## انواع لوله‌های انتقال مبرد و عملکردشان در سیستم تبرید

انواع لوله های انتقال مبرد در سیستم تبرید شامل لوله مکش، لوله دهش و لوله مایع هستند که هرکدام وظیفه جابه‌جایی مبرد در وضعیت‌های مختلف را بر عهده دارند. لوله مکش مبرد سرد و کم‌فشار را از اواپراتور به کمپرسور می‌رساند، لوله دهش مبرد داغ و پرفشار را از کمپرسور به کندانسور منتقل می‌کند و لوله مایع مبرد تقطیرشده را به سمت شیر انبساط می‌فرستد. انتخاب درست جنس، قطر و طول این لوله‌ها باعث کاهش افت فشار، جلوگیری از برگشت روغن و افزایش بازده سیستم می‌شود و به همین دلیل نقش مهمی در عملکرد پایدار و کارای سیستم تبرید دارند.

## آشنایی با انواع لوله های انتقال مبرد و نقش هرکدام در سیستم تبرید

در داخل لوله‌های مسیِ یک سیستم تبرید، مبرد از میان بخش‌های مختلف عبور می‌کند و در این مسیر، هر یک از انواع لوله های انتقال مبرد وظیفه خاصی را بر عهده دارند. این لوله‌ها شامل لوله تخلیه، لوله کندانس، لوله مایع، لوله مکش، لوله تزریق و لوله گاز داغ (یا گاز سرد) هستند که هرکدام برای شرایط فشار، دما و حالت متفاوت مبرد طراحی شده‌اند.

1.لوله تخلیه

لوله تخلیه مسیری است که کمپرسور را به کندانسور متصل می‌کند و جریان مبرد داغ و فشرده را به سمت کندانسور هدایت می‌نماید. در سیستم‌های سرمایشی که قابلیت بازیابی حرارت دارند یا از چند کندانسور سری استفاده می‌کنند، لوله ارتباطی میان کندانسورها نیز در دسته لوله تخلیه قرار می‌گیرد.

### نقش و تأثیر لوله تخلیه

- انتقال بخار پرفشار مبرد همراه با مقدار کمی روغن از کمپرسور به کندانسور
- کاهش ارتعاشات و صدای حاصل از فرآیند تراکم در خط تخلیه
- تحمل و جذب بارهای حرارتی بالا در زمان خروج گاز داغ
- جلوگیری از برگشت مبرد مایع یا روغن به کمپرسور هنگام توقف سیستم یا کارکرد در ظرفیت پایین

2.لوله کندانس

لوله کندانس وظیفه دارد مبردی را که در کندانسور به حالت مایع درآمده است، به سمت رسیور منتقل کند و در صورت نیاز، بخار مبرد را نیز به‌صورت جریان دوفازی از رسیور دوباره به کندانسور بازگرداند.

## نقش و تأثیر لوله کندانس

- مطابق قانون شست، قطر لوله کندانس باید یک سایز بزرگ‌تر از خط مایع انتخاب شود.
- مسیر لوله کندانس باید شیبی یکنواخت در حدود ۲ تا ۴ درصد از سمت کندانسور به سوی رسیور داشته باشد.

.3لوله مایع

لوله مایع مسیری است که خروجی رسیور را به ورودی شیر انبساط، معمولاً از نوع ترموستاتیکی، متصل می‌کند و مبرد مایع را برای ورود به فرآیند انبساط هدایت می‌نماید.

## نقش و تأثیر لوله مایع

- انتقال مخلوط مبرد مایع و مقدار اندک روغن از رسیور به شیر انبساط
- جلوگیری از تشکیل بخار یا فلش‌گس پیش از ورود مبرد به شیر انبساط
- کاهش اثر حرارت محیط بر مبرد و حفظ آن در حالت مایع پایدار
- نیاز به عایق‌کاری در مسیرهایی که احتمال گرمایش ناخواسته وجود دارد
- انتخاب سایز مناسب برای حداقل افت فشار و جلوگیری از تشکیل حباب در خط
- اطمینان از تمیزی خط جهت جلوگیری از گرفتگی سوزن و اوریفیس شیر انبساط

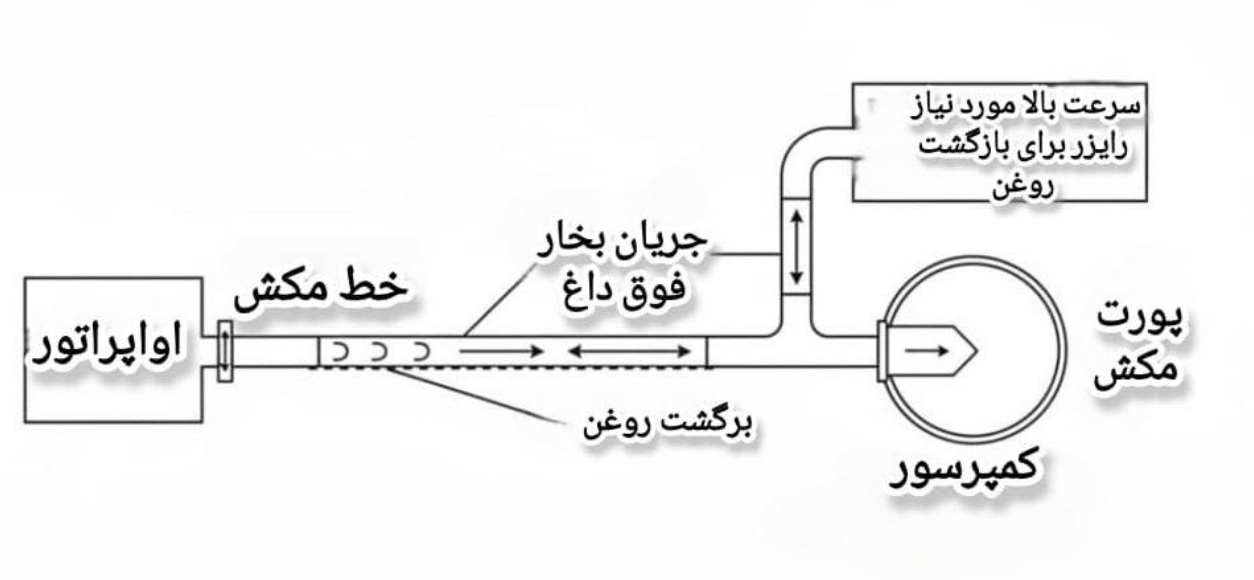
## 4.لوله مکش

لوله مکش، مسیری است که خروجی اواپراتور را به دهانه مکش کمپرسور متصل می‌کند و بخار مبرد را از اواپراتور به کمپرسور می‌رساند.

**نقش و تأثیر لوله مکش**

- انتقال بخار فوق‌گرم مبرد از خروجی اواپراتور به ورودی (دریچه مکش) کمپرسور
- بازگرداندن روغن جمع‌شده در اواپراتور به کمپرسور، حتی در پایین‌ترین ظرفیت کاری سیستم
- کاهش و جذب ارتعاشات لوله و نویز ناشی از فرآیند تراکم
- به حداقل رساندن تعریق سطح لوله مکش در اثر میعان رطوبت هوا

- محدود کردن جذب حرارت از محیط به مبرد داخل لوله (معمولاً با عایق‌کاری مناسب



**نکات مهم در تعیین سایز لوله مکش**

- باید افت فشار در طول لوله مکش تا حد ممکن کم باشد تا بتوان از توان واقعی کمپرسور حداکثر استفاده را کرد.
- سرعت جریان مبرد، مخصوصاً در رایزرها (قسمت‌های عمودی صعودی)، باید طوری انتخاب شود که برگشت روغن به کمپرسور حتماً تضمین شود.

این دو موضوع در ظاهر در تضاد هستند:

- برای کاهش افت فشار، به قطر بزرگ‌تر نیاز داریم.
- برای اطمینان از برگشت روغن، به سرعت بالاتر و در نتیجه قطر کوچک‌تر نیاز است.

در عمل، با انتخاب یک قطر میانی مناسب می‌توان بین این دو الزام تعادل برقرار کرد تا هم افت فشار قابل قبول باشد و هم روغن با جریان مبرد به کمپرسور برگردد.

**رابطه افت فشار با کاهش ظرفیت واقعی سیستم**

| افزایش افت فشار نسبت به مقدار طراحی | افت تقریبی ظرفیت |
|---|---|
| 0% (شرایط نرمال) | 0% |
| 10% | 3% |
| 20% | 7% |
| 30% | 12% |
| 40% | 18% |
| 50% | 25% |
| 60% | 33% |
| 70% | 42% |
| 80% | 52% |
| 90% | 65% |
| 100% | 80% یا توقف عملکرد |

## ❄ تأثیر افت فشار و انتخاب قطر لوله

در یکی از پروژه‌های چیلر تراکمی با مبرد **R134a**، قطر لوله مکش به‌اشتباه یک سایز کوچک‌تر از مقدار استاندارد انتخاب شد.

در بهره‌برداری، افت فشار بین اواپراتور و کمپرسور حدود **۳۰٪** بیشتر از طراحی بود که باعث افزایش دمای مکش، کاهش فشار مکش و افت ظرفیت سرمایشی حدود **۱۰ تا ۱۵٪** شد.

هرچند به‌دلیل افزایش سرعت گاز، برگشت روغن مناسب بود، اما مصرف برق کمپرسور افزایش یافت.

پس از تعویض لوله با قطر استاندارد، افت فشار به محدوده طراحی بازگشت، ظرفیت تقریباً نرمال شد و جریان مصرفی کمپرسور حدود **۱۲٪** کاهش پیدا کرد.

این تجربه نشان داد که کوچک‌تر کردن بیش‌ازحد قطر لوله مکش، اگرچه برگشت روغن را بهبود می‌دهد، اما می‌تواند با افت فشار بالا، ظرفیت واقعی سیستم را به‌شدت کاهش دهد؛ بنابراین انتخاب قطر بهینه و مهندسی‌شده تنها راه ایجاد تعادل بین افت فشار و سلامت کمپرسور است.

### نکته مهندسی مهم

- هرچه افت فشار در **خط مکش** بیشتر باشد، چگالی مبرد کاهش یافته و در نتیجه **ظرفیت واقعی کمپرسور کم می‌شود**.
- افت فشار در **خط مایع** ممکن است باعث تشکیل **فلش‌گس** شده و شارژ ورودی به **شیر انبساط** را کاهش دهد.
- افت فشار در **خط تخلیه** معمولاً اثر کمتری بر ظرفیت دارد، اما باعث **افزایش توان مصرفی کمپرسور** می‌شود.

**بررسی اثر افت فشار در خط مکش، مایع و تخلیه**

| مسیر لوله | R22 | R134a | R404A | R407C | R410A | توضیح کاربردی |
|---|---|---|---|---|---|---|
| مکش افقی (Suction Horizontal) | 4 – 8 | 3 – 7 | 5 – 9 | 4 – 8 | 6 – 10 | برگشت روغن مناسب بدون افت فشار |
| مکش عمودی رو به بالا | 7 – 12 | 6 – 10 | 8 – 12 | 7 – 12 | 9 – 14 | جلوگیری از تجمع روغن |
| مکش عمودی رو به پایین | 4 – 8 | 3 – 7 | 5 – 9 | 4 – 8 | 6 – 10 | جلوگیری از برگشت ضربه‌ای |
| دهش (Discharge Line) | 8 – 20 | 7 – 18 | 10 – 22 | 9 – 20 | 12 – 25 | بازگشت روغن + جلوگیری از لرزش |
| مایع (Liquid Line) | 0.7 – 1.5 | 0.6 – 1.2 | 0.8 – 1.8 | 0.7 – 1.5 | 1 – 2 | جلوگیری از فلش گاز |

سرعت جریان مبرد در بخش‌های صعودی لوله‌کشی به دلیل اختلاف فشار و ایجاد نویز باید محدود باشد. از آنجا که حمل روغن در خطوط بخار مکش و گاز داغ وابسته به سرعت جریان است، لازم است سرعت مبرد تا حد امکان در مقدار حداقلیِ مطمئن نگه داشته شود. این موضوع در بارهای کم و در کمپرسورهایی که با سیستم‌های چندگانه یا تنظیم ظرفیت کار می‌کنند، اهمیت بیشتری دارد. برگشت ناکافی روغن می‌تواند به خرابی کمپرسور منجر شود.

مقادیر سرعت اشاره‌شده در جدول مربوطه، داده‌های تجربی هستند که اطمینان می‌دهند روغن همراه جریان مبرد به‌طور صحیح به کمپرسور بازگردد. همچنین برای کمک به جریان برگشتی روغن، همه خطوط مبرد باید با شیب ملایم در جهت حرکت مبرد اجرا شوند.

.5لوله تزریق

لوله تزریق، مسیر اتصال بین شیر انبساط و ورودی اواپراتور است و وظیفه هدایت مبرد پس از فرآیند انبساط را بر عهده دارد.

**نقش و تأثیر لوله تزریق**

- انتقال مبردی که در شیر انبساط دچار افت فشار و انبساط شده است به ورودی اواپراتور
- جلوگیری از دریافت هرگونه گرمای اضافی توسط مبرد در طول مسیر انتقال
- لزوم عایق‌کاری لوله در کاربردهایی که فاصله شیر انبساط تا اواپراتور زیاد است (مانند بسیاری از سیستم‌های اسپلیت)
- در سیستم‌هایی که از توزیع‌کننده مبرد استفاده می‌کنند (مثل ونتوری اینجکتور)، تمامی لوله‌های خروجی باید طول یکسان داشته باشند؛ معمولاً بین 0.3 تا 1 متر

.6لوله گاز داغ (یا گاز سرد)

این لوله فقط در سیستم‌هایی استفاده می‌شود که عملیات دیفراست با گاز داغ یا گاز سرد انجام می‌شود.

در روش دیفراست گاز داغ، بخار داغ از لوله تخلیه وارد اواپراتور می‌شود و در روش گاز سرد، مبرد بخار از رسیور گرفته می‌شود.این لوله وظیفه رساندن گاز گرم به اواپراتور را دارد و به دلیل تنش حرارتی بالایی که ایجاد می‌شود، طراحی و نصب صحیح آن اهمیت زیادی دارد.

**عملکردسیستم دیفراست با گاز داغ**

سیستم دیفراست با گاز داغ زمانی بیشترین راندمان و پایداری را دارد که با عملکرد صحیح شیر انبساط ترمودینامیکی (TXV) هماهنگ شود. در سردخانه‌ها و چیلرهایی که از TXV استفاده می‌کنند، این شیر در حالت سرمایش مقدار مبرد مایع ورودی به اواپراتور را دقیقاً بر اساس سوپرهیت کنترل می‌کند؛ اما هنگام ورود به حالت دیفراست، مسیر جریان توسط شیرهای برقی تغییر کرده و بخار داغ مستقیماً به سمت اواپراتور هدایت می‌شود. در این وضعیت، TXVباید به شکلی طراحی یا نصب شده باشد که از برگشت کنترل‌نشده مبرد یا اختلال در جریان گاز داغ جلوگیری کند. این هماهنگی باعث می‌شود فرآیند یخزدایی بدون فشار اضافی بر کمپرسور انجام شود و پس از پایان دیفراست، سیستم به سرعت به حالت سرمایش پایدار بازگردد.

**اهمیت انتخاب صحیح نوع و سایز لوله‌های مبرد در پایداری و راندمان سیستم تبرید**

- انتخاب درست جنس، ضخامت و سایز لوله‌های مبرد برای پایداری و کاهش استهلاک سیستم تبرید ضروری است.

- کوچک بودن بیش از حد سایز لوله، افت فشار زیاد ایجاد می‌کند و باعث کاهش ظرفیت سرمایش می‌شود.
- افت فشار بالا موجب بالا رفتن دمای دیسچارج و افزایش بار وارد بر کمپرسور می‌گردد.
- بزرگ‌تر بودن غیر استاندارد لوله نیز سرعت جریان مبرد را کم کرده و برگشت روغن را مختل می‌کند.
- برگشت ناقص روغن موجب کاهش راندمان و افزایش استهلاک کمپرسور می‌شود.
- جنس لوله (مثل مس با ضخامت مناسب) باید توان تحمل فشار کاری و دمای بالای خط دیسچارج را داشته باشد.
- رعایت شیب صحیح لوله‌ها برای جلوگیری از تجمع و گیر افتادن روغن ضروری است.
- سایزگذاری دقیق باید بر اساس ظرفیت واقعی سیستم و نوع مبرد انجام شود.
- لوله‌کشی غیرمهندسی even—با بهترین کمپرسور و کندانسور—باعث افت راندمان کل سیستم خواهد شد.

**چرا شیرازکولد بهترین انتخاب برای اجرای تمام این موارد است؟**

شرکت **شیرازکولد** با بهره‌گیری از مهندسین متخصص و تکنسین‌های باتجربه، یکی از حرفه‌ای‌ترین مجموعه‌ها در زمینه طراحی، ساخت و اجرای سیستم‌های تبرید در جنوب کشور است. این مجموعه با تکیه بر دانش روز و تجهیزات به‌روز، تمامی مراحل از ساخت سردخانه در شیراز تا طراحی و اجرای انواع چیلرهای صنعتی و تجاری را با بالاترین استانداردهای مهندسی انجام می‌دهد.

خدمات شیرازکولد شامل موارد زیر است:

- طراحی دقیق لوله‌کشی مبرد مطابق استانداردهای بین‌المللی
- انتخاب سایز و جنس لوله بر اساس ظرفیت واقعی پروژه
- ساخت و اجرای سردخانه‌های فریونی و آمونیاکی در شیراز و استان فارس
- طراحی و ساخت چیلرهای هوایی و آبی مطابق نیاز پروژه
- اجرای کامل سیکل تبرید با رعایت اصول تخلیه، وکیوم، شارژ و تست نشتی
- استفاده از قطعات و تجهیزات معتبر و به‌روز

- ارائه خدمات پس از نصب و پشتیبانی فنی مداوم

نتیجه این ترکیب، سیستمی است که سال‌ها بدون دردسر و با بالاترین راندمان کار می‌کند. به همین دلیل، انتخاب شیرازکولد یعنی انتخاب کیفیت، اطمینان و اجرای کاملاً مهندسی‌شده.