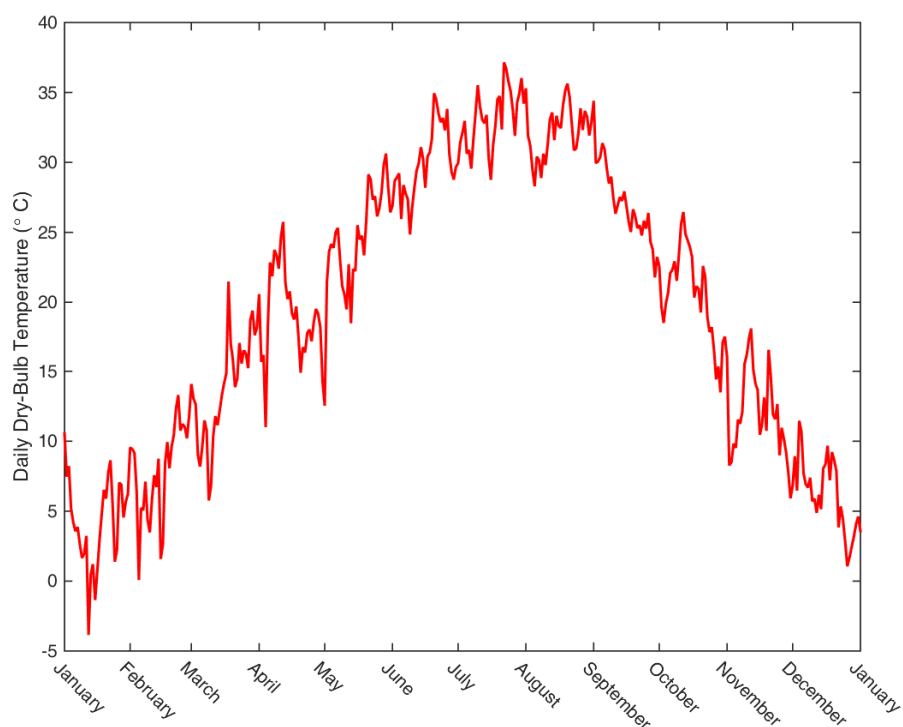
در رابطه بالا η راندمان سیستم سرمایش تبخیری، T_{db} دمای هوای خشک محیط، T_{wb} دمای هوای مرطوب محیط، و T_o دمای حباب خشک خروجی از سیستم سرمایش تبخیری می‌باشد. شهر قم تابستان‌های گرم و خشک دارد؛ بنابراین از این لحاظ سیستم‌های سرمایش تبخیری انتخاب مناسبی برای این شهر می‌باشند. مسئله مهم این است که سرمایش تبخیری جوابگوی خنک‌سازی هوا در تابستان گرم شهر قم هست یا خیر. در پژوهش حاضر این مورد پاسخ داده می‌شود. مقادیر دمای خشک هوای شهر قم به صورت ساعتی و میانگین روزانه در کل سال به ترتیب در شکل ۱ و ۲ آورده شده است. این مقادیر از طریق پایگاه جهانی آب و هوایی متونورم^{۳۹} استخراج شده‌اند. بر این اساس حداکثر دمای هوای خشک شهر قم ۴۵ درجه سانتی‌گراد در نظر گرفته می‌شود.



³⁸ Wet-Bulb Temperature

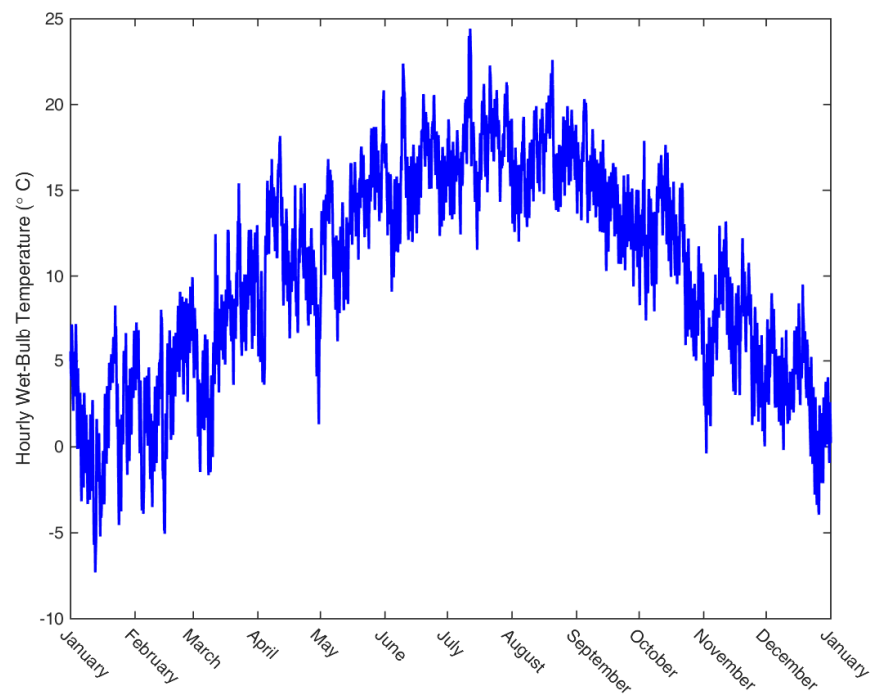
³⁹ Meeonorm

شکل ۱: دمای هوای خشک شهر قم به صورت ساعت به ساعت در طول سال.

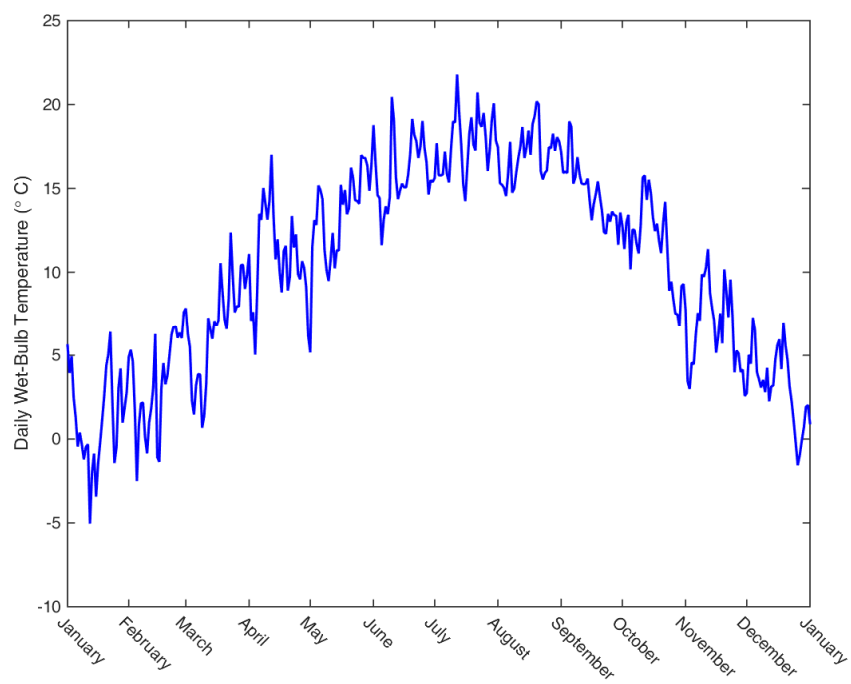


شکل ۲: دمای هوای خشک شهر قم به صورت میانگین روزانه در طول سال.

مقادیر دمای مرطوب هوای شهر قم به گزارش پایگاه جهانی آب و هوایی متونورم به صورت ساعتی و میانگین روزانه در کل سال به ترتیب در شکل ۳ و ۴ آورده شده است. بر این اساس حداکثر دمای هوای مرطوب شهر قم ۲۵ درجه سانتی گراد در نظر گرفته می شود.



شکل ۳: دمای هوای مرطوب شهر قم به صورت ساعت به ساعت در طول سال.



شکل ۴: دمای هوای مرطوب شهر قم به صورت میانگین روزانه در طول سال.

سیستم‌های سرمایش تبخیری متداول شامل کولرهای آبی، زنت و ابروآشر می‌باشند. راندمان سرمایش تبخیری کولرهای آبی و زنت بین ۷۰ تا ۸۰ درصد است؛ و راندمان ابروآشر حدود ۹۰ درصد می‌باشد. کولرهای آبی چهار درب بالکنی و کولرهای سلولزی و زنت راندمان حدود ۸۰ درصد دارند. با داشتن مقادیر فوق می‌توان دمای حباب خشک خروجی از هر یک از سیستم‌های سرمایش تبخیری را به صورت زیر محاسبه نمود.

$$\eta = \frac{T_{db} - T_o}{T_{db} - T_{wb}} \rightarrow 0.7 = \frac{45 - T_o}{45 - 25} \rightarrow T_o = 31^\circ\text{C}$$

$$\eta = \frac{T_{db} - T_o}{T_{db} - T_{wb}} \rightarrow 0.8 = \frac{45 - T_o}{45 - 25} \rightarrow T_o = 29^\circ\text{C}$$

$$\eta = \frac{T_{db} - T_o}{T_{db} - T_{wb}} \rightarrow 0.9 = \frac{45 - T_o}{45 - 25} \rightarrow T_o = 27^\circ\text{C}$$

همانطور که از روابط بالا مشخص است، دمای حباب خشک خروجی از کولرهای آبی و زنت در گرمترین شرایط هوای شهر قم، وابسته به راندمان سرمایش تبخیری آن‌ها بین ۲۹ تا ۳۱ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. و این مقدار برای ابروآشر ۲۷ درجه سانتی‌گراد است. چون دمای آسایش طرح داخل برای تابستان ۲۵ درجه سانتی‌گراد در نظر گرفته می‌شود، می‌توان نتیجه گرفت در گرم‌ترین شرایط هوای شهر قم هیچ‌کدام از سیستم‌های سرمایش تبخیری نمی‌توانند دمای آسایش طرح داخل را فراهم کنند.

یکبار دیگر محاسبات برای دماهای میانگین روزانه تکرار می‌شود، تا شرایط میانگین روزانه بررسی شود. همانطور که در شکل ۲ مشاهده می‌شود، حداکثر دمای حباب خشک میانگین روزانه حدود ۳۷ درجه سانتی‌گراد، و حداکثر دمای حباب مرطوب میانگین روزانه از شکل ۴ حدود ۲۲ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. با داشتن این مقادیر می‌توان دمای حباب خشک خروجی از هر یک از سیستم‌های سرمایش تبخیری را به صورت زیر محاسبه نمود.

$$\eta = \frac{T_{db} - T_o}{T_{db} - T_{wb}} \rightarrow 0.7 = \frac{37 - T_o}{37 - 22} \rightarrow T_o = 26.5^\circ\text{C}$$

$$\eta = \frac{T_{db} - T_o}{T_{db} - T_{wb}} \rightarrow 0.8 = \frac{37 - T_o}{37 - 22} \rightarrow T_o = 25^\circ\text{C}$$

$$\eta = \frac{T_{db} - T_o}{T_{db} - T_{wb}} \rightarrow 0.9 = \frac{37 - T_o}{37 - 22} \rightarrow T_o = 23.5^\circ\text{C}$$

همانطور که از روابط بالا مشخص است، دمای حباب خشک خروجی از کولرهای آبی و زنت در گرمترین شرایط مقادیر میانگین روزانه هوای شهر قم، وابسته به راندمان سرمایش تبخیری آن‌ها بین ۲۵ تا ۲۶/۵ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. و این مقدار برای ابروآشر ۲۳/۵ درجه سانتی‌گراد است. می‌توان نتیجه‌گیری کرد که

کولرهای آبی معمولی که بازده سرمایش تبخیری پایینی دارند مناسب آب و هوای شهر قم نمی‌باشند؛ اما کولرهای چهاردرج بالکنی و کولرهای سلولزی و زنت که بازده سرمایش تبخیری آن‌ها حدود ۸۰ درصد است، و همچنین ابرواشر که بازده حدود ۹۰ درصد دارد، در شرایط میانگین روزانه می‌توانند دمای آسایش را فراهم کنند و تنها در برخی ساعات سال این اتفاق نمی‌افتد.

سیستم‌های سرمایش تبخیری نسبت انواع دیگر سیستم‌های سرمایشی هزینه اولیه و جاری پایین‌تری دارند، به عبارت دیگر هم ارزان‌تر هستند هم هزینه نگهداری و تعمیرات پایین‌تری دارند. از لحاظ مصرف برق نیز مصرف کمتری دارند و هزینه برق کاهش می‌یابد. از مهمترین معایب این سیستم‌ها مناسب نبودن برای مناطق دارای آب و هوای مرطوب، و برای مناطق گرم و خشک، جوابگو نبودن سرمایش در ساعات بسیار گرم سال می‌باشد. در مناطقی که املاح آب زیاد است رسوب و نمک بسیاری در این سیستم‌ها به وجود می‌آید که این مسئله نیز اهمیت زیادی در کارکرد این سیستم‌ها به خصوص ابرواشرها دارد. املاح زیاد آب سبب گرفتگی صافی آب ابرواشرها و همچنین کاهش کارایی نازل‌های افشانه آب آن‌ها می‌شود، و راندمان سرمایش تبخیری نیز کاهش می‌یابد. در این شرایط نیاز به نگهداری و تعمیرات به شدت زیاد شده و هزینه‌های مربوط به آن نیز افزایش می‌یابد؛ فراهم نشدن دمای آسایش در زمان‌هایی که سیستم درحال تعمیرات است نیز مسئله مهمی است.

به طور کلی با در نظر گرفتن مزایا و معایب سیستم‌های سرمایش تبخیری می‌توان نتیجه گرفت سیستم‌های سرمایش تبخیری به علت احتمال رشد و تکثیر قارچ‌ها و باکتری‌ها، و همچنین عدم امکان تنظیم دما فضاهای مختلف و همچنین مشکلاتی که برای سرمایش در ساعات‌های بسیار گرم سال دارند و در این نوشتار به آن اشاره شد، انتخاب مناسبی برای شهر قم نیستند.

۲-۲-۸- نتیجه‌گیری برای انتخاب سیستم‌های سرمایش

در کاربری مسکونی به طور کلی استفاده از سیستم‌های سرمایش تبخیری اعم از کولر آبی، زنت و ابرواشر توصیه نمی‌شود، چون علاوه بر احتمال رشد و تکثیر قارچ و باکتری در این سیستم‌ها، در ساعات‌های بسیار گرم سال در شهر قم که دمای هوا بیش از ۴۰ درجه سانتی‌گراد می‌رسد، نمی‌توانند سرمایش مطلوب را ایجاد کنند. استفاده از مینی‌چیلرها برای ساختمان‌های با ظرفیت کمتر از ۱۰ تن تبرید و استفاده از چیلرهای تراکمی برای ظرفیت‌های با ظرفیت بالاتر انتخاب بسیار مناسبی می‌باشد. استفاده از کولرگازی اسپلیت برای ساختمان‌های کمتر از ۵ طبقه و تعداد واحدهای محدود، در صورتی که تعداد فضاهای مدنظر سرمایش از ظرفیت جایگیری واحدهای خارجی روی پشت بام بیشتر نباشد، قابل اجرا است، اما توصیه نمی‌شود، و استفاده از چیلر و سرمایش مرکزی منطقی‌تر می‌باشد. استفاده از داکت اسپلیت باعث می‌شود دمای اتاق‌های مختلف قابل تنظیم نباشد، این مسئله سبب نارضایتی می‌شود. استفاده از چیلر از نظر قابل تنظیم بودن دما برای اتاق‌های مختلف و همچنین مصرف برق بهینه‌تر نسبت به داکت اسپلیت، ارجحیت دارد. سیستم‌های VRF

سیستم‌های وارداتی و گران قیمت هستند، و در مقایسه با چیلر مرکزی از لحاظ هزینه خرید اولیه بسیار گرانتر می‌باشند. در به کارگیری سیستم VRF برای پروژه‌های بزرگ، به دلیل مسائل کنترلی، پیچیدگی‌های لوله‌کشی و نیز کاهش راندمان یونیت‌های داخلی دور از یونیت خارجی، ترجیح بر این است که برای هر واحد، یک یونیت خارجی جداگانه در نظر گرفته شود؛ در این شرایط مصرف برق VRF حدود ۲۰ تا ۳۰ درصد بیشتر از چیلر مرکزی و فن کویل می‌شود؛ چون چیلر مرکزی در تمام زمان مصرف در حالت تمام بار^{۴۰} کار نمی‌کند. بنابراین استفاده از چیلر مرکزی نسبت به سیستم‌های VRF نیز ارجحیت دارد. سیستم‌های GHP، بسیار پربازده هستند، و در حالت سرمایش و گرمایش کاربرد دارند، اما به دلیل کمیاب بودن این سیستم‌ها در داخل کشور و هزینه اولیه بسیار بالا، امکان استفاده از آن‌ها وجود ندارد.

در کاربری‌های اداری و تجاری، بیمارستان و هتل، برای سرمایش اتاق‌های مختلف، به همان دلایلی که برای کاربری مسکونی آورده شد، استفاده از چیلر، مناسب‌ترین انتخاب است. برای گرمایش فضاها بزرگ مانند تالارهای پذیرایی، رستوران‌ها، سالن‌های سمینار و اجتماعات، فروشگاه‌ها و مراکز خرید زنجیره‌ای، نمایشگاه‌ها، سالن‌ها و باشگاه‌های ورزشی، فضای مشاع هتل‌ها و مراکز تفریحی، استفاده از روفتاپ پکیج و هواساز توصیه می‌شود. اتاق‌های مراکز درمانی علاوه بر سرمایش نیاز به هوای تازه نیز دارند، که حتماً باید به وسیله هواساز هوای تازه بعد از فیلتراسیون و خنک‌کاری از طریق کانال‌کشی، به اتاق‌ها منتقل شود.

در کاربری‌های صنعتی، کارخانه و کارگاه‌های صنعتی، استفاده از هواساز و روفتاپ پکیج، استفاده بسیار مناسبی برای ایجاد شرایط آسایش و رساندن دما به حد مطلوب می‌باشد. و برای فضاها محدود مانند اتاق‌ها اگر ظرفیت محدود باشد استفاده از کولرگازی اسپلیت مناسب است؛ و اگر تعداد اتاق‌ها و مجموع ظرفیت آن‌ها زیاد باشد، استفاده از چیلر و فن کویل برای این منظور توصیه می‌شود.

۳-۸- انتخاب سیستم‌های توزیع گرما و سرما

مهمترین سیستم‌های انتقال حرارت که برای انتقال سرما و گرما مورد استفاده قرار می‌گیرند شامل رادیاتور، کنوکتور، گرمایش از کف، فن کویل، یونیت هیت‌ر، هواساز و داکت اسپلیت می‌باشند. در ادامه مواردی که در انتخاب این سیستم‌ها باید در نظر گرفته شوند توضیح داده می‌شود.

برای انتقال گرمای پکیج و موتورخانه‌هایی که از دیگ چگالشی استفاده نمی‌کنند، استفاده از رادیاتور منطقی و به صرفه است. اگر در موتورخانه از دیگ چگالشی استفاده شود، دمای آب برگشتی از رادیاتور باید به دمای پایین‌تر از دمای نقطه شبنم بخار آب برسد و اگر این اتفاق نیفتد عملاً مبدل‌کننداس از جریان خارج می‌شود و بازده بویلر چگالشی کاهش یافته و تنها به شکل بویلرهای معمولی کار می‌کنند؛ این مسئله برای رادیاتورها

⁴⁰ Full load

چالش برانگیز است، و حتماً باید در طراحی لحاظ شود. استفاده از رادیاتور پنلی برای توزیع گرمایش پکیج توصیه می‌شود؛ در صورت استفاده از رادیاتورهای پره‌ای، مس داخل مبدل‌ها با آلومینیوم داخل رادیاتورهای تشکیل پیل الکترولیتی می‌دهند؛ و حاصل واکنش آن دو با هم تولید مداوم گاز هیدورژن داخل مدار گرمایشی و رادیاتور و هوازگی سیستم و نیز خوردگی پمپ و مبدل خواهد بود. چون رادیاتورهای پنلی از جنس فولاد هستند، بر خلاف رادیاتورهای پره‌ای آلومینیومی، با مس مبدل حرارتی پکیج واکنش نمی‌دهند و باعث خوردگی مس مبدل حرارتی پکیج و در نهایت جرم‌گیری و گرفتگی آن نمی‌شوند و عمر پکیج افزایش می‌یابد. استفاده از رادیاتور پنلی برای توزیع گرمایش پکیج، باعث می‌شود نیاز به هواگیری نیز کاهش یابد. برای توزیع گرمایش موتورخانه مرکزی، استفاده از رادیاتور پره‌ای توصیه می‌شود؛ چون میزان رسوب در سیستم‌های موتورخانه مرکزی با دیگ آب گرم بسیار بالا می‌باشد، بهترین رادیاتور برای استفاده در این سیستم‌ها نوع پره‌ای آلومینیومی می‌باشد.

استفاده از کنوکتورها در کاربری‌های مسکونی به دلیل مزایایی مانند پنهان بودن گرم کننده اصلی، گرم کردن فضا در مدت زمان کمتر و کاهش مصرف انرژی نسبت به رادیاتور، اجرا به صورت توکار و اشغال فضای کمتر، کاهش خطر سوختگی ناشی از تماس مستقیم با منبع حرارتی، توصیه می‌شود؛ اما به دلیل این که هزینه نصب و راه‌اندازی اولیه آن از رادیاتور بیشتر است، مناسب ساختمان‌هایی هستند که مزایای این سیستم در آن‌ها اهمیت زیادی دارد.

استفاده از سیستم گرمایش از کف به دلیل معایب زیادی که در فصل قبل به آن‌ها اشاره شد، توصیه نمی‌شود. تنها مورد مناسبی که برای استفاده از سیستم گرمایش از کف می‌تواند در نظر گرفته شود استفاده از این سیستم برای واحد روی پیلوت به صورت مشترک و در کنار سیستم گرمایش اصلی می‌باشد. سرمای کف واحد روی پیلوت می‌تواند آزاردهنده باشد و این سیستم می‌تواند این مسئله را برطرف کند.

برای ساختمان‌هایی که از چیلر یا مینی چیلر برای سرمایش استفاده می‌شود، برای سیستم توزیع گرمایش استفاده از فن کویل گزینه مناسب است؛ چون در این حالت فن کویل که برای توزیع سرمایش چیلر مورد نیاز است، در فصل سرما وظیفه توزیع گرمایش را نیز به عهده می‌گیرد. معمولاً در فصول بهار و پاییز که دمای هوا معتدل است، ممکن است در ضلع جنوبی ساختمان که در معرض تابش آفتاب قرار دارد، و به خصوص در ساختمان‌هایی با نمای شیشه‌ای و یا پنجره‌های بزرگ، دمای هوای داخل بالا برود و نیاز به سرمایش احساس شود. در همین زمان نیز ممکن است ساکنین ضلع شمالی ساختمان احساس نیاز به گرمایش داشته باشند. در چنین شرایطی در ساختمان‌های مسکونی و اداری، ساختمان‌های بزرگ و عمومی مانند هتل‌ها، بیمارستان‌ها، و... استفاده از فن کویل‌های چهار لوله‌ای دارای مزیت و توجه است. بدیهی است هر یک از فن کویل‌های چهار لوله‌ای با وجود دارا بودن دو کویل و امکان ارائه سرمایش و گرمایش در هر زمان فقط قادر به ارائه یکی از عملکردهای سرمایش یا گرمایش می‌باشند. در صورت استفاده از فن کویل دو لوله‌ای، بر اساس شرایط آب و هوایی فصلی در ساختمان و بر اساس تصمیم مدیریت ساختمان فقط یا گرمایش و یا سرمایش تأمین

می‌شود، به گونه‌ای که اگر سیستم برای گرمایش تنظیم شده باشد، امکان استفاده همزمان از قابلیت سرمایش وجود ندارد و بالعکس. بنابراین ساکنین ساختمان ممکن است هر سال در فصول بهار و پاییز مجبور به تحمل نوسانات دمایی باشند.

قدرت پرتاب باد یونیت هیت‌ر نسبت به فن کویل بسیار بیشتر است و به همین علت استفاده از آن فقط برای تهویه اماکن و سالن‌های بزرگ مانند سوله صنعتی، سوله ورزشی، سالن‌های نمایشگاهی و... که سقف بلندی دارند، توصیه می‌شود؛ و بر عکس آن، از فن کویل فقط در ساختمان‌های مسکونی، تجاری، اداری، آموزشی و... که سقف کوتاه تا متوسطی دارند، استفاده می‌شود. استفاده از یونیت هیت‌ر برای توزیع فقط گرمایش مرسوم‌تر است.

در کاربری‌های مسکونی استفاده از هواساز توصیه نمی‌شود، استفاده از این تجهیز برای اماکنی که نیاز به هوای تازه زیاد دارند، و یا گرمای نهان به سبب وجود افراد زیاد و فعالیت زیاد افراد یا پخت و پز، زیاد است، بسیار مناسب است.

۴-۸- راه حل مشکلات ناشی از مشاع بودن سیستم‌های مرکزی

یکی از معایب مهم سیستم‌های تهویه مطبوع مرکزی، مشاع بودن هزینه‌ها می‌باشد. پس از افزایش قیمت حامل‌های انرژی در سال ۱۳۸۹ به دلیل نبود راه‌کار مناسب، سازندگان ساختمان برای رفع مشکل از سیستم‌های متمرکز مانند موتورخانه به سمت استفاده از سیستم‌های مستقل، مانند پکیج‌ها، داکت اسپلیت‌ها و... حرکت کردند؛ غافل از اینکه از نظر مهندسی این تجهیزات برای استفاده در ساختمان‌هایی طراحی شده که تعداد واحد کمی دارند؛ به همین دلیل پس از گذشت حدود یک دهه از این رویداد و بروز مشکلات استفاده از سیستم‌های مستقل در ساختمان‌ها، استفاده از سیستم‌های مرکزی مانند موتورخانه توصیه می‌شود؛ اما نداشتن راه‌کار مناسب برای حل مشکل تفکیک قبض آب و تفکیک قبض گاز و تفکیک قبض برق چیلر مناسب نیست. یکی از بهترین و عادلانه‌ترین روش‌ها برای تقسیم و تفکیک هزینه‌های انرژی و قبوض استفاده از **سامانه انرژی متر** است؛ که وظیفه آن محاسبه مصرف دقیق واحدها در بخش‌های مختلفی همچون آب، سیستم‌های سرمایش و گرمایش و... بوده که در پی آن منجر به صدور قبوض فرعی برای واحدها متناسب با مصرف آن‌ها می‌شود.

این سامانه مجموعه‌ای متشکل از کنتورهای اندازه‌گیری است، که در مبادی ورودی واحدها و مشاعات ساختمان قرار گرفته و با اندازه‌گیری دقیق مقدار مصرف در بخش‌های مختلف، قبض‌های مشاع آب و برق و

گاز را متناسب مصرف هر واحد تفکیک و قبوض فرعی برای آن‌ها صادر می‌کند. مواردی که توسط کنتور انرژی یا انرژی متر تفکیک می‌شوند شامل موارد زیر است:

- تفکیک قبض گاز ساختمان بر اساس مقدار مصرف انرژی در بخش سیستم‌های گرمایشی، آب گرم بهداشتی، گاز خوراک پزی و...
- تفکیک قبض آب بر اساس مقدار آب سرد و گرم بهداشتی مصرفی در بخش‌های مختلف ساختمان.
- تفکیک قبض برق سیستم‌های سرمایش (چیلرهای تراکمی) بر مبنای مقدار مصرف انرژی ورودی در بخش‌های مختلف.
- تفکیک قبض برق برای مجموعه ساختمان‌هایی که فاقد کنتورهای برق تفکیکی هستند مانند ساختمان‌های تجاری.

نحوه کارکرد سامانه انرژی متر به این صورت است که اندازه‌گیری مصرف داخلی هر واحد شامل مصرف آب سرد و گرم بهداشتی، مصرف انرژی آب گرم بهداشتی، مصرف انرژی سرمایش و گرمایش خطوط تهویه مانند فن کوئل، رادیاتور، گرمایش از کف، حوله خشک‌کن و... انجام می‌شود؛ و داده‌های اندازه‌گیری شده به صورت روزانه به سرور مرکزی از طریق شبکه ارتباطی ارسال می‌شود. اندازه‌گیری مصرف مشاعات ساختمان شامل مصرف آب و انرژی، در بخش‌های مختلف مانند استخر، لابی، سالن‌های ورزشی، اجتماعات و... انجام شده و داده‌های مصرف بصورت روزانه به سرور مرکزی از طریق شبکه ارتباطی ارسال می‌شود. مصرف مشاعات بین واحدها بر اساس تنظیمات انجام شده در سرور مرکزی تقسیم می‌شود، و مصرف واحد که شامل مصرف داخلی و سهم واحد از مصرف مشاعات می‌باشد، مشخص می‌شود. مصارف مشاعات می‌تواند به اشکال مختلفی مانند حالت‌های زیر بین واحدها تقسیم شود:

- همه واحدها، واحدهای پر یا خالی، واحدهای خاص.
- بصورت مساوی، متراژی یا نفری.
- بین مالکین و یا ساکنین.

در نهایت مدیر ساختمان اطلاعات قبض اصلی را از طریق سامانه آنلاین تحت وب وارد کرده و سامانه بصورت خودکار بر اساس مصرف هر واحد (مصرف داخلی و سهم از مشاعات) و پله‌کان‌های تعریف شده ادارات مربوطه، شروع به صدور قبوض تفکیکی برای هر واحد می‌کند.

انرژی متر، در کشورهای توسعه یافته سال‌های زیادی است که به عنوان راهکار علمی، کارآمد مدیریت و تفکیک هزینه‌های انرژی در ساختمان‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد. تنها مشکل این سامانه قیمت بالای آن است، اما با توجه به مزایای زیادی که در راستای استفاده از سیستم‌های مرکزی و بهره‌وری انرژی دارد، استفاده از آن بسیار مناسب است. ساخت سامانه‌های انرژی متر باید بیشتر در برنامه کاری شرکت‌های داخل کشور قرار گیرد

و سرمایه‌گذاری به منظور ساخت سامانه‌های انرژی متر در داخل کشور به منظور افزایش کیفیت و کاهش قیمت آن‌ها بسیار منطقی و لازم است.

بر اساس توضیحاتی که آورده شد، جدول ۱-۱، ارزش‌گذاری انواع مختلف سیستم‌های تهویه مطبوع را از لحاظ پارامترهای مختلف، از دیدگاه مهندسی ارائه می‌دهد. امتیازدهی به هر پارامتر بین ۱ تا ۱۰ می‌باشد؛ و در ستون آخر جدول مجموع امتیازها آورده شده است. بنابراین سیستمی که بالاترین امتیاز را می‌آورد مناسب‌ترین انتخاب است و امتیازهای پایین‌تر برای انتخاب‌های بعدی مناسب می‌باشند.

جدول ۸-۱: ارزش‌گذاری انواع مختلف سیستم‌های تهویه مطبوع.

گروه	نوع	هزینه سرمایه‌گذاری پایین	نصب و راه‌اندازی آسان	هزینه‌های تعمیرات و نگهداری پایین	کم بودن هزینه مصرف انرژی	عدم اثرات مخرب محیط زیستی	شرایط آسایش	عدم اشغال زیاد فضای نصب	عدم مشکل خرید انشعاب برق	زیبایی و به‌روز بودن	جمع امتیاز
گرمایش	موتورخانه	۷	۹	۸	۱۰	۷	۱۰	۹	۱۰	۱۰	۸۰
	پکیج	۸	۱۰	۹	۱۰	۸	۷	۸	۱۰	۸	۷۸
	گرماتاب	۶	۹	۹	۹	۸	۸	۶	۱۰	۶	۷۱
	کوره هوای گرم	۶	۹	۹	۹	۸	۸	۶	۱۰	۶	۷۱
سرمایش	کولر آبی چهار درب	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰	۶	۳	۵	۱۰	۱	۶۵
	کولر آبی سلولزی	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰	۶	۳	۵	۱۰	۱	۶۵
	ایرواشر	۹	۱۰	۳	۱۰	۶	۳	۸	۱۰	۵	۶۴
	زنت	۹	۱۰	۱۰	۱۰	۶	۳	۸	۱۰	۵	۷۱
	کولرگازی	۷	۷	۸	۷	۷	۸	۵	۲	۶	۵۷
	داکت اسپلیت	۷	۶	۸	۷	۷	۵	۵	۵	۶	۵۶
	مینی چیلر	۷	۵	۸	۵	۷	۱۰	۵	۵	۱۰	۶۲
	چیلر مرکزی تراکمی	۸	۵	۸	۹	۷	۱۰	۱۰	۵	۱۰	۷۲
	چیلر مرکزی جذبی	۵	۵	۴	۵	۵	۹	۵	۱۰	۱۰	۵۸
	وی آر اف	۳	۳	۵	۷	۸	۱۰	۹	۵	۱۰	۶۰
	روفتاپ پکیج	۵	۵	۸	۷	۷	۱۰	۸	۵	۸	۶۳
توزیع	رادیاتور	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰	۷	۱۰	۸	۸۵
	فن کویل	۱۰	۱۰	۱۰	۹	۹	۱۰	۸	۱۰	۸	۸۶
	گرمایش از کف	۵	۲	۶	۱۰	۹	۴	۱۰	۱۰	۱۰	۶۶
	هواساز	۸	۵	۸	۹	۹	۱۰	۹	۱۰	۸	۷۶

همانطور که قبلاً توضیح داده شد، علاوه بر پارامترهایی که در جدول ۸-۱ آورده شده است، نوع کاربری ساختمان مورد استفاده، در انتخاب سیستم تهویه مطبوع اهمیت زیادی دارد؛ و در هر نوع کاربری امکان استفاده از چند نمونه محدود از سیستم‌ها وجود دارد.

۹- محاسبه تقاضا گرمایش و سرمایش چند نمونه ساختمان

در این فصل تقاضا گرمایش و سرمایش چند نمونه ساختمان با مترای متفاوت، به وسیله نرم افزار انرژی پلاس^{۴۱}، به صورت ساعت به ساعت و در کل سال محاسبه می شود.

با استفاده از نتایج این فصل می توان تخمینی از بار سرمایشی و گرمایشی ساختمان های با مترای مختلف را در شهر قم به دست آورد. انتخاب سیستم های تهویه مطبوع نیز برای ساختمان ها انجام می شود.

توجه به این نکته اهمیت دارد، که استفاده از مترای برای تخمین بار گرمایشی و سرمایشی ساختمان تخمین دقیقی نیست، و تنها برآورد کلی به دست می دهد. نمونه های ارائه شده در این گزارش به صورت دقیق و توسط مدلسازی در نرم افزار گزارش می شوند. استفاده از نتایج این فصل و تعمیم دادن این نتایج به ساختمان های مشابه در صورتی صحیح است، که جهت جغرافیایی ساختمان، میزان مترای دیوارهای جنوبی، شمالی، شرقی و غربی آن و همچنین میزان مترای و جهت جغرافیایی پنجره ها و مترای دیوارهای داخلی و... با نمونه که در این گزارش ارائه می شود کاملاً یکسان باشد؛ در غیر این صورت باید برای هر ساختمان مدنظر محاسبات دقیق انجام شود و نتایج مربوط به همان ساختمان برای انتخاب سیستم های تهویه مطبوع استفاده شود.

۹-۱- تقاضا گرمایش و سرمایش واحد ۳۰۰ متری

یک واحد ۳۰۰ متری مطابق نقشه موجود در شکل ۹-۱ مدنظر قرار دارد. پس از مدلسازی در نرم افزار انرژی پلاس، مقادیر نتایج به صورت ساعت به ساعت استخراج می شود. برای درک بهتر نتایج مقادیر حاصل شده، در محیط نرم افزار متلب^{۴۲} فراخوانی می شود، و نمودارهای تقاضای گرمایش و سرمایش برای تمام ساعات یک سال رسم می شود. لازم به ذکر است که تلفات انرژی سقف و کف نیز در محاسبات در نظر گرفته می شود. استفاده از بیشترین مقادیر تقاضا گرمایش و سرمایش که در طول سال اتفاق می افتد، انتخاب مناسبی نیست، چون استفاده از سیستم های تهویه مطبوع با ظرفیت زیاد برای تنها چند ساعت محدود از سال، منطقی نیست. برای رفع این مشکل، از تقریب ۹۹٪ استفاده می شود. به این ترتیب که به وسیله کدنویسی مقادیر تقاضا گرمایش و سرمایش به این صورت مشخص می شوند که در ۹۹٪ ساعات سال، تقاضا گرمایش و سرمایش بیشتر از مقدار یافت شده نباشد. به عبارت دیگر، تنها در ۱٪ ساعات سال ممکن است تقاضا گرمایش و سرمایش بیش از مقدار در نظر گرفته شده باشد. با احتساب تقریب ۹۹٪، ظرفیت سیستم های تهویه مطبوع به صورتی منطقی محاسبه می شود، و ۹۹٪ ساعات سال به خوبی پاسخگو تقاضا گرمایشی و سرمایشی ساختمان است، و هزینه اولیه و هزینه های جاری از جمله مصرف انرژی، بهینه می شود. مقادیر تخمین ۹۹٪ تقاضا گرمایش و سرمایش، در نمودارها به وسیله یک نقطه سیاه رنگ نشان داده شده است. شکل ۹-۲ نمودار تقاضا سرمایش و شکل ۹-۳ نمودار تقاضای گرمایش واحد ۳۰۰ متری را نشان می دهند.

⁴¹ EnergyPlus

⁴² MATLAB

به منظور مشاهده نتایج میانگین روزانه تقاضای سرمایش و گرمایش، نمودارهای جدا برای میانگین روزانه، در شکل ۴-۹ و ۵-۹ نشان داده شده است.

همانطور که قبلاً در بخش ۲-۲ به آن اشاره شد، از مقادیر اطلاعات هواشناسی شهر قم مشخص است در ماه‌های اردیبهشت تا مهر دمای میانگین هوا بیش از ۱۸ درجه سانتی‌گراد است و نیاز به سرمایش وجود دارد؛ و همچنین در ماه‌های آبان تا فروردین میانگین دمای هوا کمتر از ۱۸ درجه سانتی‌گراد است و نیاز به گرمایش وجود دارد. از آنجا که محاسبات بار حرارتی ساختمان در نرم‌افزار، بر اساس ماه‌های میلادی انجام می‌شود، سیستم‌های سرمایشی^{۴۳} در ماه‌های می^{۴۴} تا اکتبر^{۴۵} و سیستم‌های گرمایشی^{۴۶} در ماه‌های نوامبر^{۴۷} تا آپریل^{۴۸} در نظر گرفته می‌شوند.

⁴³ Cooling Systems

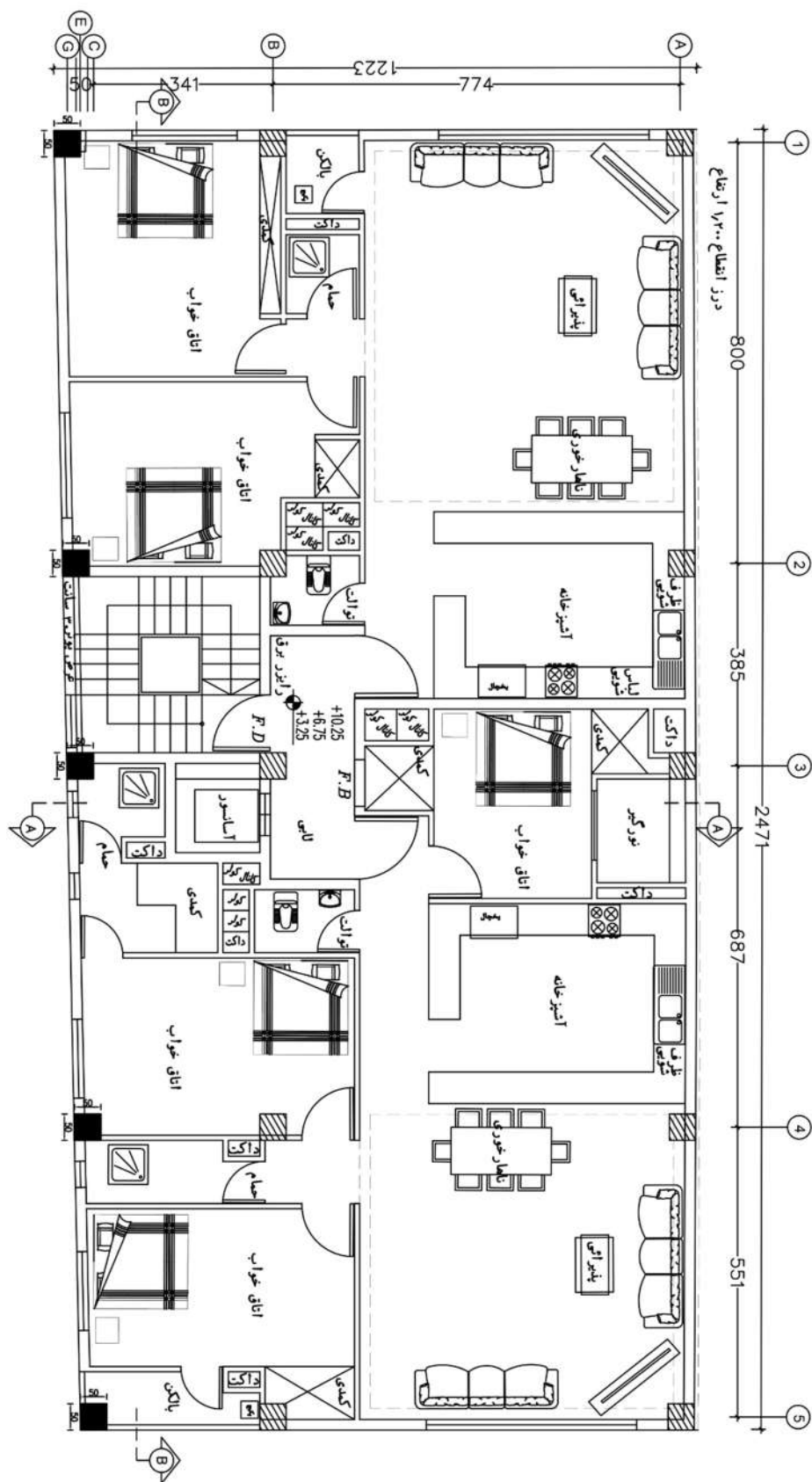
⁴⁴ May

⁴⁵ October

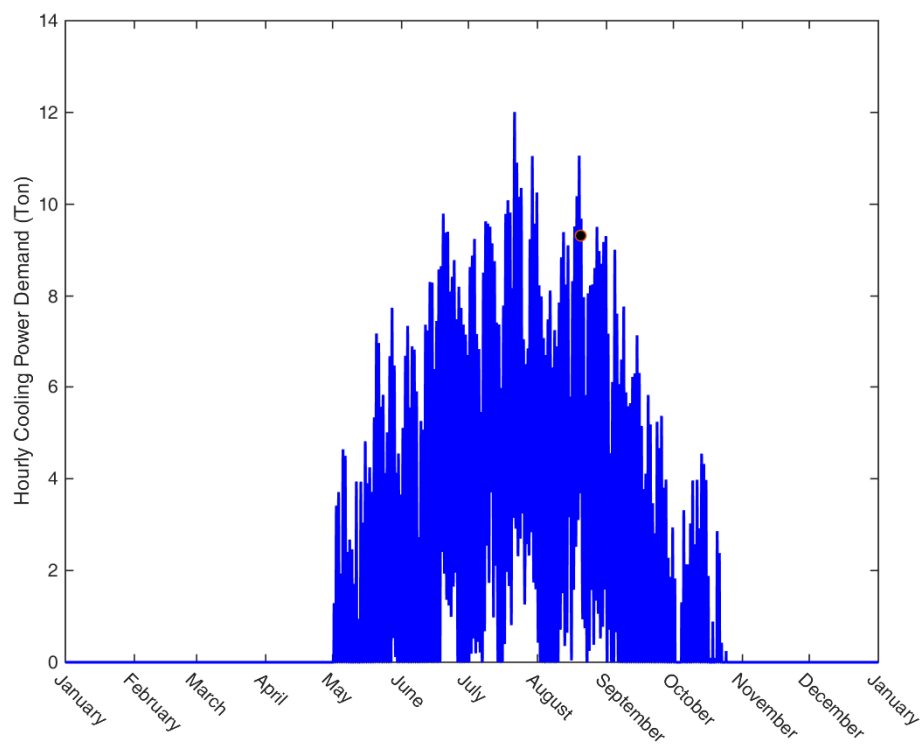
⁴⁶ Heating Systems

⁴⁷ November

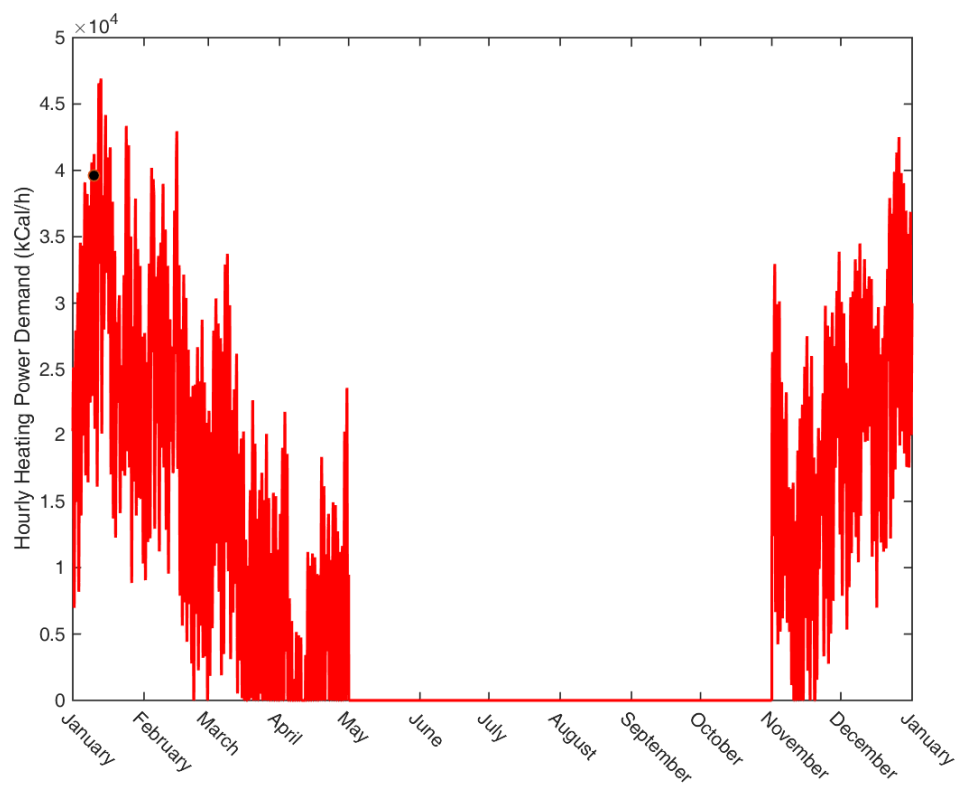
⁴⁸ April



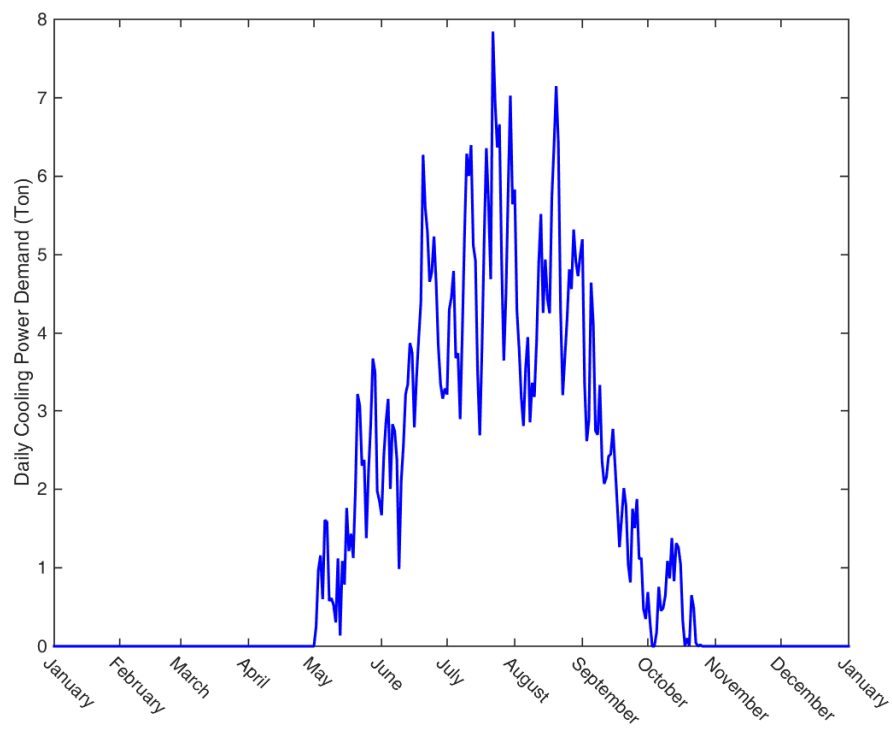
شکل ۹-۱: نقشه واحد ۳۰۰ متری به منظور محاسبه تقاضا گرمایش و سرمایش.



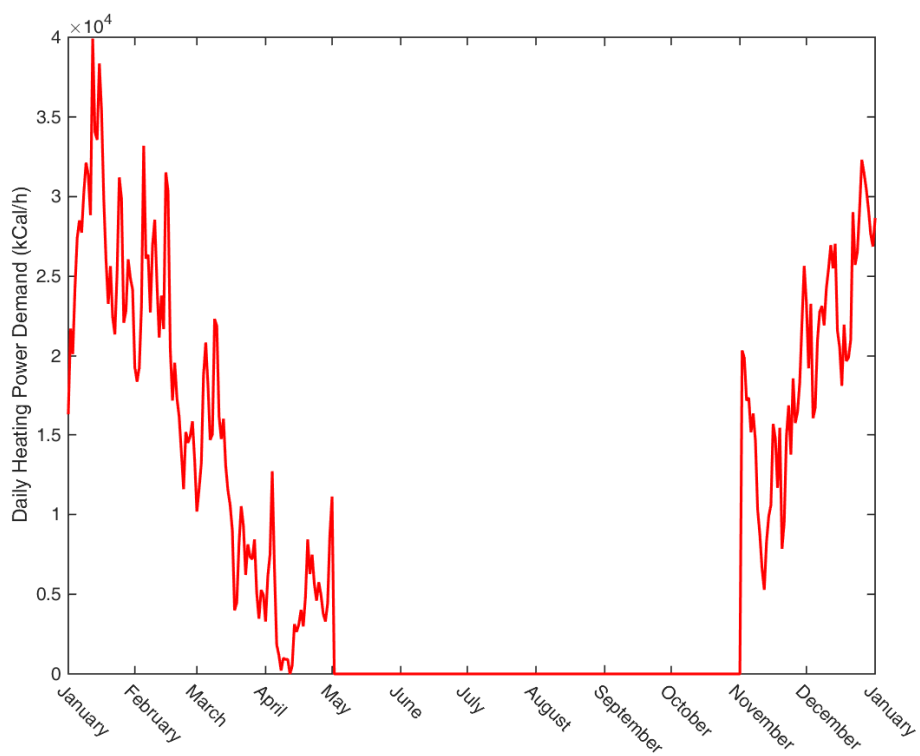
شکل ۹-۲: نمودار تقاضا سرمایش واحد ۳۰۰ متری.



شکل ۹-۳: نمودار تقاضای گرمایش واحد ۳۰۰ متری.



شکل ۹-۴: نمودار میانگین روزانه تقاضای سرمایش واحد ۳۰۰ متری.



شکل ۹-۵: نمودار میانگین روزانه تقاضای گرمایش واحد ۳۰۰ متری.

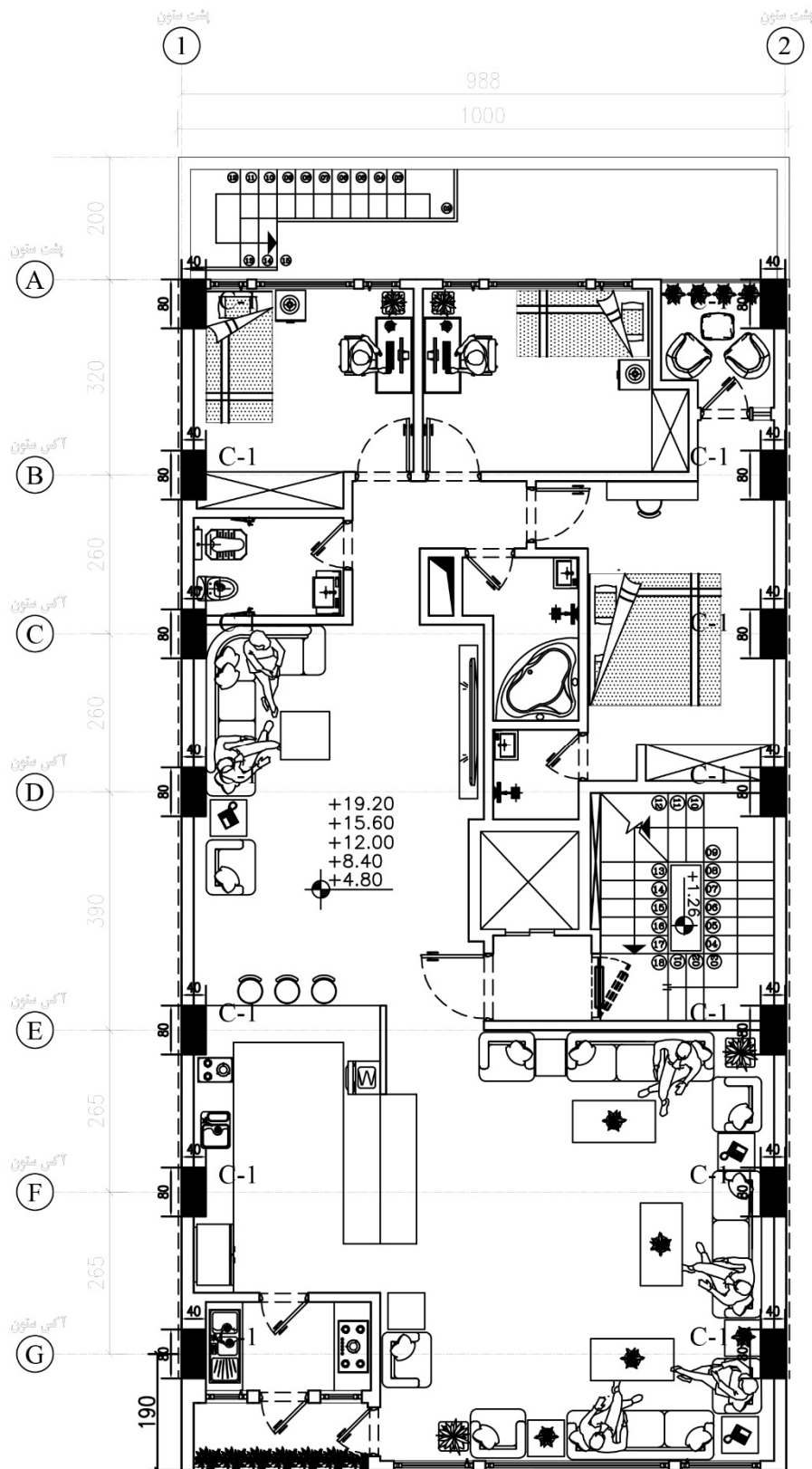
همانطور که از نمودارها مشخص است تقاضا سرمایش این واحد مسکونی حدود ۹/۵ تن تبرید، و تقاضای گرمایش حدود ۴۰۰۰۰ کیلوکالری بر ساعت است.

بر اساس نتایج بخش ۸-۱-۶ و ۸-۲-۲ مناسب‌ترین سیستم‌های تهویه مطبوع برای این ساختمان سه طبقه که در هر طبقه یک واحد ۳۰۰ متری دارد، استفاده از موتورخانه مرکزی برای گرمایش، و چیلر مرکزی برای سرمایش است. برای سیستم توزیع، استفاده از فن کویل بهترین گزینه است و برای توزیع سرمایش و گرمایش استفاده می‌شود.

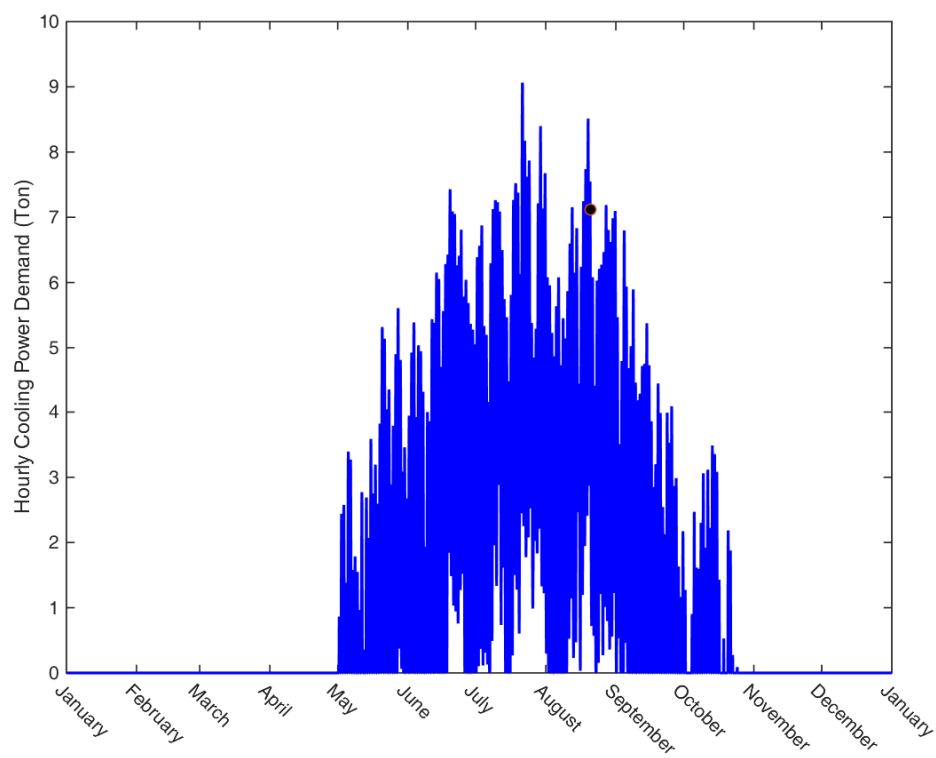
۹-۲- تقاضا گرمایش و سرمایش واحد ۲۱۵ متری

یک واحد ۲۱۵ متری مطابق نقشه موجود در شکل ۹-۶ مدنظر قرار دارد. مدلسازی این ساختمان در نرم‌افزار انرژی پلاس انجام می‌شود. همانطور که در بخش ۹-۱ توضیح داده شد، نمودارهای مربوط به تقاضای سرمایش و گرمایش واحد مدنظر رسم می‌شود. مقادیر تخمین سرمایش و گرمایش با تخمین ۹۹٪، با نقطه سیاه‌رنگ روی نمودارها نشان داده شده است.

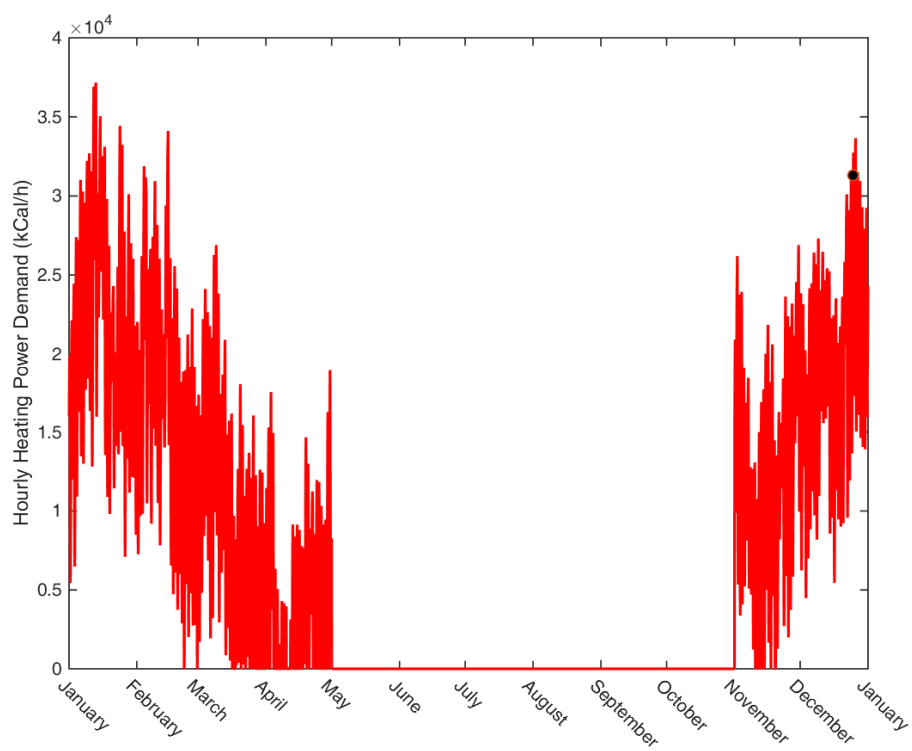
شکل ۹-۷ نمودار تقاضا سرمایش و شکل ۹-۸ نمودار تقاضای گرمایش واحد ۲۱۵ متری را نشان می‌دهند. به منظور مشاهده نتایج میانگین روزانه تقاضای سرمایش و گرمایش، نمودارهای جدا برای میانگین روزانه، در شکل ۹-۹ و ۹-۱۰ نشان داده شده است.



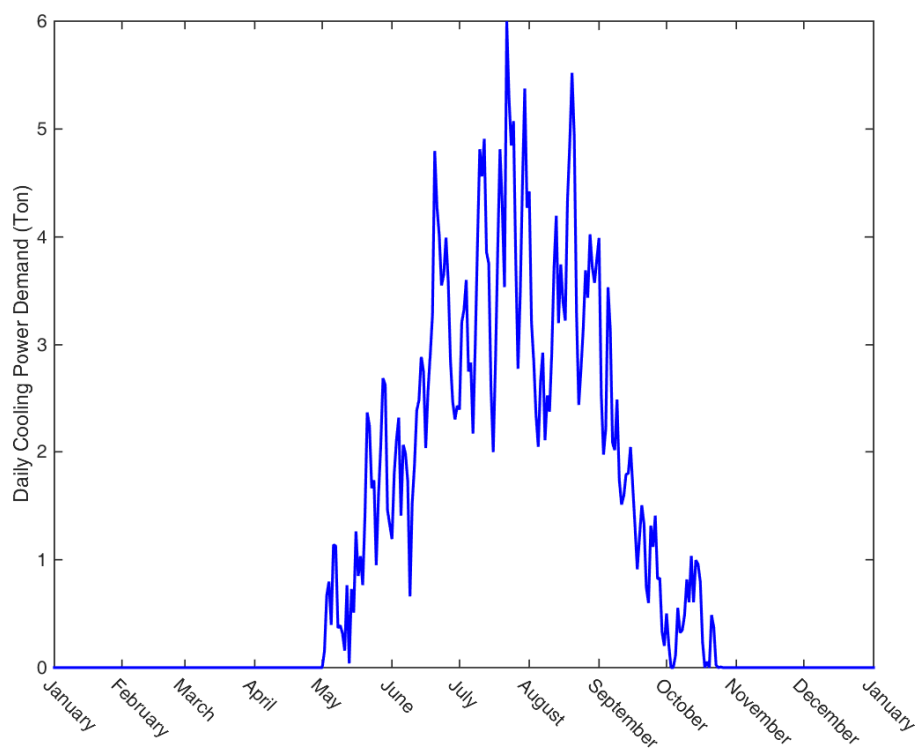
شکل ۹-۶: نقشه واحد ۲۱۵ متری به منظور محاسبه تقاضا گرمایش و سرمایش.



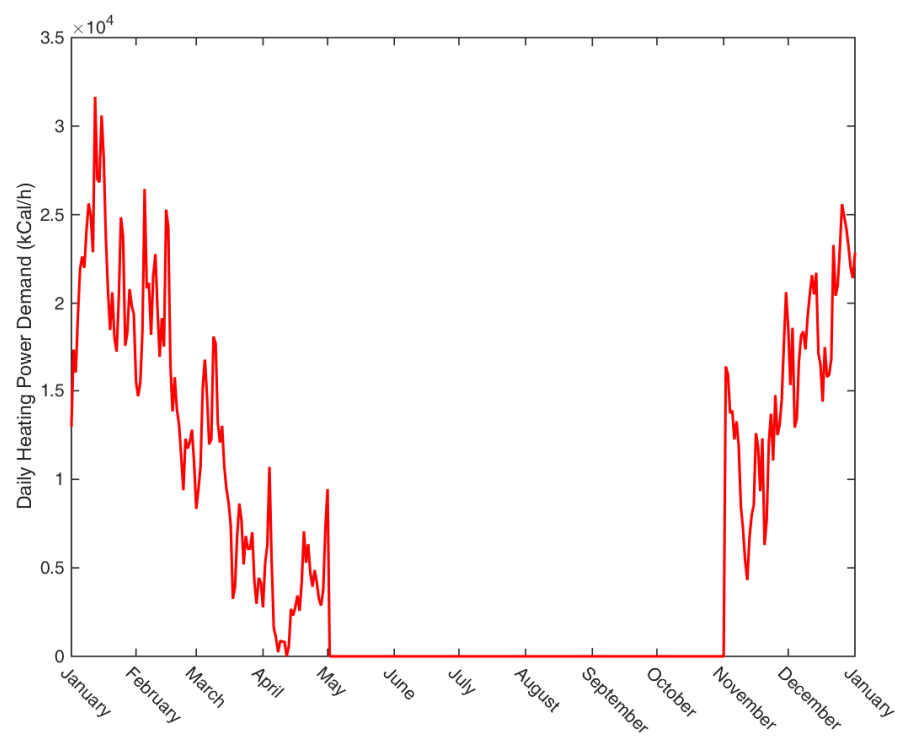
شکل ۹-۷: نمودار تقاضا سرمایش واحد ۲۱۵ متری.



شکل ۹-۸: نمودار تقاضا گرمایش واحد ۲۱۵ متری.



شکل ۹-۹: نمودار میانگین روزانه تقاضای سرمایش واحد ۲۱۵ متری.



شکل ۹-۱۰: نمودار میانگین روزانه تقاضای گرمایش واحد ۲۱۵ متری.

همانطور که از نمودارها مشخص است تقاضا سرمایش این واحد مسکونی حدود ۷ تن تبرید، و تقاضای گرمایش حدود ۳۲۰۰۰ کیلوکالری بر ساعت است.

بر اساس نتایج بخش ۸-۱-۶ و ۸-۲-۲ مناسب‌ترین سیستم‌های تهویه مطبوع برای این ساختمان پنج طبقه که در هر طبقه یک واحد ۲۱۵ متری دارد، با توجه به این که استخر در ساختمان وجود ندارد، استفاده از پکیج برای گرمایش هر طبقه به صورت مجزا از نظر عملکردی مناسب است؛ اما چون تعداد طبقات پنج طبقه است، استفاده از موتورخانه مرکزی برای گرمایش از نظر بهره‌وری اقتصادی و مصرف بهینه انرژی، ارجحیت دارد. برای سرمایش ساختمان، چیلر مرکزی بهترین گزینه است. برای سیستم توزیع، استفاده از فن کویل گزینه مناسبی است و برای توزیع سرمایش و گرمایش استفاده می‌شود.

برای این ساختمان به عنوان نمونه قیمت سیستم‌های مختلف سرمایشی و گرمایشی در جدول ۹-۱ آورده شده است.

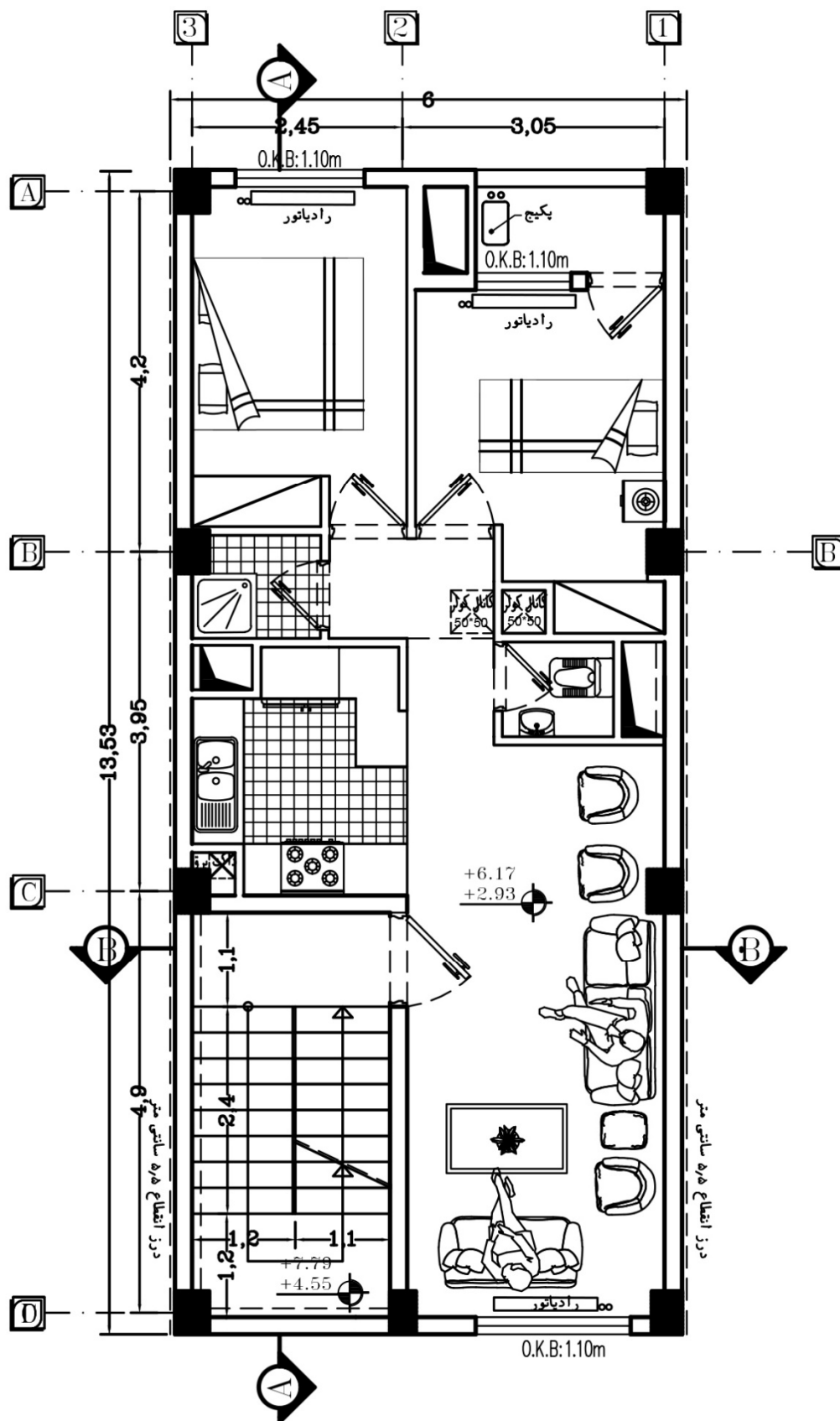
جدول ۹-۱: قیمت سیستم‌های مختلف سرمایشی و گرمایشی ساختمان ۵ طبقه هر طبقه یک واحد ۲۱۵ متری.

گروه سیستم	نوع سیستم	ظرفیت	تعداد در هر واحد	تعداد کل	قیمت واحد (ریال)	هزینه‌های وابسته (کانال، لوله، مزد و...) (ریال) هر واحد	قیمت کل (ریال)
گرمایش	دیگ موتورخانه	۲۵۸۰۰۰	-	۱	۴۵۰,۰۰۰,۰۰۰	۴۰۰,۰۰۰,۰۰۰	۸۵۰,۰۰۰,۰۰۰
	پکیج	۳۵۰۰۰	۱	۵	۲۲۰,۰۰۰,۰۰۰	۵,۰۰۰,۰۰۰	۱,۱۲۵,۰۰۰,۰۰۰
	فن کویل	۶۰۰ CFM	۸	۴۰	۱۶,۰۰۰,۰۰۰	۱۵,۰۰۰,۰۰۰	۱,۲۴۰,۰۰۰,۰۰۰
	رادیاتور	۱۸۰۰ کیلوکالری	۱۴	۷۰	۹,۵۰۰,۰۰۰	۸,۰۰۰,۰۰۰	۱,۲۲۵,۰۰۰,۰۰۰
	گرمایش از کف	۳۲۰۰۰	۱۸۰ متر	۹۰۰ متر	۴,۰۰۰,۰۰۰ هر متر	-	۳,۶۰۰,۰۰۰,۰۰۰
سرمایش	کولرگازی	۳۰۰۰۰	۳	۱۵	۲۵۰,۰۰۰,۰۰۰	۳۰,۰۰۰,۰۰۰	۴,۲۰۰,۰۰۰,۰۰۰
		۱۸۰۰۰	۳	۱۵	۱۵۰,۰۰۰,۰۰۰	۳۰,۰۰۰,۰۰۰	۲,۷۰۰,۰۰۰,۰۰۰
	داکت اسپلیت	۴۲۰۰۰	۳	۱۵	۵۵۰,۰۰۰,۰۰۰	۱۱۰,۰۰۰,۰۰۰	۹,۹۰۰,۰۰۰,۰۰۰
	کولر آبی	۷۰۰۰	۲	۱۰	۷۰,۰۰۰,۰۰۰	۸۰,۰۰۰,۰۰۰	۱,۵۰۰,۰۰۰,۰۰۰
	مینی چیلر برای هر طبقه جدا	۷ تن تبرید	۱	۵	۱,۹۰۰,۰۰۰,۰۰۰	۱۵,۰۰۰,۰۰۰	۹,۵۷۵,۰۰۰,۰۰۰
	چیلر مرکزی	۴۰ تن تبرید	۱	۱	۷,۵۰۰,۰۰۰,۰۰۰	۱۵,۰۰۰,۰۰۰	۷,۵۱۵,۰۰۰,۰۰۰

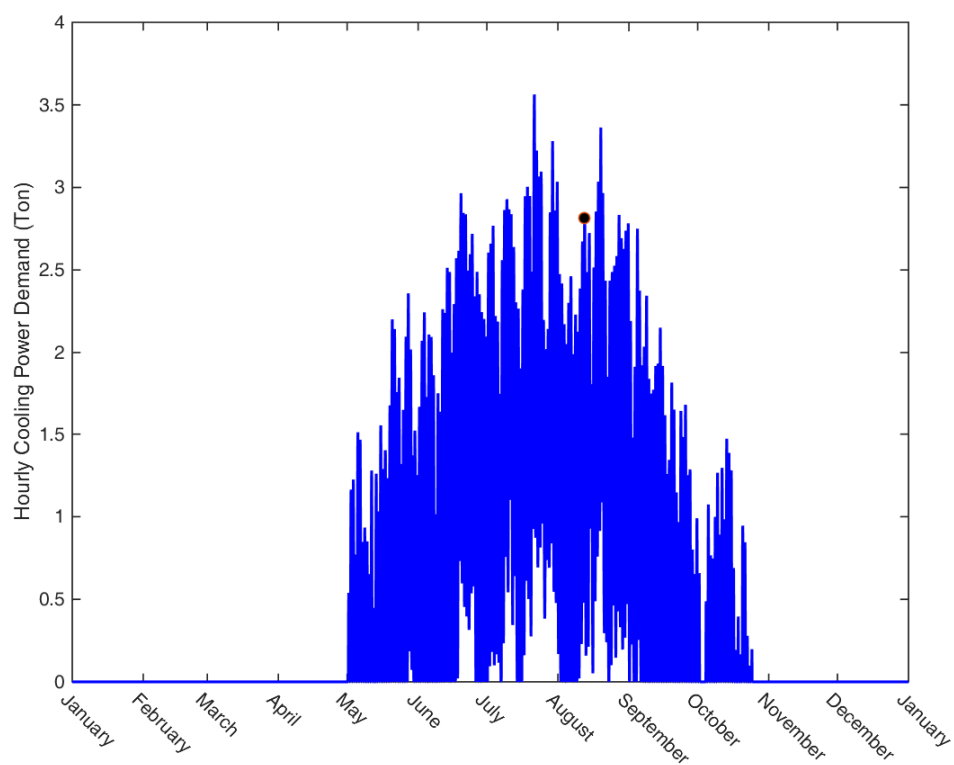
۳-۹- تقاضا گرمایش و سرمایش واحد ۸۰ متری

یک واحد ۸۰ متری مطابق نقشه موجود در شکل ۹-۱۱ مدنظر قرار دارد. مدلسازی این ساختمان در نرم افزار انرژی پلاس انجام می شود. همانطور که در بخش ۹-۱ توضیح داده شد، نمودارهای مربوط به تقاضای سرمایش و گرمایش واحد مدنظر رسم می شود. مقادیر تخمین سرمایش و گرمایش با تخمین ۹۹٪، با نقطه سیاه رنگ روی نمودارها نشان داده شده است.

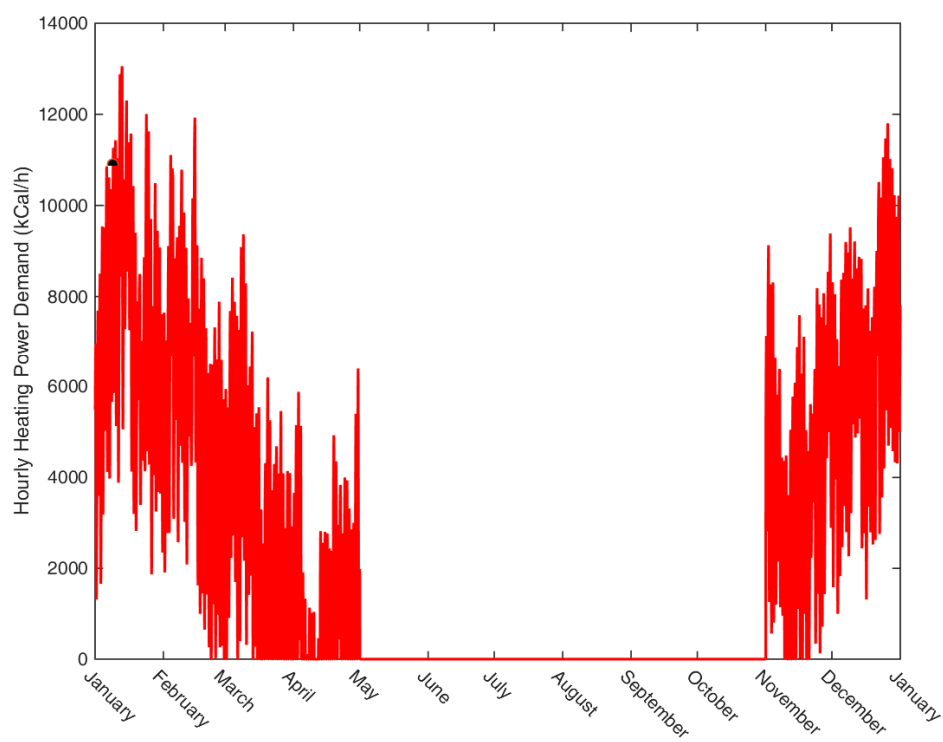
شکل ۹-۱۲ نمودار تقاضا سرمایش و شکل ۹-۱۳ نمودار تقاضای گرمایش واحد ۸۰ متری را نشان می دهند. به منظور مشاهده نتایج میانگین روزانه تقاضای سرمایش و گرمایش، نمودارهای جدا برای میانگین روزانه، در شکل ۹-۱۴ و ۹-۱۵ نشان داده شده است.



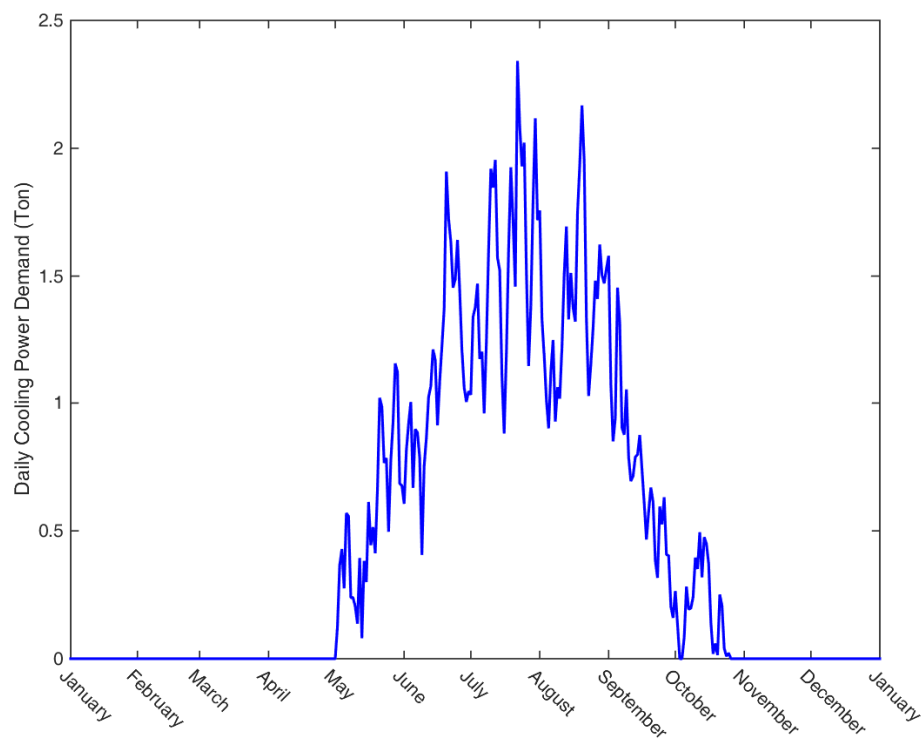
شکل ۹-۱۱: نقشه واحد ۸۰ متری به منظور محاسبه تقاضا گرمایش و سرمایش.



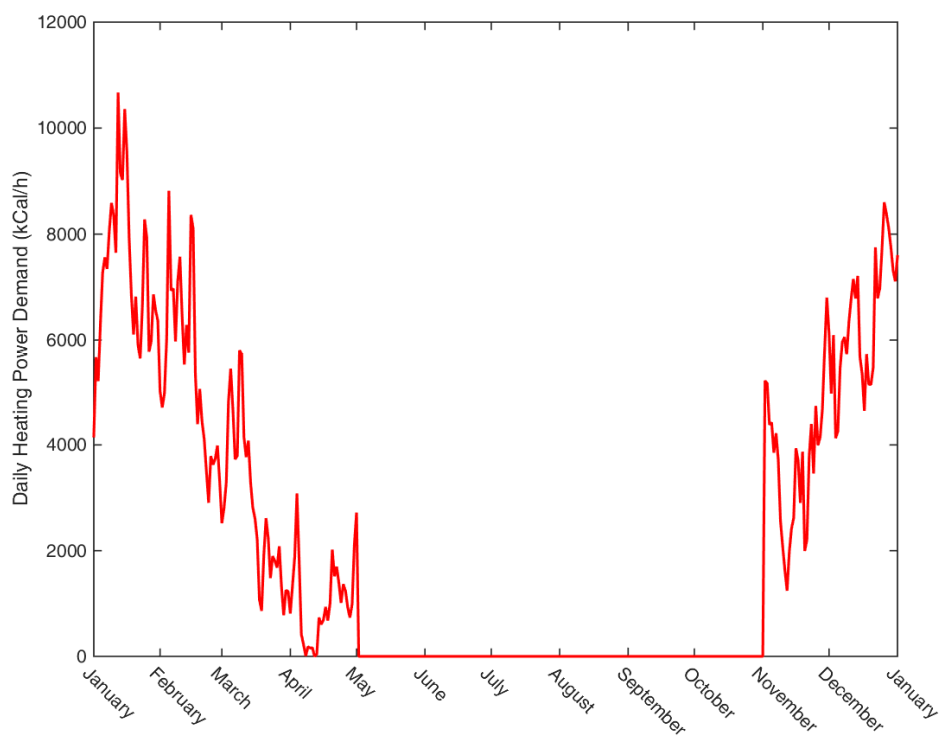
شکل ۹-۱۲: نمودار تقاضا سرمایش واحد ۸۰ متری.



شکل ۹-۱۳: نمودار تقاضا گرمایش واحد ۸۰ متری.



شکل ۹-۱۴: نمودار میانگین روزانه تقاضای سرمایش واحد ۸۰ متری.



شکل ۹-۱۵: نمودار میانگین روزانه تقاضای گرمایش واحد ۸۰ متری.

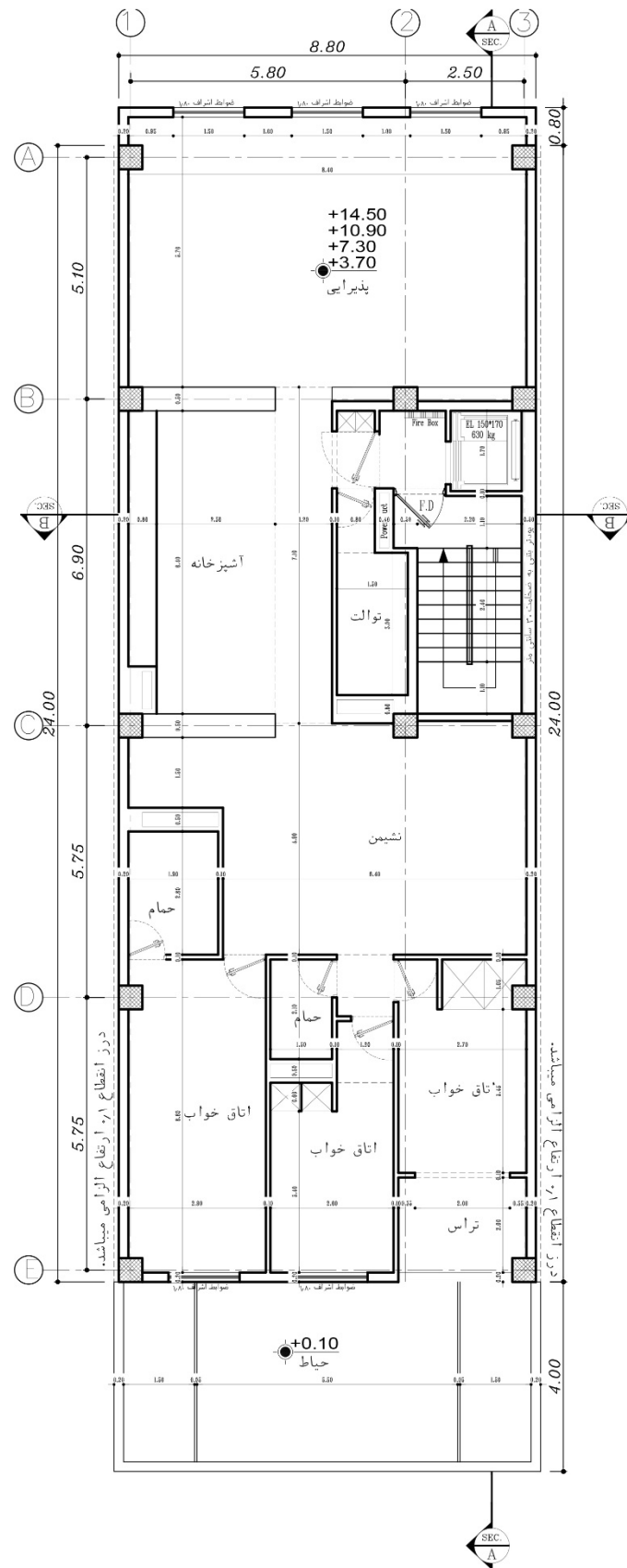
همانطور که از نمودارها مشخص است تقاضا سرمایش این واحد مسکونی حدود ۲/۸ تن تبرید، و تقاضای گرمایش حدود ۱۱۰۰۰ کیلوکالری بر ساعت است.

بر اساس نتایج بخش ۸-۱-۶ و ۸-۲-۲ مناسب‌ترین سیستم‌های تهویه مطبوع برای این ساختمان دو طبقه که در هر طبقه یک واحد ۸۰ متری دارد، با توجه به این که استخر در ساختمان وجود ندارد، استفاده از پکیج برای گرمایش هر طبقه به صورت مجزا انتخاب مناسبی است. برای سرمایش ساختمان استفاده از مینی چیلر برای هر واحد مناسب است. در این ساختمان با توجه به این که ظرفیت سرمایش محدود است، و ساختمان دو طبقه است استفاده از کولرگازی اسپلیت نیز برای سرمایش قابل اجرا است، استفاده از داکت اسپلیت نیز برای سرمایش با در نظر داشتن عدم امکان تنظیم دما به صورت مجزا برای اتاق خواب‌ها، و همچنین سروصدای یونیت داخلی در واحد مسکونی، می‌تواند استفاده شود؛ اما توصیه نمی‌شود، و استفاده از مینی چیلر برای هر واحد ارجحیت دارد. برای سیستم توزیع، اگر از کولرگازی اسپلیت برای سرمایش استفاده شود، برای توزیع گرمایش، استفاده از رادیاتور پنلی مناسب است. و اگر از مینی چیلر برای سرمایش استفاده شود، استفاده از فن کویل گزینه مناسبی است و برای توزیع سرمایش و گرمایش استفاده می‌شود.

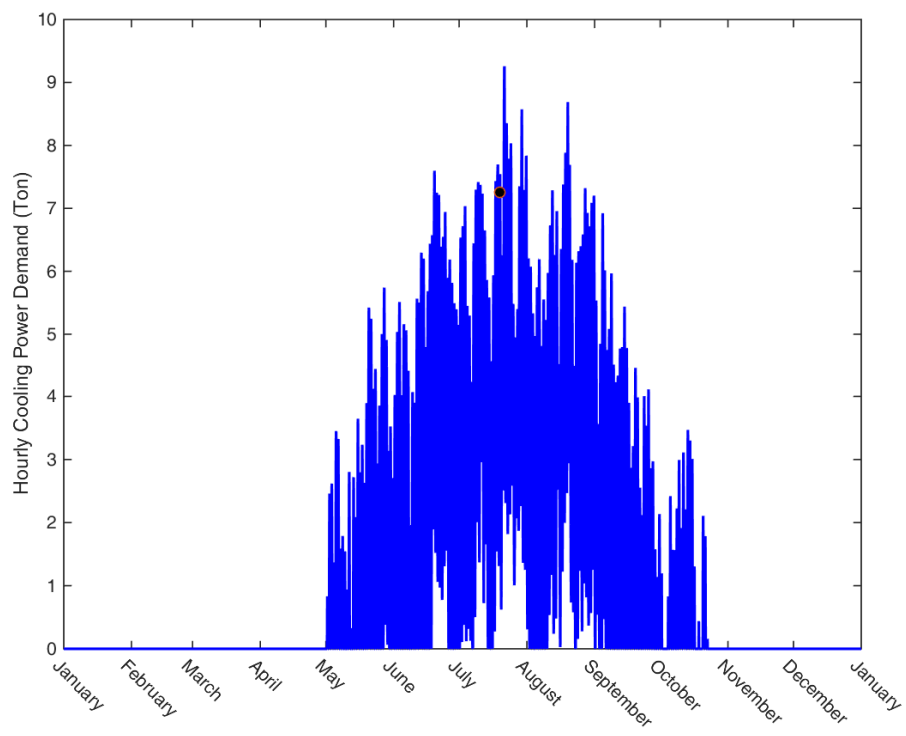
۴-۹- تقاضا گرمایش و سرمایش واحد ۲۱۰ متری

یک واحد ۲۱۰ متری مطابق نقشه موجود در شکل ۹-۱۶ مدنظر قرار دارد. مدلسازی این ساختمان در نرم‌افزار انرژی پلاس انجام می‌شود. همانطور که در بخش ۹-۱ توضیح داده شد، نمودارهای مربوط به تقاضای سرمایش و گرمایش واحد مدنظر رسم می‌شود. مقادیر تخمین سرمایش و گرمایش با تخمین ۹۹٪، با نقطه سیاه‌رنگ روی نمودارها نشان داده شده است.

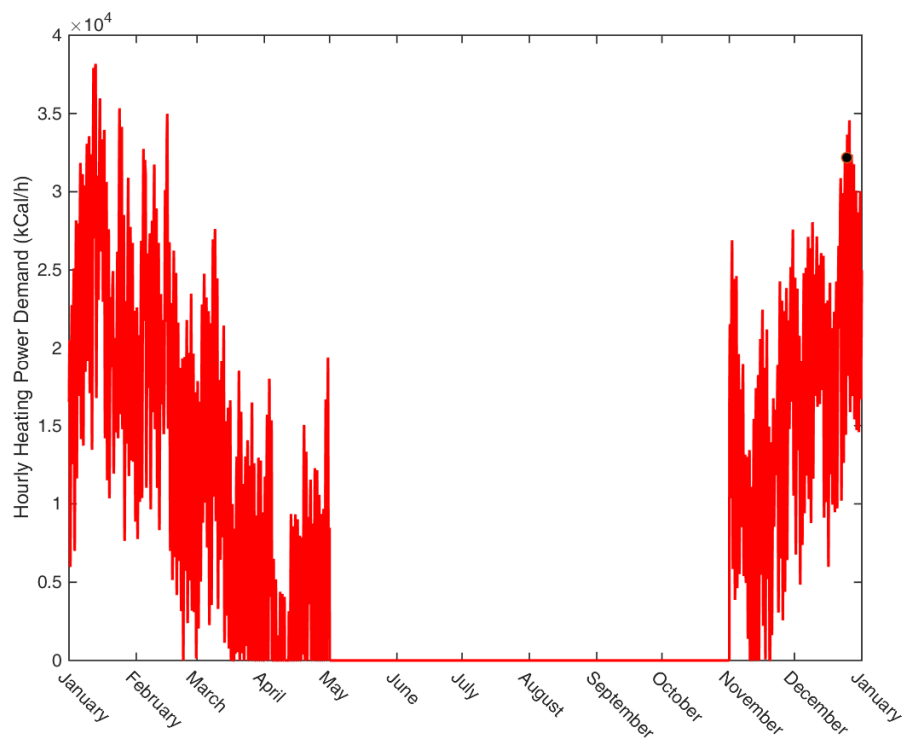
شکل ۹-۱۷ نمودار تقاضا سرمایش و شکل ۹-۱۸ نمودار تقاضای گرمایش واحد ۲۱۰ متری را نشان می‌دهند. به منظور مشاهده نتایج میانگین روزانه تقاضای سرمایش و گرمایش، نمودارهای جدا برای میانگین روزانه، در شکل ۹-۱۹ و ۹-۲۰ نشان داده شده است.



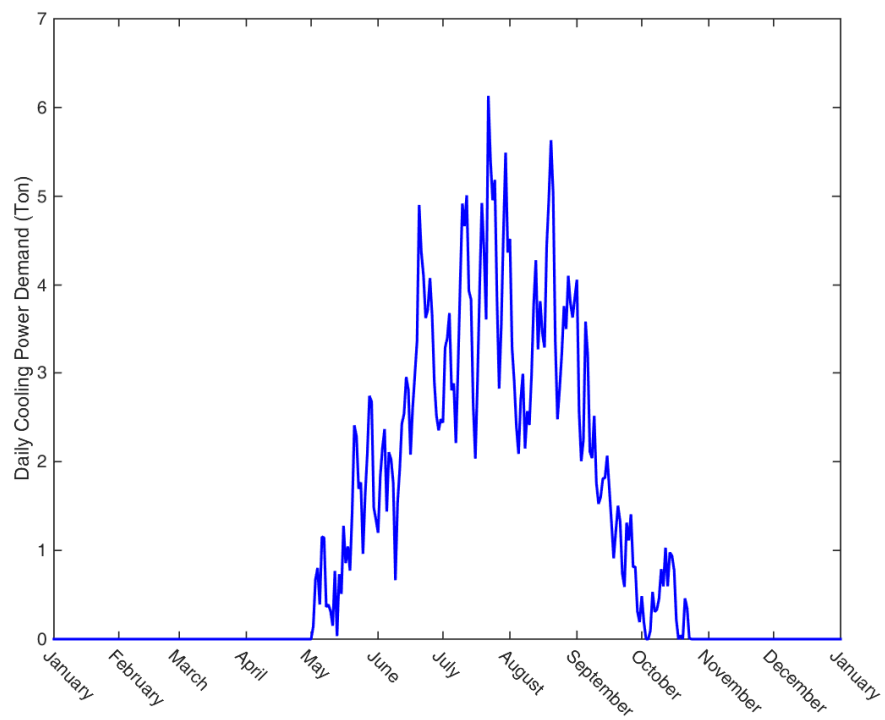
شکل ۹-۱۶: نقشه واحد ۲۱۰ متری به منظور محاسبه تقاضا گرمایش و سرمایش.



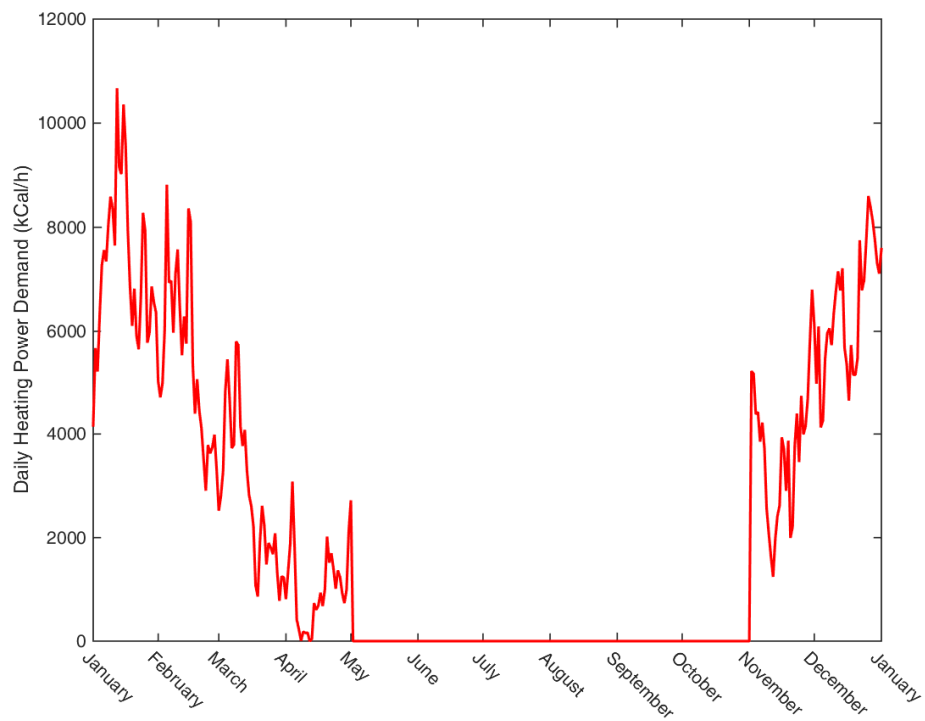
شکل ۹-۱۷: نمودار تقاضا سرمایش واحد ۲۱۰ متری.



شکل ۹-۱۸: نمودار تقاضا گرمایش واحد ۲۱۰ متری.



شکل ۹-۱۹: نمودار میانگین روزانه تقاضای سرمایش واحد ۲۱۰ متری.



شکل ۹-۲۰: نمودار میانگین روزانه تقاضای گرمایش واحد ۲۱۰ متری.

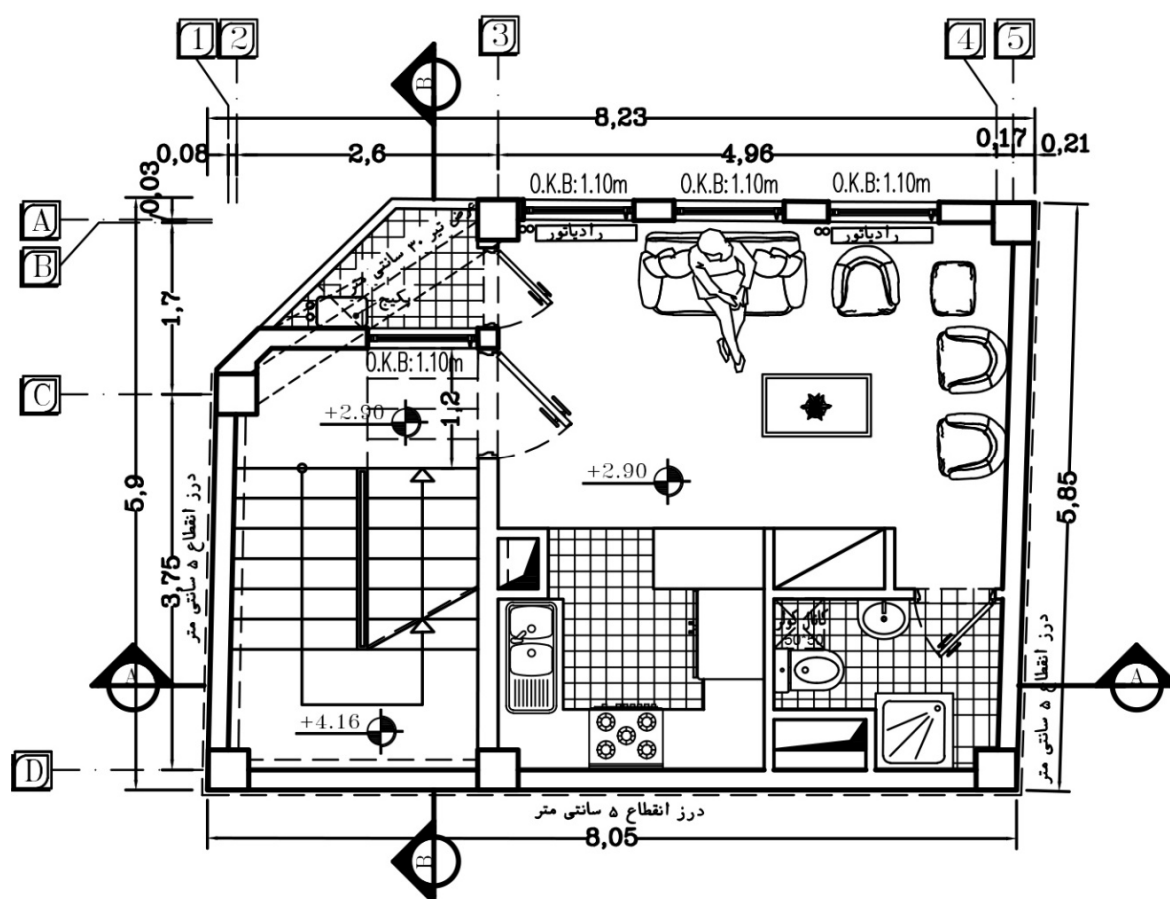
همانطور که از نمودارها مشخص است تقاضا سرمایش این واحد مسکونی حدود $7/2$ تن تبرید، و تقاضای گرمایش حدود 33000 کیلوکالری بر ساعت است.

بر اساس نتایج بخش ۸-۱-۶ و ۸-۲-۲ مناسب‌ترین سیستم‌های تهویه مطبوع برای این ساختمان چهار طبقه که در هر طبقه یک واحد 210 متری دارد، با توجه به این که استخر در ساختمان وجود ندارد، استفاده از پکیج برای گرمایش هر طبقه به صورت مجزا از نظر عملکردی مناسب است؛ اما چون تعداد طبقات چهار طبقه است، استفاده از موتورخانه مرکزی برای گرمایش از نظر بهره‌وری اقتصادی و مصرف بهینه انرژی، ارجحیت دارد. برای سرمایش ساختمان، چیلر مرکزی بهترین گزینه است. برای سیستم توزیع، استفاده از فن کویل گزینه مناسبی است و برای توزیع سرمایش و گرمایش استفاده می‌شود.

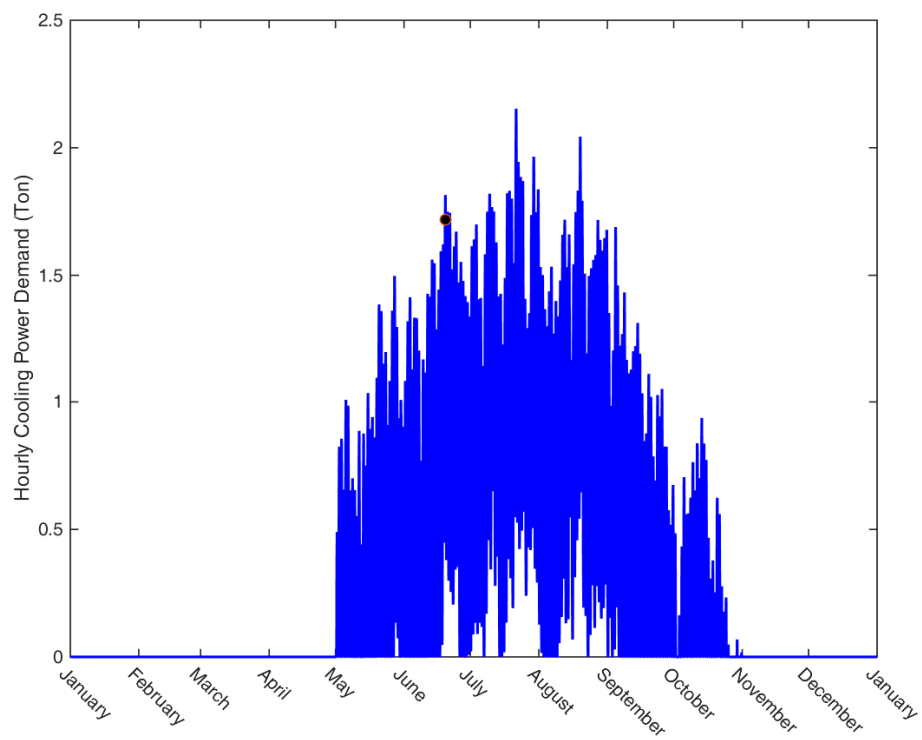
۵-۹- تقاضا گرمایش و سرمایش واحد ۴۵ متری

یک واحد کوچک ۴۵ متری مطابق نقشه موجود در شکل ۹-۲۱ مدنظر قرار دارد. مدلسازی این ساختمان در نرم‌افزار انرژی پلاس انجام می‌شود. همانطور که در بخش ۹-۱ توضیح داده شد، نمودارهای مربوط به تقاضای سرمایش و گرمایش واحد مدنظر رسم می‌شود. مقادیر تخمین سرمایش و گرمایش با تخمین ۹۹٪، با نقطه سیاه‌رنگ روی نمودارها نشان داده شده است.

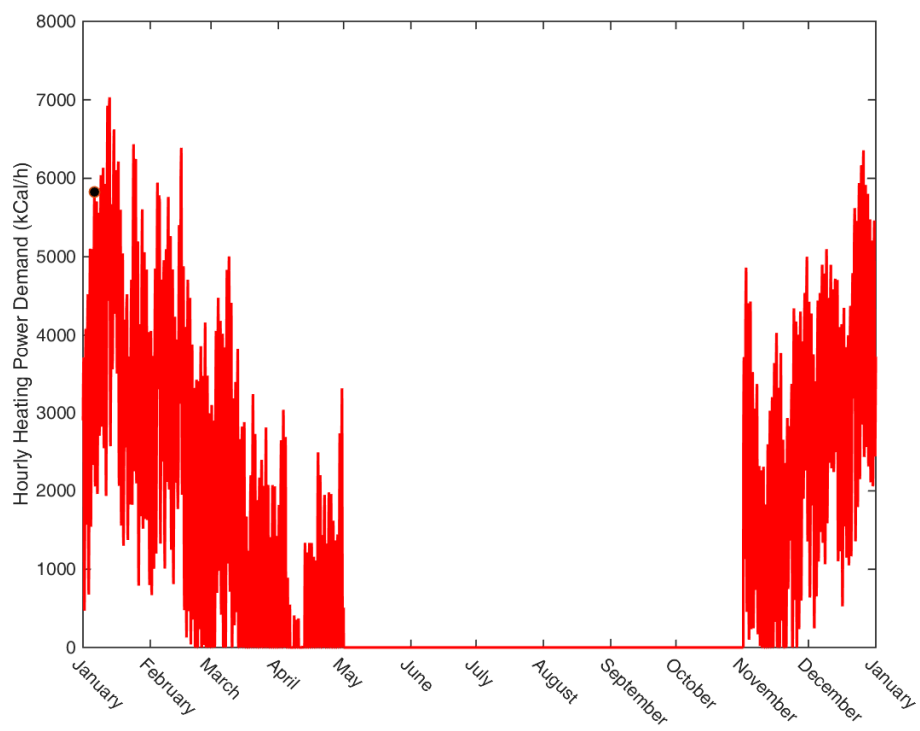
شکل ۹-۲۲ نمودار تقاضا سرمایش و شکل ۹-۲۳ نمودار تقاضای گرمایش واحد ۴۵ متری را نشان می‌دهند. به منظور مشاهده نتایج میانگین روزانه تقاضای سرمایش و گرمایش، نمودارهای جدا برای میانگین روزانه، در شکل ۹-۲۴ و ۹-۲۵ نشان داده شده است.



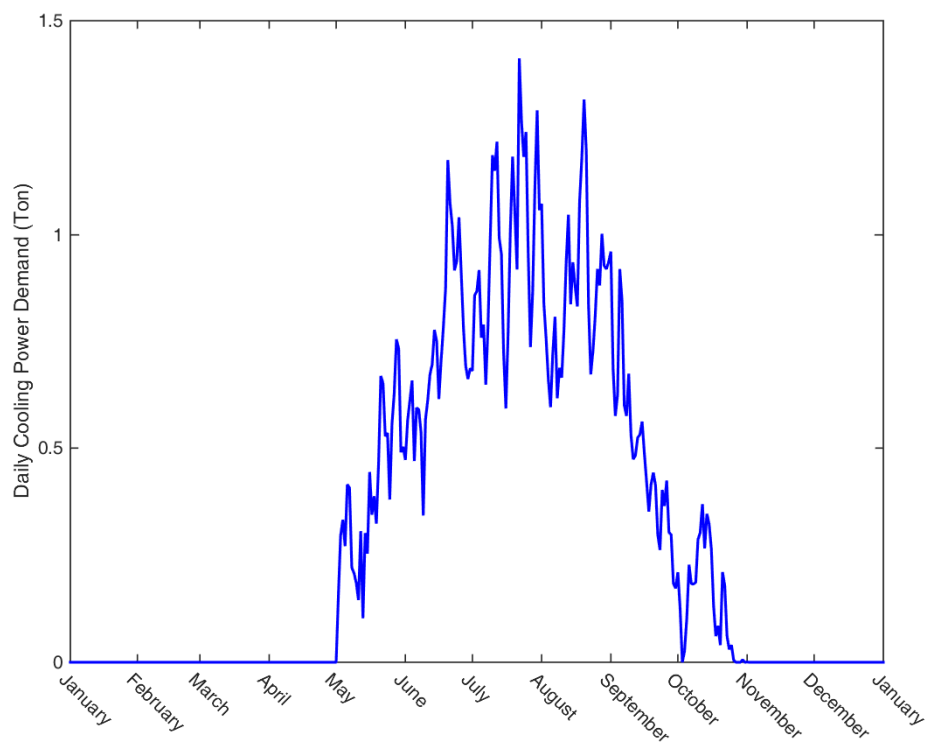
شکل ۹-۲۱: نقشه واحد ۴۵ متری به منظور محاسبه تقاضا گرمایش و سرمایش.



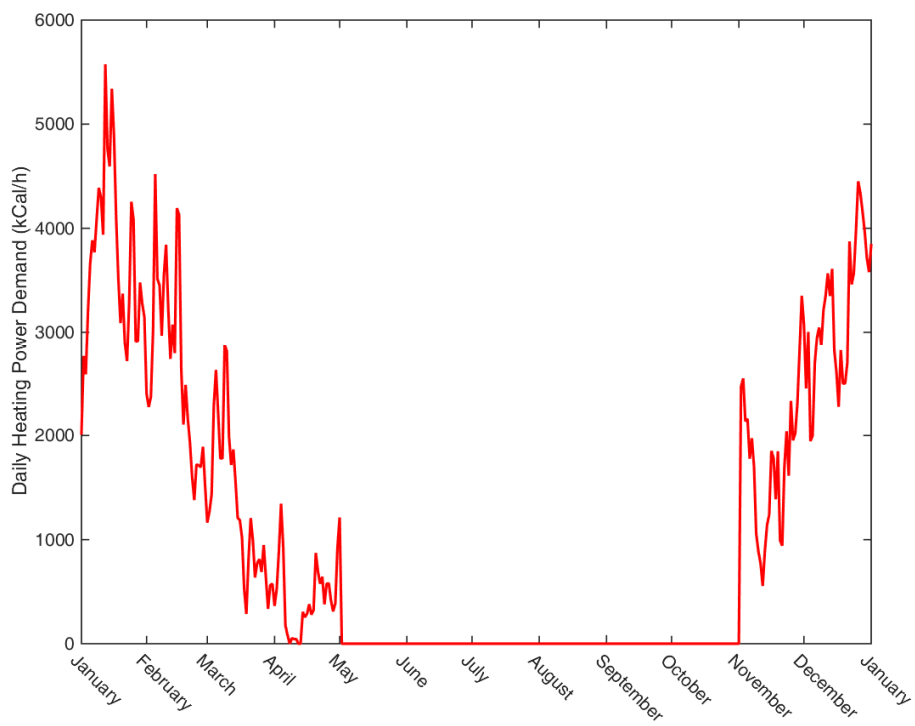
شکل ۹-۲۲: نمودار تقاضا سرمایش واحد ۴۵ متری.



شکل ۹-۲۳: نمودار تقاضا گرمایش واحد ۴۵ متری.



شکل ۹-۲۴: نمودار میانگین روزانه تقاضای سرمایش واحد ۴۵ متری.



شکل ۹-۲۵: نمودار میانگین روزانه تقاضای گرمایش واحد ۴۵ متری.

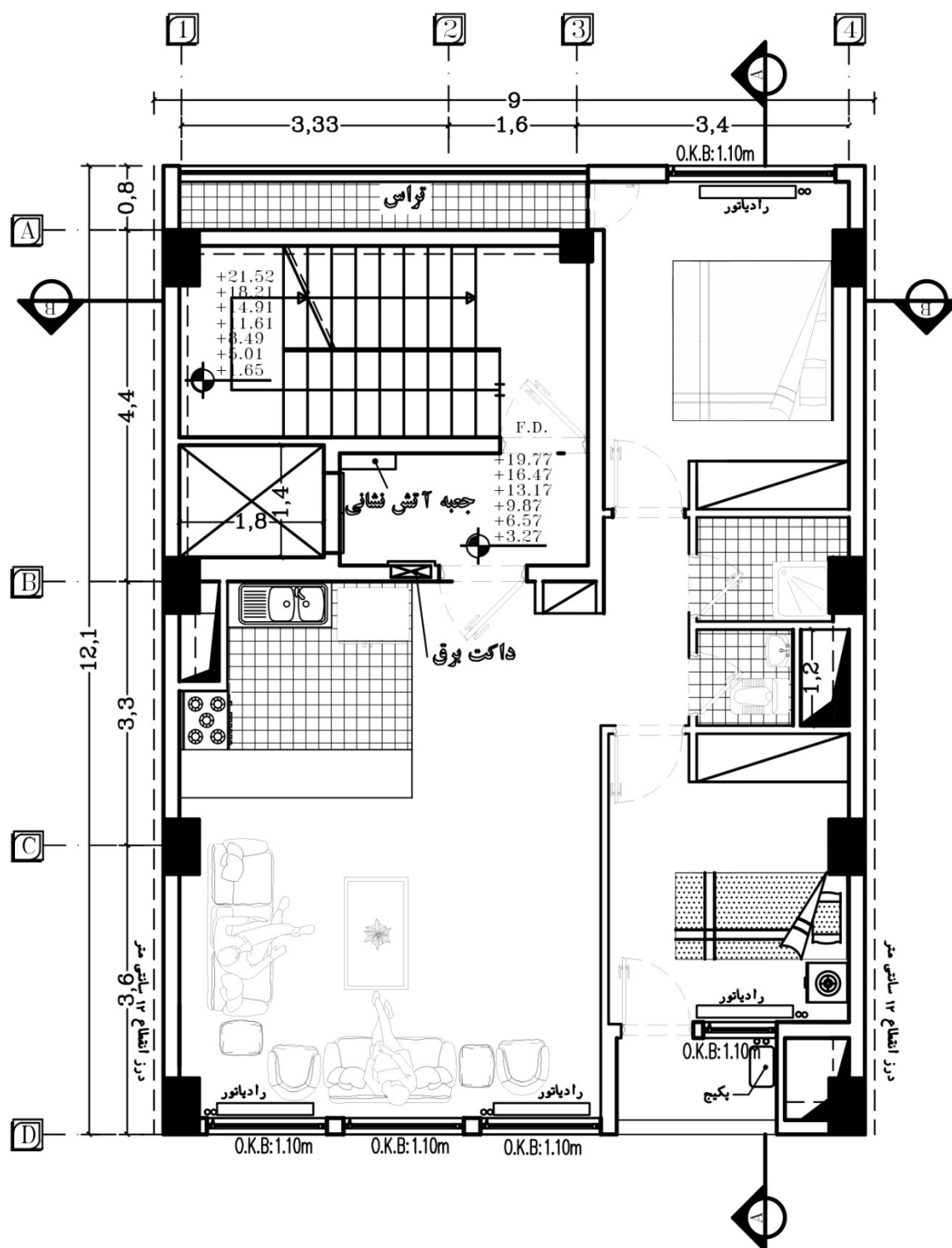
همانطور که از نمودارها مشخص است تقاضا سرمایش این واحد مسکونی حدود ۱/۷ تن تبرید، و تقاضای گرمایش حدود ۵۸۰۰ کیلوکالری بر ساعت است.

بر اساس نتایج بخش ۸-۱-۶ و ۸-۲-۲ مناسب‌ترین سیستم‌های تهویه مطبوع برای این ساختمان یک طبقه و دارای یک واحد کوچک ۴۵ متری، استفاده از پکیج برای گرمایش و استفاده از کولرگازی اسپلیت برای سرمایش می‌باشد. برای توزیع گرمایش نیز، استفاده از رادیاتور پنلی مناسب است.

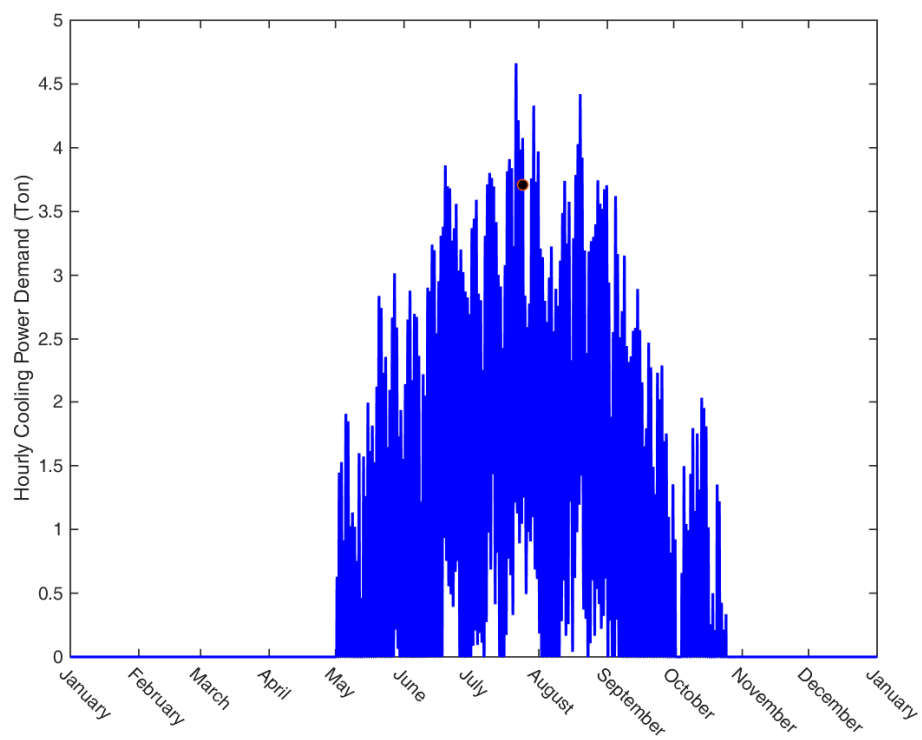
۹-۶- تقاضا گرمایش و سرمایش واحد ۱۱۰ متری

یک واحد ۱۱۰ متری مطابق نقشه موجود در شکل ۹-۲۶ مدنظر قرار دارد. مدلسازی این ساختمان در نرم‌افزار انرژی پلاس انجام می‌شود. همانطور که در بخش ۹-۱ توضیح داده شد، نمودارهای مربوط به تقاضای سرمایش و گرمایش واحد مدنظر رسم می‌شود. مقادیر تخمین سرمایش و گرمایش با تخمین ۹۹٪، با نقطه سیاه‌رنگ روی نمودارها نشان داده شده است.

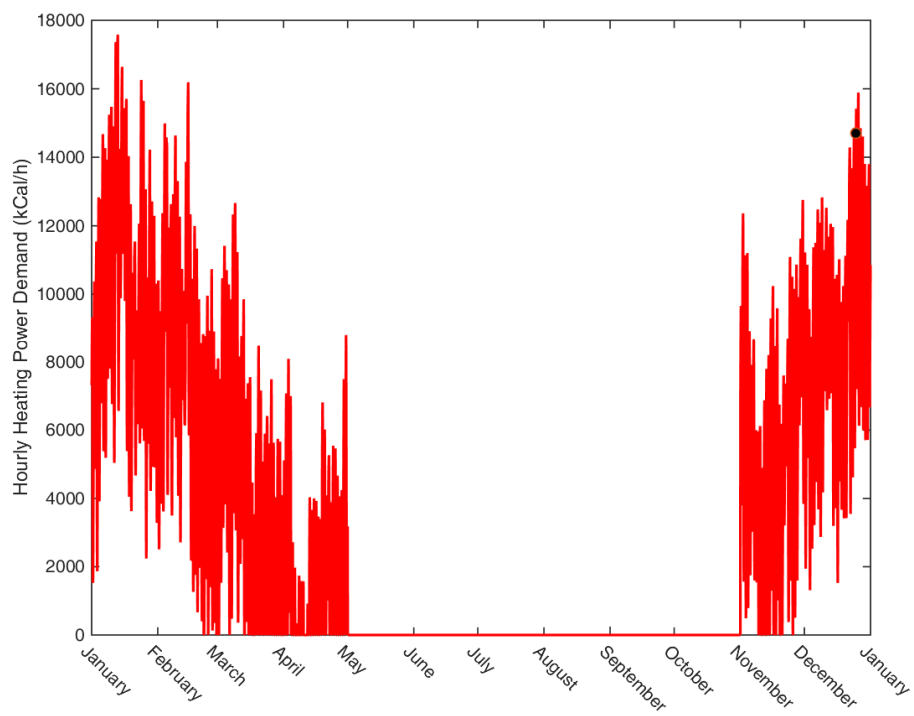
شکل ۹-۲۷ نمودار تقاضا سرمایش و شکل ۹-۲۸ نمودار تقاضای گرمایش واحد ۱۱۰ متری را نشان می‌دهند. به منظور مشاهده نتایج میانگین روزانه تقاضای سرمایش و گرمایش، نمودارهای جدا برای میانگین روزانه، در شکل ۹-۲۹ و ۹-۳۰ نشان داده شده است.



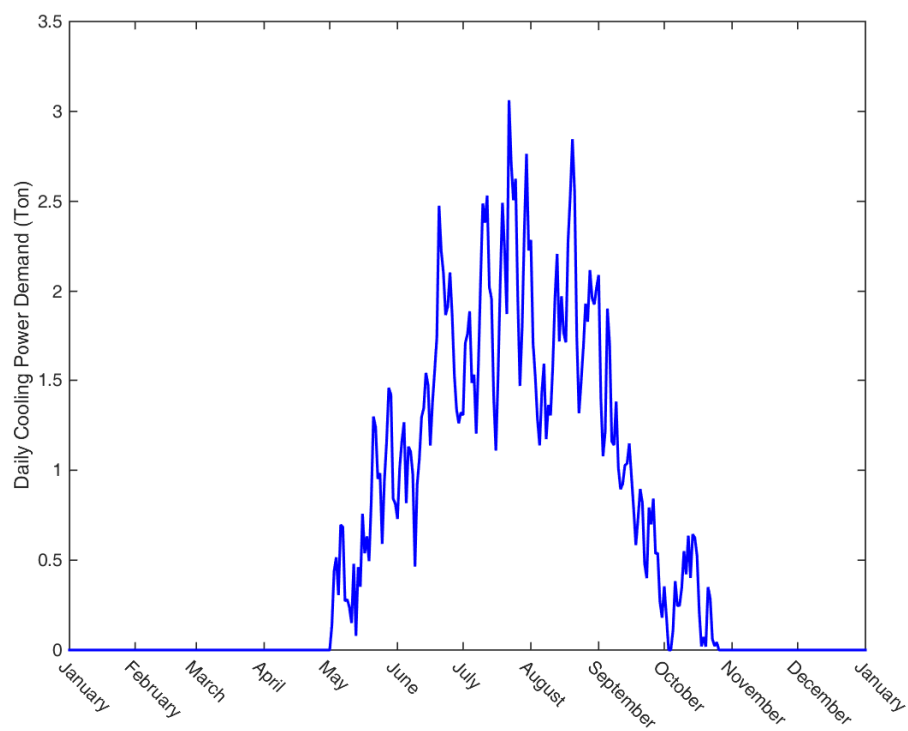
شکل ۹-۲۶: نقشه واحد ۱۱۰ متری به منظور محاسبه تقاضا گرمایش و سرمایش.



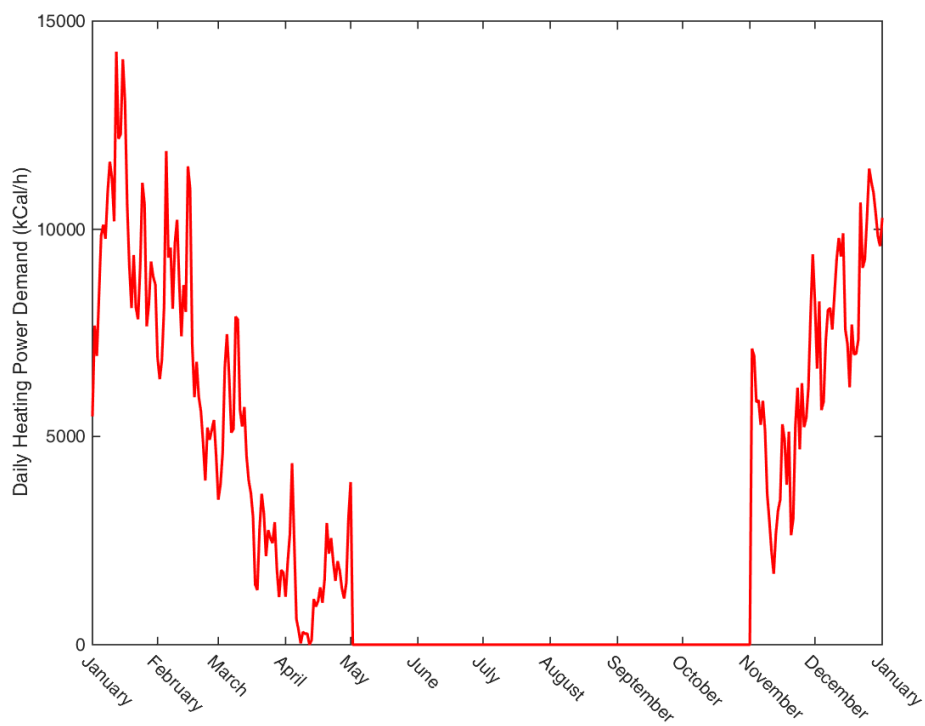
شکل ۹-۲۷: نمودار تقاضا سرمایش واحد ۱۱۰ متری.



شکل ۹-۲۸: نمودار تقاضا گرمایش واحد ۱۱۰ متری.



شکل ۹-۲۹: نمودار میانگین روزانه تقاضای سرمایش واحد ۱۱۰ متری.



شکل ۹-۳۰: نمودار میانگین روزانه تقاضای گرمایش واحد ۱۱۰ متری.

همانطور که از نمودارها مشخص است تقاضای سرمایش این واحد مسکونی حدود ۳/۷ تن تبرید، و تقاضای گرمایش حدود ۱۴۸۰۰ کیلوکالری بر ساعت است.

بر اساس نتایج بخش ۸-۱-۶ و ۸-۲-۲ مناسبترین سیستمهای تهویه مطبوع برای این ساختمان شش طبقه که در هر طبقه یک واحد ۱۱۰ متری دارد، با توجه به این که استخر در ساختمان وجود ندارد، استفاده از پکیج برای گرمایش هر طبقه به صورت مجزا از نظر عملکردی مناسب است؛ اما چون تعداد طبقات شش طبقه است، استفاده از موتورخانه مرکزی برای گرمایش از نظر بهره‌وری اقتصادی و مصرف بهینه انرژی، ارجحیت دارد. برای سرمایش ساختمان، چیلر مرکزی بهترین گزینه است. برای سیستم توزیع، استفاده از فن کویل گزینه مناسبی است و برای توزیع سرمایش و گرمایش استفاده می‌شود.

۷-۹- صحنه‌سنجی نتایج تقاضای سرمایش و گرمایش

بر اساس محاسبات سرانگشتی که شرکت پاکمن برای محاسبه تقریبی تقاضای سرمایش و گرمایش آورده است، رابطه زیر برای محاسبه بار سرمایشی توصیه شده است [62]:

$$Q = \frac{A}{350} \times 10 \text{ [Ton]}$$

در گزارش فنی شرکت پاکمن توضیح داده شده است که ضریب ۳۵۰ در معادله بالا با توجه به موقعیت طرح بین ۳۰۰ تا ۴۰۰ تغییر می‌کند. برای محاسبه بار گرمایشی نیز رابطه زیر توصیه شده است:

$$Q = 300 \times A \text{ [kCal/h]}$$

در گزارش فنی شرکت پاکمن توضیح داده شده است که ضریب ۳۰۰ در معادله بالا با توجه به موقعیت طرح بین ۱۰۰ تا ۳۰۰ تغییر می‌کند.

با مقایسه نتایج به دست آمده برای شهر قم، نتیجه‌گیری می‌شود ضریب ۳۱۰ برای بار سرمایشی و ضریب ۱۳۵ برای بار گرمایشی، نتایج قابل قبولی را ارائه می‌دهد. جدول ۹-۲ صحنه‌سنجی نتایج بار سرمایشی و گرمایشی ساختمان‌هایی که در این پژوهش مورد بررسی قرار گرفت را بر اساس محاسبات سرانگشتی شرکت پاکمن، نشان می‌دهد.

جدول ۹-۲: صحنه سنجی نتایج بار سرمایشی و گرمایشی ساختمان‌های مورد بررسی با نتایج شرکت پاکمن.

مترائز	بار سرمایشی (تن تبرید)	بار گرمایی محاسبه شده (کیلوکالری بر ساعت)	بار سرمایشی محاسبات سرانگشتی (تن تبرید)	بار گرمایی محاسبات سرانگشتی (کیلوکالری بر ساعت)	درصد خطا بار سرمایشی (%)	درصد خطا بار گرمایشی (%)
۳۰۰	۹/۵	۴۰۰۰	۹/۶۷	۴۰۵۰۰	۱/۲۵	۱/۸۶
۲۱۵	۷	۳۲۰۰۰	۶/۹۳	۹۲۰۲۵	۹/۲۹	۰/۹۲
۲۱۰	۷/۲	۳۳۰۰۰	۶/۷۷	۲۸۳۵۰	۱۴/۰۹	۵/۹۱
۱۱۰	۳/۷	۱۴۸۰۰	۳/۵۴	۱۴۸۵۰	۰/۳۳	۴/۰۹
۸۰	۲/۸	۱۱۰۰۰	۲/۵۸	۱۰۸۰۰	۱/۸۱	۷/۸۳
۴۵	۱/۷	۵۸۰۰	۱/۴۵	۶۰۷۵	۴/۷۴	۱۴/۶۱

جدول ۹-۲ نشان می‌دهد که بار سرمایشی و گرمایی که برای ساختمان‌های نمونه در این پژوهش توسط نرم‌افزار انرژی پلاس محاسبه شده است، با درصد خطای قابل قبولی با نتایج محاسبات سرانگشتی که شرکت پاکمن در گزارش‌های فنی ارائه داده است، مطابقت دارد. توجه به این نکته اهمیت دارد که در گزارش فنی شرکت پاکمن ذکر شده که محاسبات سرانگشتی به روش ساده و تا حدودی دقیق است، و در مواقعی که سپردن کار در دست مهندسان مشاور نیازمند وقت و سرمایه بالایی باشد، می‌توان از این روش بهره برد تا نتایج اولیه قابل قبولی به دست آورد. بنابراین وجود درصد خطاهای بعضاً بالای ۵ درصد، نشان از اشتباه بودن محاسبات نیست، و بر اساس پارامترهای مختلف در ساختمان (زاویه قرارگیری پنجره‌ها، مترائز و جنس دیوارها و پنجره‌ها و...) نتایجی که توسط نرم‌افزار حاصل شده دقت بالاتری نسبت به محاسبات سرانگشتی دارد.

۸-۹- نتیجه‌گیری انتخاب سیستم‌های تهویه مطبوع

در بخش‌های قبلی شش نمونه متفاوت واحد مسکونی با مترائزهای مختلف مورد بررسی قرار گرفت، و تقاضای سرمایشی و گرمایشی آن‌ها محاسبه شد، و سیستم‌های تهویه مطبوع مناسب برای آن‌ها انتخاب شد.

بر اساس نتایج بخش ۸-۱-۶ و ۸-۲-۲، برای ساختمان سه طبقه که در هر طبقه یک واحد ۳۰۰ متری دارد، با توجه به این که مجموع مساحت مفید ساختمان بیش از ۶۰۰ متر است، مناسب‌ترین سیستم‌های تهویه مطبوع، موتورخانه مرکزی برای گرمایش، و چیلر مرکزی برای سرمایش است. برای سیستم توزیع، استفاده از فن کویل بهترین گزینه است و برای توزیع سرمایش و گرمایش استفاده می‌شود.

مناسب‌ترین سیستم‌های تهویه مطبوع برای ساختمان پنج طبقه که در هر طبقه یک واحد ۲۱۵ متری دارد، با توجه به این که استخر در ساختمان وجود ندارد، و مساحت واحد مسکونی کمتر از ۳۰۰ متر است، استفاده

از پکیج برای گرمایش هر طبقه به صورت مجزا از نظر عملکردی مناسب است؛ اما چون تعداد طبقات پنج طبقه است، و مجموع مساحت مفید ساختمان بیش از ۶۰۰ متر است، استفاده از موتورخانه مرکزی برای گرمایش از نظر بهره‌وری اقتصادی و مصرف بهینه انرژی، ارجحیت دارد. برای سرمایش ساختمان، چیلر مرکزی بهترین گزینه است. برای سیستم توزیع، استفاده از فن کویل گزینه مناسبی است و برای توزیع سرمایش و گرمایش استفاده می‌شود.

برای ساختمان چهار طبقه که در هر طبقه یک واحد ۲۱۰ متری دارد، با توجه به این که استخر در ساختمان وجود ندارد، و مساحت واحد مسکونی کمتر از ۳۰۰ متر است، استفاده از پکیج برای گرمایش هر طبقه به صورت مجزا از نظر عملکردی مناسب است؛ اما چون تعداد طبقات چهار طبقه است، و مجموع مساحت مفید ساختمان بیش از ۶۰۰ متر است، استفاده از موتورخانه مرکزی برای گرمایش از نظر بهره‌وری اقتصادی و مصرف بهینه انرژی، ارجحیت دارد. برای سرمایش ساختمان، چیلر مرکزی بهترین گزینه است. برای سیستم توزیع، استفاده از فن کویل گزینه مناسبی است و برای توزیع سرمایش و گرمایش استفاده می‌شود.

مناسب‌ترین سیستم‌های تهویه مطبوع برای این ساختمان شش طبقه که در هر طبقه یک واحد ۱۱۰ متری دارد، با توجه به این که استخر در ساختمان وجود ندارد، و مساحت واحد مسکونی کمتر از ۳۰۰ متر است، استفاده از پکیج برای گرمایش هر طبقه به صورت مجزا از نظر عملکردی مناسب است؛ اما چون تعداد طبقات شش طبقه است، و مجموع مساحت مفید ساختمان بیش از ۶۰۰ متر است، استفاده از موتورخانه مرکزی برای گرمایش از نظر بهره‌وری اقتصادی و مصرف بهینه انرژی، ارجحیت دارد. برای سرمایش ساختمان، چیلر مرکزی بهترین گزینه است. برای سیستم توزیع، استفاده از فن کویل گزینه مناسبی است و برای توزیع سرمایش و گرمایش استفاده می‌شود.

برای ساختمان دو طبقه که در هر طبقه یک واحد ۸۰ متری دارد، با توجه به این که استخر در ساختمان وجود ندارد، و مساحت واحد مسکونی کمتر از ۳۰۰ متر است، استفاده از پکیج برای گرمایش هر طبقه به صورت مجزا انتخاب مناسبی است. برای سرمایش ساختمان استفاده از مینی چیلر برای هر واحد مناسب است. در این ساختمان با توجه به این که ظرفیت سرمایش محدود است، و ساختمان دو طبقه است استفاده از کولرگازی اسپلیت نیز برای سرمایش قابل اجرا است، استفاده از داکت اسپلیت نیز برای سرمایش با در نظر داشتن عدم امکان تنظیم دما به صورت مجزا برای اتاق خواب‌ها، و همچنین سروصدای یونیت داخلی در واحد مسکونی، می‌تواند استفاده شود؛ اما توصیه نمی‌شود، و استفاده از مینی چیلر برای هر واحد ارجحیت دارد. برای سیستم توزیع، اگر از کولرگازی اسپلیت برای سرمایش استفاده شود، برای توزیع گرمایش، استفاده از رادیاتور پنلی مناسب است. و اگر از مینی چیلر برای سرمایش استفاده شود، استفاده از فن کویل گزینه مناسبی است و برای توزیع سرمایش و گرمایش استفاده می‌شود.

مناسب‌ترین سیستم‌های تهویه مطبوع برای ساختمان یک طبقه و دارای یک واحد کوچک ۴۵ متری، استفاده از پکیج برای گرمایش و استفاده از کولرگازی اسپلیت برای سرمایش می‌باشد. برای توزیع گرمایش نیز، استفاده از رادیاتور پنلی مناسب است.

نتایج تقاضای بار سرمایشی و گرمایشی برای واحدهای با متراژ مختلف در جدول ۹-۳ آورده شده است. همانطور که قبلاً اشاره شد، تقاضای بار گرمایشی و سرمایشی ساختمان تنها به متراژ وابسته نیست، و متراژ دیوارها در جهت‌های جغرافیایی مختلف، و همچنین میزان متراژ پنجره‌ها و موقعیت جغرافیایی آن‌ها و همچنین متراژ دیوارهای داخلی موجود در واحد مسکونی عوامل بسیار مهمی هستند، که می‌توانند در مقدار تقاضای بار گرمایشی و سرمایشی ساختمان تأثیر داشته باشند. چون تأثیر متراژ ساختمان از عوامل دیگر بیشتر است، می‌تواند به عنوان تخمین نه چندان دقیق، برای ساختمان‌های مشابه مورد استفاده قرار گیرد. جدول ۹-۴ نتایج انتخاب سیستم‌های تهویه مطبوع برای ساختمان‌های با متراژ مختلف را ارائه می‌دهد.

جدول ۹-۳: تقاضای بار سرمایشی و گرمایشی برای واحدهای با متراژ مختلف.

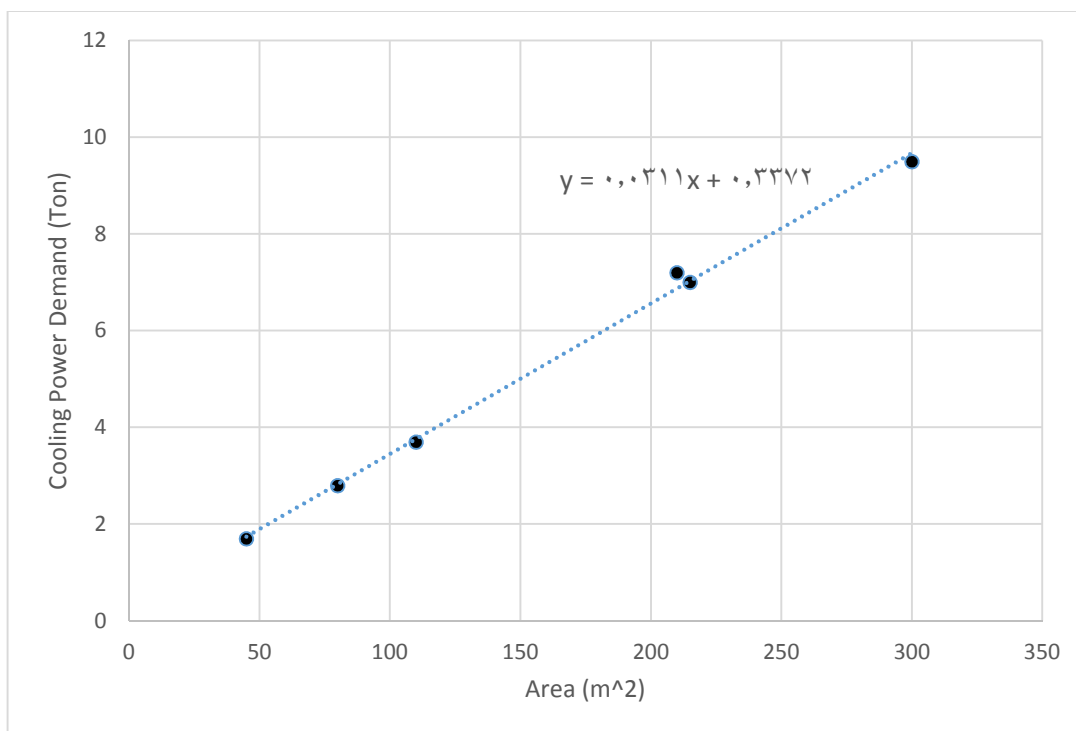
متراژ (متر مربع)	تعداد طبقه	مجموع مساحت (متر مربع)	تقاضای بار سرمایی به ازای یک واحد (تن تبرید)	تقاضای بار گرمایی به ازای یک واحد (کیلوکالری بر ساعت)
۳۰۰	۳	۹۰۰	۹/۵	۴۰۰۰۰
۲۱۵	۵	۱۰۷۵	۷	۳۲۰۰۰
۲۱۰	۴	۸۴۰	۷/۲	۳۳۰۰۰
۱۱۰	۶	۶۶۰	۳/۷	۱۴۸۰۰
۸۰	۲	۱۶۰	۲/۸	۱۱۰۰۰
۴۵	۱	۴۵	۱/۷	۵۸۰۰

جدول ۹-۴: انتخاب سیستم‌های تهویه مطبوع برای ساختمان‌های با متراژ مختلف بر اساس اولویت.

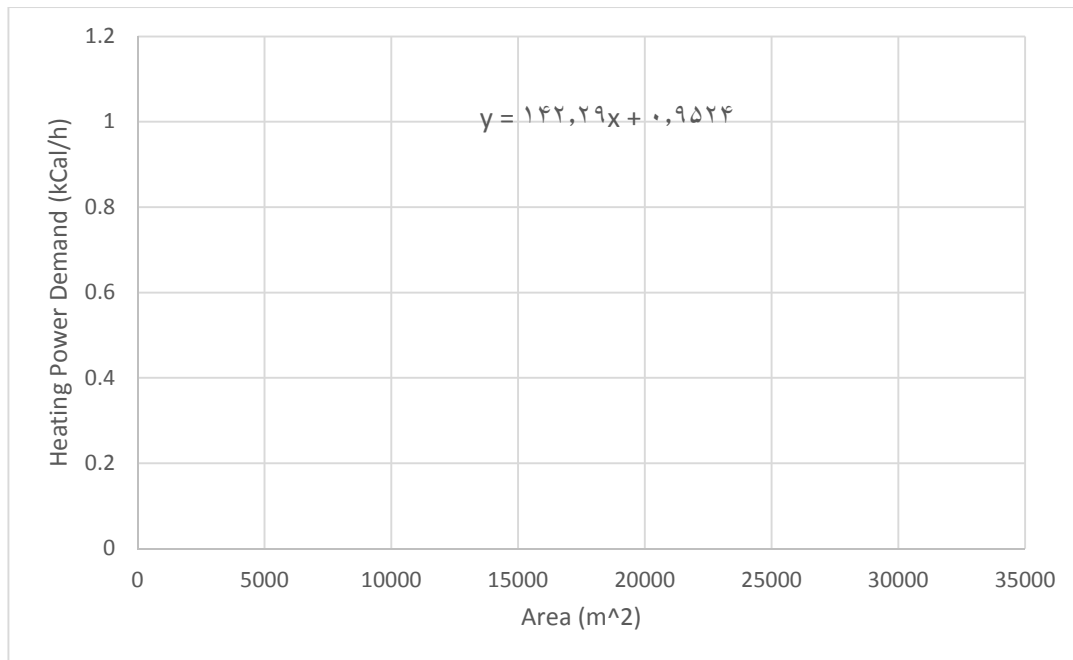
متراژ (متر مربع)	تعداد طبقه	مجموع مساحت (متر مربع)	سیستم سرمایشی	سیستم گرمایشی	سیستم توزیع
۳۰۰	۳	۹۰۰	چیلر مرکزی	موتورخانه مرکزی	فن کویل
۲۱۵	۵	۱۰۷۵	چیلر مرکزی	(۱) موتورخانه مرکزی (۲) پکیج	فن کویل
۲۱۰	۴	۸۴۰	چیلر مرکزی	(۱) موتورخانه مرکزی (۲) پکیج	فن کویل

فن کویل	(۱) موتورخانه مرکزی (۲) پکیج	چیلر مرکزی	۶۶۰	۶	۱۱۰
(۱) فن کویل (۲) رادیاتور پنلی	پکیج	(۱) مینی چیلر (۲) کولرگازی اسپلیت	۱۶۰	۲	۸۰
رادیاتور پنلی	پکیج	کولرگازی اسپلیت	۴۵	۱	۴۵

بر اساس مترآژ واحدهای مسکونی که در بخش‌های قبل برای محاسبه تقاضای بار سرمایشی و گرمایشی به کار گرفته شدند، و همچنین مقادیر تقاضای بار سرمایشی و گرمایشی محاسبه شده، نمودار شکل ۹-۳۱ برای تقاضای بار سرمایشی و نمودار شکل ۹-۳۲ برای تقاضای بار گرمایشی رسم شده‌اند. به وسیله رگرسیون خطی، معادله تخمین بار سرمایشی و گرمایی واحدهای مسکونی بر اساس مترآژ آن‌ها استخراج می‌شود، که می‌تواند تخمین خوبی برای مترآژهای مختلف باشد. اگرچه که راهکار دقیق محاسبه جداگانه برای هر ساختمان است.



شکل ۹-۳۱: مقادیر تقاضای بار سرمایشی برای مترآژهای مختلف واحدهای مسکونی.



شکل ۹-۳۲: مقادیر تقاضای بار گرمایشی برای مترážهای مختلف واحدهای مسکونی.

منابع

[1] www.avashco.com

[2] makh-co.com

[3] tahviahnegar.com

[۴] کتاب کار تأسیسات حرارتی، مهندس امیر لیلانز مهر آبادی، دفتر تألیف کتابهای درسی فنی و حرفه‌ای و کاردانش، شرکت چاپ و نشر کتابهای درسی ایران، سال ۱۳۹۳.

[5] bedbezan.com

[6] www.mrcentralheating.co.uk

[7] industrialboiler.co

[8] leotahviah.ir

[9] www.sholehbaran.com

[10] www.payadama.com

- [11] bna.co.ir
- [12] www.process-heating.com
- [13] boilersale.ir
- [14] www.techtransfer.com
- [15] www.mboiler.com
- [16] www.heat-cold-ventilation-air.ir
- [17] www.exonholding.com
- [18] fadakbazar.com
- [19] garma-sard.com
- [20] www.samasazan.com
- [21] mag.damapouya.com
- [22] www.bamintahvie.com
- [23] www.energytahviah.com
- [24] garma-sanaat.com
- [25] baehindigital.com
- [26] cankala.com
- [27] householdgl.ir
- [28] technosun.ir
- [29] kharidyaar.ir
- [30] 124.ir
- [31] www.shominepadideh.ir
- [32] ostadeh.com
- [33] fannisho.com
- [34] tasisattajhiz.com
- [35] tikservice.blogfa.com

[36] www.damoon-co.com

[37] wikisakhtemoon.com

[۳۸] نشریه پودمان، جلد پنجم، p. 237.

[39] itahvie.ir

[40] chiller98.ir

[41] mpkg.ir

[42] prtimes.jp

[43] manaset.com

[44] 22-7.co.in

[45] www.nia-ir.com

[46] iran-split.com

[47] chillerinfo.ir

[48] www.radcoir.com

[49] garmasardco.com

[50] buildingplus.ir

[51] fastcdn.pro

[52] defrost.ir

[53] tdc.hr

[54] alpsanat.com

[55] danabtahvieh.com

[56] www.kalagostaran.com

[57] atlassarma.ir

[58] bentlyco.ir

[59] behfix.com

[60] <https://www.dl-online.com/news/4628931-chilling-effect-dlcccs-new-hvac-system-slated-bring-guaranteed>

[61] www.cat.com

[62] www.packmangroup.com

[۶۳] سالنامه آماری استان قم، فصل اول، سرزمین و آب و هوا، سال ۱۳۹۷.

[۶۴] کتاب محاسبات تأسیسات ساختمان، مهندس سید مجتبی طباطبایی، چاپخانه فرهنگ معاصر، سال ۱۳۸۲.

[۶۵] طراحی سیستم‌های تهویه مطبوع و تأسیسات مکانیکی، دکتر محمد حسن سعیدی، دکتر بهرنگ سجادی، دانشگاه صنعتی شریف، دانشکده مهندسی مکانیک، سال ۱۳۸۸.

[۶۶] راهنمای جامع صنعت تهویه و تأسیسات کشور، علی عباسی تفرشی، نشریه فنی مهندسی تهویه تأسیسات، سال ۱۳۹۰.

[۶۷] ساختمان انرژی صفر و ارائه یک طرح ساختمان بر اساس اقلیم شهر بوشهر، علیرضا صیادی، امین رودحله پور، نیما غیائی طبری، یازدهمین همایش پژوهش‌های نوین در علوم و فناوری، پاییز ۱۳۹۶.

[۶۸] انرژی‌های نو در معماری (نمونه موردی شهر اراک)، فرزانه کارخانه، حمیدرضا نصیری، محمد مهدی دولت آبادی فراهانی، معصومه عبیری، سومین کنفرانس بین‌المللی پژوهش در علوم و تکنولوژی، برلین-آلمان، تیرماه ۱۳۹۵.

[۶۹] سیستم‌های کنترل هوشمند تأسیسات حرارتی ساختمان، تورج بطحایی، امیر حسین محمودی، شرکت پیشران انرژی، نشریه انرژی ایران، سال نهم، شماره ۲۲، اردیبهشت ۱۳۸۴.

[۷۰] پیشنهاد روشی برای پهنه‌بندی اقلیمی ایران بر مبنای پتانسیل تهویه طبیعی (مطالعه موردی شهر یزد)، رزا وکیلی‌نژاد، سید مجید مفیدی شمیرانی، فاطمه مهدیزاده سراج، نشریه پژوهش‌های اقلیم‌شناسی، علمی و پژوهشی، دوره ۱۳۹۱، شماره ۱۲، صفحه ۱۳-۲۲، بهار ۱۳۹۱.

[۷۱] نشریه پیشگامان تأسیسات، hvacmagazine.ir مقالات سیستم‌های سرمایش و گرمایش و تهویه مطبوع.

- [72] D. J. T. a. R. G. Humphries, "The Calculation of Climatic Design Conditions in the 2005 ASHRAE Handbook--Fundamentals," *ASHRAE Transaction*, vol. 111, 2005.
- [73] A. K. M. L. F. T. a. Y. Z. X. Wei, "Multi-objective optimization of the HVAC (heating, ventilation, and air conditioning) system performance," *Energy*, Vol. 83, pp. 294-306, 2015.
- [74] A. F. G. a. I. V. Kurta, " Choosing Optimal Parameters of Mine Air Conditioning Systems," *Cham*, pp. 1144-1148, 2018.
- [75] "Getting Started," in *EnergyPlus Version 9.4.0 Documentation*, U.S. Department of Energy, September 2020.
- [76] "Input Output Reference," in *EnergyPlus Version 9.4.0 Documentation*, U.S. Department of Energy, September 2020.
- [77] "Engineering Reference," in *EnergyPlus Version 9.4.0 Documentation*, U.S. Department of Energy, September 2020.
- [78] www.ifco.ir
- [79] www.shana.ir
- [80] weblog.leotahvieh.ir
- [81] www.دیگ-بخار.com
- [82] www.gassero.org
- [83] lgiranian.com
- [84] www.kornido.com
- [85] tahviyezeus.com
- [86] www.gas-heat-pump.ir
- [87] poshtibanservice.com
- [88] elintfh.com
- [89] itahviesaz.ir
- [90] aryatahvieh.ir
- [91] damapouya.com

- [92] www.tabnak.ir
- [93] ducted-split.com
- [94] aenner.ir
- [95] www.ansarco.biz
- [96] energy-clinic.com
- [97] www.energykala.ir
- [98] behsazenergy.ir

قدردانی:

بدین وسیله از آقای مهندسی حسین فهیمی، مشاور و مجری سیستم‌های تهویه مطبوع، موتورخانه و تجهیزات کنترلی، و همچنین آقای مهندس سجاد شهریاری، مشاور، طراح، مجری و نماینده فروش سیستم‌های تهویه مطبوع و مدیر شرکت تهویه و تأسیسات صاژن، و همچنین آقای مهندس میرهاشمی، که ما را از تجارب ارزشمند خود در این پژوهش بهره‌مند کردند، سپاسگزاری می‌نماییم. و همچنین از سایر همکاران و دوستانی که هر کدام به نحوی در تهیه این پژوهش ما را یاری کردند، تشکر نموده و موفقیت همه آن‌ها را از خداوند متعال خواهانیم.