سرشناسه: تابع قانون، آرش، ۱۳۵۵ -
عنوان و نام پدیدآور: کتاب جامع سیستم‌های جریان متغییر [صحیح: متغیر] مبرد Handbook of Variable Refrigerant Flow Systems =VRF
به کوشش مهندس آرش تابع‌قانون
مشخصات نشر: تهران: انتشارات شفاف، ۱۴۰۲
مشخصات ظاهری: ۴۳۲ص.: مصور، جدول، نمودار؛ ۲۲ × ۲۹ س‌م
شابک: ۹-۸۷-۶۶۹۵-۶۲۲-۹۷۸
وضعیت فهرست‌نویسی: فیپا
یادداشت: کتابنامه: ص. ۴۲۷ - ۴۲۸
موضوع: تهویه مطبوع
Air conditioning
سردکننده‌ها
Refrigerants
ساختمان‌ها -- صرفه‌جویی در انرژی
Buildings -- Energy conservation
تهویه مطبوع -- وسایل و تجهیزات
Air conditioning -- Equipment and supplies
تهویه مطبوع -- وسایل و تجهیزات -- طراحی و ساخت
Air conditioning -- Equipment and supplies -- Design and construction
سردسازی و دستگاه‌های سردکننده
Refrigeration and refrigerating machinery
شناسه افزوده: رضایی عزیزآبادی، حامد، ۱۳۵۷-
رده بندی کنگره: TH ۷۶۸۷
رده بندی دیویی: ۹۳/۶۹۷
شماره کتابشناسی ملی: ۹۲۸۱۶۸۰
اطلاعات رکورد کتابشناسی: فیپا

کتاب جامع سیستم‌های جریان متغیر مبرد VRF

Handbook of Variable Refrigerant Flow Systems

به کوشش:

مهندس آرش تابع‌قانون

کاروان‌اندیشه بین‌الملل

چاپ اول

۱۴۰۲

کتاب جامع سیستم‌های جریان متغیر مبرد *VRF*
به‌کوشش: مهندس آرش تابع‌قانون
ویراستار: دکتر حامد رضایی عزیزآبادی
نمونه‌خوان: جواد برکتی، عیسی پیرانی
طراح جلد و صفحه‌آرا: حدیثه سوقاتی
ناشر: شفاف
نوبت چاپ: اول ـ ۱۴۰۲
شابک: ۹ ـ ۸۷ ـ ۶۶۹۵ ـ ۶۲۲ ـ ۹۷۸
تیراژ : ۱۰۰۰ نسخه
بها: ۵۵۰ هزار تومان
تلفن دفتر تهران: ۸۸۵۰۱۸۷۷ ـ ۰۲۱
کتابفروشی: ۴۲۶۱۰۹۰۱ ـ ۰۳۱
www.shafaaf.ir

کلیه حقوق مادی و معنوی این اثر متعلق به شرکت کاروراندیشه بین‌الملل است.

فهرست مطالب

پیش‌گفتار ۹

مقدمه ۱۱

مروری بر تاریخچه صنعت تهویه مطبوع ۱۳

۱ فصل اول: تعاریف و پیش‌نیازها ۱۹

۱-۱. وضعیت انرژی در ایران و جهان ۲۱

۱-۲. مصرف انرژی در ساختمان‌ها ۲۳

۱-۳. تعاریف و مقدمات ترمودینامیکی ۲۶

۱-۴. انواع روش‌های انتقال حرارت ۲۹

۱-۵. نمودار سایکرومتریک و شرایط آسایش ۳۰

خلاصه فصل اول ۳۳

۲ فصل دوم: چرخه تبرید تراکمی و کاربرد آن در تجهیزات مختلف ۳۵

۲-۱. تولید سرمایش با استفاده از چرخه تبرید تراکمی ۳۷

۲-۲. انحراف چرخه تبرید تراکمی واقعی از چرخه ایده‌آل ۳۸

۲-۳. اصول کاری و تفاوت‌های عملکردی تجهیزات سرمایشی به زبان ساده ۳۹

۲-۴. مقایسه اسپلیت و *VRF* ۴۰

۲-۵. مقایسه چیلر و *VRF* ۴۲

۲-۶. تولید گرمایش با استفاده از چرخه تبرید تراکمی ۴۴

خلاصه فصل دوم ۴۶

۳ فصل سوم: انواع سیستم‌های *VRF* و ویژگی‌های آن‌ها ۴۷

۳-۱. سیستم *VRF* (جریان متغیر مبرد) ۴۹

۳-۲. انواع یونیت‌های خارجی ۵۰

۳-۳. ویژگی‌ها و مشخصات ساختاری سیستم *VRF* ۵۸

۳-۴. مشـخصات فنی و طیف ظرفیت یونیت‌های خارجی ۶۲

۳-۵. یونیت‌های داخلی در سیستم *VRF* ۷۱

خلاصه فصل سوم ۹۷

۴ فصل چهارم: طراحی سیستم *VRF* ۹۹

۴-۱. پیش‌نیازهای طراحی ۱۰۱

۴-۲. طراحی تخصصی سیستم *VRF* ۱۰۲

۴-۳. انتخاب یونیت‌های داخلی ۱۰۳
۴-۴. انتخاب یونیت‌های خارجی ۱۰۹
خلاصه فصل چهارم ۱۱۶

۵ فصل پنجم: آموزش کار با نرم‌افزار تجاری هایر **۱۱۷**
خلاصه فصل پنجم ۱۵۲

۶ فصل ششم: اجزای مهم سیستم *VRF* **۱۵۳**
۶-۱. کمپرسور ۱۵۵
۶-۲. گرم‌کن کارتر ۱۶۴
۶-۳. آکومولاتورها ۱۶۵
۶-۴. جداکننده روغن ۱۶۷
۶-۵. فیلتر درایر ۱۶۸
۶-۶. مافلر ۱۷۱
۶-۷. شیر چهارراهه ۱۷۳
۶-۸. شیر انبساط ۱۷۶
۶-۹. شیر برقی ۱۷۷
۶-۱۰. شیر سرویس ۱۷۹
۶-۱۱. لوله موئین ۱۷۹
۶-۱۲. سنسورهای فشار بالا و فشار پایین ۱۸۲
۶-۱۳. بردها ۱۸۳
خلاصه فصل ششم ۱۸۵

۷ فصل هفتم: مبردها و مشخصه‌های مهم آن‌ها **۱۸۷**
۷-۱. لایه اوزون ۱۸۹
۷-۲. گرمایش جهانی یا اثر گلخانه‌ای ۱۹۱
۷-۳. انواع مبردها ۱۹۲
۷-۴. شیوه نام‌گذاری مبردها ۱۹۶
۷-۵. مبردهای ترکیبی ۱۹۸
۷-۶. روغن‌های مناسب برای مبردهای پرکاربرد ۲۰۰
۷-۷. ویژگی‌های لازم برای یک مبرد مناسب ۲۰۳
۷-۸. روغن‌ها و روان‌کننده‌ها ۲۱۱
۷-۹. نکاتی در زمینه الزامات زیست‌محیطی مبردها ۲۱۲
۷-۱۰. محدودیت استفاده از مبرد *R-410a* در فضاهای داخلی ۲۱۳
خلاصه فصل هفتم ۲۱۴

۸ فصل هشتم: ابزارآلات نصب و نحوه کار با آن‌ها ۲۱۵
۸-۱. لوله‌های مسی ۲۱۷
۸-۲. عایق‌ها ۲۲۱
۸-۳. ابـزارآلات و تجهیزات مورد نیاز ۲۲۳
۸-۴. تجهیـزات مربوط به‌کار با مبرد ۲۳۶
۸-۵. تجهیزات وکیوم کردن ۲۴۵
۸-۶. تجهیزات کار با برق ۲۴۸
۸-۷. تجهیزات رایج دیگر ۲۵۰
۸-۸. ابزارآلات کار با لوله‌های درین ۲۵۷
۸-۹. تجهیزات و علائم ایمنی ۲۵۹
خلاصه فصل هشتم ۲۶۲

۹ فصل نهم: جوش‌کاری لوله‌های مسی ۲۶۳
۹-۱. روش‌های لحیم‌کاری و جوش‌کاری ۲۶۵
۹-۲. تجهیزات جوش‌کاری ۲۶۶
۹-۳. اتصالات فشاری ۲۷۹
خلاصه فصل نهم ۲۸۳

۱۰ فصل دهم: اصول و استانداردهای نصب سیستم‌های *VRF* ۲۸۵
۱۰-۱. لوله‌کشی مبرد ۲۸۹
۱۰-۲. انتخاب لوله‌کشی مبرد ۲۹۱
۱۰-۳. فرآیند نصب ۳۰۰
۱۰-۴. نکات مهم در هنگام بررسی اولیه و راه‌اندازی ۳۰۲
۱۰-۵. نصب یونیت‌های داخلی و خارجی ۳۰۴
۱۰-۶. نصب سیستم *VRF* در ساختمان‌های بلند مرتبه ۳۱۰
۱۰-۷. چیدمان یونیت‌های خارجی ۳۱۵
۱۰-۸. اجرای لوله‌کشی مبرد ۳۱۹
۱۰-۹. اجرای لوله‌کشی مسی ۳۲۳
۱۰-۱۰. نصب لوله درین ۳۴۲
۱۰-۱۱. نصب عایق‌های حرارتی ۳۴۷
۱۰-۱۲. دستورالعمل انجام سیم‌کشی ۳۵۱
خلاصه فصل دهم ۳۵۷

۱۱ فصل یازدهم: بررسی توجیه اقتصادی استفاده از سیستم *VRF* در شرایط ایران ۳۵۹
۱۱-۱. مقایسه سیستم *VRF* و چیلر تراکمی در سرمایش ۳۶۲
۱۱-۲. مقایسه سیستم *VRF* با دیگ در حالت گرمایش ۳۶۴
خلاصه فصل یازدهم ۳۶۹

۱۲ فصل دوازدهم: سرویس و نگهداری سیستم‌های *VRF* ۳۷۱
۱۲-۱. سرویس یونیت‌های داخلی ۳۷۴
۱۲-۲. سرویس یونیت‌های خارجی ۳۷۶
۱۲-۳. سایر اقدامات ۳۷۸
خلاصه فصل دوازدهم ۳۸۰

۱۳ فصل سیزدهم: پیوست‌ها ۳۸۱
۱۳-۱. تعرفه برق مصرفی ۳۸۳
۱۳-۲. مشخصات و ویژگی‌های مبردها ۳۸۴
۱۳-۳. مشخصات ترمودینامیکی و جداول مبردهای پرکاربرد ۳۸۹
۱۳-۴. مشخصات فنی یونیت‌های داخلی نمونه ۳۹۷
۱۳-۵. ظرفیت واقعی یونیت‌های خارجی ۴۰۹
۱۳-۶. جداول تبدیل واحد ۴۲۰
۱۳-۷. نقشه انفجاری یک یونیت خارجی *VRF* و لیست قطعات آن ۴۲۵

منابع ۴۲۹

پیش‌گفتار

نقش علم و دانش در موفقیت سازمان‌ها و توسعه جوامع

«تعصب در علم و فلسفه مانند هر تعصب دیگر نشانه خامی و بی‌مایگی است؛
و همیشه به زیان حقیقت تمام می‌شود.» (ابن سینا)

پیشرفت‌های چشم‌گیر بشر در سال‌های اخیر و به دنبال آن ارایه مستمر انواع کالاها و خدمات نوین در جهان باعث شده تا جنبه‌های مختلف زندگی افراد همواره دچار تغییر گردد؛ از طرفی این موضوع جامعه جهانی را با چالش‌های جدیدی در زمینه استفاده از این کالاها و خدمات روبه‌رو نموده است. در این مسیر همگام شدن با تغییر و تحولات پیوسته و باورداشتن به نقش علم و فناوری به یکی از ضرورت‌های جامعه امروزی تبدیل شده است و تمام انسان‌ها فارغ از این‌که در چه کشوری زندگی می‌کنند، چه نژاد، زبان و رنگ پوستی دارند و حتی فارغ از این‌که در چه سطحی از توسعه‌یافتگی هستند می‌بایست با این جریان همراه شوند. آینده روشنی را نمی‌توان برای سرنوشت جوامعی که نسبت به این‌گونه تغییرات و پیشرفت‌ها بدبین، یا بی‌اعتنا بوده‌اند، یا حتی در برابر آن‌ها مقاومت کرده‌اند، متصور شد چرا که **مقابله با تکنولوژی و کسب علم و دانش، ستیزی است که نه احتمال فتحی در آن هست و نه امید افتخاری!** انکار کردن این موضوع یا درگیرنشدن با آن نیز مانند فرار یک کودک از مدرسه، یا فرار یک بیمار از پزشک و بیمارستان است، و نتیجه‌ای نخواهد داشت جز درجازدن و جاماندن از قافله فرهنگ و تمدن بشری و بازگشتن به دوران‌هایی که تصورش هم برای انسان امروزی غیر قابل قبول است! به تعبیر دیگر، در روزگار کنونی **"پیشرفت" یک انتخاب نیست، بلکه یک الزام و مساله بودن یا نبودن است!**

ورود دستاوردهای مدرن و فناوری‌های هوشمند به زندگی جوامع بشری باعث تغییر و تحول در همه شوون زندگی انسان شده است؛ این سرآغازی برای ایجاد یک جریان قوی در جهت خلق ایده‌های نو، درخشان و کشف مفاهیم تازه علمی و صنعتی است. همین نواندیشی‌ها، نوآوری‌ها و تغییر و تحولات گریزناپذیر بعدی به تدریج، کمیت و کیفیت فرهنگ و تمدن و زیست‌بوم جامعه بشری را متحول می‌کنند؛ جهان آینده را شکل می‌دهند و بشریت را وارد دنیایی می‌کنند که متفاوت از دنیای کنونی است. مدیران و رهبران سازمان‌ها با ایجاد بستری مناسب برای کسب دانش و هدایت ایده‌ها و همچنین نوآوری‌ها می‌توانند در این میان نقشی کلیدی ایفا کنند. این موضوع از ضروریت‌های جوامع امروزی برای مدیران و رهبران سازمان‌های مختلف است و این تفاوت عمده مدیرانِ خوب و عالی است. به عبارت دیگر تعداد زیادی از مدیران سازمان‌ها و شرکت‌های فعال در رشته‌های گوناگون اقتصادی، اجتماعی و فرهنگی، هرگز به سطح "عالی" نمی‌رسند. چرا؟ **زیرا به اثر معجزه‌آسای علم و تکنولوژی و تاثیر شگفت‌انگیز عمل عالمانه توجهی ندارند و در نتیجه، تنها به "خوب‌بودن" اکتفا می‌کنند و هرگز "عالی" نمی‌شوند!** البته در این مسیر **آفت دیگری نیز وجود دارد که نامش "بی‌عملی" است**. حکیم ناصر خسرو قبادیانی بی‌عملی عالِم را به بی‌ثمری درخت تشبیه کرده و درباره‌اش گفته است:

بسوزنـد چـوب درختـان بی‌بَـر سِزا خود همین است مَر بی‌بَری را

بنابراین لازم است که مدیران و راهبران کسب علم و دانش در حوزه فعالیت‌های خود و بهره بردن از آن را در اولویت قرار دهند تا بتوانند با سیر پیشرفت سریع دنیای مدرن همراه شوند و از آن بهره ببرند تا از این طریق سهم خود را در توسعه جامعه و ایجاد آینده‌ای روشن ایفا نمایند.

افزایش هزینه حامل‌های انرژی و مشکلات زیست محیطی ایجاد شده باعث شده است تا در سال‌های اخیر توجهات بسیار زیادی به بخش‌های مرتبط با این دو موضوع جلب شود. تجهیزات تهویه مطبوع یکی از بخش‌هایی است که در سال‌های اخیر بسیار مورد توجه قرار گرفته، چرا که از یک سو **تهویه مطبوع به تنهایی سهمی بزرگ را از مصرف کل انرژی در دنیا به خود اختصاص داده است و از سوی دیگر نوع مبرد مورد استفاده در سیستم‌های تهویه مطبوع تبریدی از نظر زیست‌محیطی بسیار حائز اهمیت است.** بنابراین سیستم‌های موردنظر می‌توانند به طور موثری بر تخریب لایه اوزون و گرمایش جهانی تاثیر بگذارند. در کنار این موضوع تغییر سبک زندگی افراد و افزایش تقاضا برای تهویه مطبوع در ساختمان‌ها باعث شده تا تنوع این تجهیزات روز به روز بیش‌تر شود و در نتیجه تاثیرات جانبی آن نیز بر زندگی افراد افزایش یابد. این عوامل شرایطی را ایجاد کرده است تا حوزه تهویه مطبوع به‌طور مستمر شاهد ظهور تجهیزات جدید و مدرنی شود که نسبت به تجهیزات قبلی بازدهی بیش‌تری داشته و مزیت‌های افزون‌تری را ارائه می‌نمایند. در این شرایط می‌بایست افراد و مجموعه‌های فعال در حوزه موردنظر بتوانند با تحقیق و کسب دانش در زمینه تجهیزات جدید، خود را با تغییرات و تحولات همراه سازند. این موضوع تا حدی برای عمده افراد و مجموعه‌ها روشن شده است و به همین دلیل مجموعه‌های مختلف همواره در تلاش برای تهیه و ارائه محصولات جدید و مدرن با قابلیت‌های بالاتری می‌باشند.

موضوعی که شاید کم‌تر به آن توجه شده و به نوعی حلقه گمشده همراه شدن با تحولات است، چگونگی استفاده از تجهیزات جدید است. در حالی عمده افراد به دنبال ساخت یا تامین تجهیزات مدرن و کاراتر هستند که بهترین تجهیزات با بالاترین بازدهی و قابلیت در شرایطی که به نحو مناسب نصب نشده و مورد استفاده قرار نگیرند، نه تنها مفید واقع نمی‌شوند، بلکه ممکن است مشکلات اضافه‌ای نیز ایجاد کنند. بنابراین **گام نخست در به‌کار گرفتن یک محصول جدید علاوه بر نیاز به نصب و راه‌اندازی استاندارد، آشنایی کامل با نحوه استفاده و قابلیت‌های آن است.** استفاده درست و مناسب از تجهیزات مدرن و پربازده که تنها با کسب دانش و علم در زمینه تجهیزات مورد نظر ممکن خواهد شد به دلیل کاهش مصرف برق و در نتیجه کاهش انتشار آلاینده‌ها می‌تواند به‌طور مستقیم و غیرمستقیم بر اقتصاد کشورها در سطح ملی و کلان موثر بوده و کیفیت زندگی افراد جامعه را نیز دست‌خوش تغییر نماید. در این مسیر رهبران و مدیران سازمان‌ها نقش کلیدی دارند؛ چرا که تعیین نقشه راه و کسب دانش افراد زیرمجموعه تا حد زیادی وابسته به هوشمندی و هدایت آن‌ها است. می‌بایست در نظر داشت که موفقیت نشانه دارد و بهترین نشانه موفقیت نیز رد پای خود موفقیت است. کسی که در جاده‌ای بدون خط‌کشی و چراغ می‌راند، بعید است به سلامت به انتهای جاده برسد و به موفقیت دست یابد! اگر ردپایی دیده نمی‌شود، بدان معنی است که در انتخاب مسیر خطایی روی داده و باید از نو شروع کرد.

این کتاب که با هدف دانش‌افزایی و کمک به جامعه مهندسی در حوزه تهویه مطبوع نگاشته شده است، حاصل سال‌ها تلاش، تحقیق و تجربه در اجرای پروژه‌های مختلف و همچنین همکاری مستمر با تولیدکنندگان معتبر بین‌المللی است. نگاشتن این کتاب از این جهت اهمیت دارد که جای خالی یک منبع جامع در زمینه سیستم تقریبا نوظهور جریان متغیر مبرد (VRF) برای مهندسان، مشاوران، دانشجویان و افراد فعال در این حوزه به وضوح خودنمایی می‌کرد و به حلقه گمشده این حوزه تبدیل شده بود. اکنون که به یاری خداوند و تلاش خستگی‌ناپذیر همکاران عزیز در مجموعه کار و اندیشه این مهم محقق شده است، امیدواریم این کتاب گامی کوچک در جهت افزایش دانش و اعتلای فعالان حوزه تهویه مطبوع و دانشجویان علاقه‌مند به این حوزه باشد.

بـر ما شکیبایـی و دانـش است — ز دانـش روان‌ها پر از رامش است
شکیبایـی از ما نشایـد ستـد — نه کس را ز دانش رسد نیز بـد

(فردوسی)

شرکت کار و اندیشه
تابستان ۱۴۰۲

مقدمه

توجه به موضوع صرفه‌جویی در مصرف انرژی، افزایش هزینه‌های انرژی و نیز مسائل زیست‌محیطی باعث شده است تا در بخش‌های مختلف، مخصوصا صنایع پرمصرف مانند تهویه مطبوع، تجهیزاتی پربازده و مدرن به بازار ارائه شوند. تهویه مطبوع به عنوان مصرف‌کننده اصلی انرژی در ساختمان‌ها همواره بخش قابل‌توجهی از مصرف کل انرژی را در دنیا به خود اختصاص داده است. این موضوع باعث شده تا همواره توجه ویژه‌ای به آن شده و تجهیزاتی مدرن در این زمینه به بازار ارائه شود. سیستم جریان متغیر مبرد یا *VRF* یکی از تجهیزات مدرنی است که در زمینه تهویه مطبوع ارائه شده و در سال‌های اخیر سهم قابل‌توجهی از بازار تهویه مطبوع را به خود اختصاص داده است. سیستم *VRF* مشابه با بیش‌تر سیستم‌های تبریدی کار می‌کند، با این تفاوت که واسط انتقال حرارت آب در آن حذف شده است و مبرد به‌طور مستقیم به فضای مورد تهویه ارسال می‌شود. این موضوع باعث شده تا تجهیزات مرتبط با آب مانند پمپ‌ها، سختی‌گیر و ... حذف شده و در نتیجه در کنار کاهش فضای مورد نیاز برای نصب، به دلیل کاهش تجهیزات، ایرادات احتمالی هم در آن کاهش یابد. در کنار این موضوع حذف اتلافات حرارتی و بهره بردن از سیستم کنترلی پیشرفته باعث کاهش مصرف انرژی و افزایش آسایش برای استفاده‌کنندگان شده است. هرچند که سیستم *VRF* قابلیت‌های بسیار زیادی دارد، اما بهره بردن از تمام ویژگی‌ها تنها زمانی ممکن خواهد شد که انتخاب، طراحی و اجرای سیستم به‌درستی انجام شود. جدید بودن سیستم *VRF* و عدم وجود منابع فارسی مناسب باعث شده تا مشاوران، طراحان و مجریان، اطلاعات کمی در زمینه انتخاب، طراحی و اجرای آن داشته و به همین دلیل نتوانند از قابلیت‌های این سیستم به‌درستی بهره ببرند.

با علم به وجود این خلاء اطلاعاتی و با اتکا به سال‌ها تجربه کاری در زمینه طراحی و اجرای سیستم‌های *VRF* و نیز همکاری با سازنده‌های معتبر دنیا، بر آن شدیم تا با نگاشتن کتابی جامع در زمینه سیستم‌های *VRF* گامی هر چند کوچک در جهت اعتلای جامعه تهویه مطبوع برداریم. این کتاب که حاصل سال‌ها تجربه و بیش از چهار سال مطالعه و تحقیق است، می‌تواند برای تمام علاقه‌مندان به حوزه تهویه مطبوع و تاسیسات از جمله مشاوران، طراحان، مهندسان و دانشجویان حوزه‌های مرتبط با ساخت و ساز مفید باشد. کتاب حاضر در ۱۳ فصل آماده شده و تمام مباحث مرتبط با سیستم *VRF* شامل مقدمات ترمودینامیکی و اصول کاری، آشنایی با اجزا و قطعات، چگونگی طراحی، استانداردها و اصول نصب و نیز نحوه سرویس و نگهداری در آن گنجانده شده است.

لازم به گفتن است از زحمات دکتر حامد رضایی عزیزآبادی برای تهیه بخش‌هایی از تحقیقات این اثر سپاسگزاریم، همچنین از توجه استاد گران‌قدر آقای دکتر فرزاد جعفرکاظمی که در بهبود کتاب همواره با نظرات سازنده خود یاری‌گر ما بودند، صمیمانه قدردانی می‌کنیم.

امید است این کتاب مفید واقع شده و بتواند مشکلاتی هرچند کوچک را در حوزه تهویه مطبوع مرتفع سازد. مایه مسرت و خوشحالی است اگر ما را از نظرات سازنده خود بهره‌مند سازید.

هر که شد محرم دل در حرم یار بماند — و آن که این کار ندانست در انکار بماند
از صدای سخن عشق ندیدم خوش‌تر — یادگاری که در این گنبد دوار بماند

کاروان اندیشه بین الملل

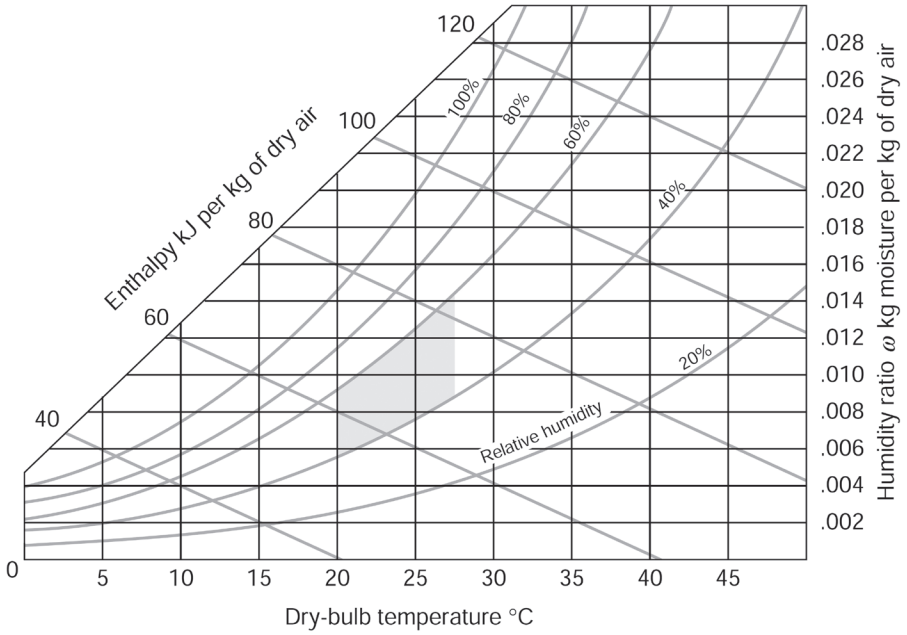
نمونه انتقال حرارت تشعشعی می‌توان به گرم شدن در اثر تابش آتش و یا گرم شدن زمین در اثر تشعشات خورشید اشاره کرد. گسیل از هر جسم معمولا به‌صورت کسری از گسیل یک جسم کاملا سیاه بیان می‌شود. این کسر را گسیلمندی[1] ε می‌گویند و به‌صورت زیر تعریف می‌شود.

$$\dot{Q} = \varepsilon \sigma A T_s^4$$

در رابطه بالا T_s دمای سطح و σ ثابت استفان بولتزمن[2] است.

۱-۵. نمودار سایکرومتریک و شرایط آسایش

یکی از ابزارهایی که در تحلیل فرآیندهای ترمودینامیکی و تهویه مطبوعی می‌تواند بسیار مفید باشد، نمودار سایکرومتریک[3] است. مطابق شکل ۱-۸ در نمودار سایکرومتریک کمیت‌هایی مانند دمای حباب خشک[4]، دمای حباب تر[5]، آنتالپی[6]، رطوبت نسبی[7] و رطوبت مطلق[8] ارائه می‌شوند. فرآیندهای مختلف شامل سرمایش، گرمایش، گرمایش با رطوبت‌زنی و ... را به راحتی می‌توان بر روی نمودار سایکرومتریک مشخص کرده و یا از آن برای محاسبه حالات نهایی فرآیندها استفاده کرد.



شکل ۱-۸. نمودار سایکرومتریک [۲].

1. Emissivity
2. Stefan-Boltzmann constant
3. Psychrometric chart
4. Dry bulb temperature
5. Wet bulb temperature
6. Enthalpy
7. Relative humidity
8. Humidity ratio

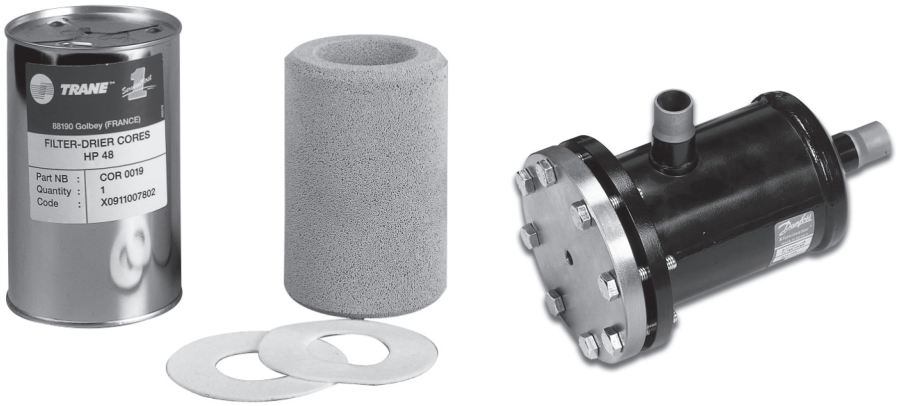
سیستم‌های *VRF* دو لوله‌ای

سیستم‌های *VRF* دو لوله‌ای معمولا به صورت تکی بسته به برند تجاری در ظرفیت‌های مختلفی ارائه می شود. برای برند هایر دستگاه‌ها به صورت تکی در ۱۰ ظرفیت متفاوت از ۲۵ تا ۷۳.۵ کیلووات وجود دارند. مشخصات مدل‌های مختلف شامل ابعاد، ظرفیت حالت سرمایشی و گرمایشی، بازدهی، نوع و تعداد کمپرسور، نوع و مقدار مبرد، مقدار مصرف فن و ... در جدول ۳-۱ ارائه شده‌اند.

جدول ۳-۱. مشخصات فنی سیستم‌های *VRF* دو لوله‌ای (عادی) برند هایر- ظرفیت ۲۵.۲ تا ۴۵ کیلووات.

Model		AV08IMVEVA	AV10IMVEVA	AV12IMVEVA	AV14IMVEVA	AV16IMVEVA
Capacity						
Power Class	HP	8	10	12	14	16
Cooling	kW	25.2	28.0	33.5	40.0	45.0
Heating	kW	27.0	31.5	37.5	45.0	50.0
Electrical Parameters						
Power supply	Ph-V/Hz	3/380-400/50/60 (5 wires L1+L2+L3+N+T)	3/380-400/50/60 (5 wires L1+L2+L3+N+T)	3/380-400/50/60 (5 wires L1+L2+L3+N+T)	3/380-400/50/60 (5 wires L1+L2+L3+N+T)	3/380-400/50/60 (5 wires L1+L2+L3+N+T)
Absorbed power - Cooling	kW	5.60	6.80	8.40	10.90	11.80
Max absorbed power - Cooling	kW	12.00	12.90	13.80	16.40	19.20
Absorbed current in cooling.	A	9.45	11.48	14.18	18.40	19.92
Max absorbed current - Cooling	A	20.26	21.78	23.30	27.69	32.41
Absorbed power - Heating	kW	5.20	6.30	8.00	10.30	11.20
Max absorbed power - Heating	kW	10.90	12.20	12.5	15.10	18.40
Absorbed current in heating	A	8.78	10.64	13.51	17.39	18.91
Max absorbed current - Heating	A	18.40	20.60	21.10	25.49	31.06
EER energy class	W/W	4.50	4.12	3.99	3.67	3.81
COP energy class	W/W	5.19	5.00	4.69	4.37	4.46
SEER energy class	W/W	7.50	7.33	7.20	6.85	6.40
SCOP energy class	W/W	5.50	5.45	5.30	5.12	4.55
Ventilation						
Air flow (High)	m^3/h	11000	11000	12000	13500	13500
Sound pressure level (High)	dB(A)	56	56	59	59	60
Sound power level (High)	dB(A)	67	67	70	70	71
Installation - Dimensions - Components						
Unit Dimensions WxDxH	mm	980x750x1690	980x750x1690	980x750x1690	980x750x1690	980x750x1690
Packaged unit dimensions WxDxH	mm	1070x850x1838	1070x850x1838	1070x850x1838	1070x850x1838	1070x850x1838
Net weight / Gross weight	Kg	224/250	224/250	224/250	244/270	244/270
Compressor type		DC Inverter Scroll	DC Inverter Scroll	DC Inverter Scroll	DC Inverter Scroll	DC Inverter Scroll
Quantity and type of the compressor	No.	1 INV	1 INV	1 INV	1 INV	1 INV
Refrigerant type		R410A	R410A	R410A	R410A	R410A
Pre-charged refrigerant qty.	Kg	8.5	8.5	8.5	10	10
Ø Liquid side refrigerant pipe	mm	9.52	9.52	12.7	12.7	12.7
Ø Gas side refrigerant pipe	mm	19.05	22.22	25.4	25.4	28.58
Maximum piping length	m	1000	1000	1000	1000	1000
Max linear piping length (Equivalent/Real)	m	260/220	260/220	260/220	260/220	260/220
Standard height difference between IU and OU	m	50/40	50/40	50/40	50/40	50/40
Standard height difference between IU and IU	m	18	18	18	18	18
Static Pressure Fans	Pa	110	110	110	110	110
Connectable Indoor Capacity Ratio						
Indoor / Outdoor Capacity Ratio	%	50 - 130	50 - 130	50 - 130	50 - 130	50 - 130
Maximum number of connectable IUs	No.	13	16	20	24	27
External Temperature Operating Limits						
Cooling	˚C	-5-50	-5-50	-5-50	-5-50	-5-50
Heating	˚C	-23-21	-23-21	-23-21	-23-21	-23-21

فیلتر درایرها را هر جایی بر روی خط مایع می‌توان نصب کرد، اما هرچه به تجهیزات حساس نزدیک‌تر باشند، عملکرد بهتری دارند. در انواعی از آن‌ها که جهت نصب اهمیت دارد، باید به جهت‌نمای روی فیلتر در زمان نصب دقت کرد. فیلتردرایرها در دو نوع دایمی و مصرفی (تعویضی) هستند. هر دو نوع می‌توانند هم در خط مکش و هم در خط مایع مورد استفاده قرار گیرند. در انواع مصرفی باید فیلتر را بعد از مدت زمان یا افت فشار مشخصی تعویض کرد، به همین دلیل معمولا محفظه آن‌ها به گونه‌ای است که بتوان به راحتی کار تعویض را انجام داد. در صورتی‌که در انواع دیگر ممکن است اتصال جوشی وجود داشته و برای تعویض لازم باشد که محفظه و هسته آن به‌طور هم‌زمان تعویض گردند. در شکل نمونه یک محفظه فیلتر درایر و یک هسته خشک‌کن به همراه پیش فیلترهای آن ارائه شده است. همان‌طور که در شکل ۶-۱۸ دیده می‌شود، در بیش‌تر موارد محفظه فیلتر درایر دارای چندین پیچ است که به راحتی می‌توان آن‌ها را برای تعویض هسته خشک‌کن باز کرد. درضمن در تصویر ارائه شده، علاوه بر هسته خشک‌کن و پیش فیلترها، می‌توان قوطی باز نشده حاوی فیلتر درایر را هم دید، در واقع هسته خشک‌کن و پیش فیلترها در قوطی مورد نظر به‌صورت کاملا بسته قرار داشته و بعد از باز کردن باید حتما آن‌ها را نصب کرد. قرار گرفتن هسته خشک‌کن در معرض هوای آزاد می‌تواند باعث فاسد شدن آن گردد.



شکل ۶-۱۸. نمونه یک محفظه فیلتر درایر به همراه هسته خشک‌کن، پیش فیلترها و قوطی باز نشده فیلتر درایر [۴۴].

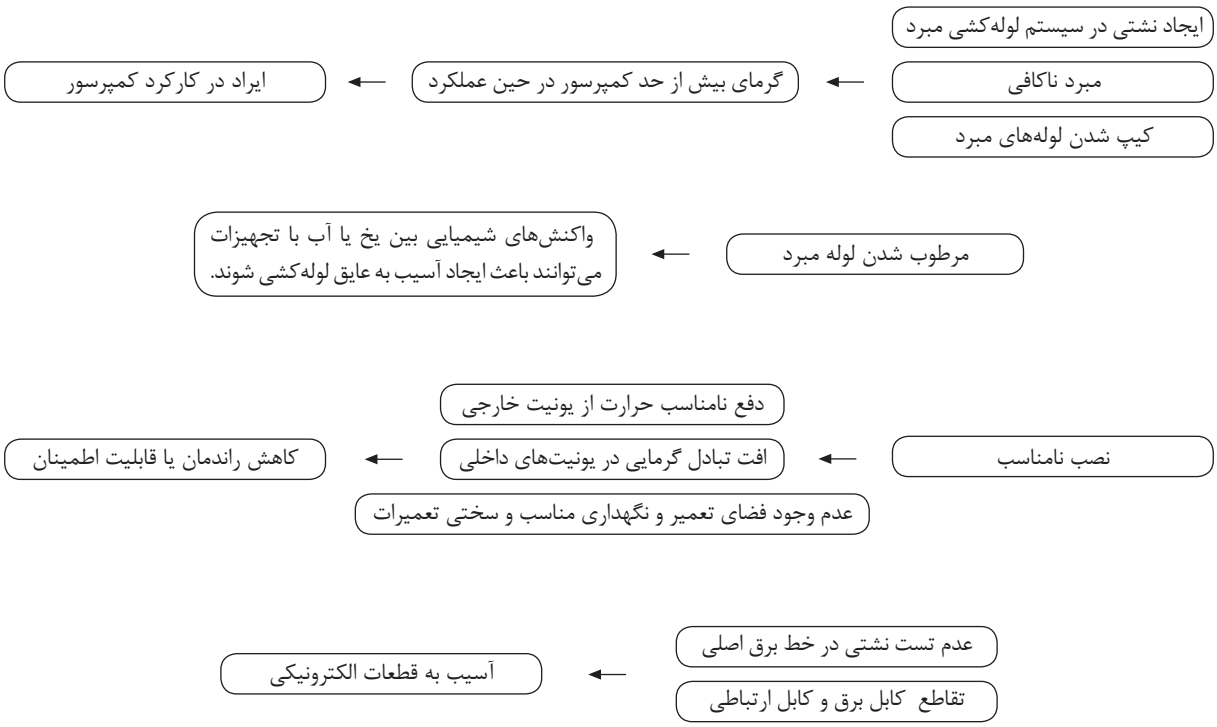
در شکل ۶-۱۹ نمونه‌هایی از فیلتر درایرهایی با اتصالات جوشی ارائه شده است. این نوع فیلتر درایرها در صورت نیاز به تعویض باید به‌صورت کلی و همراه با محفظه خارجی تعویض شوند. معمولا در شرایطی از این نوع فیلتر درایرها استفاده می‌شود که احتمال تعویض آن کم باشد.

شکل ۶-۱۹. نمونه‌هایی از فیلتر درایر با اتصالات جوشی [۴۴].

۱۰-۳. فرآیند نصب

همان‌طور که پیش‌تر هم گفته شد نصب در سیستم‌های *VRF* از حساسیت بسیار بالایی برخوردار بوده و لازم است که اهمیت ویژه‌ای به آن داده شود. در این بخش ابتدا فرآیند نصب، اشتباهات و ایرادات محتمل و نکات مهم به‌صورت مختصر ارائه شده و سپس به تفصیل، روند نصب بحث خواهد شد.

اشتباهات و ایرادات محتمل:



فرآیند نصب یونیت‌های داخلی

نکات زیر را باید قبل از شروع فرآیند نصب در نظر گرفت.

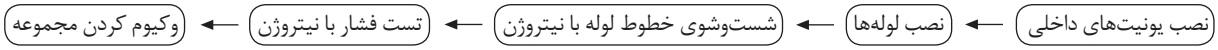
۱- قلاب (ساپورت) می‌بایست به قدر کافی قوی باشد تا توانایی تحمل وزن یونیت داخلی را داشته باشد.

۲- مدل یونیت داخلی را باید قبل از نصب بررسی کرد.

۳- می‌بایست به قسمت‌های اصلی از قبیل لوله‌کشی توجه کرد.

۴- لازم است تا فضایی کافی برای تعمیرات در نظر گرفته شود.

فرآیند نصب لوله‌کشی مبرد



فرآیند نصب لوله درین

توجه: نتایج به‌دست آمده تنها برای شرایط ذکر شده صادق بوده و قابلیت تعمیم دادن به تمام پروژه‌ها را ندارند. برای هر پروژه باید با توجه به شرایط و فرضیات محاسبات را به صورت اختصاصی انجام داد.

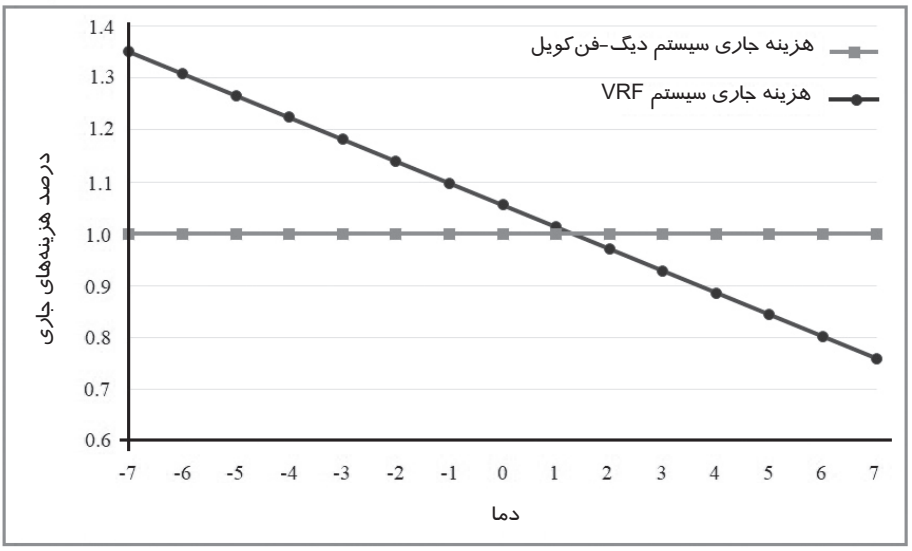
با توجه به این‌که ظرفیت و بازدهی سیستم *VRF* به شدت به دمای محیط بستگی دارد، تغییر دمای محیط می‌تواند باعث تغییر در مقدار هزینه‌ها گردد. برای سازگاری سیستم با شرایط دمایی متفاوت می‌توان از تعریف ضریب عملکرد[1] به‌صورت زیر استفاده کرد.

$$CoP = \frac{T_H}{T_H - T_L}$$

در رابطه بالا T_H و T_L به ترتیب دمای داخل و خارج هستند. برای دانستن نسبت هزینه جاری سیستم *VRF* برای یک بار مشخص در دماهای خارجی متفاوت، می‌توان ضریب عملکرد آن حالت را با ضریب عملکرد سیستم در حالت استاندارد (دمای خارجی $7^{\circ}C$) با هم مقایسه کرد تا نسبت تغییر هزینه جاری به‌صورت زیر به‌دست آید.

$$\frac{CoP\,|T}{CoP\,|7} = \frac{\frac{T_H}{T_H - T_L\,|T}}{\frac{T_H}{T_H - T_L\,|7}} = \frac{298 - 280}{298 - T_L\,|T} = \frac{18}{298 - T_L\,|T}$$

با دانستن هزینه جاری سیستم *VRF* در حالت استاندارد (دمای $7^{\circ}C$) و استفاده از رابطه بالا، می‌توان هزینه جاری سیستم *VRF* را برای یک بار مشخص در دماهای مختلف به‌دست آورد. در شکل ۱۱-۱ هزینه‌های جاری سیستم *VRF* و سیستم دیگ - فن‌کویل[2] برای یک بار گرمایی ثابت در دماهای مختلف رسم شده است. با توجه به نمودار می‌توان فهمید که در دماهای بالاتر از $1^{\circ}C$ هزینه جاری سیستم *VRF* کم‌تر از دیگ - فن‌کویل می‌باشد، ولی در دمای پایین‌تر هزینه جاری سیستم دیگ - فن‌کویل کم‌تر است. لازم به ذکر است که این نتایج برای دمای میانگین در طول فصل سرما می‌باشد. در تهران دمای میانگین پنج ماهه سرد سال حدود $5^{\circ}C$ است.



شکل ۱۱-۱. هزینه جاری سیستم *VRF* نسبت به دیگ - فن‌کویل در دماهای مختلف.

1. Coefficient of performance (CoP)

۲. هزینه جاری سیستم دیگ - فن‌کویل وابستگی زیادی به دمای محیط ندارد و تنها وابستگی آن به دمای اولیه سوخت و هوای احتراقی برمی‌گردد و به همین دلیل از وابستگی بازدهی سیستم دیگ-فن کویل به دمای محیط صرف‌نظر شده و هزینه جاری آن برای تمام شرایط دمایی ثابت فرض شده است.

توجه: این نتیجه تنها برای شرایط بیان شده صادق خواهد بود و ممکن است برای پروژه‌های با شرایط دیگر این نتیجه تغییر کند، لذا استفاده از سیستم *VRF* در آن پروژه منجر به صرفه‌جویی کم‌تر و یا حتی بیش‌تر گردد. اکیدا توصیه می‌شود که این نتایج را به تمام پروژه‌ها تعمیم نداده و برای دانستن توجیه اقتصادی استفاده از هر سیستم در یک پروژه، محاسبات را به صورت اختصاصی و با توجه به شرایط همان پروژه انجام داد.

در کنار توجیه اقتصادی ارائه شده، در جدول ۱۱-۱ مقایسه‌ای بین سیستم *VRF* و چیلر از جنبه‌های مختلف ارائه شده است.

جدول۱۱-۱. مقایسه مشخصات فنی و عملکردی سیستم *VRF* با سیستم‌های اسپلیت و چیلر تراکمی.

ردیف	شرح	سیستم *VRF*	چیلر تراکمی(ه/آ)[1]	توضیحات
۱	ابعاد یا فضای اشغالی توسط دستگاه ۴۰ تن	۴/۲۸ m^3	۴/۴۷ m^3 / ۱۳/۶۶ m^3	فضای اشغال شده سیستم چیلر آب خنک بدون در نظر گرفتن برج خنک‌کن، منبع انبساط، پمپ‌ها و سختی‌گیر می‌باشد. به علت اجبار در رعایت فاصله حداقل نیم متر بین هر یونیت خارجی، در اسپلیت‌ها فضای اشغالی بیش‌تر خواهد بود.
۲	وزن دستگاه ۴۰ تن	۸۴۰ *Kg*	۱۸۰۰ *Kg* / ۳۰۷۰ *Kg*	وزن ذکر شده در سیستم چیلر بدون در نظر گرفتن وزن برج خنک‌کن، منبع انبساط، پمپ‌ها و سختی‌گیر می‌باشد.
۳	نیاز به فضای موتورخانه	ندارد	ندارد/ دارد	-
۴	نیاز به اپراتور	ندارد	دارد/ دارد	به علت وجود پمپ‌ها و شیرآلات متعدد به‌طور تمام وقت نیاز به اپراتور داشته که این مستلزم هزینه‌ای جداگانه است.
۵	کنترل ظرفیت دستگاه	۳٪~ ۱۰۰٪ (هوشمند)	۰٪ ~ ۵۰٪~ ۱۰۰٪ (غیرهوشمند)	سیستم *VRF* به دلیل ساختار خاص (وجود تنها یک واسطه انتقال حرارت) و سیستم‌های کنترلی پیشرفته نسبت به چیلرها به سرعت نسبت به تغییر دما واکنش داده و بارهای لازم را فراهم می‌کند، لذا آسایش بیش‌تری برای استفاده‌کننده به همراه دارد.
۶	ارتفاع سقف به واسطه لوله‌کشی	به اندازه ارتفاع یونیت داخلی	به اندازه ارتفاع یونیت داخلی، لوله‌ها و ساپورت	به علت اجبار در قرارگیری فن‌کویل‌ها روی خط لوله‌کشی، در سیستم چیلر- فن‌کویل به ارتفاع بیش‌تری نسبت به سیستم *VRF* نیاز می‌باشد.
۷	امکان سرمایش/ گرمایش هم‌زمان	دارد	دارد (مشروط)	در سیستم چیلر فن‌کویل تنها در صورت دو کویله بودن فن‌کویل امکان‌پذیر است.
۸	امکان استقلال هر واحد از نظر هزینه و کنترل	دارد	دارد با استفاده از تجهیزات اضافه	سیستم *VRF* هم به‌صورت مرکزی و هم مستقل توانایی تهویه مستقل هر فضا را به همراه محاسبه هزینه انرژی دارا می‌باشد.

۱. ه/آ: هواخنک و آب‌خنک

No.	Code	Name	No.	Code	Name
85	E26	WIRE HARNESS ASSY. (COMP)	122	F9	STAY REAR (UPPER)
86	E26	WIRE HARNESS ASSY.(COMP)	123	F10	STAY (BOTTOM)
87	E26-1	LINE FILTER	124	F11	STAY (CENTER)
88	E27	WIRE HARNESS ASSY. (COMP)	125	F12	SIDE PLATE (RIGHT)
89	E27-1	LINE FILTER	126	F13	SIDE PLATE (LEFT)
90	E28	WIRE HARNESS ASSY. (COMP)	127	F14	BELL MOUTH ASSY
91	E28-1	LINE FILTER	128	F14-1	SEALING MATERIAL
92	E29	FIXTURE/ THERMISTOR	129	F14-2	SEALING MATERIAL
93	E30	THERMISTOR (AIR A1P)	130	F14-3	SEALING MATERIAL
94	E30-1	THERMISTOR (AIR)	131	F15	BRACKET
95	E31	LOCKING CARD SPACER	132	F16	STOP VALVE COVER
96	E32	DC FAN MOTOR	133	F17	TOP PLATE ASSY
97	E34	LOCKING CARD SPACER	134	F17-1	TOP PLATE
98	E35	FERRITE CORE	135	F17-2	DISCHARGE GRILLE
99	E37	FERRITE CORE	136	F18	STAY/ REAR CENTER
100	E38	FERRITE CORE	137	F20	PROTECTION NET (REAR LEFT)
101	E39	WIRE CLIP	138	F21	PROTECTION NET (REAR RIGHT)
102	E40	WIRE CLIP	139	F23	FITTING SPRING/ THERMISTOR
103	E41	GROUNDING TERMINAL SCREW	140	F24	FIXTURE/ THERMISTOR
104	E42	CLAMP/ POWER CORD	141	F25	COVER/ SWITCH BOX
105	E43	WIRE HARNESS	142	F25-1	INSPECTION HOLE
106	E44	GROUNDING TERMINAL	143	F25-2	SEALING MATERIAL
107	E45	THERMISTOR ASSY	144	F25-3	SEALING MATERIAL
108	E46	THERMISTOR ASSY. (M1C-3C DISCHARGE)	145	F26	SEALING MATERIAL
109	E50	THERMAL INSULATION	146	F27	BUSH (IVORY WHITE)
110	E51	SEALING MATERIAL	147	F28	SEALING MATERIAL
111	E52	SEALING MATERIAL	148	F30	COVER/ STOP VALVE
112	E53	SEALING MATERIAL	149	F31	COVER/ MOTOR SHAFT
113	E54	SEALING MATERIAL	150	K1	BRAND NAME LABEL
114	E55	SEALING MATERIAL	151	K2	ACCESSORIES ASSY. (2)
115	E56	SEALING MATERIAL	152	K2-1	AUXILIARY PIPE (GAS)
116	F1	BOTTOM FRAME	153	K2-2	AUXILIARY PIPE (GAS)
117	F2	FRONT PLATE (UPPER)	154	K2-3	AUXILIARY PIPE (LIQUID)
118	F3	FRONT PLATE (LEFT)	155	K2-4	AUXILIARY PIPE (LIQUID)
119	F4	FRONT PLATE (RIGHT)			
120	F6	MOTOR BASE			
121	F8	STAY FRONT (UPPER)			

منابع

۱. مقدمه‌ای بر انتقال حرارت، اینکروپرا، دویت، برگمن و لاوین، ویراست پنجم، ترجمه بهرام پوستی، ۲۰۱۰.
۲. اصول ترمودینامیک، ون وایلن، زونتاک و بورگناگ، ویراست ششم، ترجمه بهرام پوستی، ۲۰۰۸.
۳. رضایی، حامد، ضیابشرحق، مسعود، عباسی، زهرا، معرفی سیستم تهویه مطبوع مبرد حجم متغییر و بررسی توجیه اقتصادی این سیستم در شرایط ایران, کنفرانس ملی تحقیقات بین رشته‌ای در مهندسی کامپیوتر، برق، مکانیک و مکاترونیک،۱۳۹۶.
۴. رضایی، حامد، ضیابشرحق، مسعود، عباسی، زهرا، مقایسه سیستم مبرد حجم متغیر با دیگ-فن‌کویل از نظر هزینه‌های جاری در شرایط اقتصادی و محیطی ایران، بیست و ششمین همایش سالانه بین‌المللی مهندسی مکانیک ایران، دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه سمنان، سمنان، ایران، ۴ تا ۶ اردیبهشت ۱۳۹۷.
۵. راهنمای عیب‌یابی سیستم‌های تهویه مطبوع، رکس میلر، ترجمه مهندس رونالد بغوزیان، نشر یزدا، چاپ اول ۱۳۹۲.
۶. محاسبات سر انگشتی تاسیسات، آرتور ای بل، ترجمه: مهندس محمدحسین دهقان، مهندس رونالد بغوزیان، نشر یزدا، چاپ اول ۱۳۹۲.
۷. راهنمای مهندسی گرمایش و تهویه مطبوع (ویراست یازدهم)، محمدرضا سلطان‌دوست، نشر یزدا، چاپ پنجم ۱۳۸۷.
۸. چیلر تراکمی (ویراست دوم)، محمدرضا سلطان‌دوست، نشر یزدا، چاپ اول ۱۳۹۵.
۹. ترازنامه انرژی، وزارت نیرو، معاونت امور برق و انرژی، ۱۳۹۵.
۱۰. آمار تفصیلی صنعت برق ایران- تولید نیروی برق، شرکت مادر تخصصی توانیر، ۱۳۹۴.
۱۱. راهنمای نصب سیستم‌های *VRF* بوش، کار و اندیشه، ۱۳۹۶.
۱۲. نگهداری و تعمیر تاسیسات سرمایشی و گرمایشی، رشته تاسیسات مکنیکی شاخه فنی و حرفه‌ای پایه دوازدهم.
۱۳. مبردها، دکتر مجتبی طحانی و کیوان کرامتی، نشر یزدا، تهران ۱۳۹۵.

14. Refrigeration & Air conditioning Technology, Seventh edition, William, C. Whitman William M. Hohnson John A. Tomczyk Eugene Silbertein, Technology-Cengage Learning (2012).
15. Birol, F. "Key world energy statistics." International Energy Agency (2017).
16. Mead, Ian. "International energy outlook 2017." US Energy InformationAdministration (2017).
17. Good practice in refrigeration, Federal Ministry for Economic Cooperation and Development (BMZ), Germany 2010.
18. North American application manual- complete guide, armaflex.
19. Manual Refrigeration Service Technicians- Introduction, E-book, 2010.
20. 40 Lessons on refrigeration and air conditioning, EE IIT,Kharagpur, India 2008.
21. Understanding Psychrometrics, Third Edition, Donald P. Gatley, 2013 ASHRAE.
22. National Refrigerant Reference Guide, 6th edition, 2016.
23. Handbook of air conditioning and refrigeration, Shan K. Wang, second edition, 2001.
24. Fundamental of refrigeration thermodynamics, Daniel Micallef, 1st edition, 2014.
25. Copper Tube Handbook, Copper Development Association Inc., 2016.
26. A Comparison of an R22 and an R410A Air Conditioner Operating at High Ambient Temperatures, W. Vance Payne and Piotr A. Domanski, National Institute of Standards and Technology Building Environment Division: Thermal Machinery Group.
27. Recast, E., Directive 2010/31/EU of the European Parliament and of the Council of 19 May 2010 on the energy performance of buildings (recast). Official Journal of the European Union, 2010. 18(06): p. 2010.
28. Blatt, M., Variable Refrigerant Flow: An Emerging Air Conditioner and Heat Pump Technology. 2008.
29. BSRIA, Global Air Conditioning Market Study cools in 2015. https://www.bsria.co.uk/, 2016.
30. General Catalogue for Bosch VRF, http://boschhvac.com.
31. Aynur, T.N., Variable refrigerant flow systems: A review. Energy and Buildings, 2010. 42(7): p. 1106-1112.
32. Park, J., Comparative analysis of theVRF system and conventional HVAC systems, focused on life-cycle cost, 2013, thesis in master of science course, Georgia Institute of Technology.
33. Kim, D., et al., Evaluation of energy savings potential of variable refrigerant flow (VRF) from variable air volume (VAV)

in the US climate locations. Energy Reports, 2017. 3: p. 85-93.
34. Kani-Sanchez, C. and R. Richman, Incorporating variable refrigerant flow (VRF) heat pump systems in whole building energy simulation–Detailed case study using measured data. Journal of Building Engineering, 2017. 12: p. 314-324.
35. Roth, K.W., et al., Energy consumption characteristics of commercial building HVAC systems volume III: Energy savings potential. US Department of Energy, 2002.
36. Özahi, E., et al., A comparative thermodynamic and economic analysis and assessment of a conventional HVAC and a VRF system in a social and cultural center building. Energy and Buildings, 2017. 140: p. 196-209.
37. Shi, S., et al., Refrigerant charge fault diagnosis in the VRF system using Bayesian artificial neural network combined with ReliefF filter. Applied Thermal Engineering, 2017. 112: p. 698-706.
38. Yildiz, A. and M.A. Ersöz, Determination of the economical optimum insulation thickness for VRF (variable refrigerant flow) systems. Energy, 2015. 89: p. 835-844.
39. KWon, L., et al., Experimental investigation of multifunctional VRF system in heating and shoulder seasons. Applied Thermal Engineering, 2014. 66(1): p. 355-364.
40. Hong, T., K. Sun, and R. Zhang, The New Variable Refrigerant Flow System Models in EnergyPlus: Development, Implementation and Validation, 2017.
41. Agency, I.E., Key world energy statistics2007: International Energy Agency.
42. www.asanhvac.com
43. Barten, H., International Energy Agency. 2005.
44. Copper Tube Handbook: Industry Standard Guide for the Design and Installation of Copper Piping Systems, Copper Development Association Inc.
45. Armaflex Application Manual.
46. Lin, X., et al., A review of recent development in variable refrigerant flow systems. Science and Technology for the Built Environment, 2015. 21(7): p. 917-933.
47. Amarnath, A. and M. Blatt, Variable refrigerant flow: where, why, and how. Engineered systems, 2008. 25(2): p. 54-60.
48. Zhang, Y., Wei, Z., Long, E., Zhang, X., & Guo, S. (2017). Outdoor air thermal plume simulation of layer-based VRF air conditioners in high-rise buildings. Energy Procedia, 142, 3787-3792.
49. Pachano, José Eduardo, Antonis Peppas, and Carlos Fernández Bandera. "Seasonal adaptation of VRF HVAC model calibration process to a mediterranean climate." Energy and Buildings 261 (2022): 111941.
50. Yau, Yat Huang, and Umair Ahmed Rajput. "Thermal Comfort Assessment and Design Guidelines of a VRF-Integrated Stratum Ventilation System for a Large Tropical Building." Arabian Journal for Science and Engineering (2022): 1-22.
51. Qian, Mingyang, et al. "Operation and performance of VRF systems: Mining a large-scale dataset." Energy and Buildings 230 (2021): 110519.
52. McGowan, Mary Kate. "Selecting, Sizing VRF Systems." ASHRAE Journal 64.3 (2022): 42-45.
53. General Catalogue for MRV (Haier).

انتقادات و پیشنهادات

تلاش شده است تا این اثر تا حد امکان خالی از ایراد و اشتباه باشد، اما بی‌گمان هیچ اثری کامل و بدون خطا نخواهد بود و توسعه و پیشرفت ممکن نخواهد شد مگر با همکاری، تبادل نظر و استفاده از خرد جمعی. از این‌رو خواهشمند است خوانندگان گرامی، ما را از نظرات و پیشنهادات سازنده خود (محتوایی و نگارشی) از طریق پست الکترونیکی Book.vrf@koa.ir آگاه سازند. به نظرات و پیشنهادات مؤثر، هدایایی به رسم ادب و به‌عنوان یادگاری تقدیم خواهد شد.