

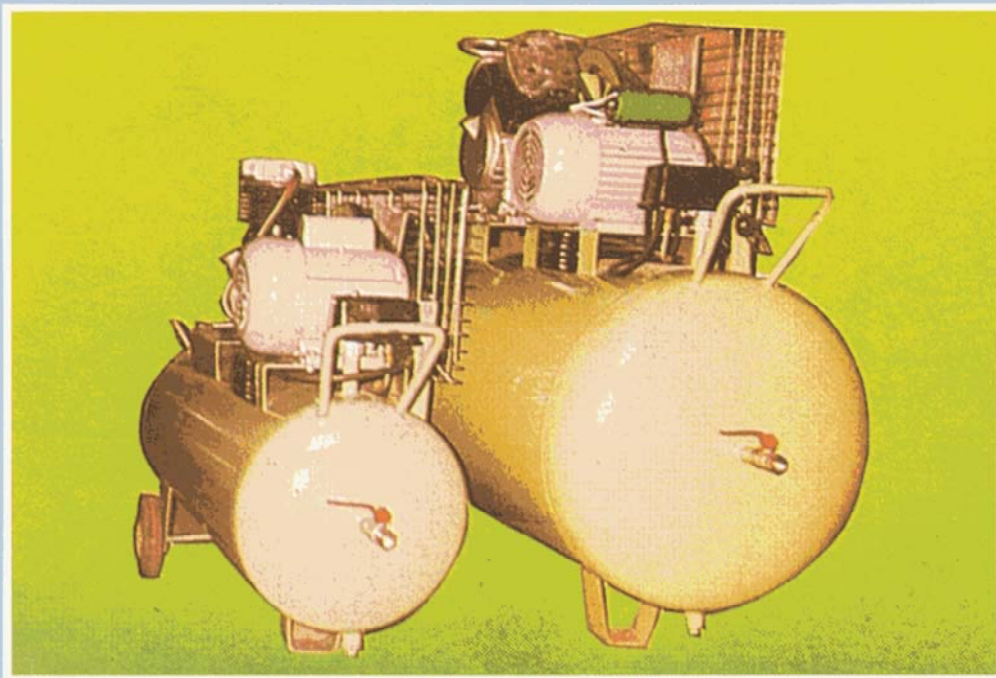


جمهوری اسلامی ایران

وزارت نیرو

امور انرژی

## راهنماهای فنی مدیریت انرژی



هوای فشرده  
و مصرف  
انرژی

۴

دفتر بهینه سازی مصرف انرژی

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

## پیشگفتار

در طی دهه آینده، هزینه انرژی الکتریکی چه برای گرمایش و سرمایش، چه برای روشنایی و چه بعنوان نیروی محرکه در فرآیند تولید صنعتی، ادارات، مدارس، منازل، ... رشد چشمگیری پیدا خواهد کرد که البته دلایل این رشد، خارج از بحث این نوشتار است.

در عرصه رقابت جهانی در راستای مصرف کمتر (مصرف بهینه) و تولید هرچه بیشتر، کشورها، جوامع و صنایعی موفقتر خواهند بود که در این رقابت که شاید از دیدگاهی بتوان آن را مبارزه برای تنوع بقا و ادامه فعالیت نامید، با تحقیقات و مطالعات موفق به یافتن و پس از آن بکار بردن راههای جلوگیری از اتلاف انرژی شوند.

انرژی بطور عام و انرژی الکتریکی بطور خاص که امروز در اختیار و خدمت هم میهنان عزیز، قرار می گیرد، با هزینه‌ای به مراتب گزافتر تهیه می شود ولیکن دولت جمهوری اسلامی ایران با تأمین بخشی از هزینه‌های تولید آن از محل درآمدهای عمومی خود و یا به قیمت عدم انجام بسیاری از پروژه‌های زیربنایی ملی، آنرا بدینگونه در اختیار وا می گذارد.

اتلاف این انرژی الکتریکی و اصولاً هر نوع انرژی تولید شده از منابع فسیلی، علاوه بر خسارات مالی جبرانناپذیری که دارد، زیانهای غیرقابل انکاری نیز بر محیط زیست ملی ما و جهان وارد خواهد آورد. اکنون سالیان متمادی از زمانی می گذرد که کشورهای پیشرفته که حتی برخی از آنها از حداکثر امکانات طبیعی و صنعتی برای تولید انرژی برخوردارند، در کنار تلاش در جهت استفاده از انرژی‌های نو (خورشید، باد، امواج، ...)، استفاده صحیح از انرژی را در رأس اهم اهداف خود قرار داده و صاحبان صنایع، صنعتگران، مدیران سازمانها، ..... و حتی سازندگان ساختمانهای مسکونی و بالاخره استفاده‌کنندگان این بناها را مخاطب قرار داده و با وضع دستورالعملها و در مواردی ضوابط و قوانین بازدارنده، آنها را تشویق، راهنمایی و حتی راهبری در جهت جلوگیری از اتلاف انرژی می نمایند.

انجام پاره‌ای از این اقدامات، اگر در زمان مناسب نسبت به اعمال آنها اقدام گردد، حتی هیچگونه هزینه اضافی را نیز تحمیل نخواهد نمود و جهت همه گیر شدن جنبش جلوگیری از اتلاف انرژی، دائماً جلسات توجیهی و سمینارهایی برای تصمیم گیرندگان برگزار می گردد تا از پی آمدها و بهتر بگوئیم عواقب مختلف آن آگاه گردند. در کنار اقدامات فوق، تلاش متخصصین و دانشمندان در جهت اختراع، ابداع و تولید وسایل و تجهیزات کارآمد نیز جبهه دیگری است که برای مبارزه با اتلاف انرژی گشوده شده است که از جمله آنها می توان به تولید صنعتی تجهیزات و لامپهای پراوری، کم مصرف و بادوام اشاره کرد.

با توجه به روند افزایش جمعیت و تبعات آن و هرچه بیشتر مستهلک شدن منابع تولید انرژی، چندان دور نخواهد بود که نه تنها افراد، بلکه جوامع نیز در موقعیتی قرار نداشته باشند که بتوانند به میزان مورد علاقه خود انرژی مصرف نمایند بلکه با هرچه فشرده تر شدن جوامع، حتماً اهرمهای ملی و جهانی و خود

محدودکننده‌ای وارد عمل خواهند گردید که ابتکار عمل در زمینه تولید و مصرف انرژی را بعهدہ خواهند گرفت.

علیرغم اینکه کاربرد بعضی از اقدامات صرفه‌جویانه (یا بهتر است گفته شود استفاده صحیح و جلوگیری کننده از اتلاف بیهوده)، نیاز به مقداری سرمایه‌گذاری اولیه دارند که البته میزان آن بستگی به دامنه و وسعت اقدامات بعمل آمده دارد، ولی نکته‌ای که مبرهن و غیرقابل انکار می‌باشد آن است که این سرمایه‌گذاری اولیه در مدت کوتاهی خودبخود مستهلک می‌گردد.

علاوه بر نشست‌ها و سمینارهایی که به آنها اشاره گردید تشکیلات گوناگونی که در کشورهای مختلف جهان جهت سامان دادن به مشکل انرژی و آگاه کردن قشرهای مختلف جامعه ایجاد شده‌اند، اقدام به نشر جزوات، بروشورها و اطلاعیه‌هایی نموده و آنها را در دسترس کلیه افرادی که به نوعی با مصرف و صرفه‌جویی انرژی ارتباط دارند قرار می‌دهند.

در همین راستا، معاونت انرژی وزارت نیرو نیز اقدام به ترجمه و چاپ جزوه‌ای که ملاحظه می‌فرمائید نموده است که در کشور انگلستان و بتوسط "مرکز تحقیقات ساختمان" (Building Research Establishment) "واحد صرفه‌جویی انرژی مرکز تحقیقات ساختمان" (Building Research Energy Conservation Support Unit) "واحد پشتیبانی تکنولوژی انرژی" (Energy Technology Support Unit) "اداره کارائی انرژی" (Energy Efficiency Office) تهیه گردیده‌اند که این معاونت به لحاظ ضرورت تسریع در نشر و ارائه راهنماها و دستورالعملهای فنی، هیچگونه تغییری در ارقام، آمار، نمودارها، جداول و اشکال آن نداده است ولیکن امیدوار است که انشاء... چاپ‌های بعدی این جزوه و همچنین جزوات دیگری که در دست ترجمه و چاپ قرار دارند، براساس آمار و اطلاعات کشور ایران تهیه شده و در اختیار شما قرار داده شوند.

## فهرست مطالب

۱ - مقدمه	۶
۲ - نشتی‌ها	۷
۳ - استفاده صحیح و ناصحیح از هوای فشرده	۸
۱ - ۳ - موارد استفاده ناصحیح	۸
۲ - ۳ - صرفه‌جویی‌های بالقوه از استفاده‌های صحیح و ناصحیح	۸
۴ - سیستم توزیع هوای فشرده	۹
۱ - ۴ - کلیات	۹
۲ - ۴ - صرفه‌جویی‌های بالقوه در سیستم توزیع	۱۰
۵ - تصفیه هوا	۱۲
۱ - ۵ - زمینه	۱۲
۲ - ۵ - صرفه‌جویی‌های بالقوه در سیستم‌های تصفیه هوا	۱۲
۶ - تولید هوای فشرده	۱۷
۱ - ۶ - انواع ساختار کمپرسورها	۱۷
۲ - ۶ - صرفه‌جویی‌های بالقوه در تولید هوای فشرده	۱۹

## ۱ - مقدمه

این کتابچه جهت کمک به مشمولین مدیریت انرژی و تعمیر و نگهداری سرویس ساختمان‌ها، کارخانجات، دستگاه‌های تولیدی و تعمیرگاه‌ها و ارائه درک بهتری از چگونگی استفاده از سیستم‌های هوای فشرده جهت حذف تلفات و جلوگیری از استفاده ناصحیح از آن تهیه گردیده است.

تقریباً ۱۰ درصد از کل مصرف انرژی الکتریکی در صنایع به تولید هوای فشرده اختصاص دارد. در یک دوره ده ساله، از کل هزینه تولید هوای فشرده، ۷۵ درصد آن صرف انرژی، ۱۵ درصد صرف سرمایه‌گذاری اولیه و ۱۰ درصد بقیه صرف تعمیر و نگهداری آن می‌گردد. بنابراین یک سیستم بهره‌وری انرژی در کاهش هزینه این سیستم‌ها بسیار موثر می‌باشد.

تنوع<sup>۱</sup>، قابلیت انعطاف<sup>۲</sup> و ایمنی استفاده از هوای فشرده به عنوان یک واسطه انتقال‌دهنده انرژی، استفاده مداوم از آن را به عنوان یک سرویس ضروری تضمین می‌کند. به هر حال تولید هوای فشرده خیلی گران تمام می‌شود و معمولاً عامل بالقوه و موثر جهت صرفه‌جویی می‌باشد.

برای نمایش نشان دادن صرفه‌جویی‌ها در این کتابچه به یک مثال نصب شده در یک کارخانه با تقاضای  $1000 \text{ cft}^3/\text{I/S}$  (۵۰۰ I/S) هوای فشرده در فشار  $\bar{v}$  اشاره می‌شود. این کارخانه ۴۸ ساعت در هفته کار می‌کند و هزینه الکتریسیته آن،  $4/5 \text{ p/kwh}$  می‌باشد. طبق مفروضات فوق، هزینه تولید هر  $200 \text{ fmc}$  (۱۰۰ I/S) هوای فشرده برای مثال فوق حدود ۴۰۲۰ پوند در سال می‌گردد. در این صورت کارخانه فوق سالانه ۲۰۱۰۰ پوند برای تولید هوای فشرده هزینه الکتریسته پرداخت می‌کند. به طور معمول امکان ۱۰ الی ۲۰ درصد صرفه‌جویی در این هزینه با سرمایه‌گذاری اولیه خیلی کم و بسیار ساده وجود دارد که بدین ترتیب صرفه‌جویی باارزشی در هزینه‌های کلی و انرژی حاصل می‌گردد.

این کتابچه توصیه‌هایی درخصوص روشهای عملی جهت مراقبت از حداقل ننگه داشتن هزینه‌ها و انجام صرفه‌جویی در کلیه موارد بالقوه ارائه می‌دهد. حصول این صرفه‌جویی‌ها باید بوسیله یک روش ساختاری صورت پذیرد و هر یک از بخشهای صرفه‌جویی به ترتیب مورد بررسی قرار گیرند. این بخشها عبارتند از:

۱ - نشتی‌ها

۲ - استفاده صحیح و ناصحیح<sup>۶</sup>

۳ - سیستم توزیع هوا<sup>۷</sup>

1 Versatility  
2 Flexibility

۳ فوی مکعب بر دقیقه

۴ لیتر بر ثانیه

۵ پنس بر کیلووات ساعت

6 Use/misuse  
7 Distribution

۴ - سیستم تصفیه هوا<sup>۱</sup>

۵ - تولید هوای فشرده

اکثر کمپرسورهای هوا برای تامین هوا با فشار ( ۱۰۰psig )  $\bar{v}$  مورد استفاده قرار می‌گیرند، از این رو در این کتابچه کلیه اطلاعات براساس این سطح فشار ارائه شده است، هرچند که بیشتر این اطلاعات برای هر فشار کاری دیگر نیز صادق می‌باشد. فشارهای بکار رفته در این کتابچه مانومتری<sup>۲</sup> می‌باشند. در صنایع حدوداً در ۹۵ درصد از کمپرسورهای از موتورهای الکتریکی به عنوان محرک استفاده می‌شود. بنابراین در این کتابچه نیز تأکید بر این نوع محرک‌ها است هرچند محرک‌های دیگری چون توربین‌های بخار، موتورهای گازسوز و دیزل نیز مورد استفاده قرار می‌گیرند.

## ۲ - نشتی‌ها

نشتی حالت خاصی از حالت عمومی استفاده ناصحیح است که در بخش مربوطه بحث خواهد شد. ولی از آنجا که نشتی در سیستم هوای فشرده به تنهایی بیشترین سطح تلفات را به خود اختصاص می‌دهد و هنوز یکی از ساده‌ترین و ارزاترین موردها جهت کنترل و کسب صرفه‌جویی می‌باشد، در این کتابچه جداگانه مورد بحث قرار خواهد گرفت. به یک سیستم هوای فشرده با نشتی در حدود ۵ درصد کل تقاضا، سیستم عالی و برای سیستمی با میزان نشتی برابر با ۱۰ درصد تقاضا سیستم خوب گفته می‌شود. سیستم‌هایی با نشتی بیش از ۳۰ درصد غیرمعمول و بعید نبوده و در مواردی سیستم‌هایی با نشتی بیش از ۷۰ درصد نیز مشاهده شده‌اند. اولین قدم، اندازه‌گیری‌های لازم جهت برآورد شدت نشتی با استفاده از روش‌های مختلف می‌باشد. بهترین روش، نصب یک دبی‌سنج و فشارسنج در تغذیه اصلی کمپرسور و بعد از دریافت کننده می‌باشد. خروجی هر دو قسمت باید به یک دوره زمانی مشخص قرائت گردد. چنانچه این روش مقدور نباشد روش دیگری با دقت نسبتاً خوب به این ترتیب است که در ساعات غیرتولید، سیستم را توسط یک کمپرسور با ظرفیت معلوم تا حد فشار کاری معمول پمپ می‌کنیم. چنانچه کمپرسور دارای ظرفیتی بیش از نشتی موجود سیستم باشد، وقتی فشار به فشار کاری سیستم برسد کمپرسور بی‌بار خواهد شد. اگر ظرفیت کمپرسور بیش از نشتی سیستم نباشد، یک ماشین اضافی را نیز باید در مدار قرار داد. به دلیل وجود نشتی در سیستم، فشار شروع به کاهش خواهد نمود و به مجرد اینکه فشار به حداقل فشار قابل قبول برای سیستم برسد کمپرسور باردار خواهد شد. با اندازه‌گیری متوسط زمان بارداری و بی‌باری در یک دوره زمانی مشخص و با توجه به ظرفیت کمپرسور، شدت نشتی را می‌توان محاسبه نمود.

اگر به عنوان مثال یک سیستم با دبی (۱۰۰۰cfm)  $I/S$  ۵۰۰، نشتی در حدود ۲۰ درصد داشته باشد هزینه‌ای حدود ۴۰۲۰ پوند در سال جهت جبران آن صرف خواهد شد. کاهش نسبی در سیستم فوق به ۱۰ درصد،

1 Treatment

2 Gauge pressure

صرفه‌جویی سالانه‌ای معادل ۲۰۰۰ پوند را در پی خواهد داشت که این عمل با روش‌های بسیار ساده بدون هزینه و یا با هزینه بسیار کمی قابل انجام می‌باشد.

با شناخت اندازه نشتی موجود در سیستم باید اقداماتی مؤثر جهت کاهش آن انجام گردد. اهداف باید انجام گردد. اهداف باید تعیین گردد و نظارت دقیقی بر نتایج صورت پذیرد.

این کار مستلزم بازرسی خطوط لوله و ابزارآلات سیستم از نظر وجود نشتی در ساعات غیر تولید و آزمایش لوله‌های خرطومی و اتصالات جهت اطمینان از بسته بودن آنها می‌باشد. بدنبال این برنامه‌ها، شدت نشتی باید دوباره اندازه‌گیری شده و کار ادامه یابد تا هدف تحقق یابد.

این عملیات باید حداقل هر ۶ ماه یکبار تکرار گردد در غیر این صورت مشکل دوباره بروز می‌نماید.

### ۳ - استفاده صحیح و ناصحیح از هوای فشرده

#### ۱ - ۳ - موارد استفاده ناصحیح

استفاده صحیح از هوای فشرده شدیداً در صنایع معمول می‌باشد. تمام استفاده‌کنندگان از هوای فشرده باید دقت کنند که روش‌های مؤثر و کم‌هزینه‌تری بجای استفاده از هوای فشرده وجود نداشته باشد.

برای مثال در یک کارخانه فولاد، اندازه‌گیری‌های انجام شده به طور متوسط مصرفی در حدود  $500\text{ I/S}$  با فشار  $vbar$  را نشان می‌داد. بعد از بررسی‌های دقیق مشخص گردید که از این مقدار  $2000\text{ I/S}$  آن عملاً به شکل صحیح و بجا استفاده می‌گردید، حدود  $2000\text{ I/S}$  در فشار  $3\text{ bar}$  استفاده می‌شود و  $1000\text{ I/S}$  باقی‌مانده نیز در کاربردهایی که استفاده از هوای فشرده در آنها ضروری نمی‌باشد همچون آب‌پاش‌ها<sup>۱</sup> و خنک‌سازی یاتاقان‌ها<sup>۲</sup> مورد استفاده بوده است.

سهل‌انگاری دیگری که بسیار هم معقول می‌باشد تولید هوای فشرده در ساعات غیرمصرف می‌باشد. بسیار اتفاق افتاده است که در ساعات غیر تولید که به هوای فشرده نیازی نبوده است کمپرسورها خاموش نشده‌اند.

#### ۲ - ۳ - صرفه‌جویی‌های بالقوه از استفاده‌های صحیح و ناصحیح

هوای فشرده تولید شده در فشار  $vbar$  را نباید برای مصارف فشار پائین بکار برد. اگر تقاضا برای هوای فشرده با فشار پائین‌تر به اندازه کافی زیاد باشد، بهتر است که هوای فشرده در فشار فوق تولید گردد. به طور نمونه یک کمپرسور با فشار  $3\text{ bar}$ ، مصرفی در حدود ۲۵۷ ژول بر لیتر<sup>۳</sup> خواهد داشت و به میزان ۳۳ درصد صرفه‌جویی نسبت به تولید در فشار  $vbar$  بدست خواهد آمد.

<sup>1</sup> Water-jetting

<sup>2</sup> Bearing



موارد بسیاری در استفاده بی‌مورد از هوای با فشار  $vbar$  وجود دارد که می‌توانند از فشارهای پایین‌تر می‌توانند از فشارهای پایین‌تر نیز استفاده کنند. نمونه‌هایی از آنها به شرح زیر هستند.

- ابزارهای برش با هوای فشرده.
  - تفنگ‌های بادی (توسط H&SE توصیه شده است که برای فشار  $vbar$  تنظیم شوند).
  - ابزارهایی که با هوای فشرده سطوح را سوراخ می‌نمایند<sup>۱</sup>.
  - همزمان با هوای فشرده<sup>۲</sup>.
  - اعمال هوای فشرده متمرکز برای خارج ساختن محصولات از ماشین‌های تولیدی سرعت بالا
  - بعضی انتقال‌دهنده‌های مواد پودر شکل<sup>۳</sup>
- گاهی اوقات فشار بالاتری مثلاً  $10\text{ bar}$  برای ماشین‌های مخصوص لازم می‌باشد و تمام هوای مصرفی در این فشار تولید می‌گردد. این مورد استفاده ناصحیح بوده و باید یک ماشین کوچک فشار بالا و یا یک کمپرسور کمکی نصب گردد.
- تمام این موارد باید به عنوان بخشی از یک عملیات صرفه‌جویی انرژی ملاحظه گردند.

## ۴ - سیستم توزیع هوای فشرده

### ۱ - ۴ - کلیات

پس از عملیات متراکم‌سازی و تصفیه، هوای فشرده توسط یک شبکه لوله‌کشی به نقاط مصرف توزیع می‌گردد. طراحی ناصحیح لوله‌ها، شیرها و دیگر عناصر تشکیل‌دهنده مسیر هوا موجب افزایش سرعت هوا و در نتیجه افت فشار می‌گردد و انرژی زیادی باید صرف تولید فشار بالاتر جهت جبران این افت فشار شود. تمام سیستم‌ها و عناصر موجود در شبکه توزیع باید آنچنان طراحی شوند که افت فشار حداقل باشد. مثالهایی از اتلاف انرژی که بعلت استفاده از لوله‌هایی با قطر داخلی کم ایجاد می‌شود، در جدول ۱ نشان داده شده است. این جدول کاهش فشار و تلفات قدرت در طول ۱۰۰ متر از مسیر هوا برای تقاضای  $250\text{ I/S}$  و فشار  $vbar$  را نشان می‌دهد.

جدول ۱: تلفات انرژی در لوله‌هایی با قطر داخلی کم		
تلفات قدرت معادل (kW)	افت فشار برای ۱۰۰ متر (bar)	قطر داخلی نامی لوله (mm)
۹/۵	۱/۸	۴۰
۴/۴	۰/۶۵	۵۰
۱/۲	۰/۲۲	۶۵
۰/۲	۰/۰۴	۸۰
۰/۱	۰/۰۲	۱۰۰

<sup>1</sup> Air Agitation

<sup>2</sup> Air Lances

<sup>3</sup> Air Jet

## ۲ - ۴ - صرفه‌جویی‌های بالقوه در سیستم توزیع

به دست آوردن الگوی فشار - دبی در شبکه توزیع برای تعیین محل‌های افت فشار و غلبه بر آن بسیار مهم می‌باشد.

### ۱ - ساختار سیستم توزیع

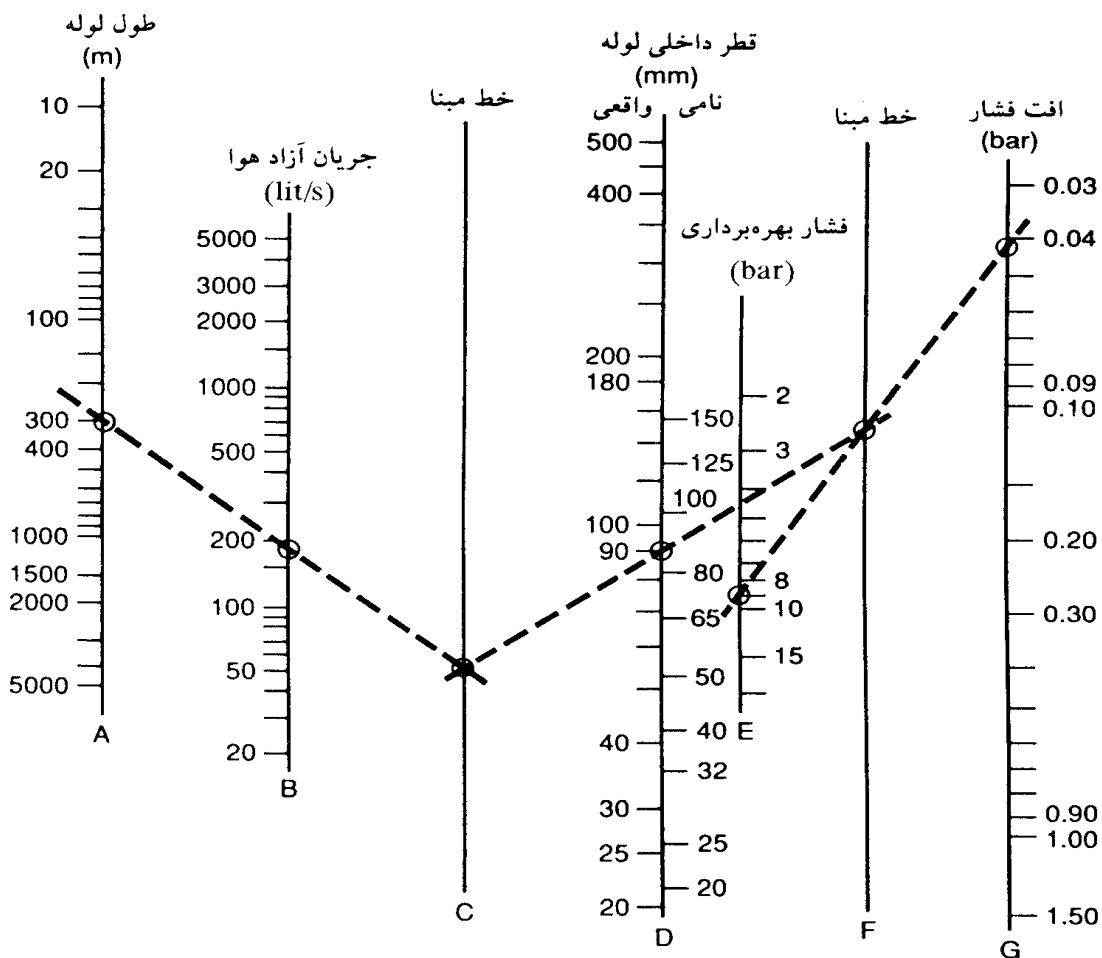
سیستم‌های حلقوی و شبکه‌ای برای تغذیه نقاط مصرف هوای فشرده بسیار مناسب می‌باشند، زیرا موجب تعادل فشار در تمام نقاط سیستم توزیع می‌گردند.

### ۲ - تعیین ابعاد سیستم توزیع

سرعت هوا در اجزاء اصلی یک سیستم توزیع مناسب نباید از  $6 \text{ m/s}$  تجاوز کند.

سیستم توزیع باید به گونه‌ای طراحی گردد که در شرایط حداکثر تقاضا کمتر از  $0/1$  الی  $0/2$  بار، افت فشار تا نقطه مصرف رخ دهد.

نمودار نشان داده شده در شکل ۱ روشی بسیار مفید جهت یافتن اندازه مناسب لوله‌ها را ارائه می‌دهند.



شکل ۱: نمودار جهت اندازه مناسب لوله‌ها

در ارتباط با برآورد صحیح قطر لوله‌ها جهت عبور جریان هوا یک بررسی دقیق افت فشار بر روی شیرهای بزرگتر سیستم و دیگر تجهیزات موجود باید انجام گیرد.

جدول ۲ طول معادل برای اجزاء نامی قطر لوله‌ها ارائه می‌دهد. این طول‌های معادل باید به طول واقعی لوله‌ها اضافه شوند و سپس در نمودار شکل ۱ طول کل برای برآورد نهایی قطر لوله‌ها استفاده گردد.

جدول ۲: تلفات فشار در لوازم فولادی										
طول معادل لوله بر حسب متر										
قطر داخلی لوله (میلیمتر)										
۱۵	۲۰	۲۵	۴۰	۵۰	۸۰	۱۰۰	۱۲۵	۱۵۰	۲۰۰	
۰/۱	۰/۲	۰/۳	۰/۵	۰/۶	۱	۱/۳	۱/۶	۱/۹	۲/۶	شیر فلکه <sup>۱</sup> تمام باز
	۳/۲	۵	۸	۱۰	۱۶	۲۰	۲۵	۳۰	۴۰	شیر فلکه نیمه باز
۰/۶	۱	۱/۵	۲/۵	۳	۴/۵	۶	۸	۱۰		شیر دیافراگمی <sup>۲</sup> تمام باز
۱/۵	۲/۶	۴	۶	۷	۱۲	۱۳	۱۸	۲۲	۳۰	شیر زاویه‌ای <sup>۳</sup> تمام باز
۲/۷	۴/۸	۷/۵	۱۲	۱۵	۲۴	۳۰	۳۸	۴۵	۶۰	شیر بشقابی <sup>۴</sup> تمام باز
۰/۵	۰/۲	۰/۲	۰/۴	۰/۳	۰/۴	۰/۳	۰/۵	۰/۶	۰/۶	شیر ساچمه‌ای <sup>۵</sup> تمام باز (قطر داخلی کامل)
۳/۴	۴/۹	۲/۴	۲/۲	۵	۲/۶	۴/۱	۳/۳	۱۲/۱	۲۲/۳	شیر ساچمه‌ای تمام باز (قطر داخلی کاهش یافته)
	۱/۳	۲	۳/۲	۴	۶/۴	۸	۱۰	۱۲	۱۶	شیر یکطرفه مفصلی <sup>۶</sup> تمام باز
۰/۱	۰/۲	۰/۳	۰/۵	۰/۶	۱	۱/۲	۱/۵	۱/۸	۲/۴	زانویی $R = 2d$
۰/۲	۰/۳	۰/۴	۰/۶	۰/۸	۱/۳	۱/۶	۲	۲/۴	۳/۲	زانویی $R = d$
۰/۶	۱	۱/۵	۲/۴	۳	۴/۸	۶	۷/۵	۹	۱۲	زاویه ۹۰ درجه
۰/۶	۰/۳	۰/۵	۰/۸	۱	۱/۶	۲	۲/۵	۳	۴	لوله سه راهی
	۱	۱/۵	۲/۴	۳	۴/۸	۶	۷/۵	۹	۱۲	دریچه خروجی سه راهی
	۰/۳	۰/۵	۰/۷	۱	۲	۲/۵	۳/۱	۳/۶	۴/۸	تبدیل

### ۳ - نگهداری

شبکه لوله‌ها احتیاج به بازرسی برای یافتن نشتی‌ها (در قسمت ۲ توضیح داده است)، رسیدگی به چکه‌ها و پاکیزه کردن آلودگی‌ها، تماماً روشهای مفیدی جهت جلوگیری از تلفات انرژی می‌باشد.

### ۴ - عایقکاری سیستم

درحالی‌که گاهی اوقات لازم است قسمتهایی از شبکه توزیع را در تمام ساعات زیر فشار نگه داریم. بعضی از قسمت‌ها (برای مثال خط مونتاژ) را در ساعات غیر تولید می‌توان بمنظور جلوگیری از تلفات مربوط به نشتی‌ها

<sup>1</sup> Gate Valve

<sup>2</sup> Angle Valve

<sup>3</sup> Ball Valve

<sup>4</sup> Diaphragm Valve

<sup>5</sup> Globe Valve

<sup>6</sup> Swing Cheek Valve

و استفاده‌های ناصحیح، از بقیه سیستم جدا نمود. بدین منظور شیرهای الکترونیکی یا دستی جداکننده را می‌توان در شبکه توزیع نصب نمود تا در زمان‌های صحیح و مورد نظر بسته شوند.

## ۵ - تصفیه هوا

### ۱ - ۵ - زمینه

اکثر استفاده‌کنندگان هوای فشرده احتیاج به کیفیت هوایی به مراتب بالاتر از آنچه توسط کمپرسور تأمین شده است، دارند.

بعد از عملیات فشرده‌سازی هوا، هوای مطلوب از نظر گرد و غبار، ذرات آب و روغن و آلودگی میکروبی توسط سیستم تصفیه ایجاد می‌گردد. تأمین هوای با کیفیت بالا، مصرف انرژی بیشتری توسط سیستم تصفیه را موجب می‌گردد و این امر سبب خواهد شد که فشار تولیدی بالاتری بمنظور غلبه بر افت فشار در سیستم تصفیه مورد نیاز باشد.

سیستم‌های تصفیه دارای تنوع زیادی از یک خنک‌ساز ثانوی ساده که معمولاً همیشه با سیستم‌های کمپرسور تحویل می‌شوند، تا فیلترها و خشک‌کن‌های مختلف از نوع خنک‌ساز<sup>۱</sup>، نوع جذبی<sup>۲</sup>، نوع جاذب رطوبت هوا<sup>۳</sup> و ماده رطوبت‌گیر<sup>۴</sup> می‌باشد که هر کدام از لحاظ سیستم کاری اختلافات بسیاری با هم داشته و همچنین بعضی از آنها بازده بیشتری نسبت به بقیه دارند.

جدول ۳، استاندارد ISO/DIS8573.1 را برای کیفیت هوای تحویلی نشان می‌دهد.

نیاز به هوای فشرده با کیفیت بالا روز به روز با پیچیده‌تر شدن روش‌های تولید افزایش می‌یابد.

جدول ۴ اطلاعاتی در رابطه با گروه‌بندی کاربردهای مختلف ارائه می‌دهد. در برخی از کاربردها بیش از یک گروه‌بندی را می‌توان مورد توجه قرار داد. این موضوع در دست تجدید نظر می‌باشد. از این رو جدول ۴ را فقط باید بمنظور راهنمایی مورد استفاده قرار داد.

### ۲ - ۵ - صرفه‌جویی‌های بالقوه در سیستم‌های تصفیه هوا

همانطور که در جدول ۴ دیده می‌شود محدوده وسیعی از نیاز به هوای باکیفیت خوب وجود دارد. از این رو بسیار مهم است که برای هر کاربرد، تجهیزات مناسب آن کاربرد بخصوص نصب شوند و انرژی مصرفی بهینه شود، چرا که انرژی بسیاری می‌تواند در بخش‌های غیرضروری تصفیه هوا صرف شود.

---

<sup>1</sup> Refrigerated

<sup>2</sup> Sorption

<sup>3</sup> Deliquescent

<sup>4</sup> Desiccant

جدول ۳: طبقه‌بندی کیفیت هوا با استفاده از استاندارد ISO/DIS 8573.1				
درجه کیفیت	اندازه اجزاء گرد و غبار (میکرون)	تراکم گرد و غبار <sup>۱</sup> (mg/m <sup>3</sup> )	آب در فشار نقطه شبنم (°C) (۲ ppm vol) (در فشار vbar)	روغن (شامل بخار) (mg/m <sup>3</sup> )
۱	۰/۱	۰/۱	-۷۰(۰/۳)	۰/۰۱
۲	۱	۱	-۴۰(۱۶)	۰/۱
۳	۵	۵	-۲۰(۱۲۸)	۱
۴	۱۵	۸	+۳(۹۴۰)	۵
۵	۴۰	۱۰	+۷(۱۲۴۰)	۲۵
۶	—	—	+۱۰(۱۵۰۰)	غیر قابل دسترسی
۷	—	—	نامشخص	غیر قابل دسترسی

بسیاری از واحدها تنها قسمتی از هوای مورد نیاز خود را با کیفیت بالا نیاز دارند، در این شرایط با تصفیه هوای فشرده تا حداقل قابل قبول و اصلاح کیفیت در نقطه مصرف تا حد دلخواه، صرفه‌جویی بسیار خوبی بدست می‌آید.

به عنوان مثال در یک کارخانه اتومبیل‌سازی به حدود ۷۰ درصد هوا با کیفیت ۲-۲-۴ نیاز می‌باشد که این کیفیت را می‌توان توسط یک خشک‌کن خشک‌ساز و یک فیلتر روغن تأمین نمود. انرژی لازم برای یک خشک‌کن خشک‌ساز خیلی کمتر از نوع مواد رطوبت‌گیر می‌باشد و افت فشار در طول فیلتر ۰/۲ bar خواهد بود. همچنین در این کارخانه به حدود ۳۰ درصد هوا با کیفیت ۱-۲-۱ جهت واحدهای نقاشی و مونتاژ موتور نیاز می‌باشد. برای تأمین این کیفیت هوا خشک‌کن‌های متکی بر مواد رطوبت‌گیر و فیلتراسیون مخصوص می‌تواند در محل مصرف نصب گردد. اگر در این کارخانه هوا فقط در حد مورد نیاز تصفیه گردد می‌توان در هزینه انرژی به میزانی معادل ۲۰۰۰ پوند در سال برای هر ۱۰۰۰ cfm (۵۰۰ I/S) هوا صرفه‌جویی کرد. همچنین علاوه بر صرفه‌جویی در انرژی، صرفه‌جویی‌هایی هم در کاهش تعمیر و نگهداری خشک‌کن‌ها و تعویض قسمت‌های مصرف‌شده چون فیلترها و مواد رطوبت‌گیر حاصل می‌گردد.

<sup>۱</sup> میلی‌گرم بر متر مکعب

<sup>۲</sup> جزء در میلیونیم حجم



## ۱- شکل و ترکیب سیستم تصفیه هوا

خشک‌کن‌های معمولی هوا را از خنک‌ساز ثانوی کمپرسور در حداکثر دمای ۳۵ درجه سانتیگراد تحویل می‌گیرند.

برای کیفیت هوای کلاس ۱-۱-۱، یک خشک‌کن متکی بر رطوبت‌گیر با برج دو قلوی گرم شده یا نشده<sup>۱</sup> به‌همراه مواد رطوبت‌گیر و سیلندر خشک‌کن خاص لازم است. همچنین به فیلترهای آب، روغن و گرد و غبار به همراه یک واحد جذب‌کننده کربن تخلیص‌یافته<sup>۲</sup> نیز احتیاج می‌باشد.

این سیستم مقدار زیادی انرژی مصرف می‌کند، به طوری که به مقداری انرژی در حدود ۱۵ درصد هوای فشرده و یا معادل الکتریکی آن جهت بازیافت مواد رطوبت‌گیر نیاز دارد. افت فشار ۱/۵bar در هنگام کار نیز در فیلترها ایجاد خواهد شد که در این صورت به ایجاد فشار اضافی جهت جبران آن نیاز خواهد بود.

نوع کمپرسور استفاده شده نیز مهم است. مثلاً یک ماشین غیرروغنی<sup>۳</sup> می‌تواند باعث صرفه‌جویی در یک طبقه فیلتراسیون در مقایسه با استفاده از یک کمپرسور از نوع تزریق روغن گردد. برای مصارف هوا با کیفیت بالا توصیه شده است که تا جایی که ممکن است از ماشین غیر روغنی استفاده گردد که در این صورت علاوه بر صرفه‌جویی در سیستم تصفیه، منافع دیگری چون بازده و طول عمر بالاتر نیز بدست می‌آید و احتمال آلودگی روغن در خشک‌کن‌ها توسط کمپرسور نیز وجود نخواهد داشت.

وقتی از ماشین‌های غیر روغنی در محیط‌های شدیداً آلوده استفاده می‌گردد ممکن است استفاده از فیلترهای مخصوص حذف روغن لازم شود.

در مثال نصب شده، کمپرسوری با ظرفیت ۱۰۰۰cfm (۵۰۰I/S) متحمل هزینه‌ای معادل ۲۰۱۰۰ پوند در سال برای تولید هوای تحویلی خنک‌شده می‌گردد. برای تامین کیفیت هوای ۱-۱-۱، هزینه‌ای در حدود ۴۲۲۰ پوند (۲۱ درصد) در سال جهت تجهیزات تصفیه هوا اضافه خواهد شد.

چنانچه به کیفیت هوای پائینتری از نوع ۱-۱-۱ مورد نیاز باشد، انرژی اضافی مورد نیاز کاهش خواهد یافت. کیفیت هوای ۲-۱-۱ را می‌توان توسط یک خشک‌کن با مشخصه پائین‌تر (گرم شده یا نشده و یا با یک دمنده بازیافت خارجی<sup>۴</sup>) که در فشار نقطه شبنم<sup>۵</sup> مربوط به دمای ۴۰°C- عمل می‌نماید تأمین نمود. در این صورت هزینه تصفیه هوا در حدود ۱۵ درصد بیش از هزینه تولید هوای خنک‌شده خواهد بود.

کیفیت هوای ۲-۳-۱ را می‌توان توسط یک خشک‌کن نوع جذبی به همراه یک کمپرسور غیرروغنی تأمین نمود. در استوانه اصلی این خشک‌کن یک واسطه خشک‌کننده تزریق می‌گردد و به آرامی توسط یک موتور کوچک چرخانده می‌شود هوای فشرده نیز از طریق یک قسمت عایق‌بندی شده به استوانه خشک‌کن وارد شده و در محدوده دمای ۱۵- الی ۳۰- درجه سانتیگراد ( بسته به بار کمپرسور خشک می‌شود. هوای گرم اخذ شده از بخش اول خنک‌ساز ثانویه، جهت احیاء واسطه خشک‌کن در قسمتی از استوانه اصلی که برای خشک‌کردن هوا استفاده نشده، بکار گرفته می‌شود و سبب بهره‌برداری از گرمای تلف‌شده در عمل فشرده‌سازی می‌گردد. برای فراهم

<sup>1</sup> Heated or Heatless Twin Tower

<sup>2</sup> Activated Carbon Absorber Unit

<sup>3</sup> Oil-injected

<sup>4</sup> External Blower Regeneration

<sup>5</sup> Dew Point

نمودن هوا با کیفیت ۱-۳-۲ توسط روش فوق به همراه یک کمپرسور غیرروغنی و فیلتراسیون محدود برای نمونه ذکر شده، هزینه، ۳ درصد بیشتر از هزینه تولید و تحویل هوا در بعد از خنک‌ساز ثانوی، خواهد بود. هوای فشرده با کیفیت ۵-۴-۴ را می‌توان توسط ترکیبی از هر نوع کمپرسور با همراه یک خشک‌کن خنک‌ساز و فیلتراسیون محدود تأمین نمود. هزینه اضافی این روش حدود ۵ درصد خواهد بود.

## ۲- نگهداری

افت فشار در تمام اجزاء سیستم فیلتراسیون به مرور زمان با توجه به آلودگی و کثیف شدن آنها افزایش خواهد یافت که این موضوع باعث تولید فشار بیشتر و در نتیجه انرژی مصرفی اضافی خواهد گردید. به حداقل رساندن افت فشار، در سیستم‌های فوق بسیار مهم می‌باشد، به همین دلیل افت فشار تمام فیلترها باید توسط یک فشارسنج تفاضلی<sup>۱</sup> مرتباً اندازه‌گیری شده و تنظیم شوند.

نقطه شبم برای تمام خشک‌کن‌ها مخصوصاً نوع متکی بر مواد رطوبت‌گیر باید مرتباً کنترل شود. نمونه‌های بسیاری مشاهده می‌شوند که در زیر مشخصه طراحی شده کار می‌کنند، در حالی که مصرف انرژی آنها به اندازه مصرف انرژی برای کار در نقطه شبم طراحی شده است.

## ۳- میعان<sup>۲</sup>

میعان یک پدیده طبیعی است که در مواقع فشرده‌سازی و خنک‌سازی هوا رخ می‌دهد. دریچه‌های فرعی<sup>۳</sup> یا شیرهای تخلیه نیمه‌باز<sup>۴</sup>، در اکثر مراکز یافت می‌شوند و اغلب بیش از ۱۰ درصد هوای فشرده را مصرف می‌نمایند. هوای نمناک موجب بروز مشکلاتی برای تعمیر و نگهداری و قابلیت اطمینان سیستم شده و همچنین موجب پوسیدگی<sup>۵</sup> و خرابی آن می‌گردد. دریچه‌های قدیمی اگر خوب تعمیر و نگهداری نشوند یا کار نمی‌کنند و یا خیلی بد کار خواهند کرد، خصوصاً زمانی که در آنها ذرات روغن، آب و زنگ آهن هم وجود داشته باشد. اگر هیچگونه تعمیر و نگهداری در مورد این دریچه‌ها بعمل نیاید از مدار خارج خواهند شد.

در حال حاضر دریچه‌های الکترونیکی نیز در دسترس هستند که در این دستگاهها سطح مایع جمع شده با توجه به تغییر در ظرفیت خازنی دستگاه، احساس می‌شود. با بالا آمدن سطح مایع، دریچه بسته می‌شود و سبب جلوگیری از تلفات هوای فشرده در حین تخلیه مایع می‌گردد. لذا هر جا که مقدور باشد، باید از دریچه‌های قابل اطمینان و مدرن استفاده نمود.

## ۴- کنترل

خشک‌کن‌های خنک‌ساز برحسب نوع کار به اشکال مختلفی وجود دارند. هر چند آنها برای کار دربار کامل طراحی شده‌اند اما توانایی کنترل بار جزئی را نیز باید داشته باشند. بعضی از انواع این نوع خشک‌کن‌ها دارای یک جرم حرارتی می‌باشند که در دمای صحیح نگه داشته می‌شود در حالی که انواع دیگر امکان بی‌بار شدن و تأمین بار جزئی با استفاده از شیرهای فرعی<sup>۶</sup> گازگرم را دارا می‌باشند.

<sup>1</sup> Differential Pressure Gauges

<sup>2</sup> Condensate

<sup>3</sup> By - Passed Traps

<sup>4</sup> Slightly Opened Drain Valves

<sup>5</sup> Spoilage

<sup>6</sup> BY-Pass Valve



خشک‌کن‌های متکی بر مواد رطوبت‌گیر باید به یک سنسور نقطه شبنم قابل اعتماد که به طور اتوماتیک سیکل بازیافت را تغییر می‌دهد تجهیز شوند. بنابراین وقتی بار مقداری کمتر از آنچه سیستم برای آن طراحی شده است داشته باشد، انرژی، صرفه‌جویی خواهد شد.

#### ۵ - تعیین ابعاد سیستم تصفیه هوا

در حالت ایده‌آل هر کمپرسور باید به یک خشک‌کن برای تأمین اهداف کنترل و افزایش قابلیت اطمینان سیستم تجهیز گردد. این عمل به دلیل هزینه‌های سرمایه‌گذاری و فضای قابل دسترس همیشه عملی نمی‌باشد. تمام ساختارهای سیستم تصفیه هوا اگر به صورت مناسب نصب و نگهداری شوند، قابل اعتماد هستند. اگر نصب یک خشک‌کن برای هر کمپرسور عملی نباشد، توصیه شده است که از یک واحد مناسب برای صد در صد ظرفیت جهت تأمین بهترین بازده و مشخصه هوا استفاده گردد.

واحدهای چندانگانه اغلب به صورت موازی با اشکال مختلف هوای خشک و تر نصب و لوله‌کشی شده‌اند. در این حالت باید شیرهای فشار شکن<sup>۱</sup> و یا نازل‌های صوتی<sup>۲</sup> برای هر خشک‌کن نصب شود تا خشک‌کن قادر باشد وظیفه خود را بدرستی انجام دهد. این عمل باعث می‌شود که از مسائل افت فشار و کیفیت هوا نیز اجتناب شود. اندازه فیلترها باید به طور مناسب انتخاب گردند. اگر اتصالات فیلترها کوچکتر از اندازه صحیح لوله‌کشی باشد موجب افت فشار می‌گردد. بهتر است که هزینه بیشتری صرف تجهیزات جانبی به منظور جلوگیری از افت فشار و تلفات انرژی گردد.

#### ۶ - نصب

خشک‌کن‌ها باید در محل‌هایی با تهویه مناسب نصب گردند. برای فرآیندهای پیوسته، کلیه فیلترها باید بصورت دوتایی و به همراه شیرهای تغییر وضعیت باشند تا امور تعمیر و نگهداری بسهولت انجام پذیر باشد. همچنین یک مسیر کنارگذر برای خشک‌کن به منظور تعمیرات اضطراری باید نصب گردد. البته این سیستم باید در حالت کارکرد عادی قفل شده تا از کارکرد اتفاقی که می‌تواند باعث آلودگی مسیر هوای خشک سیستم گردد اجتناب شود.

## ۶ - تولید هوای فشرده

### ۱ - ۶ - انواع ساختار کمپرسورها

کمپرسورهای هوا به اشکال مختلفی وجود دارند. در حالت کلی انتخابی کمپرسور و سیستم تصفیه بعد از آن توسط عوامل زیر دیکته می‌شود:

- ظرفیت و فشار مورد نیاز
- سرمایه در دسترس
- کیفیت هوای تحویلی مورد نیاز

<sup>1</sup> Pressure Trimming Valves

<sup>2</sup> Sonic Nozzle

بازده نسبی تولید در انواع مختلف کمپرسورها در جدول ۵ به طور خلاصه ارائه شده است. تغییرات نسبتاً زیادی بین مصرف انرژی ویژه SEC<sup>۱</sup> انواع کمپرسورها وجود دارد. یکی دیگر از نکاتی که باید در نظر گرفته شود، اینست که کمپرسور توانایی کارکرد مؤثر را در شرایط کمباری داشته باشد. هرچند هنوز کمپرسورهای پیستونی بسیاری استفاده می‌شوند ولی در دهه اخیر تمایل به استفاده از کمپرسورهای گریز از مرکز<sup>۲</sup>، پیچی و پره‌ای گردان در تأسیسات جدید افزایش پیدا کرده است، زیرا نصب و نگهداری آنها ساده‌تر است و با سروصدای کمتری کار می‌کنند. ماشین‌های گردان الزاماً با بازده بیشتر از کمپرسورهای پیستونی بزرگ که بطور مناسب تعمیر و نگهداری شده‌اند نمی‌باشند ما با استفاده از بازیافت حرارت تلف شده که اعمال آن در ماشین‌های گردان آسان می‌باشد، هر کمبود بازده را می‌توان جبران نمود. برای ظرفیت‌های ۲/۵ الی ۲۵ لیتر بر ثانیه (۵ الی ۵۰۰ cfm) معمولاً از کمپرسورهای تک یا دو مرحله‌ای پیستونی که توسط هوا خنک می‌شوند و معمولاً به دریافت‌کننده<sup>۳</sup> مجهز هستند استفاده می‌گردد. همچنین از کمپرسورهای تک مرحله‌ای پیچی یا پره‌ای گردان با تزریق روغن<sup>۴</sup> نیز می‌توان استفاده نمود. برای کاربردهایی همچون مواد غذایی، تهویه هوا و تولیدات دارویی ممکن است از کمپرسورهای پیستونی غیرروغنی نیز استفاده شود، هرچند در اینگونه موارد معمولاً از فیلتر برای جداکردن روغن کمپرسور از هوا فشرده استفاده می‌شود.

جدول ۵: خلاصه‌ای از اشکال مختلف کمپرسورها به همراه بازده نسبی آنها			
توضیح	ظرفیت (لیتر بر ثانیه)	قدرت مخصوص (kW/l)	بازده در بار جزئی **
پیستونی روغنی	۲-۲۵	۵۱۰	خوب
	۲۵-۲۵۰	۴۲۵	خوب
	۲۵۰-۱۰۰۰	۳۶۱	عالی
پیستونی غیرروغنی	۲-۲۵	۵۵۲	خوب
	۲۵-۲۵۰	۴۶۷	خوب
	۲۵۰-۱۰۰۰	۴۰۴	عالی
پیچی / پره‌ای با تزریق روغنی	۲-۲۵	۵۱۰	بد
	۲۵-۲۵۰	۴۴۶	نسبتاً خوب
پیچی / روتور دنداندار غیرروغنی	۲۵-۲۵۰	۴۲۹	خوب
	۲۵۰-۱۰۰۰	۳۸۲	خوب
	۱۰۰۰-۲۰۰۰	۳۸۲	خوب
گریز از مرکز غیرروغنی	۲۵۰-۱۰۰۰	۴۴۶	خوب
	۱۰۰۰-۲۰۰۰	۳۸۲	عالی
	بیش از ۲۰۰۰	۳۶۱	عالی

$$1 \text{ l/s} \cong 21 \text{ kw}/100 \text{ cfm} *$$

\*\* بازده برحسب مصرف قدرت ویژه اندازه‌گیری شده است (لیتر/ژول (l/s))

<sup>1</sup> Specific Energy Consumption

<sup>2</sup> Centrifugal Compressor

<sup>3</sup> Receiver

<sup>4</sup> Single Stage Oil-injected Rotary Vane Compressor

ظرفیت‌های ۲۵ الی ۲۵۰ لیتر بر ثانیه (۵۰ الی ۵۰۰ cfm) توسط کمپرسورهای پیچی با پره‌ای گردان تک‌مرحله‌ای با تزریق روغن تأمین می‌گردد. برای کاربردهایی که نسبت به وجود روغن در هوای فشرده حساس هستند کمپرسورهای نوع روتور دنداندار گردان دو مرحله‌ای<sup>۱</sup> یا کمپرسورهای پیچی غیرروغنی<sup>۲</sup> استفاده می‌شوند. با اینحال بسیاری از مصرف‌کنندگان هوای فشرده که به هوا باکیفیت بالا احتیاج دارند از سیستم‌های فیلتراسیون روی ماشین‌های تزریق روغن استفاده می‌کنند زیرا این روش صرفه‌جویی خوبی را در هزینه سرمایه‌گذاری مربوط به ماشین‌آلات در پی خواهد داشت.

برای ظرفیت‌های ۲۵۰ الی ۱۰۰۰ لیتر بر ثانیه (۵۰۰ الی ۲۰۰۰ cfm) می‌توان از کمپرسورهای پیستونی دو مرحله‌ای روغنی یا غیرروغنی<sup>۳</sup>، که بوسیله آب خنک می‌شوند، نیز استفاده نمود، هرچند این روش امروزه کمتر معمول می‌باشد. در این محدوده ظرفیت، کمپرسورهای تزریق روغنی تک‌مرحله‌ای برای کاربردهایی با کیفیت هوای استاندارد وجود دارند. برای مصارف عادی از روغن، می‌توان از کمپرسورهای پیستونی با سطوح پوشیده از تفلون یا کربن مخصوص، کمپرسورهای پیچی چرخان غیرروغنی دو مرحله‌ای<sup>۴</sup> و یا کمپرسورهای گریز از مرکز چند مرحله‌ای<sup>۵</sup> نیز استفاده نمود.

در ظرفیت‌های ۱۰۰۰ الی ۲۰۰۰ لیتر بر ثانیه (۲۰۰۰ الی ۴۰۰۰ cfm) از کمپرسورهای پیچی چرخان غیر روغنی دو مرحله‌ای یا نوع گریز از مرکز چند مرحله‌ای که هر دو ذاتاً غیر روغنی هستند، استفاده می‌گردد. برای ظرفیت‌های بالاتر از ۲۰۰۰ لیتر بر ثانیه (۴۰۰۰ cfm)، مادامی که کمپرسورهای گریز از مرکز با دبی جرمی بسیار بزرگ محوری، مورد ملاحظه قرار نگرفته باشند، از کمپرسورهای گریز از مرکز غیرروغنی چند مرحله‌ای<sup>۶</sup> استفاده می‌گردد.

برای تمام گروه‌های ذکر شده، قدرت مخصوص از آزمایش‌های واقعی براساس استاندارد BS 1571:1984 استخراج شده‌است. بازده موتور محرکه الکتریکی نیز در این محاسبات وارد شده‌است و معیاری از قدرت واقعی ورودی (و نه قدرت ورودی به محور کمپرسور که معمولاً توسط سازنده مشخص شده است) می‌باشد.

## ۲ - ۶ - صرفه‌جویی‌های بالقوه در تولید هوای فشرده

### ۱ - شکل و ترکیب واحدها

همانطور که در جدول ۵ دیده می‌شود بازده تولید در انواع مختلف کمپرسورها متغیر است. جایگزینی کمپرسورها با انواع دارای بالاترین بازده می‌تواند سبب صرفه‌جویی گردد، هرچند این روش در مورد یک کارخانه از قبل ساخته شده، هزینه سرمایه‌گذاری بالایی را طلب می‌کند. معمولاً در نصب واحدهای جدید، هزینه

<sup>1</sup> Two Stage Rotary Toothed Compressor

<sup>2</sup> Non-Lubricated Screw Compressor

<sup>3</sup> Double Acting Water-cooled Piston Compressor

<sup>4</sup> Two Stage Oil-free Rotary Screw Compressor

<sup>5</sup> Multi-stage Centrifugal Compressor

<sup>6</sup> Multi-stage Oil-free Centrifugal Compressor

سرمایه‌گذاری بیشتر نصب کمپرسورهایی با بازده بالاتر، مقرون به صرفه می‌باشد. در دوره‌های طولانی، هزینه اولیه اضافی، اغلب با هزینه کارکرد و تعمیر و نگهداری پائین‌تر جبران می‌گردد. به علاوه ماشین‌هایی با بازده بالاتر معمولاً قابل اطمینان‌تر نیز می‌باشد.

## ۲- نگهداری

کمپرسورها اغلب در شرایط بسیار بد برای ساعات طولانی کار می‌کنند، از این رو تعمیر و نگهداری مناسب امری بسیار مهم و حیاتی است. با عدم نگهداری مناسب، بخصوص بازده در کمپرسورهای پیستونی مخصوصاً نوع غیر روغنی کاهش می‌یابد. در تأسیسات مورد مثال، در یک کمپرسور پیستونی غیرروغنی با ظرفیت ۵۰۰ لیتر در ثانیه (۱۰۰ cfm)، در اثر نگهداری ناقص در طول ۱۲ ماه، مصرف مخصوص از ۴۰۰ به ۴۵۰ ژول بر لیتر افزایش می‌یابد، که این امر سبب افزایش هزینه بهره‌برداری سالانه بیش از ۲۰۰۰ پوند می‌گردد.

در ماشین‌های پیچی و پره‌ای گردان بازده چندان سریع کاهش نمی‌یابد، ولی به هر حال آنها نیز عمر محدودی دارند. توصیه شده است که بر روی این نوع ماشین‌ها بعد از هر ۲۵۰۰۰ ساعت کارکرد یک تعمیر اساسی انجام گیرد تا بازده آنها در وضعیت مطلوب نگهداشته شود. ماشین‌های پیچی و روتور دندانه‌دار غیرروغنی تا ۴۰۰۰۰ ساعت خوب کار می‌کنند ولی بعد از آن کاهش کمی در بازده آنها رخ می‌دهد که این امر به دلیل افزایش لقی<sup>۱</sup> اتفاق می‌افتد.

بازده کمپرسورهای گریز از مرکز بعلاوه اینکه دارای قسمت‌های متحرک کمی می‌باشند، در دوره‌های طولانی‌تری حفظ می‌شود اما لازمه این کار نگهداری بسیار مناسب فیلترهای هوای ورودی، سیستم خنک‌کن آبی و پیش‌خنک‌سازها می‌باشد، در غیر این صورت بازده سریعاً کاهش می‌یابد.

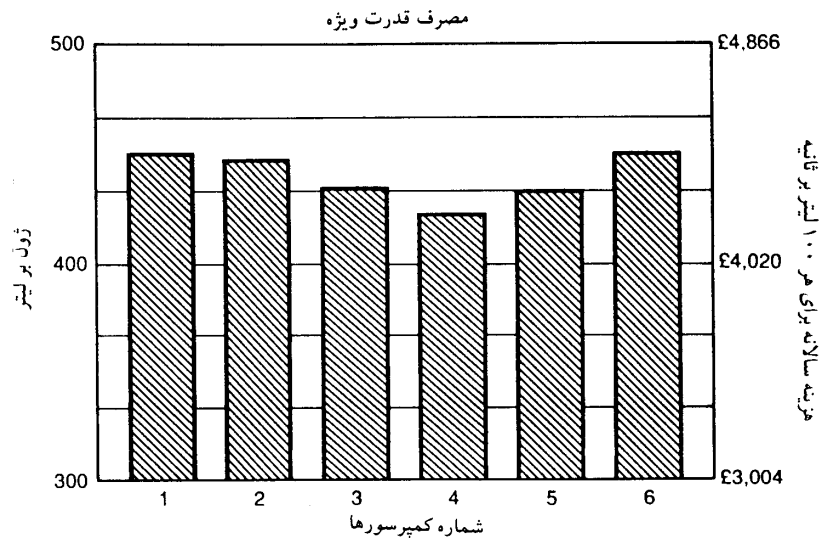
از لحاظ اقتصادی عدم نگهداری هر نوع کمپرسوری، صحیح نیست. توصیه می‌شود که حتماً از سازندگان و یا نمایندگی‌های مجاز آنها جهت سرویس استفاده گردد و قطعات یدکی اصلی بکار برده شوند. یک قطعه ظاهراً ارزانتر همچون یک شیر تخلیه غیراصلی، هزینه بیشتری را در دراز مدت به دلیل اثر زیان‌آور آن بر روی بازده کمپرسور، در پی خواهد داشت.

شکل ۲، در یک نمودار ستونی، وضعیت بازده یک گروه از کمپرسورهای پیستونی روغنی (با ظرفیت ۵۰۰ I/S) در یک مرکز نمونه را نشان می‌دهد. همانطور که در شکل دیده می‌شود، ماشین ۴ اخیراً تعمیر کامل شده و واحدهای دیگر احتیاج به تعمیرات اساسی دارند. با تکمیل تعمیرات واحدهای دیگر، صرفه‌جویی سالانه‌ای در حدود ۱۴۳۰۰ پوند، در شرایط کار در بار نامی و ۴۸ ساعت در هفته، بدست می‌آید.

## ۳- ارزیابی شرایط کاری

شرایط کاری یک کمپرسور را می‌توان به راحتی ارزیابی نمود. جدول ۶ خلاصه‌ای از اندازه‌گیری‌های لازم برای انواع مختلف کمپرسور را ارائه می‌دهد.

<sup>1</sup> Internal Clearance



شکل ۲: مصرف قدرت ویژه کمپرسورهای نمونه

#### ۴ - نظارت بر شرایط بهره‌برداری

اکثر کمپرسورهای مدرن دارای سیستم‌های نظارت الکترونیکی هستند که به طور اتوماتیک شرایط بهره‌برداری آنها را ثبت می‌کند. این سیستم‌ها به مجرد بروز شرایط عملکرد غیرعادی اختارهایی را می‌دهند و قبل از بروز خطر ماشین را خاموش می‌کنند.

برای کمپرسورهای قدیمی و موجود نیز می‌توان سیستم‌های مشابه را خریداری نمود. این کار مخصوصاً برای کمپرسورهای پیستونی دو مرحله‌ای خنک‌شونده با آب که شرایط کاری کمپرسور تاثیر عمده‌ای روی بازده آن دارد ارزش خواهد شد. در بسیاری از کارخانجات مهارت‌های لازم جهت نگهداری مناسب و صحیح که سبب اطلاع سریع از شروع مشکلات جدی می‌شود، وجود ندارد.

#### ۵ - تصحیح ضریب توان

تصحیح ضریب توان موتور محرک کمپرسور یک روش کم خرج و مؤثر برای کاهش تلفات انرژی مربوط به کیلوولت آمپر اعمال شده به موتور می‌باشد که می‌تواند باعث کاهش هزینه تعرفه برق گردد.

#### ۶ - راه‌اندازی ملایم

کنترل‌کننده‌های بسیاری برای راه‌اندازی ملایم کمپرسور وجود دارند که می‌توان توسط آنها زمان‌های مختلف استارت با حداقل جریان راه‌اندازی را تأمین نمود. بدین صورت موج جریان ضربه‌ای حذف می‌گردد و موتور از آسیب دیدن حفاظت می‌شود.

#### ۷ - کاهش فشار تولیدی

بسیاری از سیستم‌ها در سطوح فشار بالاتر از نیاز نقاط مصرف کار می‌کنند. گاهی اوقات در ساعات غیر تولید، سیستم را جهت تأمین فشار قسمت‌های کنترل که معمولاً احتیاج به فشار پائین‌تری نسبت به تجهیزات تولید دارند، تحت فشار نگه می‌دارند.

هنگامی که نقاط مصرف در حداقل فشار قابل قبول هستند تولید فشار بالاتر از مقدار مورد نیاز معمولاً برای جبران افت فشار در سیستم‌های تصفیه هوا (قسمت ۱-۵ را ببینید) و یا قسمت‌های گلوگاهی (قسمت ۲-۴ را ببینید) ضروری است. اگر حالتی غیر از این دو حالت پیش آید، مهندس مسئول باید به آرامی فشار تولیدی کمپرسور را کاهش دهد تا فشار بهره‌برداری به حداقل مقدار ممکن برسد. فشار تحویلی باید حدود  $0.2 \text{ bar}$  بیشتر از فشار مصرف باشد تا مسائل ایمنی هم رعایت گردد. بدینصورت کاهش فشار تولیدی، صرفه‌جویی نسبتاً زیادی را در پی خواهد داشت. به عنوان مثال، کاهش فشار از  $7 \text{ bar}$  به  $6 \text{ bar}$ ، صرفه‌جویی در حدود ۴ درصد هزینه تولید را باعث می‌شود.

منافع دیگری نیز از کاهش فشار بدست می‌آید، از آنجا که مصرف اکثر دستگاههای مصرف‌کننده هوا همچون ابزارهای بادی، اسپری‌ها و برش‌های هوا متناسب با شدت فشار بهره‌برداری می‌باشد، در این صورت کاهش فشار تولید، تا حداقل مقدار قابل قبول برای این دستگاهها، باعث صرفه‌جویی همزمان در هوا و در انرژی خواهد گردید. برای مثال یک نازل ۶ میلیمتری در حدود  $43/32 \text{ I/S}$  ( $87 \text{ cfm}$ ) هوا در فشار  $7 \text{ bar}$  مصرف می‌کند در حالی که همین نازل،  $37/82 \text{ I/S}$  ( $75 \text{ cfm}$ ) هوا را در فشار  $6 \text{ bar}$  مصرف می‌کند، که به معنای  $14/5$  درصد کاهش در مصرف هوا است.

در تأسیسات مورد مثال (500 I/S یا 1000 cfm) کاهش فشار تولیدی از ۷ به ۶ بار صرفه‌جویی سالانه در حدود ۳۵۰۰ پوند را در پی خواهد داشت.

کاهش فشار تولیدی در طول ساعات غیرتولید احتیاج به یک سیستم کنترل اتوماتیک دارد که این موضوع هزینه‌هایی را تحمیل خواهد نمود، ولی این هزینه‌ها به سرعت جبران خواهد شد.

#### ۸ - استراتژی بهره‌برداری از کمپرسور

کمپرسورهای با شکل، اندازه و سازنده یکسان، می‌توانند دارای بازده متفاوتی باشند. آزمایش هر کمپرسور با استاندارد 1984: BS 1571 بخش دوم، قبل از تحویل و یا در محل، بازده دستگاه و هزینه‌های بهره‌برداری در بار جزئی را مشخص خواهد نمود. نتایج بدست آمده ما را قادر خواهد ساخت تا استراتژی بهره‌برداری را به گونه‌ای طرح‌ریزی کنیم که بهترین و ارزانترین ماشین‌ها در هر لحظه روشن شوند.

#### ۹ - تعیین اندازه

بایستی اندازه کمپرسورها جهت تامین تقاضا حتی‌الامکان به اندازه مورد تقاضا نزدیک باشد. استفاده از هر نوع ماشین در زمانهای طولانی با بارهای کم به دلیل کاهش شدید بازده موتورهای الکتریکی در بارهای کم، اقتصادی نیست. در مورد موتورهای با بازده کم، قدرت بی‌باری می‌تواند از ۱۵ الی ۷۰ درصد قدرت بار نامی آنها باشد.

برای تأسیسات جدید با چند کمپرسور، بهتر است از یک مجموعه با اندازه‌های مختلف استفاده شود به طوری که تقاضای مورد نیاز در شرایطی تامین شود که کمپرسورها نزدیک ظرفیت نامی خودکار کنند. البته ماشین‌های کوچکتر هم باید بازدهی معادل واحدهای بزرگتر داشته باشند، در غیر این صورت هدف بهره‌وری مناسب به شکست خواهد انجامید.

#### ۱۰ - کنترل

کنترل، موضوعی است که توسط آن صرفه‌جویی‌های بسیاری در انرژی، قابل دستیابی می‌باشد. یک سیستم کنترل مدرن، با هزینه سرمایه‌گذاری نسبتاً کم می‌تواند باعث ۵ الی ۲۰ درصد صرفه‌جویی در هزینه‌های تولید گردد. انواع بسیار زیادی از کنترل‌کننده‌های استاندارد برای کمپرسورها وجود دارند که در مورد بعضی ذیلاً بحث خواهد شد.

نخست ساعاتی که هوای فشرده واقعاً نیاز می‌باشد باید مشخص شود. در بسیاری حالات، کار کمپرسورها غیرضروری می‌باشد و خاموش کردن آنها به روش دستی و یا با استفاده از زمان‌سنج‌های اتوماتیک می‌تواند صرفه‌جویی‌های بسیاری را باعث گردد. تایمرهای اتوماتیک معمولاً جزئی از سیستم‌های پیچیده‌تر کنترل هستند. البته باید توجه داشت که تجهیزات اساسی کنترل از هوای فشرده محروم نشوند.

استفاده از محرکه‌های دور متغیر VSD<sup>۱</sup> به عنوان محرکه کمپرسورهای پیچی و پیستونی باعث منافع بسیاری در کنترل و بازده سیستم خواهد شد. تا این زمان هزینه سیستم‌های فوق‌گراف بوده است ولی با پیشرفت‌های جدید در الکترونیک و تجهیزات کنترل، این سیستم‌ها متداول‌تر می‌شوند. باید مراقب بود که سرعت کمپرسور به اندازه‌ای کاهش نیابد که در امر روغن کاری اختلال ایجاد شود. این موتورها برای کمپرسورهای گریز از مرکز مناسب نیستند.

ماشین‌های پیستونی با شیرهای مکند ۲ یا ۳ مرحله‌ای<sup>۲</sup> در ورودی، یا سیستم حجم خلاصی پنج مرحله‌ای<sup>۳</sup> بهترین بازده را در بارهای جزئی دارند. ماشین‌های پیچی، پره‌ای و پیستونی با شیرهای خفه‌کننده که عمل تعدیل را در یک محدوده مشخص فشار در بارهای کم انجام می‌دهند، بازده مناسب را ندارند زیرا آنها تماماً از نوع ماشین‌های جابجایی<sup>۴</sup> مثبت هستند و عمل خفه‌سازی در این نوع ماشین‌ها باعث افزایش شدت فشرده‌سازی می‌گردد.

ماشین‌های پیچی چرخان اغلب با هر دو سیستم شیرهای دو مرحله‌ای و کنترل‌کننده‌های تعدیلی، به صورت دستی یا اتوماتیک تجهیز می‌شوند. از تعدیل‌کننده باید فقط در مواقعی که بار، بالای ۵۷ درصد مقدار نامی می‌باشد استفاده نمود. زیرا در زیر این مقدار شیرهای دو مرحله‌ای کارتر هستند. سیستم‌های دو مرحله‌ای در هر ماشین با اختلاف فشاری در حدود ۰/۵bar و بی‌باری، قابل استفاده هستند. در این موارد لازم است که یک سیستم دریافت‌کننده هوا با اندازه مناسب جهت اجتناب از نوسانات سیستم کنترل نصب گردد.

کمپرسورهای گریز از مرکز، ماشین‌های دینامیکی هستند و در محدوده کاری رفتار موثری در حالت بار جزئی از خود نشان می‌دهند. در این ماشین‌ها معمولاً خروجی توسط تعدیل‌کننده‌ها تا ۷۰ درصد دبی طراحی شده، کاهش می‌یابد. برای تأسیساتی که تقاضا ممکن است کمتر از این مقدار هم گردد جهت اجتناب از تلفات انرژی به دلیل عبور دادن هوای فشرده از مسیرهای فرعی در بارهای جزئی، باید از ماشین‌هایی با سیستم‌های کنترل اتوماتیک دوگانه استفاده نمود. استفاده از پره‌های ثابت در ورودی نیز مناسب می‌باشد، زیرا آنها بازده بهره‌برداری در بار جزئی و محدوده قطع و وصل سیستم را مخصوصاً هنگامی که طراحی‌های غلط برای شرایط هوای ورودی صورت گرفته است، اصلاح می‌کنند.

اکثر کمپرسورها تا ظرفیت (۲۰۰۰cfm) ۱۰۰۰I/S مجهز به تجهیزاتی جهت تغییر به وضعیت کنترل اتوماتیک روشن/خاموش<sup>۵</sup> می‌باشند (در بعضی از آنها تغییر وضعیت به صورت اتوماتیک انجام می‌شود). این تجهیزات، چنانچه هوایی مورد نیاز نباشد، ماشین را بعد از یک دوره طولانی (معمولاً ۱۰ الی ۱۵ دقیقه) کار در حالت بی‌باری خاموش می‌کنند. اگر دوباره تقاضای اضافی برای هوای فشرده لازم شود ماشین به صورت

<sup>۱</sup> Variable Speed Drive (VSD)

<sup>۲</sup> Two-or-Three-step Suction Valve

<sup>۳</sup> Five-step Clearance Pocket Unloading

<sup>۴</sup> Positive Displacement

<sup>۵</sup> Stop/Start



اتوماتیک روشن می‌شود. زمان کار در حالت بی‌باری برای حفاظت موتور محرکه در مقابل روشن، خاموش شدن‌های مداوم بسیار اساسی است، مگر اینکه یک سیستم راه‌انداز ملایم وجود داشته باشد.

اشکال مختلف کنترل‌کننده‌های ترتیبی برای بهینه کردن کار سیستم‌های چند کمپرسوری و فرسایش یکسان آنها به دلیل چرخش ترتیب کار کردن ماشین‌ها وجود دارد.

سیستم‌های میکروپروسسوری، کنترل فشار بسیار دقیقتری در مقایسه با سوئیچ‌های فشاری یا گاورنرهای کنترل‌کننده هوا دارند. این تجهیزات می‌توانند نیاز به فشار کم هوای فشرده در ساعات غیرتولید (قسمت ۲-۲ نکته ۷ را ببینید) در نظر بگیرند و تنظیم لازم را انجام دهند. همچنین می‌توانند وظیفه کنترل شیرهای جداکننده سیستم (قسمت ۱-۴) را نیز بر عهده گیرند.

در یک سیستم چندماشینه، یک سیستم کامپیوتری، صرفه‌جویی قابل توجهی را از طریق کاهش زمان کارکرد ماشین‌ها در حالت بی‌باری سبب می‌شود. این عمل توسط پیش‌بینی عمل سوئیچینگ قابل انجام است، به طوری که یک ماشین به مجرد بی‌بار شدن خاموش می‌گردد. در صورت افزایش تقاضا، ماشین قابل دسترس بعدی در ترتیب چرخشی که از قبل مشخص شده راه‌اندازی خواهد شد که سبب پرهیز از کار در حالت بی‌باری ماشین قبلی می‌گردد. همچنین سیستم قادر است که مناسبترین تعداد و اندازه کمپرسورها در یک سیستم چندماشینه را جهت تأمین تقاضا انتخاب نماید. میکروپروسسور، الگوی تقاضای سیستم را به حافظه سپرده و به این وسیله امکان کنترل بهتر سیستم به منظور اطمینان از تأمین تقاضا با پائین‌ترین هزینه انرژی امکان‌پذیر است.

سیستم‌های کنترل می‌توانند با سیستم‌های مدیریت ساختمان به صورت یکپارچه درآمده و با سیستم‌های نظارت بر کمپرسور، بهره‌برداری اتوماتیک شیرهای مجزاکننده حوزه‌ها، قرائت الکتریسته ورودی به موتور کمپرسور و اندازه‌گیری هوای بخشها هماهنگ شده و از ایستگاههای راه دور بهره‌برداری شوند.

#### ۱۱ - خنک‌سازی هوا در ورودی

از طریق خنک‌سازی هوای ورودی توسط خنک‌سازها، منافع بسیاری در مصرف انرژی، کیفیت هوا و حجم هوای قابل تحویل حاصل می‌شود. خنک‌سازی اولیه مخصوصاً در دمنده‌های فشار پائین و کمپرسورهای تک‌مرحله‌ای بسیار با ارزش است اما برای ماشین‌های چندمرحله‌ای مزایای قابل توجهی ندارد. این روش برای ماشین‌های گریز از مرکز توصیه نمی‌شود، زیرا هر چند دبی افزایش خواهد یافت ولی ماشین از نقطه کار طراحی شده دور شده و بازده آن کاهش خواهد یافت.

بایستی در استفاده از این روش دقت بسیار شود که دمای هوای ورودی به زیر حداقل مقدار قابل قبول که توسط سازنده مشخص شده، کاهش نیابد (این به دلیل جتناب از ایجاد مسائل و مشکلات برای مواد داخلی ماشین و افزایش بار برای موتور محرکه اصلی می‌باشد).

عمل فشرده‌سازی هوای سرد و خشک منافع زیر را در بر دارد:

- هیچ آبی در ناحیه فشرده‌سازی ایجاد نمی‌شود.

- گرد و غبار موجود در ورودی بعلت چسبیدن به یخ هنگام خنک‌سازی حذف می‌گردد.
- از آنجا که هوای خنک ورودی به کمپرسور باعث افزایش خروجی آن می‌شود، در هزینه واحد صرفه‌جویی می‌گردد.

به وسیله حذف احتیاج به خشک‌کن‌های معمولی و بعضی از تجهیزات فیلتراسیون در اکثر سیستم‌ها، در انرژی صرفه‌جویی می‌گردد

نشان داده شده است که در بعضی تأسیسات پیش سرمایه‌گذاری می‌تواند باعث صرفه‌جویی تا ۲۵ درصد هزینه‌های انرژی گردد.

## ۱۲ - تحویل هوای گرم

بعضی از فرآیندها همچون چکش آهن‌گری<sup>۱</sup> از هوای فشرده گرم استفاده می‌کنند. در این سیستم‌ها به منظور اجتناب از سرمایه‌گذاری:

- کمپرسور نباید مجهز به خنک‌ساز ثانوی باشد.
- تمام سیستم لوله‌کشی هوا باید عایق‌بندی شود.

به علاوه یک سیستم بازیافت با اندازه نسبتاً بزرگ جهت عمل بر مایع حاصل از میعان<sup>۲</sup> که در این سیستم‌ها تشکیل می‌شود لازم است. اگر هوا تا نقطه مصرف گرم نگه داشته شود افزایش حجمی که توسط این روش بدست خواهد آمد حدود ۱۰ درصد از مصرف انرژی را صرفه‌جویی خواهد نمود.

یک سیستم گرمایش مجدد هوای فشرده از یک مبدل حرارتی هوا به هوا به منظور دوباره گرم کردن هوا بعد از خنک‌ساز ثانوی استفاده می‌کند، تا از تلفات حرارتی هوای بعد از کمپرسور و قبل از خنک‌ساز ثانوی استفاده شود.

حرارت دریافتی از هوای گرم و مرطوب، قبل از خنک‌ساز ثانوی، حجم هوای تحویلی توسط آن را افزایش می‌دهد. سپس هوای گرم مرطوب به داخل خنک‌ساز ثانوی هدایت می‌شود و فرآیند ادامه می‌یابد. به منظور حفظ دما و بهره‌حجمی، شبکه لوله‌کشی تا نقطه مصرف باید عایق‌بندی شود. روش بازیافت حرارت تلف شده در فرآیند فشرده‌سازی، تمام مایع حاصل از میعان را خارج می‌نماید مگر اینکه دمای هوای تولیدی به زیر دمای خروجی خنک‌ساز ثانوی برسد.

از گرم‌کننده‌های هوا برای بدست آوردن بهره‌حجمی می‌توان استفاده نمود. باید دقت نمود که چنانچه از این روش استفاده گردد احتمال احتراق روغن کمپرسور حتی‌الامکان حذف شده باشد.

## ۱۳ - دریافت‌کننده‌ها<sup>۳</sup>

سازندگان، معمولاً دریافت‌کننده‌هایی با حداقل حجمی برابر با ۱۰ درصد خروجی کمپرسورهای نصب شده در یک دقیقه را توصیه می‌کنند. ظرفیت‌های اضافی دریافت‌کننده می‌تواند در تأمین تقاضاهای اوج در دوره‌های

<sup>1</sup> Forging Hammer

<sup>2</sup> Condensate

<sup>3</sup> Receivers

کوچک مفید باشد، زیرا که در غیر این صورت این تقاضاها باعث کاهش فشار می‌گردند، مگر اینکه ظرفیت کمپرسور نصب شده بیش از نیاز واقعی باشد. نصب دریافت‌کننده در قسمت‌های دور از شبکه توزیع و نزدیک نقاط پر مصرف به تنظیم فشار سیستم و اجتناب از کاهش فشار کمک می‌کند.

۱۴ - مکان

کمپرسورها را بستگی به وظیفه‌ای که دارند می‌توان در یک اتاق کمپرسور مرکزی و یا در محل‌های انفرادی نصب نمود.

ماشین‌های گردان مدرن با سر و صدای کم را می‌توان در مکانهای پراکنده و مختلف نصب نمود که این عمل می‌تواند در کاهش لوله‌کشی شبکه توزیع، تامین تقاضاهای بزرگ در نقطه مصرف و فراهم آوردن گرمایش فضا در هر محل با استفاده از سیستم‌های بازیافت حرارت، مفید باشد. سیستم‌های کنترل مدرن و پیشرفته می‌توانند عمل کنترل غیرمتمرکز این سیستم‌ها را بعهدہ گیرند.

یک سیستم متمرکز دارای مزایای خاصی می‌باشد که از آن جمله هزینه نظارت ارزان و نصب ساده‌تر می‌باشد. همچنین در یک سیستم متمرکز می‌توان از کمپرسورهایی با تعداد کمتر و قدرت بیشتر استفاده نمود که دارای بازده بهتر بوده و ضریب بهره‌برداری را افزایش می‌دهند.

۱۵ - نصب

با طراحی و نصب خوب کمپرسورها می‌توان به صرفه‌جویی در مصرف انرژی دست یافت. هوای ورودی باید از محیط‌های حتی‌المقدور خنک گرفته شود. با تغییر محل هوای ورودی از داخل اتاق کمپرسور به یک محل خنک در خارج ساختمان (با یک کاهش دمای حدوداً ۶ درجه سانتیگراد) می‌توان افزایشی معادل ۲ درصد در خروجی کمپرسور را بدست آورد. البته باید دقت کرد که هوا از یک محیط تمیز کشیده شود و مسیرهای بکاربرده شده برای انتقال هوا محدودیتی را ایجاد ننماید.

خنک‌سازی کمپرسور از نقطه نظر مصرف انرژی و قابلیت اطمینان دستگاه بسیار مهم می‌باشد. اگر ماشین توسط هوا خنک می‌شود، باید برای اطمینان او عملکرد ماشین در حداکثر بازده، تهویه‌های مناسب فراهم شود. اگر کمپرسور توسط آب خنک می‌شود، بمنظور جلوگیری از جرم‌گرفتگی باید از آب تصفیه شده استفاده گردد و یا از یک سیکل مدار بسته استفاده شود. همچنین برای حفظ بازده، دمای آب ورودی باید در حداقل ممکن نگه داشته شود. از آنجا که موتورهای الکتریکی و پوشش کمپرسورها مقداری تشعشع حرارتی دارند، حتی در ماشین‌هایی که توسط آب خنک می‌شوند بایستی تهویه‌های مناسب فراهم شود.

۱۶ - بازیافت حرارت

عمل فشرده‌سازی هوا انرژی زیادی مصرف می‌کند. اما مقدار خیلی کمی از این انرژی به صورت حرارت همراه هوای فشرده به خروجی منتقل می‌گردد. بیش از ۹۰ درصد این انرژی توسط عملیات خنک‌سازی خارج شده و یا توسط تشعشع تلف می‌شود.

این حرارت دارای درجه کم در حدود  $80^{\circ}C$  می باشد و همین موضوع استفاده از آن را مشکل می سازد. با این حال توسط سیستم های خاص در حدود ۸۰ درصد آن قابل بازیافت می باشد. جدول ۷ مقدار بازیافت حرارتی از یک سری کمپرسور پیچی خنک شونده توسط هوا در بار کامل را نشان می دهد. حرارت واقعی موجود به بار کمپرسور بستگی خواهد داشت.

جدول ۱: مثالی در مورد هزینه های جاری انواع گرم کننده ها				
۵ تغییر هوا در ساعت <sup>۱</sup>		دو تغییر هوا در ساعت <sup>۱</sup>		نوع گرم کننده
هزینه جاری سالانه (£)	هزینه سرمایه گذاری اولیه (£)	هزینه جاری سالانه (£)	هزینه سرمایه گذاری اولیه (£)	
۱۶,۰۰۰	۳۰,۰۰۰	۸,۰۰۰	۱۵,۰۰۰	هوای گرم غیرمستقیم
۱۳,۰۰۰	۴۰,۰۰۰	۶,۵۰۰	۲۰,۰۰۰	هوای گرم مستقیم <sup>۲</sup>
۱۲,۵۰۰	۴۰,۰۰۰	۶,۲۰۰	۲۰,۰۰۰	هوای گرم تراکمی <sup>۲</sup>
۹,۰۰۰	۳۰,۰۰۰	۵,۳۰۰	۱۵,۰۰۰	تشنه لوله ای <sup>۳</sup>

اگر از سیستم کانال کشی برای انتقال هوا استفاده گردد، باید اطمینان یافت که هیچ مانعی در برابر جریان آزاد هوای خنک ایجاد نکند که باعث کاهش بازده کمپرسور می گردد. سازندگان کمپرسور معمولاً حداکثر طول مشخصی را برای کانال کشی مجاز می دانند که می تواند برای عملیات بازیافت حرارت مورد استفاده قرار گیرد. اگر طول های بلندتری لازم باشد باید از فن های کمکی جهت به حرکت درآوردن هوا استفاده نمود.

از هوای گرم داخل کانال کشی برای گرمایش فضا و فرآیندهای تولید استفاده می گردد. سیستم کانال کشی باید به گونه ای طراحی شود که بتواند هوای گرم را در زمانهایی که به گرمایش فضا نیاز نیست موقتاً ذخیره نماید.

صرفه جویی های مشابهی نیز می تواند از ماشین های خنک شونده توسط آب به دست آید بدین صورت که حرارت موجود در آب با خروجی از خنک ساز، بازیابی شود. برای این منظور استفاده هایی همچون تأمین آب گرم مصرفی و افزایش دمای آب تغذیه دیگ بخار و آب مصرفی فرآیندها ممکن می باشد.

تجهیزات صرفه جویی انرژی که برای کمپرسورهای پیچی خنک شونده با هوا، وجود دارند آب گرم را توسط انرژی موجود در روغن خنک ساز کمپرسور فراهم می نمایند.

می توان صرفه جویی های عمده ای از طریق چرخاندن کمپرسورها با موتورهای احتراقی و استفاده از حرارت خروجی از موتور و کمپرسور کسب کرد.