راهنمای هوای فشرده

Compressed Air Manual

مقدمه مولف :

کتاب راهنمای هوای فشرده ، مرجعی است برای افرادی که تمایل دارند اطلاعات بیشتری درباره هوای فشرده بدانند . این چاپ که ششمین چاپ است در مقایسه با چاپ های قبلی که آخرین آن در سال ۱۹۷۶ منتشر شده است ، گسترده تر، روزآمدتر و بهینه تر می باشد . بدیهی است ، در طی این بیست سال یا بیشتر ، وقایع زیادی رخ داده است . با این وجود، اصول اولیه آن حفظ شده است و هسته مرکزی این کتاب راهنما ، خواسته ی بسیاری افراد را تشکیل می دهد.

این کتاب راهنما اصول بنیادی تئوری و عملی را به افرادی که بطور روزمره با هوای فشرده کار می کنند ،از روابط تئوریک گرفته تا نکات و پیشنهادات عملی پیشرفته، نشان می دهد . از جمله اطلاعات اصلی که به این چاپ افزوده شده است ، توجه هر چه بیشتر به جنبه های محیطی مرتبط با مسائل کیفیت هوا ، بهینه سازی در مصرف انرژی و اقتصاد هوای فشرده است . بعلاوه ، در این کتاب راهنما مثال های محاسباتی جداگانه ، جدول اطلاعاتی مفید و فهرست کاملی از کلمات کلیدی گنجانده ایم . مضامین این کتاب راهنما توسط تکنسین های برجسته هوای فشرده خودمان تهیه شده است و من امیدوار هستم که بخش های مختلف این کتاب بتواند هم برای تازه واردان به عنوان کتاب درسی و هم برای کاربران با تجربه تر به عنوان کتاب مرجع مورد استفاده قرار گیرد.

به اعتقاد من این کتاب مفید و حتی از نظر بسیاری افراد که در این صنعت مشغول به کار هستند ، سرگرم کننده نیز می باشد. به طور حتم به کمک این کتاب جواب بسیاری از سؤالات خود را بدست خواهید آورد و این در حالی است که دیگران برای رسیدن به پاسخ سؤالات خود به تحقیقات بیشتری در این زمینه نیازمند هستند . در این خصوص به عقیده من ، خواننده می تواند با مراجعه به ادامه مبحث در کتاب از طریق پشتیبانی و ساختار تأمین شده پاسخ سوالات را بدست آورد . بدین ترتیب ، خوانندگان می توانند برای بدست آوردن پاسخ سؤالات مشکل خود ، با ما تماس حاصل نمایند .

استوک هولم ، سپتامبر ۱۹۹۸
اطلس کوپکو کمپرسور AB
مدیر عامل : رابرت رابرستون

بـخش اول :

تئوری

بـخش دوم :

کمپرسورها و تجهیزات کمکی

بـخش سوم :

برآورد ظرفیت تأسیسات کمپرسور

بـخش چهـارم :

اقتصاد

بـخش پـنجم :

محاسبات

بـخش ششم :

کمیت ها . واحدها و نمادها

بخش اول : تئوری

۱-۱ فیزیک کلی (Physics General)

۱-۱-۱ ساختمان ماده (The structure of matter)

۱-۱-۲ مولکول و حالات مختلف ماده(The molecule and the different States of matter)

۱-۲ واحدهای فیزیکی (Physical units)

۱-۲-۱ فشار (Pressure)

۱-۲-۲ دما (Temperature)

۱-۲-۳ ظرفیت گرمایی (Thermal capacity)

۱-۲-۴ کار (Work)

۱-۲-۵ توان (Power)

۱-۲-۶ مقدار حجم جاری (Volume Rate of flow)

۱-۳ ترمودینامیک (Thermodynamics)

۱-۳-۱ اصول عمده (Main principles)

۱-۳-۲ قوانین گاز (Gas laws)

۱-۳-۳ انتقال حرارت (Heat transfer)

۱-۳-۴ تغییرات در حالت (Changes in state)

۱-۳-۴-۱ فرایند هم حجمی (Isochoric process)

۱-۳-۴-۲ فرایند هم فشاری (Isobaric process)

۱-۳-۴-۳ فرایند هم دمایی (Isothermic process)

۱-۳-۴-۴ فرایند هم دمائی بدون تبادل گرمایی با محیط (Isentropic process)

۱-۳-۴-۵ فرایند چند سانی (Polytropic process)

۱-۳-۵ عبور جریان گاز از یک مجرا (Gas flow through a nozzle)

۱-۳-۶ عبور جریان از درون لوله ها (Flow through pipes)

۱-۳-۷ تنظیم مجرا (Throttling)

۱-۴ هوا (Air)

۱-۴-۱ بررسی کلی هوا (Air in general)

۱-۴-۲ هوای مرطوب (Moist air)

۱-۵ انواع کمپرسورها (Types of compressors)

۱-۵-۱ دو اصل اساسی (Two basic principles)

۱-۵-۲ کمپرسورهای جابجایی (Displacement compressors)

۱-۵-۳ نمودار کمپرسور برای کمپرسورهای جابجایی(Compressor diagram for displacement compressors)

۱-۵-۴ کمپرسورهای دینامیکی (Dynamic compressors)

۱-۵-۵ تراکم در چندین مرحله (Compression in several stages)

۱-۵-۶ مقایسه بین کمپرسورهای جابجایی و گریز از مرکز
(Comparison between displacement and centrifugal compressors)

۱-۶ **الکتریسیته** (Electricity)

۱-۶-۱ مجموعه اصطلاحات و تعاریف پایه ای (Basic terminology and defimitions)

۱-۶-۲ قانون اهم برای جریان متناوب (Ohm's law for alternating current)

۱-۶-۳ سیستم سه فاز (Three-phase system)

۱-۶-۴ توان (Power)

۱-۶-۵ موتور الکتریکی (The electric motor)

۱-۶-۵-۱ سرعت چرخش (Rotation speed)

۱-۶-۵-۲ راندمان (Efficiency)

۱-۶-۵-۳ طبقه بندی عایق (Insulation class)

۱-۶-۵-۴ کلاس های محافظت (Protection classes)

۱-۶-۵-۵ روش های خنک کاری (Cooling methods)

۱-۶-۵-۶ روش نصب تجهیزات (Installation method)

۱-۶-۵-۷ اتصالات ستاره (Y) و مثلث (Δ) (Star (Y) and delta (Δ) connections)

۱-۶-۵-۸ گشتاور (Torque)

بخش دوم : کمپرسورها و تجهیزات کمکی

۲-۱ **کمپرسور های جابجایی** (Displacement compressors)

۲-۱-۱ کمپرسور های جابجایی بطور کلی (Displacement compressors in general)

۲-۱-۲ کمپرسور های پیستونی (Piston compressors)

۲-۱-۳ کمپرسورهای پیستونی روغنکاری نشونده (Oil-free piston compressors)

۲-۱-۴ کمپرسورهای دیافراگمی (Diaphragm compressors)

۲-۱-۵ کمپرسور های مار پیچی (Screw compressors)

۲-۱-۵-۱ کمپرسورهای مارپیچی روغن کاری نشونده (Oil-free screw compressors)

۲-۱-۵-۲ کمپرسورهای مارپیچی مایع تزریقی (Liquid injected screw compressors)

۲-۱-۶ کمپرسور دندانه دار (Tooth compressor)

۲-۱-۷ کمپرسور فرفره ای (Scroll compressor)

۲-۱-۸ کمپرسور پره ای (Vane compressor)

۲-۱-۹ کمپرسور حلقه روغنی (Liquid-ring compressor)

۲-۱-۱۰ دمنده ها (Blowers)

۲-۲ **کمپرسور های دینامیک** (Dynamic compressors)

۲-۲-۱ بررسی کلی کمپرسور های دینامیکی (Dynamic compressors in general)

۲-۲-۲ کمپرسورهای گریز از مرکز (Centrifugal compressors)

۲-۲-۳ کمپرسورهای محوری (Axial compressors)

۲-۳ **کمپرسور های دیگر** (Other compressors)

۲-۳-۱ پمپ های خلاء (Vacuum pumps)

۲-۳-۲ کمپرسورهای کمکی (Booster compressors)

۲-۳-۳ تشدید کننده های فشار (Pressure intensifiers)

۲-۴ تصفیه سازی هوای فشرده (Treatment of compressed air)

۲-۴-۱ خشک کردن هوای فشرده (Drying compressed air)

۲-۴-۱-۱ پس خنک کاری (Aftercooler)

۲-۴-۱-۲ خشک کن تبریدی (Refrigerant dryer)

۲-۴-۱-۳ تراکم بیش از حد (Over-compression)

۲-۴-۱-۴ خشک کردن جذبی نافذ (Absorption drying)

۲-۴-۱-۵ خشک کردن جذبی سطحی (Adsorption drying)

۲-۴-۲ صافی ها (Filters)

۲-۵ سیستم های کنترل و تنظیم (Control and Regulation systems)

۲-۵-۱ بررسی کلی تنظیم (Regulation, general)

۲-۵-۲ قواعد کلی در تنظیم کمپرسور های جابجایی (Regulation principles for displacement compressors)

۲-۵-۲-۱ فشار شکن (Pressure relief)

۲-۵-۲-۲ مسیر جنبی (Bypass)

۲-۵-۲-۳ نظیم مجرای ورودی (Throttling the intake)

۲-۵-۲-۴ فشار شکن به همراه تنظیم مجرای ورودی (Pressure relief with throttled intake)

۲-۵-۲-۵ روشن کردن / خاموش کردن (start / stop)

۲-۵-۲-۶ تنظیم سرعت (Speed regulation)

۲-۵-۲-۷ مجرای تخلیه متغییر (Variable discharge port)

۲-۵-۲-۸ بی بارسازی شیر مکش (Suction valve unloading)

۲-۵-۲-۹ ضریب مجاز حجم (Clearance volume)

۲-۵-۲-۱۰ بار دهی ـ بی بار سازی ـ خاموش (Load – unload – stop)

۲-۵-۳ قواعد تنظیم در کمپرسور های دینامیکی (Regulation principles for dynamic compressors)

۲-۵-۳-۱ تنظیم مجرای ورودی (Throttling the intake)

۲-۵-۳-۲ پره های راهنمای مجرای ورودی (Inlet guide vanes)

۲-۵-۳-۳ پره های راهنمای مجرای خروجی ((Outlet guide vanes (diffuser))

۲-۵-۳-٤ فشار شکن (Pressure relief)

۲-۵-۳-۵ باردهی ـ بی بار سازی ـ خاموش (Load – unload – stop)

۲-۵-۳-٦ تنظیم سرعت (Speed regulation)

۲-۵-٤ کنترل و فرابینی (Control and monitoring)

۲-۵-۴-۱ اصول کلی (General)

۲-۵-۴-۲ باردهی ـ بی بار سازی ـ خاموش (Load – unload – stop)

۲-۵-۴-۳ کنترل سرعت (Speed control)

۲-۵-۵ کنترل و فرابینی (Control and monitoring)

۲-۵-۵-۱ اندازه گیری دما (Temperature measurement)
۲-۵-۵-۲ اندازه گیری فشار (Pressure measurement)
۲-۵-۵-۳ فرا بینی (Monitoring)
۲-۵-٦ سیستم کنترل جامع (Comprehensive control system)
۲-۵-٦-۱ انتخابگر راه اندازی مراحل (Starting sequence selector)
۲-۵-۷ کنترل مرکزی (Central control)
۲-۵-۸ فرابینی از راه دور (Remote monitoring)

بخش سوم : برآورد ظرفیت تأسیسات کمپرسور

۳-۱ برآورد ظرفیت تأسیسات فشرده سازی هوا (Dimensioning compressor installations)
۳-۱-۱ بررسی کلی (General)
۳-۱-۱-۱ محاسبه فشار کاری (Calculating the working pressure)
۳-۱-۱-۲ محاسبه هوای مورد نیاز (Calculation the air requirement)
۳-۱-۱-۳ اندازه گیری مقدار هوای مورد نیاز (Measuring the air requirement)
۳-۱-۲ تمرکز یا عدم تمرکز (Centralisation or decentralisation)
۳-۱-۲-۱ بررسی کلی (General)
۳-۱-۲-۲ تأسیسات متمرکز فشرده سازی هوا (Centralised compressor installations)
۳-۱-۲-۳ تأسیسات فشرده سازی هوای غیر متمرکز (Decentralised compressor installations)
۳-۱-۳ اندازه گیری در ارتفاع بالا (Dimensioning at high altitude)
۳-۱-۳-۱ بررسی کلی (General)
۳-۱-۳-۲ تأثیر بر روی یک کمپرسور (The effect on a compressor)
۳-۱-۳-۳ منبع توان (Power source)
۳-۱-۳-۳-۱ موتورهای الکتریکی (Electric motors)
۳-۱-۳-۳-۲ ماشین های احتراقی (Combustion engines)

۳-۲ تصفیه هوا (Air treatment)
۳-۲-۱ بررسی کلی (General)
۳-۲-۲ بخار آب در هوای فشرده (Water vapour in the compressed air)
۳-۲-۳ روغن در هوای فشرده (Oil in the compressed air)
۳-۲-۴ میکرو ارگانیسم ها در هوای فشرده (Microorganisms in the compressed air)
۳-۲-۵ صافی ها (Filters)
۳-۲-۶ پس سردکن ها (Aftercooler)
۳-۲-۷ جدا کننده آب (Water separator)
۳-۲-۸ قطرات کوچک روغن (Oil as droplets)

۳-۳ سیستم خنک کننده (Cooling system)
۳-۳-۱ کمپرسورهای آب خنک کاری شونده (Water cooled compressors)
۳-۳-۱-۱ بررسی کلی (General)

۳-۳-۱-۲ سیستم باز بدون گردش آب (Open system without circulating water)
۳-۳-۱-۳ سیستم باز با گردش آب (Open system with circulating water)
۳-۳-۱-۴ سیستم مدار بسته (Closed system)

۳-۴ بازیافت انرژی (Energy recovery)
۳-۴-۱ بررسی کلی (General)
۳-۴-۲ محاسبه پتانسیل بازیافت (Calculation of the recovery potential)
۳-۴-۳ روش های بازیافت (Recovery methods)
۳-۴-۳-۱ بررسی کلی (General)
۳-۴-۳-۲ سیستم های هوا خنک (Air cooled systems)
۳-۴-۳-۳ سیستم های آب خنک (Water cooled systems)

۳-۵ اتاقک کمپرسور (The compressor room)
۳-۵-۱ بررسی کلی (General)
۳-۵-۲ جانمائی و طراحی (Placement and design)
۳-۵-۳ زیر بنا (Foundation)
۳-۵-۴ هوای ورودی (Intake air)
۳-۵-۵ تهویه اتاقک کمپرسور (Compressor room ventilation)

۳-۶ ساختار شبکه هوای فشرده (The compressed air network's structure)
۳-۶-۱ بررسی کلی (General)
۳-۶-۱-۱ مخزن ذخیره هوا (Air receiver)
۳-۶-۲ طراحی شبکه هوای فشرده (Design of the compressed air network)
۳-۶-۳ برآورد ظرفیت شبکه هوای فشرده (Dimensioning the compressed air network)
۳-۶-۴ اندازه گیری جریان (Flow measurement)

۳-۷ کمپرسور های قابل حمل (Portable compressors)
۳-۷-۱ بررسی کلی (General)
۳-۷-۲ خروج گاز و سر و صدا (Noise and gaseous emissions)
۳-۷-۳ دامنه فشار (Pressure range)

۳-۸ تأسیسات الکتریکی (Electrical installation)
۳-۸-۱ بررسی کلی (General)
۳-۸-۲ موتورها (Motors)
۳-۸-۳ روش های راه اندازی (Starting methods)
۳-۸-۴ کنترل ولتاژ (Control voltage)
۳-۸-۵ محافظت مدار اتصال کوتاه (Short-circuit protection)
۳-۸-۶ کابل ها (Cables)

۳-۸-۷ تعادل فاز (Phase compensation)

۳-۹ صدا (Sound)
۳-۹-۱ بررسی کلی (General)
۳-۹-۲ فشار صدا (Sound pressure)
۳-۹-۳ جذب (Absorption)
۳-۹-۴ ضریب ثابت اتاق (Room constant)
۳-۹-۵ انعکاس (Reverberation)
۳-۹-۶ رابطه بین توان صدا و فشار صدا (Relation between sound power and sound pressure)
۳-۹-۷ اندازه گیری صدا (Sound measurements)
۳-۹-۸ رابطه متقابل چندین منبع صدا (Interaction of several sound sources)
۳-۹-۹ کاهش صدا (Sound reduction)
۳-۹-۱۰ سر و صدای ایجاد شده توسط تأسیسات کمپرسور (Noise with compressor installations)

۳-۱۰ استانداردها ، قوانین و تمهیدات (Standards , laws and provisions)
۳-۱۰-۱ بررسی کلی (General)
۳-۱۰-۲ استانداردها (Standards)

بخش چهارم : اقتصاد

۴-۱ اقتصاد (Economy)
۴-۱-۱ هزینه های تولید هوای فشرده (Costs for compressed production)
۴-۱-۱-۱ بررسی کلی (General)
۴-۱-۱-۲ تخصیص هزینه ها (Apportioning costs)

۴-۲ فرصت هایی برای صرفه جویی (Opportunities for saving)
۴-۲-۱ توان مورد نیاز (Power requirement)
۴-۲-۲ فشار کاری (Working pressure)
۴-۲-۳ مصرف هوا (Air consumption)
۴-۲-۴ روش کنترل (Regulation method)
۴-۲-۵ کیفیت هوا (Air quality)
۴-۲-۶ بازیافت انرژی (Energy recovery)
۴-۲-۷ نگهداری (Maintenance)
۴-۲-۷-۱ تجهیزات کمکی (Auxiliary equipment)

۴-۳ عوامل اقتصادی دیگر (Other economic factors)
۴-۳-۱ بررسی کلی (General)
۴-۳-۲ هزینه چرخه عمر (LCC)

بخش پنجم : محاسبات

۵-۱ مثال ، برآورد ظرفیت تأسیسات هوای فشرده (Example of dimensioning compressed air installations)

۵-۲ داده های ورودی (Input data)

۵-۲-۱ مقتضیات (Requirement)

۵-۲-۲ شرایط محیطی (برآورد ظرفیت) (Ambient conditions (dimensioning))

۵-۲-۳ موارد متفرقه (Miscellaneous)

۵-۳ انتخاب اجزاء تشکیل دهنده (Component selection)

۵-۳-۱ برآورد ظرفیت کمپرسور (Dimensioning the compressor)

۵-۳-۲ فرضیاتی برای محاسبه مستمر (Assumption for the continued calculation)

۵-۳-۳ برآورد ظرفیت حجم مخزن ذخیره هوا (Dimensioning of the air receiver volume)

۵-۳-۴ برآورد ظرفیت خشک کن (Dimensioning of the dryer)

۵-۳-۵ فرضیاتی برای محاسبه مستمر (Assumptions for the continued calculation)

۵-۳-۶ محاسبات کنترل (Control calculations)

۵-۴ اندازه گیری های دیگر (Other dimensioning)

۵-۴-۱ محاسبه کمیت آب تقطیر (Condensation quantity calculation)

۵-۴-۲ مقتضیات تهویه در اتاقک کمپرسور (Ventilation requirement in the compressor room)

۵-۵ (ضمیمه ۱) در ارتفاع بالا (At high altitude (Addition 1))

۵-۶ (ضمیمه ۲) خروجی متناوب (Intermittent output (Addition 2))

۵-۷ (ضمیمه ۳) بازیافت انرژی آب بردی (Water borne energy recovery (Addition 3))

۵-۷-۱ فرض (Assumption)

۵-۷-۲ محاسبه جریان آب خنک کننده در مدار بازیافت انرژی

۵-۷-۳ تعادل انرژی در مبدل حرارتی بازیافت (Energy balance across the recovery heat exchanger)

۵-۷-۴ جمع آوری پاسخ (Compilation of the answer)

۵-۸ (ضمیمه ۴) افت فشار در سیستم لوله کشی (Pressure drop in the piping (Addition 4))

بخش ششم : کمیت ها . واحدها و نمادها

۶-۱ استاندارد سیستم بین المللي متریک (The SI -system)

۶-۲ نمادهای نقشه کشی (Drawing symbols)

۶-۳ نمودارها و جداول (Diagrams and tables)

۶-۴ گردآوری استانداردها و اصطلاحات رایج (Compilation of current standards and norms)

۶-۴-۱ قوانین و استانداردهای مربوط به ایمنی (Safety related regulation and standards)

۶-۴-۱-۱ ایمنی دستگاه (Machine safety)

۶-۴-۱-۲ ایمنی فشار (Pressure safety)

۶-۴-۱-۳ محیط (Environment)

۶-۴-۱-۴ ایمنی الکتریکی (Electrical safety)

۶-۴-۲ اصطلاحات و استانداردهای تکنیکی (Technical related standards and norms)

۶-۴-۲-۱ استاندارد سازی (Standardization)

۶-۴-۲-۲ مشخصات (Specification)

۶-۴-۲-۳ مقیاسها (Measurements)

بخش اول

تئوری

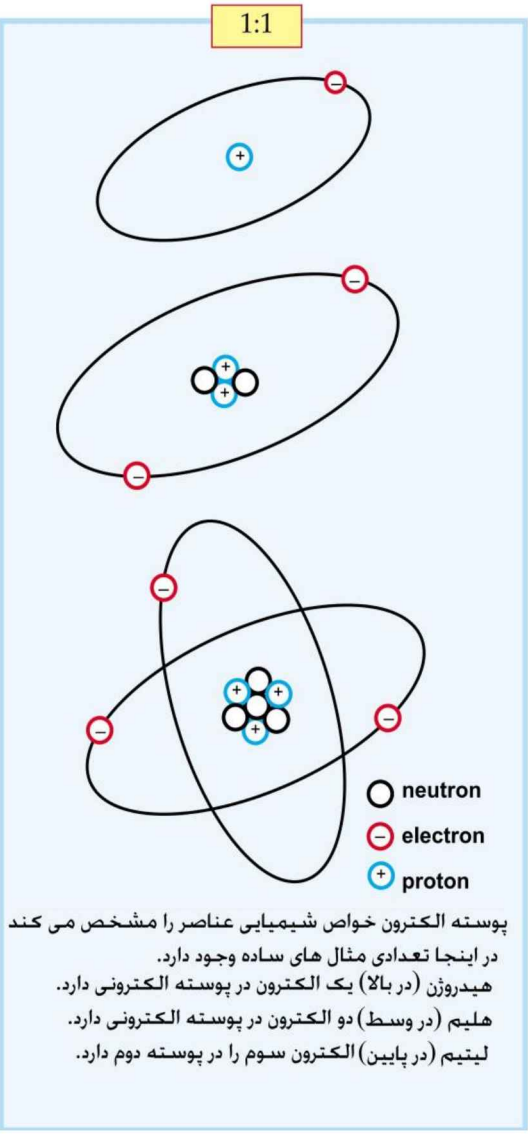
۱-۱ فیزیک کلی (Physics General)

۱-۱-۱ ساختمان ماده (The structure of matter)

اصولاً ماده از پروتون ها ، نوترون ها و الکترون ها تشکیل شده است . با این وجود ساختارهای واحد دیگری نیز وجود دارند که باثبات نیستند .

این ذرات با چهار ویژگی : بار الکتریکی, جرم ساکن, اندازه حرکت مکانیکی و اندازه حرکت مغناطیسی شان شناخته می شوند. تعداد پروتون ها در هسته اتم با عدد اتمی اتم مساوی و مجموع تعداد پروتون ها و نوترون ها تقریباً با جرم کلی اتم مساوی است ; داده هایی که می توان آنها را از جدول تناوبی (مندلیف) استفاده نمود.

تعداد الکترون های موجود در پوسته الکترون با تعداد نوترون های موجود در هسته مساوی است بدین لحاظ الکتریکی خنثی است.



پوسته الکترون خواص شیمیایی عناصر را مشخص می کند
در اینجا تعدادی مثال های ساده وجود دارد.
هیدروژن (در بالا) یک الکترون در پوسته الکترونی دارد.
هلیم (در وسط) دو الکترون در پوسته الکترونی دارد.
لیتیم (در پایین) الکترون سوم را در پوسته دوم دارد.

فیزیکدان دانمارکی ، نیلز بوهر ، در اوایل سال ۱۹۱۳ از میان دیگران ، نظریه ای ارائه نمود که نشان داد با واقعیت مطابقت دارد . او نشان داد که اتم ها فقط در یک حالت ساکن و با انرژی معینی می توانند ظاهر شوند . اگر اتم از یک حالت انرژی به حالت دیگری از انرژی تغییر شکل دهدمقدار تشعشعی به اندازه یک فوتون از خود ساطع می کند.

این همان گذارهای گوناگونی است که خودشان را به شکل نور با طول موج های مختلف نشان می دهند. این نورها در یک طیف نگار به صورت خطوط طیف رنگی مرئی اتم ، ظاهر می شوند .

۱-۱-۲ مولکول و حالت های مختلف ماده

(The molecule and the different States of matter) مولکول اتم هایی است که بوسیله پیوند شیمیایی در کنار یکدیگر نگه داشته می شوند. مولکول ها به اندازه ای کوچک هستند که یک میلی متر مکعب هوا در فشار اتمسفری, تقریباً $2/55 \times 10^{16}$ مولکول را در بر دارد .

همه مواد در اصل به چهار حالت متفاوت: جامد ، مایع ، گاز و پلاسما وجوددارند . در حالت جامد ، مولکول ها بصورت مستحکمی در یک شبکه به یکدیگر متصل هستند وبه هرمیزان که ارتعاش اطراف یک وضعیت متعادل ،تندتر باشد درجه حرارت بیشتر می شود.

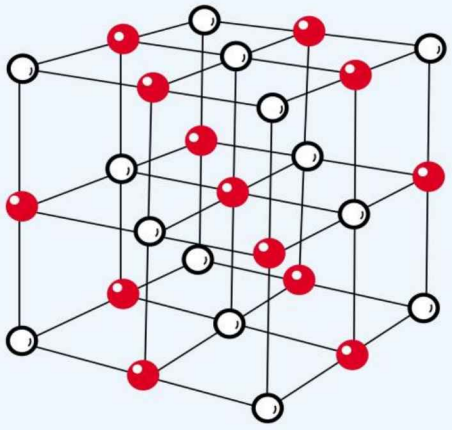
در تمام درجه حرارت های بالای صفر مطلق ، مولکول ها مقدار معینی جنبش دارند.

وقتی به ماده ای در حالت جامد آنقدر گرما داده شود که ساختار صلب شبکه نتواند از جنبش مولکول ها ممانعت کند ، مولکول ها شل شده، ماده ذوب می گردد و به مایع تبدیل می شود .

اگر به مایع بیشتر گرما داده شود ، پیوند مولکول ها شکسته شده, در هنگام انبساط به تمام جهات حرکت میکنـد و بـه گـاز تبدیل می شود و با گازهای موجود دیگر در اتاق مخلوط می گردد . وقتی مولکول های گاز سرد می شوند ، سرعتشان کاهش می یابد ,دوباره به یکدیگر متصل می شوند و میعان شروع می شود با وجوداین اگر مولکول های گاز بیشـتر گـرم شـوند ، بـه ذرات مجزائی شکسته می شوند و پلاسمائی از الکترون ها و ذرات اتمی تشکیل می دهند.

پوسته الکترونی ، ویژگی های شیمیایی به عناصر مـی دهـد . اینجـا چنـد مثال ساده وجود دارد. هیدروژن (بالایی) دارای یک الکتـرون در پوسـته الکترونی, هیلیوم (وسطی) دارای دو الکترون در یک پوسـته الکترونـی و لیتیوم (پایینی) دارای الکترون سوم در پوسته دوم الکترونی است .

1:2



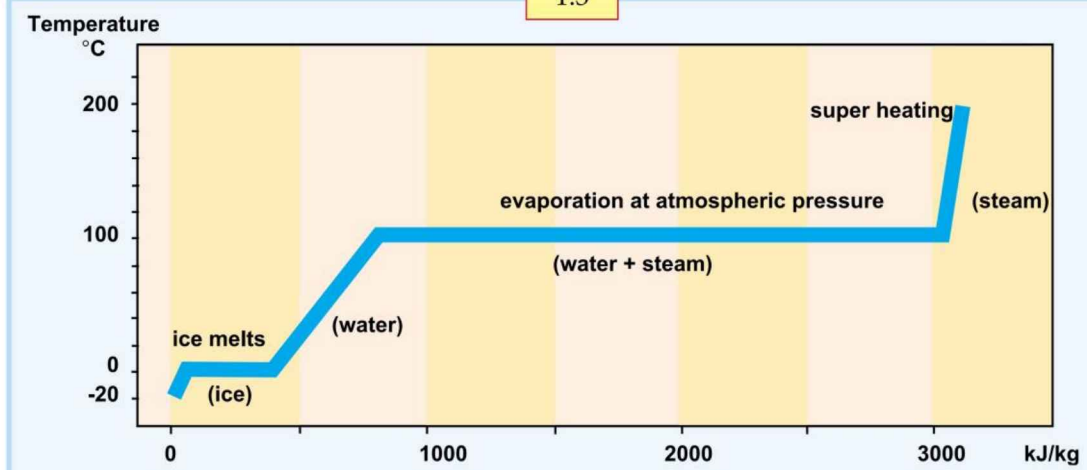
یک کریستال نمک دارای ساختار مکعبی شکل می باشد.
نمک طعام معمولی (NACL) یک مثال بارز است.
خطوط اتصال بین سدیم (قرمز) و کلر (سفید) را نشان می دهد.

۱-۲ واحدهای فیزیکی (Physical units)

۱-۲-۱ فشار (Pressure)

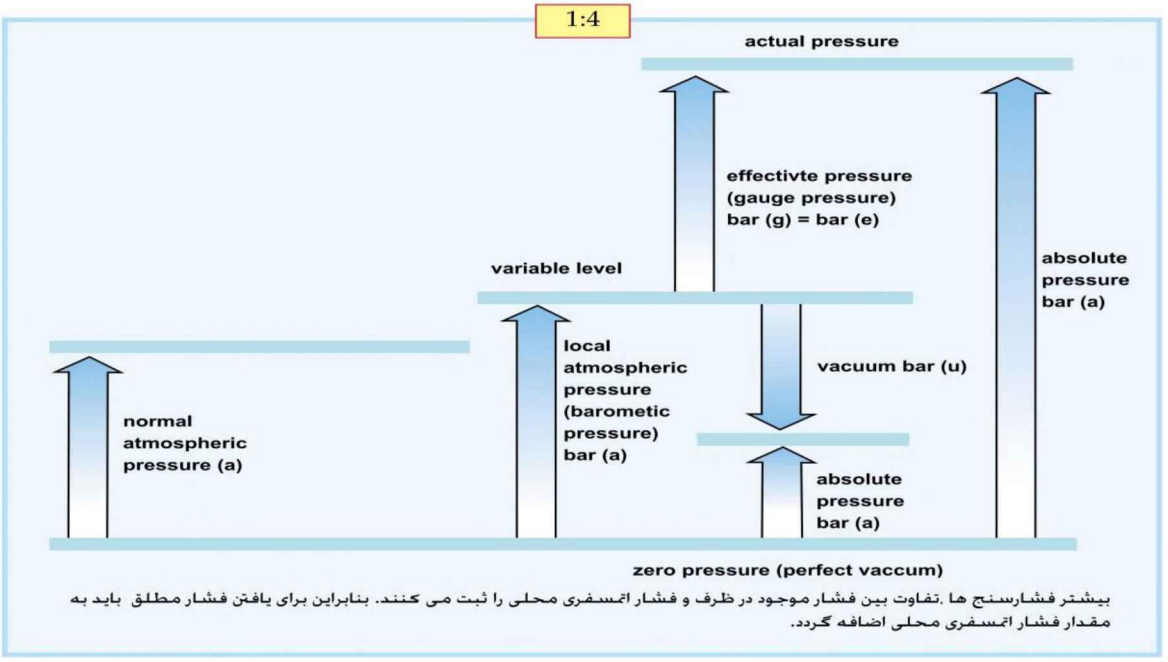
نیروی وارده بر روی سطح یک سانتی متر مربع ستونی از هوا ، که از سطح دریا به مرز اتمسفر حرکت می کند حدود ۱۰/۱۳ N است . بنابراین فشار مطلق اتمسفر در سطح دریا حدوداً $10/13 \times 10^4$ N بـر هـر متـر مربـع اسـت ایـن مقـدار۱ پاسکال (Pa) در واحد SI ، برای فشار نامیده می شود. هرمیزان ارتفاع از سطح دریا بالاتر باشد ,فشار اتمسفر پایین تر خواهد بود وبرعکس ($1bar = Pa\ 10^5$) .

1:3



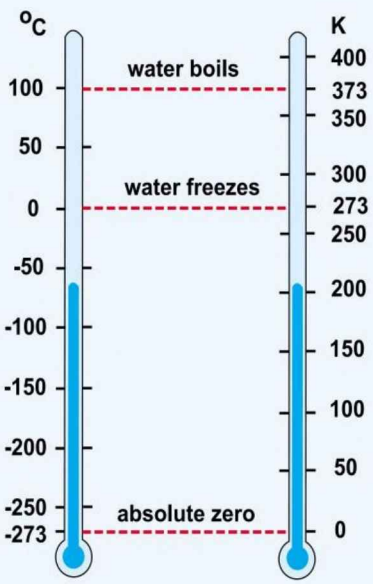
با شروع یا اعمال انرژی حرارتی حالت ماده تغییر می کند.بدین ترتیب چگونگی تغییر حالت آب ظاهر می شود.

1:4



بیشتر فشارسنج ها ،تفاوت بین فشار موجود در ظرف و فشار اتمسفری محلی را ثبت می کنند. بنابراین برای یافتن فشار مطلق باید به مقدار فشار اتمسفری محلی اضافه گردد.

1:5



رابطه بین مقیاسهای سلسیوس و کلوین بدین صورت نشان داده می شود.برای سلسیوس ،صفر درجه در نقطه انجماد یخ تنظیم می شود.
برای کلوین، صفر درجه در صفر مطلق تنظیم می شود.

۱-۲-۲ دما (Temperature)

تعریف شفاف از دمای یک گاز سخت تراز فشار آن است . دما معیاری از انرژی جنبشی در مولکول ها می باشد . آنها در درجه حرارت های بالاتر ، سریع تر حرکت می کنند و جنبش در صفر مطلق متوقف می شود. مقیاس کلوین، بر این اساس قرار دارد ، در غیر اینصورت ، همانند مقیاس سلسیوس درجه بندی می شود .

$T = t + 273/2$

$T =$ دمای مطلق (K)

$t =$ دما ($^{\circ}C$)

۱-۲-۳ ظرفیت گرمایی (Thermal capacity)

ظرفیت گرمایی دلالت بر مقدار گرمای مورد نیاز جهت افزایش دمای 1 Kg از یک ماده تا 1 K دارد. بدین ترتیب اندازه ظرفیت حرارتی خواهد بود . در نتیجه ظرفیت حرارت مولکولی بصورت $J / Kg \times K$ اندازه گیری می شود . $J / mol \times K$

علائم اختصاری به این شرح می باشد :

$c_p =$ ظرفیت حرارتی در فشار ثابت

$c_v =$ ظرفیت حرارتی در حجم ثابت

$C_p =$ ظرفیت حرارتی مولکولی در فشار ثابت

$C_v =$ ظرفیت حرارتی مولکولی در حجم ثابت

ظرفیت حرارتی در یک فشار ثابت همیشه از ظرفیت حرارتی در یک حجم ثابت ، بزرگتر است . بنابراین ، ظرفیت حرارتی برای یک ماده ، ثابت نیست و بطور کل به همراه دما افزایش می یابد .

برای کاربرد عملی اغلب یک مقدار میانگین مورد استفاده قرار می گیرد و این مقدار میانگین برای مایعات و جامدات چنین است ; $c_p \approx c_v \approx c$. بنابراین توان مصرفی مورد نظر برای گرما دادن به یک مقدار جرم از $t1$ تا $t2$ بدین صورت خواهد بود :

$$Q \approx m \times c \times (t2 - t1)$$

$Q =$ توان حرارتی (W)

$m =$ مقدار جرم (Kg / S)

$C =$ ظرفیت حرارتی ویژه(J / Kg x K)

$t =$ درجه حرارت (K)

اینکه چرا c_p از c_v بزرگتر است به کاری که گاز هنگام انبساط در فشار ثابت باید انجام دهد مربوط است .

رابطه بین c_p و c_v ، کاپا K نامیده می شود که تابعی از تعداد اتم های موجود در مولکول است .

$$K = \frac{c_p}{c_v} = \frac{C_p}{C_v}$$

۱-۲-۴ کار (Work)

کار مکانیکی عبارت است از, حاصلضرب یک نیرو در مسافتی که جسم تحت تأثیر آن نیرو پیموده ,درست همانند گرما.کار، یک انرژی است که از جسمی به جسم دیگر منتقل می شود با این تفاوت که کار یک نیرو است نه دما .

برای مثال ، فشردگی گاز را در سیلندر توسط یک پیستون متحرک در نظر بگیرید . فشردگی از طریق نیرویی ایجاد می شود که پیستون را حرکت می دهد . بطور همزمان ، انرژی از پیستون به گازی که در محیط بسته قرار دارد ، انتقال می یابد . این انتقال انرژی در معنی ترمودینامیک ،کار محسوب می شود مجموع انرژی اعمال شده و منتقل شده همیشه ثابت است .

کار می تواند نتایج متفاوتی داشته باشد مثلا به انرژی پتانسیل ، جنبشی یا حرارتی تبدیل شود.

کار مکانیکی که باعث ایجاد تغییراتی در حجم گاز یا ترکیب گاز شود از مهمترین فرایند های ترمودینامیکی محسوب می گردد . واحد اندازه گیری بین المللی برای کار ، ژول است .

$1 J = 1 Nm = 1 Ws$

۱-۲-۵ توان (Power)

توان ، کاری است که در واحد زمان انجام می شود . واحد اندازه گیری بین المللی برای توان ، وات است .

$1 W = 1 J/s$

به عنوان مثال ، مقدار توان یا انرژی وارده بر یک محور چرخان را می توان در یک کمپرسور به لحاظ کمی به گرمای خارج شده از سیستم و گرمای به کار گرفته شده در فشردن گاز ، شباهت داد .

۱-۲-۶ مقدار حجم جاری (Volume Rate of flow)

واحد اندازه گیری سیستم بین المللی برای مقدار حجم در حال حرکت ، m^3/s است . با وجود این وقتی صحبت دربارهٔ مقدار حجم در حال حرکت به میان می آید (برای مثال در یک کمپرسور) ، از واحد لیتر بر ثانیه (l/s) استفاده می شود .
این مقدار حجم در حال حرکت, ظرفیت کمپرسور نامیده می شود که یا به صورت نرمال لیتر/ ثانیه (Nl/s) و یا به عنوان مقدار هوای خروجی آزاد (l/s) بیان می گردد . با استفاده از واحد نرمال لیتر / ثانیه (Nl/s) مقدار هوای در حال حرکت را می توان دوباره به" حالت نرمال " مثلاً در ۱/۰۱۳ بار و 0° محاسبه کرد. این واحد ، زمانی که می خواهید مقدار جرم را تعیین کنید مورد استفاده قرار می گیرد.
با استفاده از مقدار هوای خروجی آزاد می توان مقدار هوای خروجی کمپرسور را دوباره به حالت ورودی استانداردش (فشار ورودی و دمای ورودی) محاسبه کرد. بدین ترتیب ، اگر بخواهیم محیط را از هوا پر کنیم ، می توانیم محاسبه کنیم که محیط مورد نظر برای پر شدن به چند لیتر هوا نیاز دارد . رابطه این دو مقدار حجم در حال حرکت بصورت زیر است (توجه کنید که فرمول زیر میزان رطوبت را به حساب نمی آورد) :

$$Q_i = \frac{Q_n \times (273 + T_i) \times 1.013}{273 \times P_i}$$

Q_i = مقدار حجم در حال حرکت به عنوان سرعت آزاد جریان هوا (l/s)

Q_n = مقدار حجم در حال حرکت به عنوان نرمال لیتر بر ثانیه (Nl/s)

T_i = دمای ورودی (C°)

P_i = فشار ورودی (بار)

۱-۳ ترمودینامیک (Thermodynamics)

۱-۳-۱ اصول عمده (Main principles)

اولین قانون اصلی علم ترمودینامیک ، قانون طبیعت است که نمی توان آن را اثبات کرد ولی بدون هیچ قید و شرطی پذیرفتنی است این قانون بیان می کند نه می توان انرژی را بوجود آورد و نه می توان آن را از بین برد ، از این رو می گوییم که انرژی کلی در یک سیستم بسته ، ثابت است . دومین قانون اصلی علم ترمودینامیک بیان می کند گرما هیچ گاه نمی تواند " به خودی خود " از یک منبع به منبع گرم تر منتقل شود . این اصل بدین معناست که انرژی فقط زمانی می تواند برای انجام کار در دسترس باشد که بتوان آن را از سطح درجه حرارت بالاتر به سطح حرارت پایین تری تبدیل کرد. بنابراین در یک موتور حرارتی ، تبدیل مقداری گرما به کار مکانیکی فقط زمانی می تواند روی دهد که قسمتی از این مقدار گرما بدون تبدیل شدن به کار بطور همزمان به وجود آید.

۱-۳-۲ قوانین گاز (Gas laws)

قانون بویل می گوید ، اگر درجه حرارت ثابت باشد ، حاصلضرب فشار و حجم نیز ثابت است . این رابطه بصورت زیر نوشته می شود :

$$p_1 \times V_1 = p_2 \times V_2$$

p = فشار مطلق (Pa)

V = حجم(m^3)

بنابراین اگر در حین تراکم ، حجم نصف شود فشار دو برابر می گردد .

بر طبق قانون چارلز ، حجم گاز رابطه مستقیمی با تغییر درجه حرارت دارد . این رابطه بصورت زیر نشان داده می شود :

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2} \Rightarrow \Delta V = \frac{V_1}{T_1} \times \Delta T$$

V = حجم (m^3)

T = درجه حرارت مطلق (K)

ΔV =تفاوت حجم

ΔT =تفاوت دما

قانون کلی حالت گازها ترکیبی از قانون چارلز و قانون بویل است . این قانون نشان می دهد که چگونه فشار ، حجم و درجه حرارت یکدیگر را تحت تأثیر قرار می دهند . وقتی یکی از این متغیرها تغییر نماید، این تغییر به حداقل یکی از دو متغیر دیگر تاثیر می گذارد. این قانون را می توان بصورت زیر نوشت :

$$\frac{p \times v}{T} = R =$$ ضریب ثابت گاز

p = فشار مطلق (Pa)

v = حجم مخصوص (m^3 /kg)

T = درجه حرارت مطلق (K)

R = $\bar{R} / M$ =درجه حرارت مطلق (J / kg x k)

ضریب ثابت R ، ضریب ثابت مخصوص گازها نامیده می شود و فقط مربوط به ویژگی های گاز است . اگر به جرم m حجم V نسبت داده شود ، این رابطه بصورت زیر نوشته می شود :

$$p \times V = m \times \bar{R} \times T$$

p = فشار مطلق (Pa)

V = حجم (m^3)

m = جرم مولی (kmol)

$\bar{R}$ = ضریب ثابت گاز

۸۳۱۴ = (J / kmol x K)

T = درجه حرارت مطلق (K)

۱-۳-۳ انتقال حرارت (Heat transfer)

تفاوت گرمایی درون هر جسم یا بین اجسام مختلف ، همیشه به انتقال حرارت منجر مـی شـود ،بطـوری کـه تعـادل حرارتـی بدست آید . این انتقال حرارت به سه روش: رسانایی ، کنواکسیون یا تشعشع می تواند صورت گیرد . در واقع ، انتقـال حـرارت در هر سه روش بصورت موازی روی می دهد .

رسانایی بین جسم های جامد یا بین لایه های نازک مایع و یا گاز روی می دهد . مولکولهایی کـه در حـال جنـبش هسـتند ، انرژی جنبشی خودشان را به مولکول های مجاور منتقل می کنند. انتقال گرما می تواند به صورت انتقال آزاد با حرکت طبیعی در سیال و یا انتقال اجباری روی دهد برای مثال حرکت در انتقال اجباری گرما توسط پمپ یا پنکه ایجاد می شود .

انتقال اجباری گرما بطرز چشمگیری گرما را بیشتر انتقال می دهد .

تمامی اجسامی که دارای درجه حرارتی بالا تر از $0^{\circ}K$ هستند از خود تشعشعات حرارتی ساطع می کنند. وقتی که تشعشـعات حرارتی با یک جسم برخورد می کنند ، مقداری از آن انرژی جذب جسم شده به گرما تبدیل می شود . تشعشـعاتی کـه جـذب نمی شوند از این جسم عبور می کنند و یا منعکس می گردند . فقط جسمی که کاملاً سیاه رنگ است می تواند بطور تئوریکی تمام انرژی تابیده شده را جذب کند .

در عمل ، انتقال حرارت ، مجموع انتقالات حرارتی است که از طریق رسانایی ، کنواکسیون و تشعشع صورت می پذیرد.

معمولارابطه زیر به کار گرفته می شود :

$$q = k \times A \times \Delta T \times t$$

$q =$ کمیت حرارتی (J)

$k =$ ضریب کلی انتقال حرارت (W / m^2)

$A =$ مساحت (m^2)

$V =$ حجم (m^3)

$\Delta T =$ اختلاف حرارت

$t =$ زمان (s)

انتقال حرارت اغلب بین دو جسمی روی می دهد که توسط یک دیواره از یکدیگر جدا شده اند . ضریب کلی انتقال حرارت بـه ضریب انتقال حرارت طرفین دیواره و ضریب هدایت حرارتی دیواره بستگی دارد . بـرای چنـین دیـواره ی تمیـز و مسـطحی ، رابطه زیر به کار برده می شود :

$$1 / k = 1 \ \alpha 1 + d / \lambda + 1 / \alpha 2$$

$\alpha =$ ضریب انتقال حرارتی طرفین دیواره (W / m^2)

$d =$ ضخامت دیواره (m)

$\lambda =$ ضریب انتقال حرارتی دیواره (W / m^2)

$k =$ ضریب کلی انتقال حرارت (W / m^2)

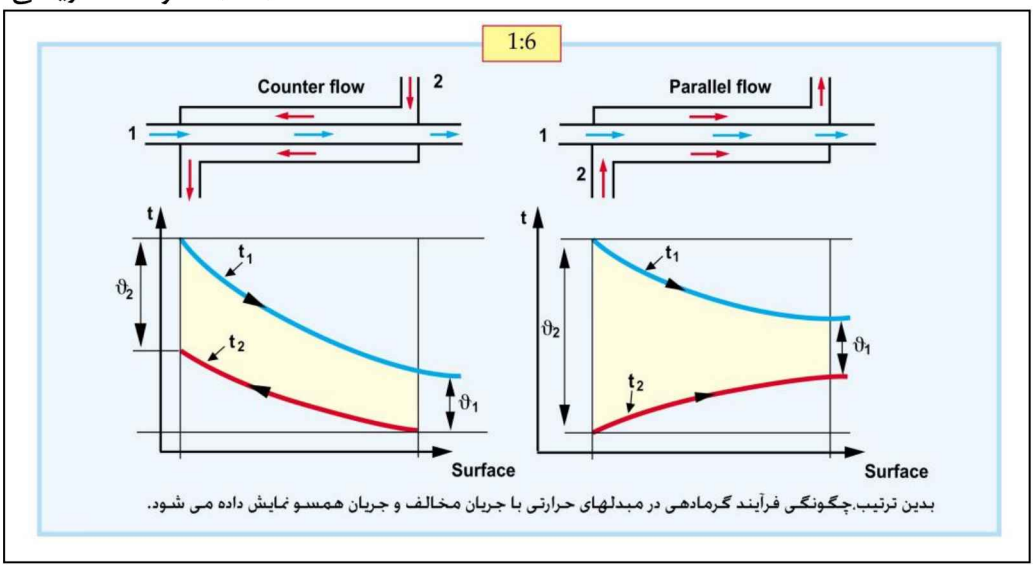
برای مثال مقدار گرمای منتقل شده در یک مبدل حرارتی ، در هر نقطه ؛ تابعی از اختلاف حرارت غالب و ضریب کلی انتقـال حرارت است . رابطه زیر برای کل سطح انتقال حرارت به کار برده می شود:

$$Q = k \times A \times \vartheta_m$$

Q = مقدار حرارت انتقال یافته (W)

k = ضریب کلی انتقال حرارت (W/m^2)

ϑ_m = متوسط لگاریتمی اختلاف دما (K)



تفاوت لگاریتمی دمای متوسط به عنوان رابطه بین اختلاف دما در دو طرف اتصال مبدل حرارتی تعریف می شود ، این رابطه بصورت زیر بیان می گردد :

$$\vartheta_m = \frac{\vartheta 1 - \vartheta 2}{\ln \frac{\vartheta 1}{\vartheta 2}}$$

ϑ_m = تفاوت لگاریتمی دمای متوسط (K)

می توانید تغییرات ایجاد شده در حالت گاز را از یک نقطه تا نقطه دیگر در نمودار p / V دنبال کنید .

ϑ = اختلاف دما بر طبق شکل۶ : ۱ (K)

۱-۳-۴ تغییرات در حالت (Changes in state)

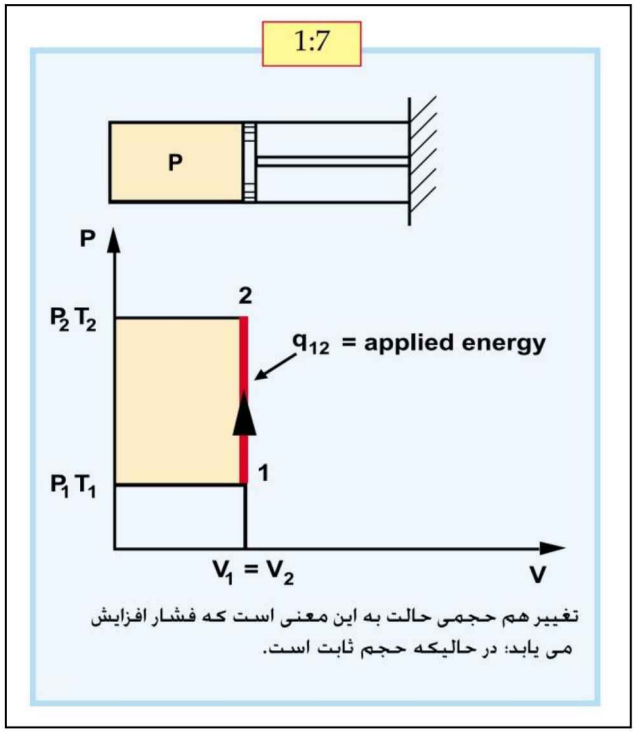
این نمودار در واقع باید دارای سه محور برای متغیر های p ، V و T باشد . به همراه تغییر در حالت ،شما در امتداد منحنی بر روی سطح و در فضایی که بعداً تشکیل میشود حرکت می کنید .

اگرچه شما تصویر منحنی را روی یکی از سه سطح در نظر می گیریدو اغلب روی سطح p / V . تمایز بین پنج حالت زیر ایجاد می شود.

فرایند هم حجمی (حجم ثابت) ، فرایند هم فشاری (فشار ثابت) ، فرایند هم دمایی (دمای ثابت) ، فرایند هم دمایی (بدون تبادل گرما با محیط اطراف) و فرایند چند سانی (که تبادل گرما با محیط اطراف از طریق یک عملکرد ریاضی ساده بیان می شود) .

۱-۴-۳-۱ فرایند هم حجمی (Isochoric process)

حرارت دهی یک گاز در فضای بسته ، مثالی از فرایند هم حجمی است . رابطه مقدار گرمای به کار گرفته شده بصورت زیر است :



$q = m \times c_v \times (T_2 - T_1)$

$q =$ مقدار حرارت (J)

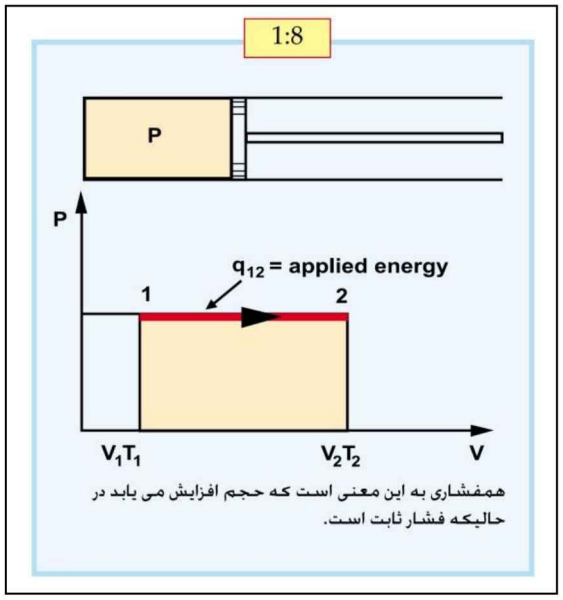
$m =$ جرم (kg)

c_v =ظرفیت حرارتی در حجم ثابت (J / kg x K)

$T =$ دمای مطلق (K)

۱-۳-۴-۲ فرایند هم فشاری (Isobaric process)

گرمایش گاز در سیلندری که دارای پیستونی با بارگذاری ثابت می باشد نمونه ای از فرایند هم فشاری محسوب می شود . رابطه مقدار گرمای بکار گرفته شده بصورت زیر است :



$q = m \times c_p \times (T_2 - T_1)$

$q =$ مقدار حرارت (J)

$m =$ جرم (kg)

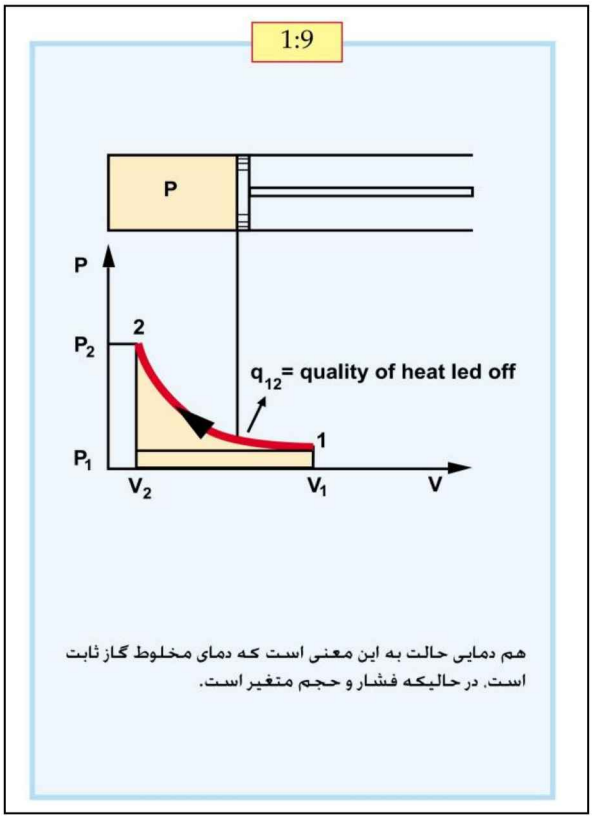
c_p =ظرفیت خرارتی در فشار ثابت (J / kg x K)

$T =$ دمای مطلق (K)

۱-۳-۴-۳ فرایند هم دمایی (Isothermic process)

اگر گاز موجود در یک استوانه بطوری فشرده شود که دمای آن تغییر نکند، مقدار گرمایی که با کار اعمال شده مساوی است باید بتدریج بیرون فرستاده شود . این امر در عمل غیر ممکن است ، چنین فرایند آهسته ای نمی تواند صورت پذیرد :

رابطه مقدار گرمای بیرون فرستاده شده بصورت زیر است :



$$q = m \times R \times T \times \ln\left(\frac{p_2}{p_1}\right)$$

$$q = p_1 \times v_1 \times \ln\left(\frac{v_2}{v_1}\right)$$

q = مقدار حرارت (J)

m = جرم (kg)

R = ضریب مخصوص گاز (J / kg x K)

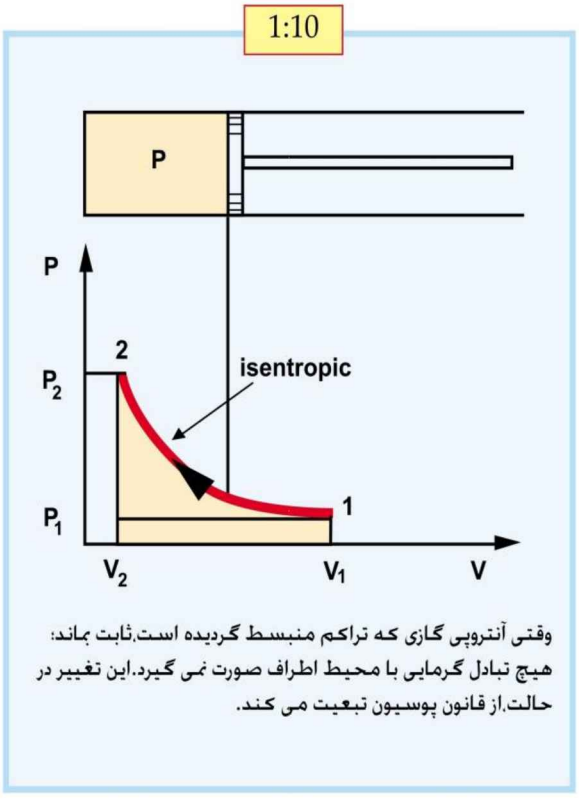
T = دمای مطلق (K)

V = حجم (m^3)

P = فشار مطلق (Pa)

۱-۳-۴-۴ فرایند هم دمایی بدون تبادل گرمایی با محیط (Isentropic process)

نمونه ای از فرایند هم دمایی (بدون تبادل گرمایی با محیط) این است که در استوانه ای باعایق بندی کامل ، گاز بدون هیچ تبادل گرمایی با محیط تحت فشار قرار گیرد ، یا گاز آنقدر سریع گرما داده شود که فرصت کافی برای تبادل گرما با محیط اطراف ایجاد نشود . رابطه این فرایند بصورت زیر است :



$$\frac{p_2}{p_1} = \left(\frac{v_2}{v_1}\right)^K \Rightarrow \frac{p_2}{p_1} = \left(\frac{T_2}{T_1}\right)^{\frac{K}{K-1}}$$

P = فشار مطلق (Pa)

V = حجم (m^3)

T = دمای مطلق (K)

$$K = \frac{c_p}{c_v}$$

۱-۳-۴-۵ فرایند چند سانی (Polytropic process)

فرایند هم دمایی شامل تبادل کامل دما با محیط اطراف است و در فرایند هایی نیز هیچ تبادل گرمایی صورت نمی گیـرد . در واقع همه فرایندها که چیزی بین این دو حد هستند فرایند کلی چند سانی نامیده می شوند . رابطه چنـین فراینـدی بصـورت زیر است :

$p = v^n$ = ثابت

P = فشار مطلق (Pa)

V = حجم (m^3)

n = 0 به معنی فرایند هم فشاری است

n = 1 به معنی فرایند هم دمایی است

n = K به معنی فرایند عدم تبادل دمائی با محیط است

$n = \infty$ به معنی فرایند هم حجمی است

۱-۳-۵ عبور جریان گاز از یک مجرا (Gas flow through a nozzle)

عبور جریان گاز از یک مجرا به نسبت فشار در طرفین مجرا بستگی دارد . اگر فشار بعد از مجـرا پـایین آورده شـود جریـان افزایش می یابد . با وجود این، جریان فقط تا زمانی آنقدر بالاست که فشار قبل از مجرا تقریباً دو برابر شود . کاهش بیشـتر فشار بعد از مجرا باعث افزایش جریان نمی شود .

این نسبت ، فشار بحرانی است که به توان فرایند عدم تبادل دمایی با محیط (K) بستگی دارد . نسبت فشار بحرانی وقتـی روی می دهد که سرعت جریان با سرعت صوتی موجود در باریک ترین قسمت مجرا مساوی باشد .

جریان وقتی فوق بحرانی می شود که فشار بعد از مجرا، تحت مقادیر بحرانی بیشتر کاهش داده شود . رابطهٔ عبور جریان از یک مجرا بصورت زیر است :

$$G = \alpha \times \psi \times p_1 \times 10^5 \times A \times \sqrt{\frac{2}{R \times T_1}}$$

P = جریان جرم (kg / s)

α = ضریب مجرا

ψ = ضریب جریان

A = کمترین مساخت منطقه جریان (m^2)

R = ضریب مخصوص گاز (J / kg x K)

T_1 = ضریب جریان

p_1 = ضریب جریان

۱-۳-۶ عبور جریان از درون لوله ها (Flow through pipes)

عدد رینولد نسبت بی بعدی است که بین اینرسی و اصطکاک در یک سیال جاری وجود دارد . این عدد بصورت زیر تعریف می شود :

$Re = D \times w \times \eta / \rho \ x = D \times w / v$

$D =$ یک اندازه مشخص (به عنوان مثال قطر لوله) (m)

$w =$ سرعت متوسط جریان (m / s)

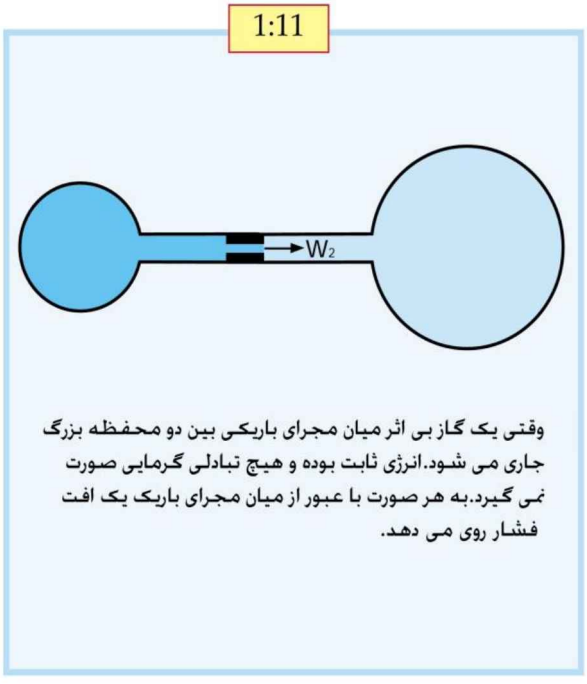
$p =$ دانسیته سیال جاری (kg / m^3)

$\eta =$ گرانروی دینامیکی سیال جاری (Pa / s)

$V = \eta / \rho =$ گرانروی جنبشی سیال جاری (m^2 / s)

در اصل در یک لوله دو نوع جریان می تواند وجود داشته باشد . اگر $Re < 2000$ باشد ، نیروهای گرانروی سیال مسلط می گردند و جریان لایه ای می گردد . یعنی لایه های متفاوت موجود در سیال در ارتباط با یکدیگر به صورت خوبی حرکت می کنند . توزیع سرعت در سراسر این لایه های آرام اغلب سهمی شکل است .اگر $Re \geq 4000$ باشد نیروهای گرانروی بر سیال جاری مسلط شده ، جریان متلاطم می گردد و ذرات بصورت تصادفی حرکت می کنند . توزیع سرعت در سطح لایه ای که جریان متلاطمی دارد پراکنده می شود .

در منطقه بحرانی که بین $Re \leq 2000$ و $Re \geq 4000$ قرار دارد ، حالات جریان نامشخص هستند. جریان, آرام یا متلاطم و یا ترکیبی از هر دو می باشد . این حالات جریان با فاکتور هایی نظیر صیقلی بودن سطح لوله یا توابع دیگر کنترل می شوند . برای راه اندازی یک جریان در لوله ، لازم است اختلاف فشار یا افت فشار مشخصی وجود داشته باشد تا بر اصطکاک موجود در لوله و اتصالات غلبه کند . میزان افت فشار به; قطر ، طول ، شکل و نیز میزان صیقلی بودن سطح لوله و عدد رینولد بستگی دارد .



وقتی یک گاز بی اثر میان مجرای باریکی بین دو محفظه بزرگ جاری می شود.انرژی ثابت بوده و هیچ تبادلی گرمایی صورت نمی گیرد.به هر صورت با عبور از میان مجرای باریک یک افت فشار روی می دهد.

۱-۳-۷ تنظیم مجرا (Throttling)

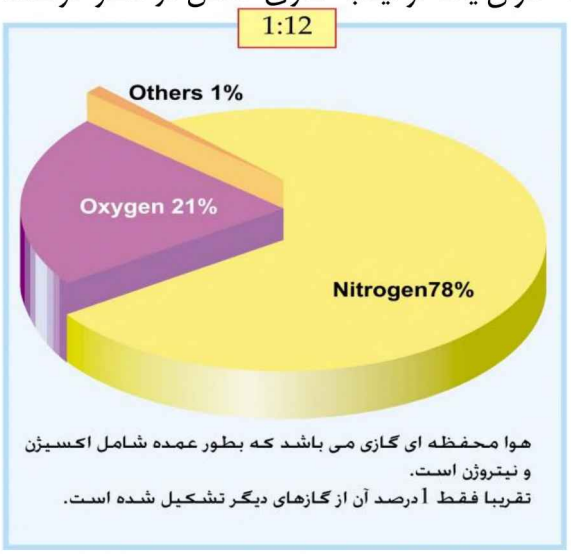
وقتی از میان مجرای باریکی که فشار قبل و بعد از آن مجرا ثابت است ،گاز مورد نظری عبور کند ، درجه حرارت ثابت خواهد ماند . با وجود این، افت فشاری که در سراسر این مجرای باریک ایجاد می شود، به علت تبدیل انرژی درونی به انرژی جنبشی است و باعث می شود درجه حرارت پایین آید . بدین منظور برای گازهای واقعی حتی اگر میزان انرژی گاز ثابت باشد این تغییر دما پایدار می ماند. این پدیده ، اثر ژول تامسون نامیده می شود . تغییر دما با افت فشار ایجاد شده در سراسر مجرا ضرب در ضریب ژول توماسون مساوی است.

اگر دمای یک سیال جاری به اندازه کافی پایین باشد ($\leq +329\ ^{\circ}C$) ، در سراسر مجرای باریک ، افت دما مشاهده می شود ، اما اگر سیال جاری گرم تر باشد ، افزایش دما رخ می دهد .این شرایط در بسیاری از موارد تکنیکی نظیر فن آوری تبرید و جدا سازی گازها مورد استفاده قرار می گیرد .

۱-۴ هوا (Air)

۱-۴-۱ بررسی کلی هوا (Air in general)

هوا ترکیب گازی بی رنگ ، بی بو و بی مزه است . هوا از گازهای بسیاری تشکیل شده اما گازهای تشکیل دهنده آن عمدتاً اکسیژن و نیتروژن هستند . در بیشتر شرایط محاسباتی می توان هوا را به عنوان یک ترکیب گازی کامل در نظر گرفت.



ترکیب هوا از سطح دریا تا ارتفاع ۲۵ کیلومتری نسبتاً ثابت است .
هوا کم و بیش با ذرات جامدی مثل گرد و غبار ، شن ، دوده و کریستال های نمک آلوده می شود . میزان آلودگی در نواحی پر جمعیت ، بالاتر و در روستاها و ارتفاعات بالاتر کمتر است .
هوا ماده ای است که بطور مکانیکی ترکیب شده است و یک ماده شیمیایی نیست ; به همین علت می توان اجزای سازنده آن را برای مثال با سرد کردن ، از یکدیگر جدا کرد .

۲-۴-۱ هوای مرطوب (Moist air)

هوا را می توان به عنوان ترکیبی از هوای خشک و بخار آب در نظر گرفت . هوایی که حاوی بخار آب است ، هوای مرطوب نامیده می شود و می تواند در حدود گسترده تغییرنماید . هوا می تواند کاملاً خشک, یا از رطوبت اشباع شده باشد . حداکثر فشار بخار آبی که هوا می تواند در خود نگاه دارد با ازدیاد دما افزایش می یابد . حداکثر فشار بخار آب با دما ارتباط دارد .
زمانی که هوا به حداکثر فشار خود می رسد ، معمولاً حاوی بخار آب نیست . فشار بخار نسبی (رطوبت نسبی)حالتی بین فشار بخار واقعی و فشار بخار اشباع شده است که در همان درجه حرارت وجود دارد . نقطه شبنم دمائی است که در آن هوا از بخار آب اشباع شده است; بدین ترتیب با کاهش درجه دما میعان آب صورت می گیرد . نقطه شبنم اتمسفری ، درجه حرارتی است که در آن بخار آب در فشار اتمسفری به مایع تبدیل می شود. نقطه شبنم فشار ، دمای معادل به همراه افزایش فشار است .
رابطه زیر بکار برده می شود :

$$(p - \varphi \times p_s) \times 10^5 \times V = R_a \times m_a \times T$$

$$\varphi \times p_s \times 10^5 \times V = R_y \times m_v \times T$$

$p =$ فشار مطلق کل (bar)

$p_s =$ فشار اشباع در دمای واقعی (bar)

$\varphi =$ فشار بخار نسبی

V = حجم کلی هوای مرطوب (m^3)

R_a = ضریب ثابت گاز برای هوای خشک = 278.1 J / Kg x K

R_v = ضریب ثابت گاز برای بخار آب = 461.3 J / Kg x K

m_a = جرم هوای خشک (kg)

m_v = جرم بخار آب (kg)

T = دمای مطلق هوای مرطوب (K)

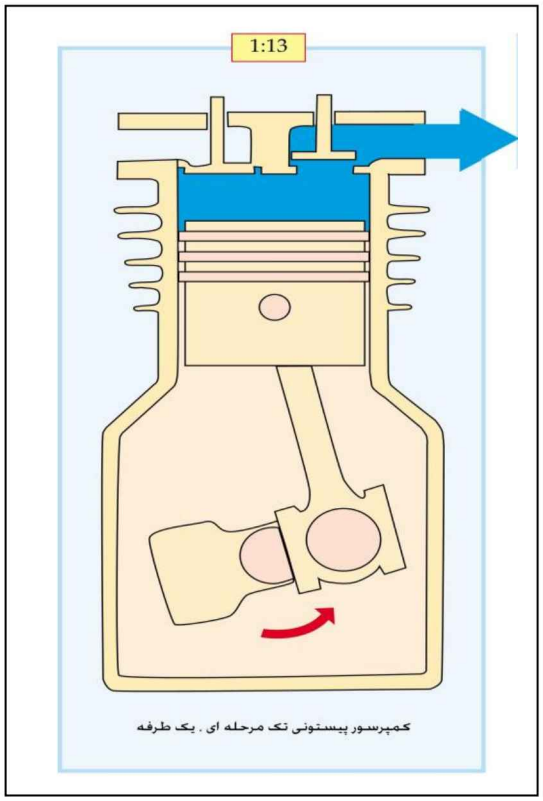
۱– ۵ انواع کمپرسورها (Types of compressors)

۱-۵-۱ دو اصل اساسی (Two basic principles)

دو اصل اساسی برای فشردگی هوا (یا گاز) ، فشردگی دینامیک و اصل جابجایی است. از جمله کمپرسورهای جابجایی ,کمپرسورهای پیستونی و انواع متفاوت کمپرسورهای چرخشی می باشند که رایج ترین کمپرسورها در بیشتر کشورها هستند. برای مثال در یک کمپرسور پیستونی ، هوا وارد محفظه تراکم می شود ، این محفظه از مجرای ورودی اش بسته می شود, حجم کمپرسور کاهش می یابد و هوا متراکم می شود . وقتی فشار به اندازه فشار موجود در مانیفولد رسید ، سوپاپ خروجی باز می شود و هوا در فشار ثابتی تحت کاهش مستمر حجم از محفظه کمپرسور خارج می شود .

در کمپرسور دینامیکی ، هوا وارد محفظه ای می شود که دارای پروانه تراکم ساز سریعی است که با سرعت بالایی می چرخد . سپس گاز از طریق پخش کننده ها خارج می شود که در آن صورت انرژی جنبشی به فشار استاتیک تبدیل می شود. کمپرسور های دینامیکی در دو نوع, با جریان محوری و شعاعی موجود می باشندکه همه آنها برای مقادیر جریانی باحجم زیاد مناسب هستند .

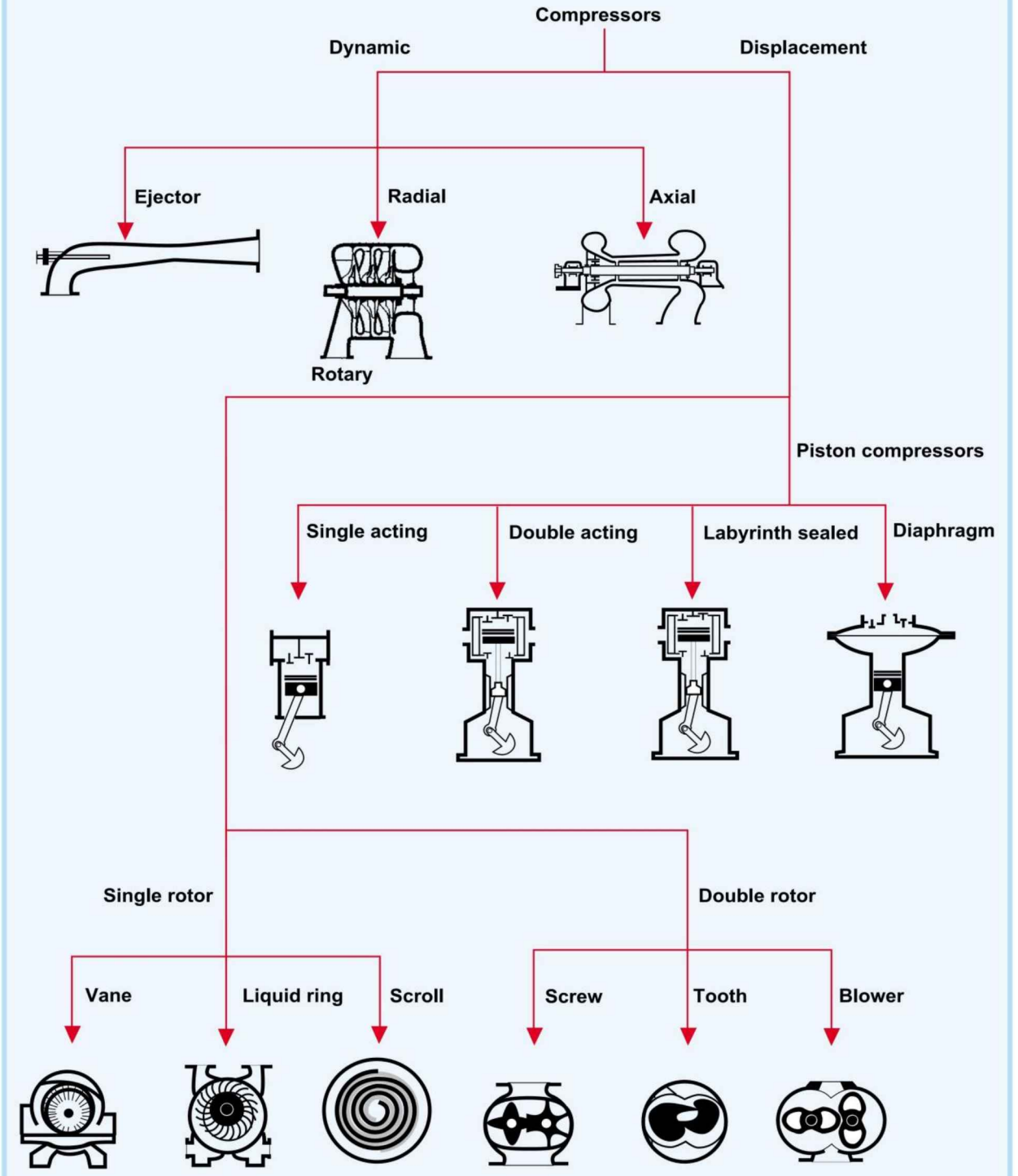
۱-۵-۲ کمپرسورهای جانبی (Displacement Compressors)



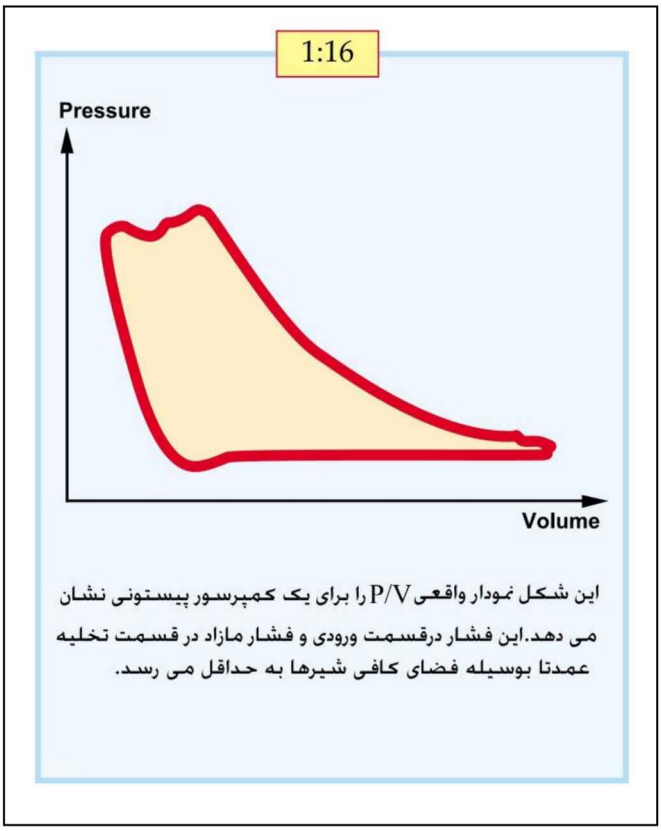
یک پمپ دوچرخه ساده ترین نوع یک کمپرسور جابجایی است ،که در این نوع پمپ ، هوا وارد سیلندر می شود و توسط پیستون متحرکی فشرده می شود. کمپرسور پیستونی دارای اصل عملکرد مشابهی با یک پیستون است ،پیستونی که درآن یک میله اتصال و یک میل لنگ چرخشی باعث عقب و جلو رفتن می شود. اگر برای فشردن هوا فقط یک طرف پیستون استفاده شود ، پیستون یکطرفه و اگر هر دو طرف بالا و پایین مورد استفاده قرار گیرد ،پیستون دو طرفه نامیده می شود . تفاوت بین فشار در قسمت ورودی و خروجی به عنوان اندازه ای از کار کمپرسور است.

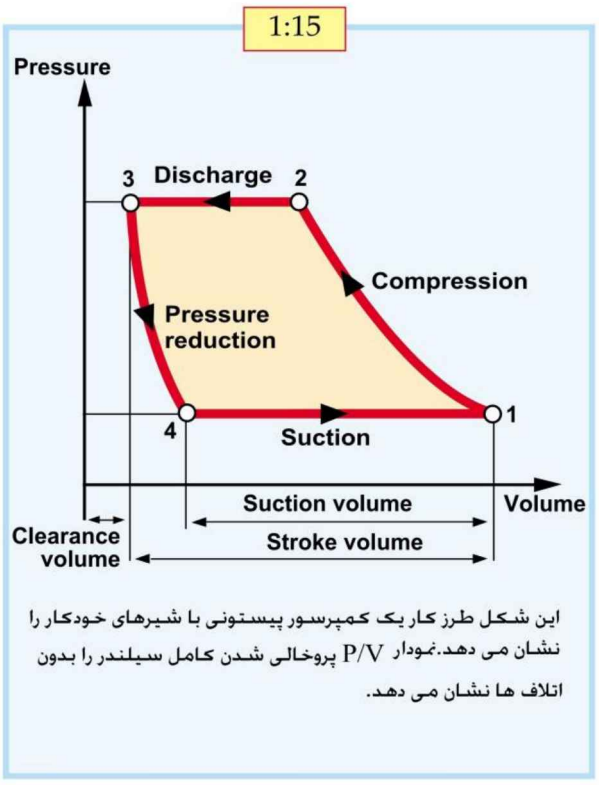
نسبت فشار ، رابطه بین فشار مطلق در قسمتهای ورودی و خروجی است . بنابراین ماشینی که هوایی تحت فشار اتمسفر را تا 7 bar فشرده می سازد دارای کاری با نسبت فشار (7+1) / 1=8 است .

1:14



این جدول متداولترین انواع کمپرسور را براساس اصول کاری شان نشان می دهد.همچنین می توان آنها را براساس اصول دیگری تقسیم کرد.برای مثال هوا یا مایع خنک،ثابت یا قابل حمل و غیره.





۱-۵-۳ نمودار کمپرسور برای کمپرسور های جابجایی

(The compressor diagram for displacement compressors)

شکل ۱:۱۵ نمودار تئوریکی کمپرسور را و شکل ۱:۱۶ نمودار واقعی کمپرسور پیستونی را نشان می دهد .

حجم کورس پیستون با حجم استوانه ای که پیستون در مرحله کورس مکش از آن عبور می کند برابر است. ضریب مجاز حجمی, منطقه ای است که باید به دلایل مکانیکی در نقطه عطف پیستون باقی بماند و شامل منطقه مورد نیاز سوپاپ ها نیز می شود .تفاوت بین حجم کورس پیستون و حجم مکش به انبساط هوایی بستگی دارد که قبل از شروع مکش در ضریب مجاز حجمی باقی می ماند . تفاوت بین نمودار تئوریکی p/V و نمودار واقعی به طرح عملی کمپرسور بستگی دارد ، به عنوان مثال در یک کمپرسور پیستونی دریچه ها هیچ گاه بطور کامل آببندی نمی شوند و همیشه نشت بین پیستون و دیوار و سیلندر وجود دارد . نکته دیگر اینکه سوپاپ ها نمی توانند بدون تأخیر باز و بسته شوند ، زیرا این تأخیر وقتی گاز از میان کانالها عبور می کند باعث افت فشار می شود . بنابراین دلایل ، وقتی گاز به داخل سیلندر جاری می شود ، گرما داده می شود .کار تراکم با تراکم هم دمایی به صورت زیر بیان می شود :

$$W = p_1 \times V_1 \times \ln (p_2/p_1)$$

کار تراکم با تراکم هم دمایی (بدون تبادل گرمایی با محیط) بصورت زیر است :

$$W = \frac{K}{K-1} \times (p_2 V_2 - p_1 V_1)$$

$W =$ کار تراکم (J)

$p_1 =$ فشار اولیه (Pa)

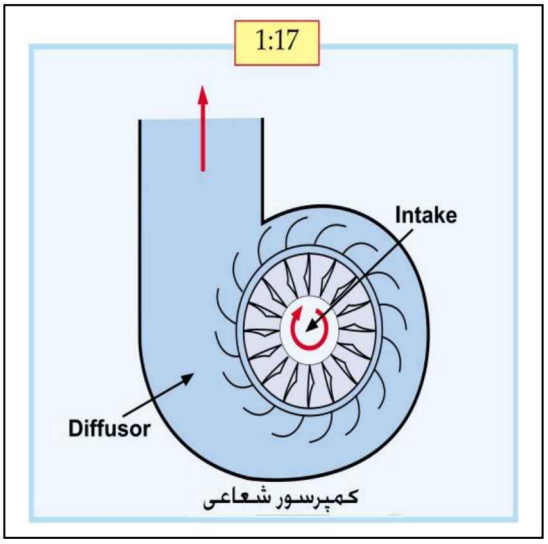
$V_1 =$ حجم اولیه (m^3)

p_2 = فشار نهایی (Pa)

$K = K \approx 1/3 - 1/4$ توان هم دمائی در بیشتر موارد با مضرب

این رابطه نشان میدهد که برای فرایند ایزنتروپیک نسبت به فرایند ایزوترمیک کار بیشتری مورد نیاز است . در واقع کـار لازم بین حد های ($K \approx 1/3 - 1/4$) نهفته است .

۱-۵-۴ کمپرسورهای دینامیکی (Dynamic compressors)



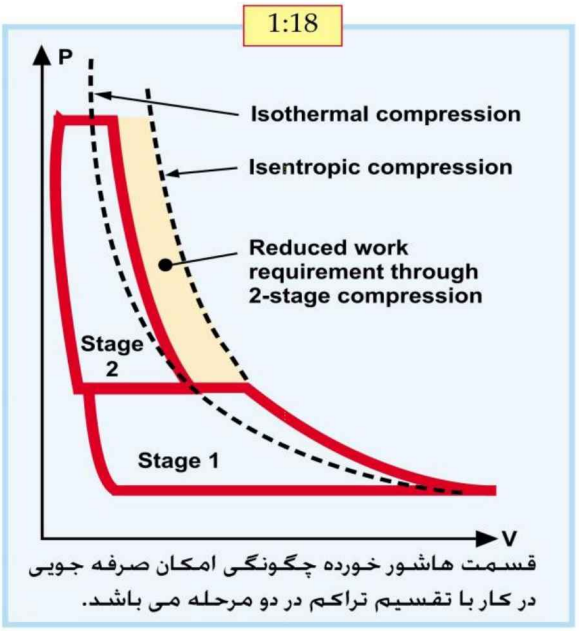
کمپرسور دینامیکی ،موتور جریانی است کـه در آن افـزایش فشـار بطور همزمان با عبور جریان گاز صـورت مـی گیـرد . گـاز جـاری بواسطه پروانه های چرخنده ای سرعت بالایی به خود می گیـرد و بعد از این وقتی تحت نیرو , مورد کاهش سرعت واقع می شـود ، به فشار تبدیل می گـردد. ایـن کمپرسـور هـا بنـابر جهـت اصـلی جریان , کمپرسور های شعاعی یا محوری نامیده می شود.

در مقایسـه بـا کمپرسـور هـای جابجـایی ، کمـپرسـور هـای دینامیـکی دارای ویژگـی بخصوصـی هسـتند ، در ایـن کمپرسور ها تغییر کوچکی در فشار کار باعث ایجاد تغییـر بزرگـی در ظرفیت می شود . به شکل ۱:۱۹ نگاه کنید.

هر سرعتی دارای یک حد ظرفیتی بالاتر و پایین تر است . حد بالاتر به این معنی است کـه سـرعت جریـان گـاز بـه سـرعت صوت می رسد . حد پایین تر به این معنی است که فشار مقابل بزرگتر از فشار تراکم کمپرسور بوده و بـا بازگشـت جریـان در کمپرسور باعث ایجاد تکان ، ضربه و خطر خسارت مکانیکی در کمپرسور می شود .

۱-۵-۵ تراکم در چندین مرحله (Compression in several stages)

به لحاظ تئوریکی گاز را می توان یا بصورت فرایند هم دمایی و یا عدم تبادل گرمایی فشرده ساخت . این کار می توانـد بـه عنوان قسمتی از یک فرایند بازگشت پذیر انجام شود.

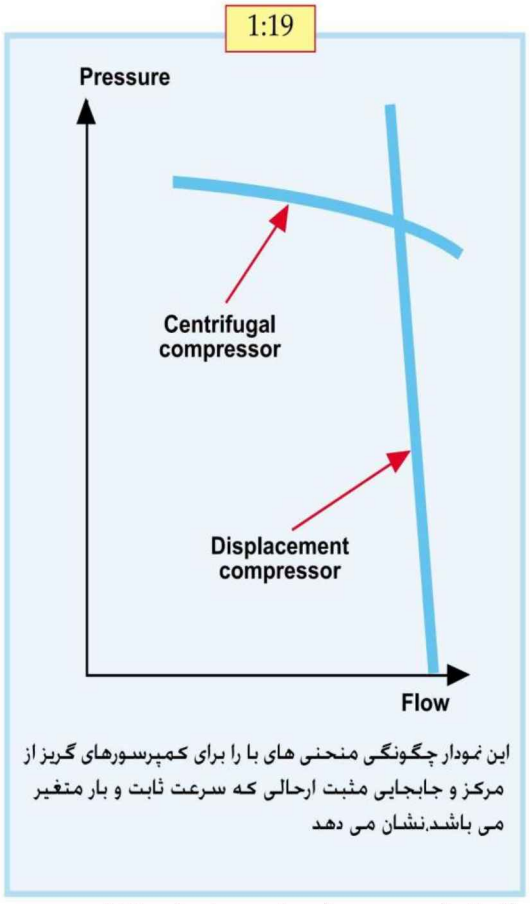


اگـر گـاز فشـرده شـده را بتـوان سـریعاً در درجـه حـرارت نهایی اش بعد از تراکم ،مورد استفاده قرار داد فرایند عدم تبـادل گرمـایی حتمـاً سـودمند خواهـد بـود . در واقـع بنـدرت می توان گاز را مستقیماً و بدون سرد کردن مـورد اسـتفاده قـرار داد . بنابراین ازآنجا که این فراینـد نیـاز بـه کـار کمتـری دارد ، فرایند هم دمایی ترجیح داده می شود .

در عمل تلاش می کنیم این فرایند را با سرد کردن گاز در طول مدت فشرده سازی محقق سازیم .

یک روش عملی برای کاهش گرمایش گاز این است که تراکم را به چندین مرحله تقسیم کنیم . گاز بعد از هر مرحله سرد می شود تا بیشتر فشرده گردد . کاهش نسبت فشار در مرحله اول باعث افزایش کارایی می شود . اگر نسبت فشار در هر مرحله یکسان باشد میزان انرژی مورد نیاز نیز به پایین ترین سطح می رسد .
هر چه تعداد مراحل فشرده سازی بیشتر باشد ،کل فرایند به تراکم هم دمایی نزدیک تر می شود. با وجود این ، یک حد اقتصادی برای تعداد مراحل تراکم در طراحی یک دستگاه واقعی وجود دارد .

۱-۵-۶ مقایسه بین کمپرسورهای جابجایی و گریز از مرکز
(Comparison between displacement and centrifugal compressors)



این نمودار چگونگی منحنی های با را برای کمپرسورهای گریز از مرکز و جابجایی مثبت ارحالی که سرعت ثابت و بار متغیر می باشد،نشان می دهد

منحنی ظرفیت کمپرسور سانتریفوژ تفاوت قابل ملاحظه ای با منحنی ظرفیت کمپرسور جابجایی دارد. کمپرسور گریز از مرکز ماشینی است که دارای ظرفیت متغیر و فشار ثابتی است . در عوض کمپرسور جابجایی ، ماشینی با ظرفیت ثابت و فشار متغیر است .
از تفاوت های موجود دیگر بین دو کمپرسور این است که کمپرسور جابجایی بر خلاف بیشتر کمپرسور های گریز از مرکز ، حتی در سرعت پایین , نسبت فشار بالاتری دارد .
کمپرسور های گریز از مرکز به خوبی با مقادیر زیاد جریان هوا متناسب هستند .

۱-۶ الکتریسیته (Electricity)

۱-۶-۱ مجموعه اصطلاحات و تعاریف پایه ای (Basic terminology and definitions)

جریان متناوبی که به عنوان مثال برای به کار گیری روشنایی و عملکردهای موتور مورد استفاده قرار می گیرد بطور پیوسته شدت و جهت جریان را تغییر میدهد . شدت جریان از صفر به حداکثر مقدارش می رسد ، سپس به صفر کاهش می یابد ، جهت را تغییر می دهد ، در جهت مخالف به حداکثر می رسد و سپس دوباره صفر می شود . بدین ترتیب جریان یک دوره را به اتمام می رساند . دوره T ، زمان بر حسب ثانیه است که جریان در طی آن , مقادیر خود را کسب می نماید . فرکانس , تعداد دوره های کامل را در هر ثانیه بیان می کند.

$f = 1 / T$

f = فرکانس (Hz)

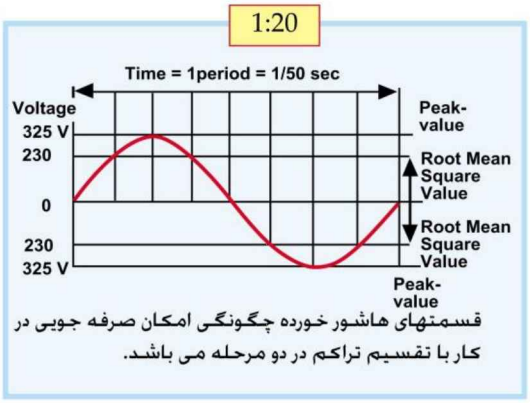
T = زمان برای یک دوره (s)

وقتی درباره جریان یا ولتاژ صبحت می کنیم اغلب منظور ما ارزش مؤثر جریان است .
اگر جریان سینوسی باشد ، محاسبه ارزش مؤثر ولتاژ جریان مربوطه به صورت زیر است :

$$\text{ارزش مؤثر} = \frac{\text{ارزش منتها درجه}}{\sqrt{2}}$$

اختلاف پتانسیل زیر 50 v ، ولتاژ فوق العاده پایین نامیده می شود . اختلاف پتانسیلی که زیر 1000 v قرار دارد ، ولتاژ پایین نامیده می شود . اختلاف پتانسیل بیش از 1000 v ، ولتاژ بالا نامیده می شود . اختلاف پتانسیل های استاندارد در 50 Hz شامل 230 / 400 v و 400 / 690 v هستند .

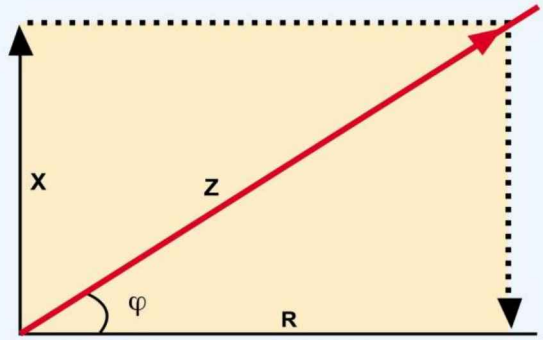
1:20



۱-۶-۲ قانون اهم برای جریان متناوب (Ohm's law for alternating current)

جریان متناوبی که از یک سیم پیچ برق عبور می کند باعث ایجاد یک جریان مغناطیسی می شود . این جریان مغناطیسی به همان صورت جریان متناوب ، شدت و جهت جریان را تغییر می دهد . وقتی جریان تغییر میکند بر طبق قوانین القایی یک نیروی محرکه الکتریکی در سیم پیچ برق بوجود می آید . این نیروی محرکه الکتریکی در جهت مخالف به سمت ولتاژ قطب الکتریکی بسته هدایت می شود . این پدیده خود القایی نامیده می شود .
خود القایی در یک واحد جریان متناوب تا اندازه ای باعث جابجایی فاز بین جریان و ولتاژ می شود و تا حدودی باعث افت ولتاژ القایی می شود . مقاومت دستگاه با احتساب جریان متناوب, از مقاومت محاسبه شده یا اندازه گیری با جریان مستقیم بزرگتر است.
جابجایی فاز بین جریان و ولتاژ, توسط زاویه φ و مقاومت القایی, توسط X نشان داده می شود . مقاومت بوسیله R و مقاومت ظاهری در یک دستگاه یا هادی توسط Z نشان داده می شود .

1:21



برای مقاومت ظاهری رابطه زیر به کار برده می شود :

$$Z = \sqrt{R^2 + X^2}$$

Z = مقاومت ظاهری (Ω)
R = مقاومت (Ω)
X = مقاومت القایی (Ω)

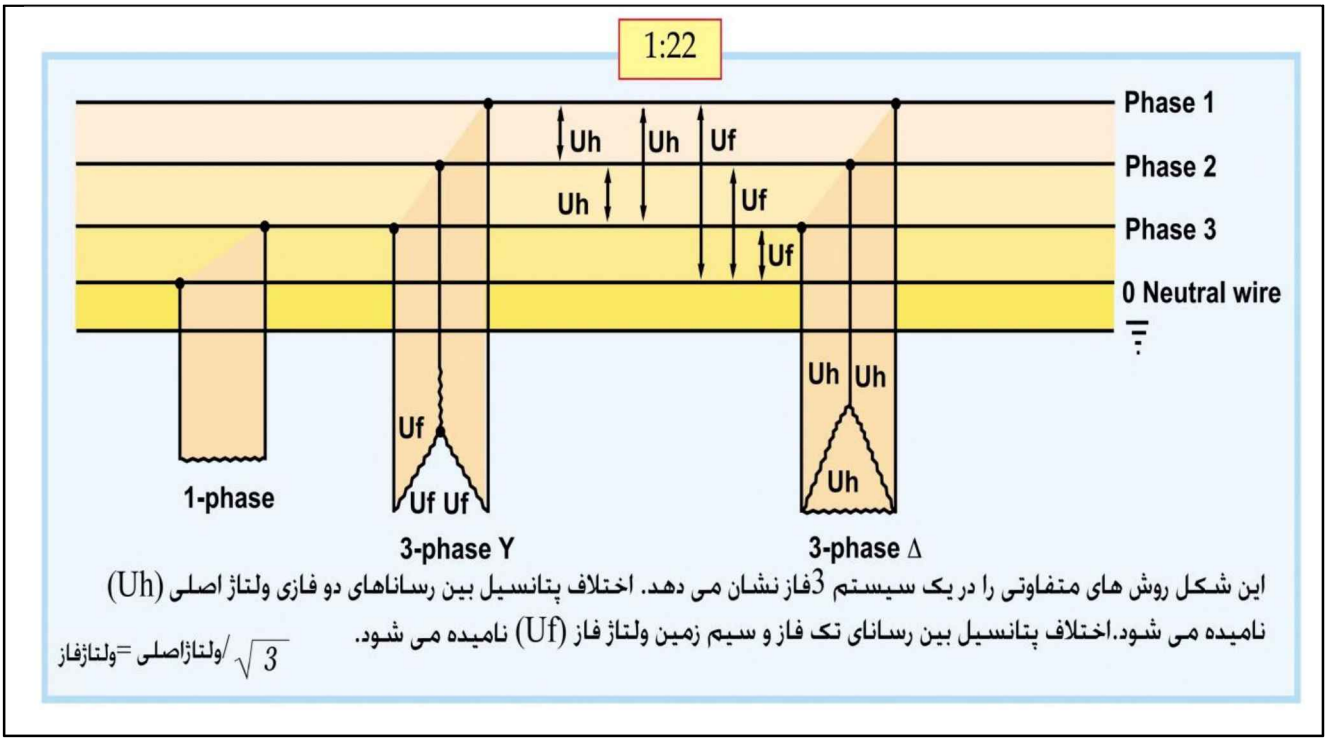
قانون اهم برای جریان متناوب بدین صورت است :

$U = I \times Z$

U = اختلاف پتانسیل (V)

I = جریان (A)

Z = مقاومت ظاهری (Ω)



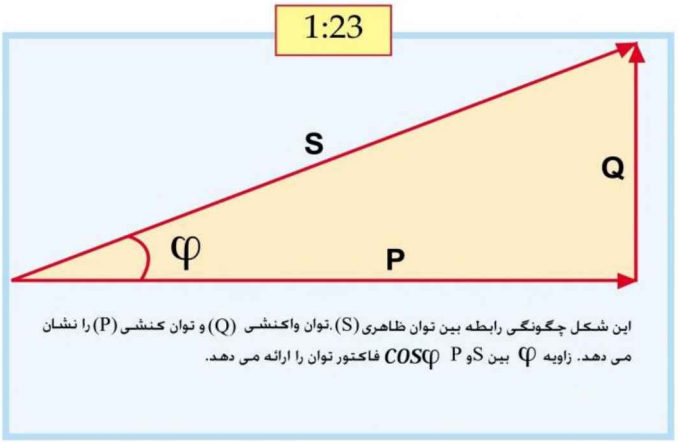
این شکل روش های متفاوتی را در یک سیستم 3فاز نشان می دهد. اختلاف پتانسیل بین رساناهای دو فازی ولتاژ اصلی (Uh) نامیده می شود.اختلاف پتانسیل بین رسانای تک فاز و سیم زمین ولتاژ فاز (Uf) نامیده می شود.

ولتاژاصلی/$\sqrt{3}$ =ولتاژفاز

۱-۶-۳ سیستم سه فاز (Three-phase system)

جریان متناوب سه فاز در ژنراتوری که دارای سه سیم پیچ جداگانه است تولید می شود .تمام مقادیر اختلاف پتانسیل سینوسی در رابطه با یکدیگر 120° جابجا می شوند .

دستگاههای مختلف را می توان به یک سیستم سه فاز متصل ساخت . یک دستگاه تک فاز میتواند به یکی از فازها و زمین متصل شود . دستگاه های سه فاز می توانند به دو طریق , ستاره (Y) یا مثلث (Δ) به هم اتصال یابند . در اتصال ستاره یک ولتاژ فاز بین خروجی ها قرار دارد . در اتصال مثلث یک ولتاژ اصلی بین خروجی ها قرار دارد .



این شکل چگونگی رابطه بین توان ظاهری (S)،توان واکنشی (Q) و توان کنشی (P) را نشان می دهد. زاویه φ بین S و P فاکتور توان را ارائه می دهد. $COS\varphi$

۱-۶-۴ توان (Power)

توان کنشی ، P ، توان مفیدی است که می تواند برای کار مورد استفاده قرار گیرد . توان واکنشی ، Q ، توان بیهوده ای است و نمی تواند برای کار مورد استفاده قرار گیرد . توان ظاهری S توانی است که باید از ذخیره جریان برق مصرف شود تا به توان

کنشی دست یابد.
رابطه بین توان کنشی ، واکنشی و ظاهری معمولاً توسط مثلث توان نشان داده می شود .

رابطه زیر به کار می رود :

تک فاز : $P = U \times I \times \cos\varphi$

$Q = U \times I \times \sin\varphi$

$S = U \times I$

$\cos\varphi = P / S$

سه فاز $P = \sqrt{3} \times U_h \times I \times \cos\varphi$

$Q = \sqrt{3} \times U_h \times I \times \sin\varphi$

$S = \sqrt{3} \times U_h \times I$

$\cos\varphi = P / S$

U = اختلاف پتانسیل (V)

U_h = اختلاف پتانسیل اصلی (V)

U_f = ولتاژ فاز

I = جریان (A)

I_h = جریان اصلی (A)

I_f = جریان فاز (A)

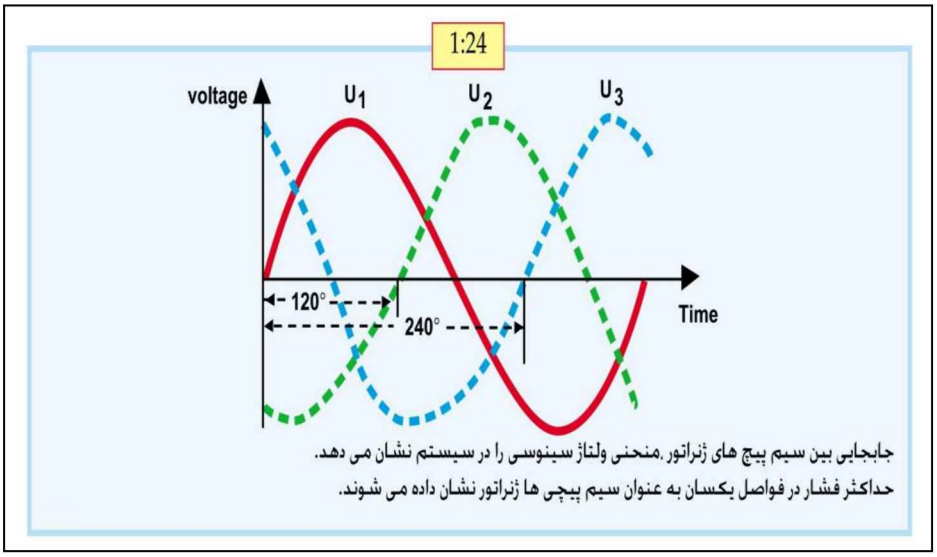
P = توان کنشی (W)

Q = توان واکنشی (V A r)

S = توان ظاهری (V A)

φ = زاویه فاز

$\cos\varphi$ = فاکتور توان



جابجایی بین سیم پیچ های ژنراتور ،منحنی ولتاژ سینوسی را در سیستم نشان می دهد.
حداکثر فشار در فواصل یکسان به عنوان سیم پیچی ها ژنراتور نشان داده می شوند.

۵-۶-۱ موتور الکتریکی (The electric motor)

متداول ترین موتور الکتریکی ، موتور سه فاز القائی است . این نوع موتور که می توان آن را در تمام صنایع پیدا کرد , بی صدا , قابل اتکا و قسمتی از بیشتر سیستم ها برای مثال ، کمپرسورها است .موتور الکتریکی شامل دو قسمت اصلی استاتور ساکن و روتور گردنده است. استاتور, میدان مغناطیسی چرخشی بوجود می آورد و روتور این انرژی را به حرکت(برای مثال انرژی مکانیکی) تبدیل می کند.

استاتور، به منبع جریان برق سه فاز متصل می شود . جریان در سیم پیچ های استاتور باعث ایجاد میدان نیروی مغناطیسی چرخشی می شود که این میدان شامل جریان های موجود در روتور است و باعث ایجاد میدان مغناطیسی در آنجا نیز می شود . رابطه متقابل بین میدان های روتور استاتور, گشتاور چرخشی بوجود می آورد که باعث چرخیدن محور روتور می شود.

۱-۶-۵-۱ سرعت چرخش (Rotation speed)

اگر محور گردنده موتور با سرعتی مشابه با سرعت میدان مغناطیسی بچرخد ، جریان القاء شده در روتور بطور همزمان باید صفر باشد . با وجود این به علت اتلاف های انرژی برای مثال در محل های اصطکاک ، این امر غیر ممکن است و سرعت همیشه تقریبا 1-5% از سرعت همزمان میدان مغناطیسی پایین تر است . برای این سرعت همزمان رابطه زیر بکار برده می شود :

$n = 2 \times f \times 60 / p$

$n =$ سرعت همزمان (r / min)

$f =$ فرکانس منبع جریان برق (Hz)

$P =$ تعداد قطب ها

۱-۶-۵- ۲ راندمان (Efficiency)

تبدیل انرژی در موتور بدون ایجاد اتلاف صورت نمی گیرد . ایجاد این اتلاف شامل تلفات مقاومتی ، تهویه ای ، مغناطیسی و اصطکاکی می باشد . رابطه زیر برای میزان کارایی به کار می رود .

$$\eta = \frac{p_2}{p_1}$$

$\eta =$ راندمان

$p_2 =$ توان محور ، توان معین شده (W)

$p_1 =$ توان اعمال شده (W)

همیشه توان حقیقی، p_2 ، بر روی پلاک مشخصات فنی موتور نوشته می شود .

۱-۶-۵-۳ طبقه بندی عایق (Insulation class)

مواد عایق در سیم پیچی های موتور بر طبق IEC 85 (کمیته الکترونیکی بین المللی) به دو کلاس عایق تقسیم می شوند .یک حرف که معرف درجه حرارت است ، حد بالای بکار گیری را مشخص می کند و مربوط به حد بالای عایق محاسبه شده در منطقه مورد مصرف است . اگر حد بالا ی دماا از $10^{\circ}C$ تجاوز کند طول عمر عایق نصف می شود .

کلاس عایق		B=130°C	F=155°C	H=180°C
دمای محیط	°C	40	40	40
افزایش دما	°C	80	105	125
حاشیه حرارتی	°C	10	10	15
دمای نهایی حداکثر	°C	130	155	180

۱-۶-۵-۴ کلاس های محافظت (Protection classes)

کلاس های محافظت بر طبق IEC 34 - 5 بیان می کنند که موتور چگونه در مقابل آب و تماس محافظت می شود. این کلاس ها با استفاده از حروف IP و به همراه دو رقم بیان می شوند . اولین رقم محافظت در مقابل تماس و نفوذ یک شئ جامد و دومین رقم محافظت در مقابل آب را بیان می کند . برای مثال در :

IP 23 : رقم (۲) محافظت در مقابل اشیاء جامد بزرگتر از 12 mm را بیان می کند ، رقم (۳) محافظت در مقابل پاشش های آب تا 60° بصورت عمودی را بیان می کند .

IP 54 : رقم (۵) مقاومت در مقابل گرد و خاک ، و رقم (۴) محافظت در مقابل آبی که از تمام جهات پاشیده می شود را بیان می کند. IP 55 رقم (۵) محافظت در مقابل گرد و خاک ، و رقم (۵) محافظت در مقابل جریان های آب کم فشار از تمام جهات را بیان می کند .

۱-۶-۵-۵ روش های خنک کاری (Cooling methods)

روش های خنک کاری بر طبق IEC 34-6 بیان می کند که موتور چگونه باید خنک شود . این روش بوسیله حروف I C به همراه دو رقم بیان می شود . به عنوان مثال IC 01 نشان دهنده گردش آزاد و تهویه خاص خود و IC 41 خنک کاری جداره ای و تهویه خاص خود است .

۱-۶-۵-۶ روش نصب تجهیزات (Installation method)

روش نصب تجهیزات بر طبق IEC 34-7 بیان می کند که موتور چگونه باید نصب شود . این روش بوسیله حروف I M به همراه چهار رقم بیان می شود . برای مثال IM 1001 نشان دهنده دو یاتاقان ، میله گردنده به همراه یاتاقان گرد با انتهای آزاد است . برای مثال ،IM 3001 نشان دهنده دو یاتاقان ، میله گردنده به همراه یاتاقان گرد با انتهای آزاد ، بدنه استاتور بدون پایه و درپوش بزرگ به همراه سوراخ های محفوظ مسطح است .

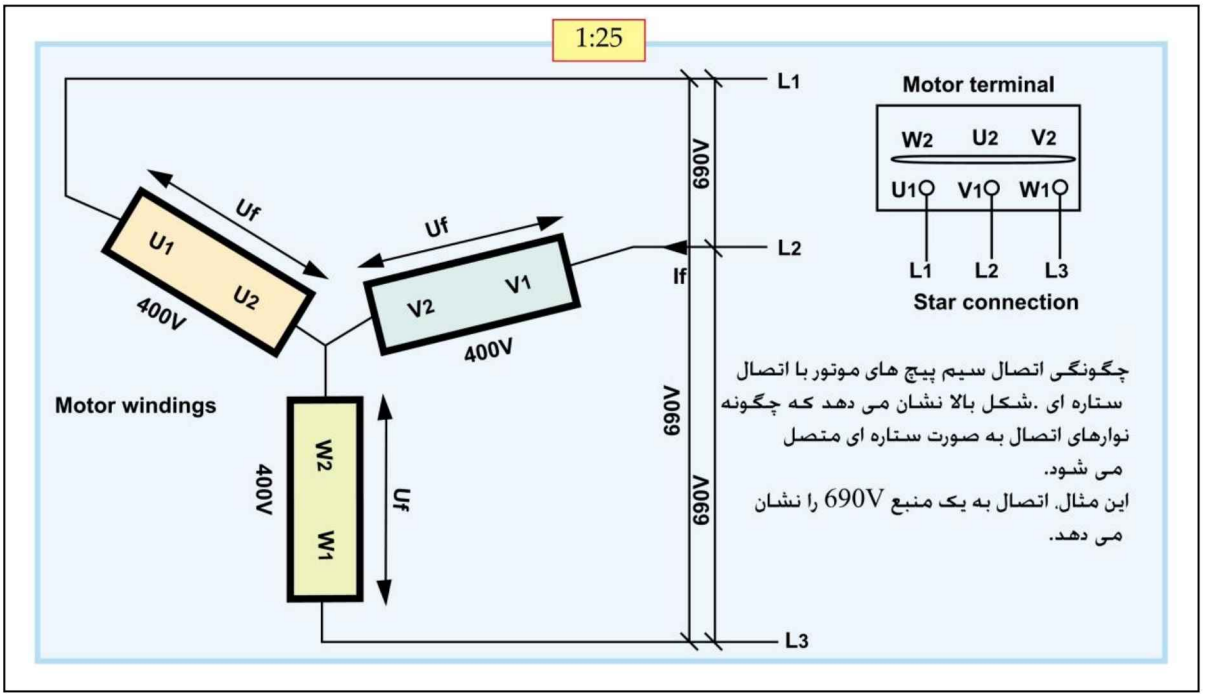
۱-۶-۵-۷ اتصالات ستاره (Y) و مثلث (Δ) (Star (Y) and delta (Δ) connections)

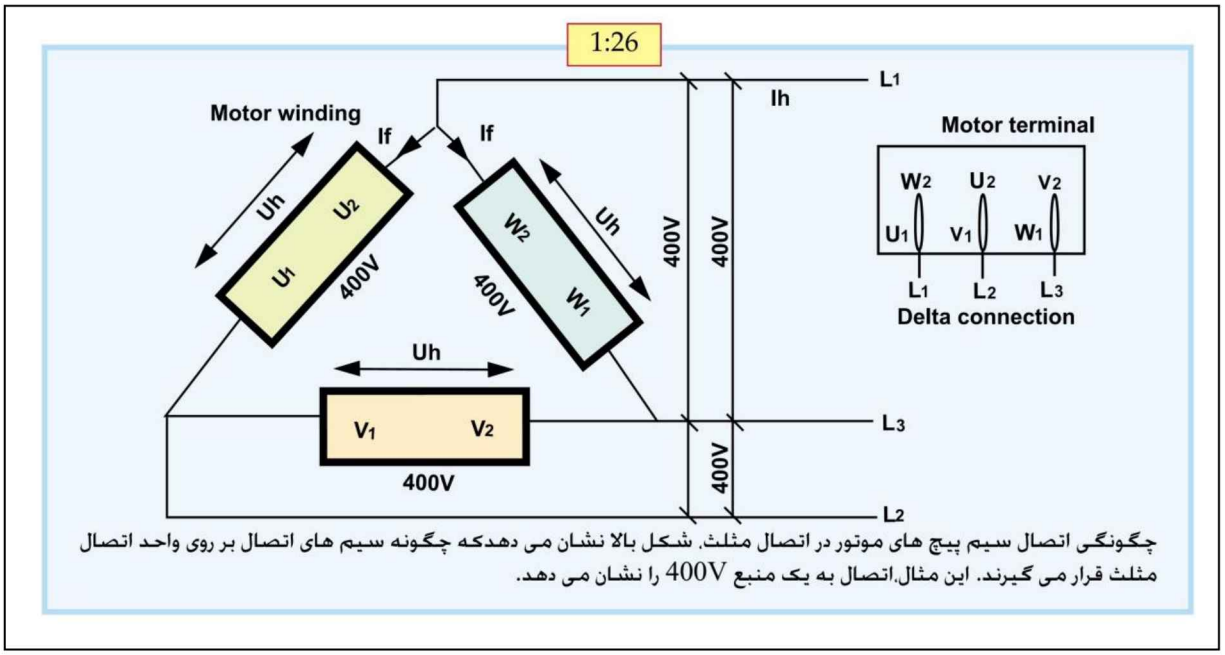
موتور الکتریکی سه فاز به لحاظ سیم پیچی ، به دو روش ستاره (Y) و یا مثلث (Δ) می تواند بسته شود . فازهای سیم پیچی در موتور سه فاز به صورت Wو V و U (U1-U2 , V1-V2 ,W1-W2) مشخص می شوند . با اتصال ستاره (Y) قسمتهای انتهایی فازهای سیم پیچی موتور به یکدیگر متصل می شوند تا نقطه صفری بوجود آورند که شبیه یک ستاره است .

ولتاژ فاز ($\sqrt{3}$ / ولتاژ اصلی = ولتاژ فاز, برای مثال $\sqrt{3}$ / 690 V = 400)در سراسر سیم پیچ ها بر قرار خواهد شد . جریان اصلی I_h به سمت نقطه صفر, تبدیل به جریان فاز می شود و متناسب با آن یک جریان فاز در سراسر سیم پیچی عبور خواهد کرد $I_f = I_h$.

با اتصال مثلث (Δ) قسمت آغازین و قسمت های انتهایی را به فازهای متفاوت متصل می کنیم که بعداً شبیه مثلث می شود . سپس یک ولتاژ اصلی در سراسر سیم پیچ ها برقرار می شود. جریان I_h در داخل موتور جریان اصلی است و این جریان بین سیم پیچ ها تقسیم خواهد شد و از طریق $I_f = I_h / \sqrt{3}$ جریان فاز ایجاد می کند . یک موتور می تواند به

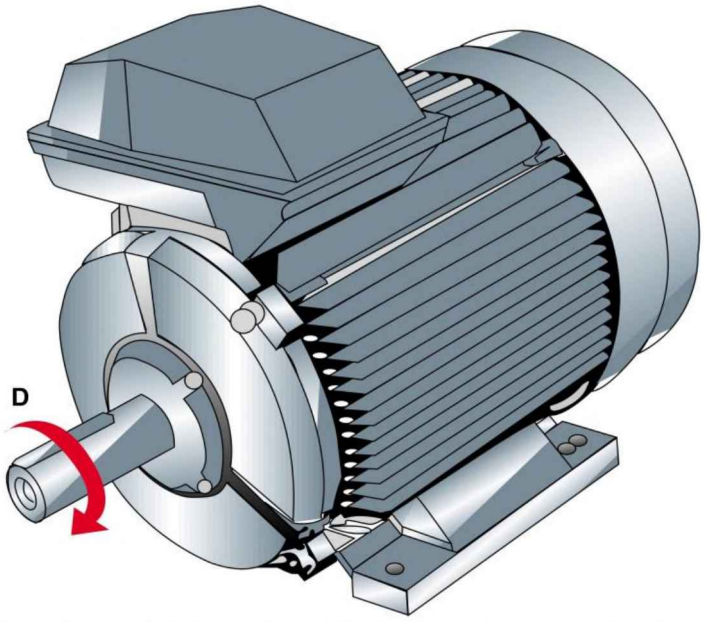
صورت اتصال ستاره 690V یا اتصال مثلث 400V به هم ارتباط یابد . در هر دو مورد , ولتاژ موجود در سیم پیچ ها 400V خواهد بود .جریان موجود در موتور با اتصال ستاره 690V نسبت به اتصال مثلث 400V ، پایین تر خواهد بود. رابطه بین سطوح جریان $\sqrt{3}$ است .





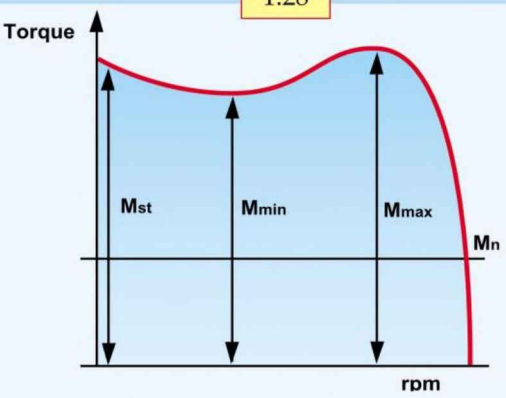
برای مثال بر روی پلاک موتور 690/400 V درج می شود. این عدد نشان می دهد برای اتصال ستاره نیاز به ولتاژ بالاتر و در اتصال مثلث نیاز به ولتاژ پایین تری است .جریان نیز بر روی پلاک درج می گردد که بیانگر مقدار پایین تری برای اتصال ستاره و مقدار بالاتری برای اتصال مثلث است .

1:27



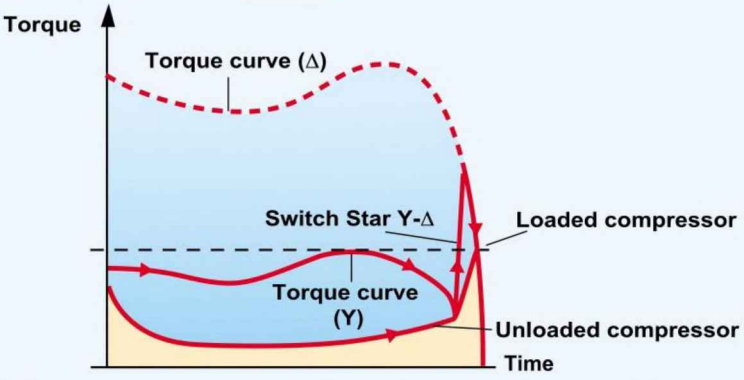
شبکه جریان برق رسانی که به جعبه موتور سه فاز متصل است با W,U,V مشخص می شود.توالی فاز به صورت L3,L2,L1 است به این معنی که موتور از نظر D در جهت عقربه های ساعت خواهد چرخید.برای اینکه موتور در خلاف جهت عقربه های ساعت بچرخد. دو سیم از سه سیم هادی که به استارتر یا موتور متصل هستند.جابجا می شوند. هنگام چرخش برخلاف عقربه های ساعت و عملکرد پروانه خنک کننده را بررسی کنید.

1:28



در منحنی گشتاور یک موتور القائی اتصال کوتاه وقتی که موتور روشن می شود گشتاور بالاست و در حین شتاب گیری گشتاور در ابتدا مقداری افت نموده و آنگاه پیش از افت به حداکثر خود می رسد.

1:29



در این شکل منحنی گشتاور موتور القائی که با مدار ستاره ای- مثلث به کار می افتد در منحنی گشتاور یک کمپرسور پیچی گنجانده شده است. کمپرسور در مدت راه اندازی بار(هرز) می باشد.وقتی سرعت تقریبا به 90تا95 درصد سرعت اسمی می رسد و موتور به حالت مثلث تغییر وضعیت می دهد. گشتاور افزایش یافته و کمپرسور زیر بار می رودو نقطه کار خودش را پیدا می کند.

۱-۶-۵-۸ گشتاور (Torque)

گشتاور چرخشی یک موتور الکتریکی ، اصطلاحی است که برای ظرفیت چرخشی روتور به کار میرود. هر موتور دارای یک گشتاور حداکثر است . اگر بار وارده بالای این گشتاور باشد به این معنی است که موتور توان چرخش را ندارد . با یک بار وارده معمولی ، موتور به طرز چشمگیری زیر حداکثر گشتاورش کار می کند ، با وجود این ، در لحظه شروع بار زیادی به موتور وارد می شود .مشخصات موتور اغلب در یک منحنی گشتاور توضیح داده می شود .

بخش دوم

کمپرسورها
و
تجهیزات کمکی

۲-۱ کمپرسور های جابجایی (Displacement compressors)

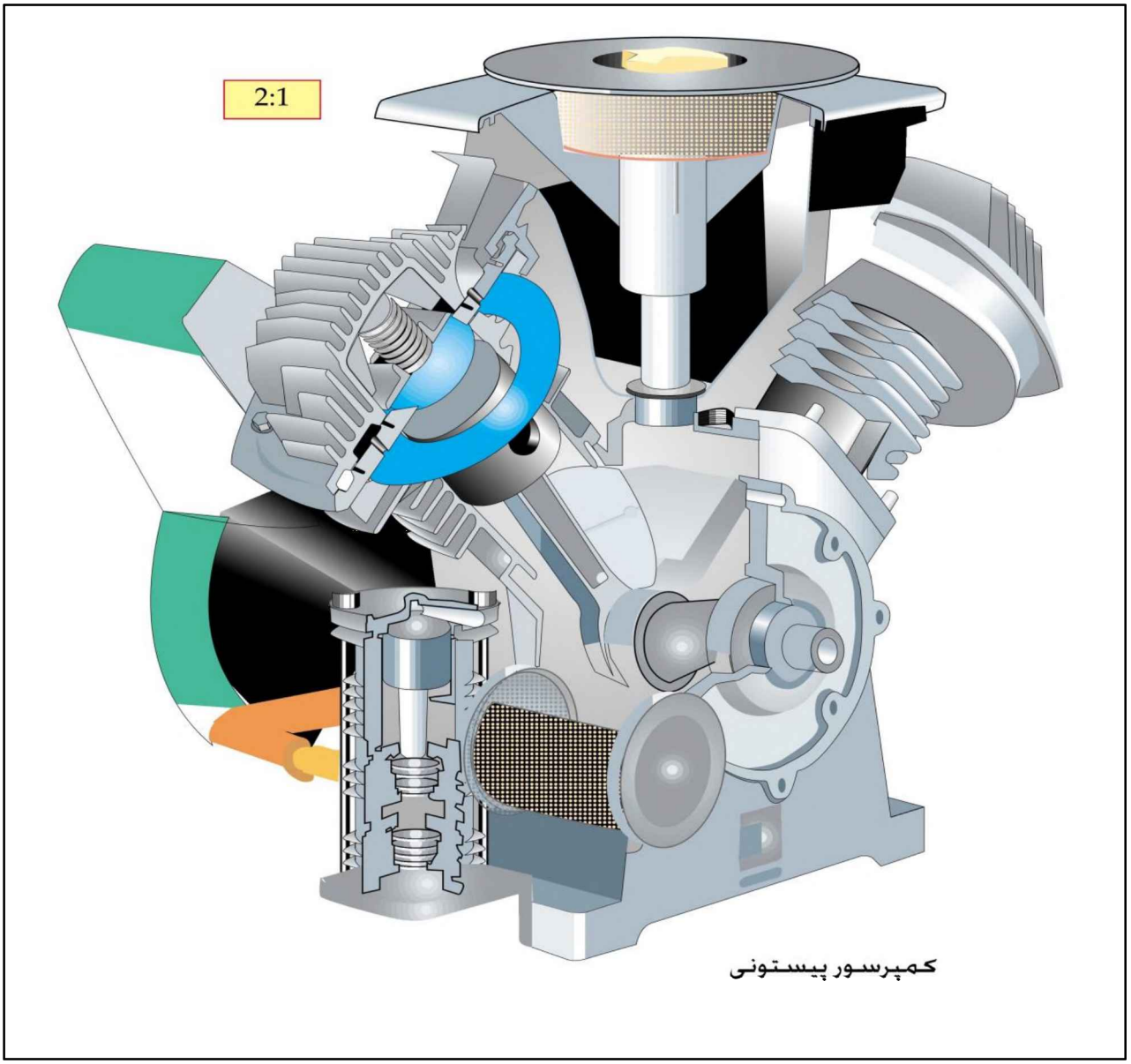
۲-۱-۱ کمپرسور های جابجایی بطور کلی (Displacement compressors in general)

یک کمپرسور جابجایی این خصوصیت را دارد که حجم معینی از گاز یا هوا را محصور کند و سپس با کاهش دادن منطقه ی حجم محصور شده ، فشار را افزایش دهد .

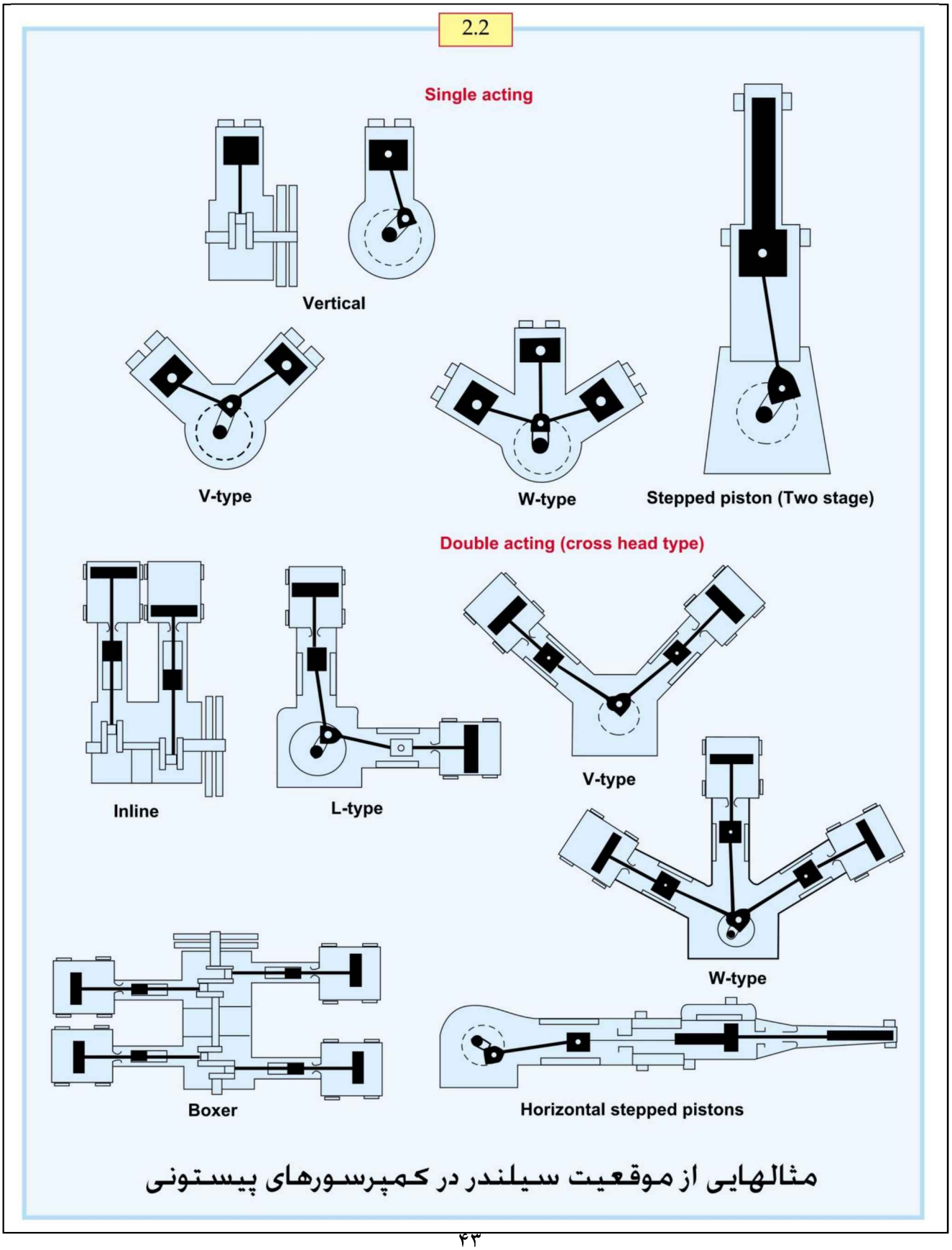
۲-۱-۲ کمپرسور های پیستونی (Piston compressors)

کمپرسور پیستونی قدیمی ترین و متداول ترین انواع کمپرسور است . این کمپرسور در شکل های دو طرفه یا یک طرفه موجود می باشد که قطعات آن ها روغنکاری شونده یا روغن کاری نشونده می باشد و به اشکال متفاوتی دارای تنوع تعداد سیلندر هستند. به جز کمپرسورهای بسیار کوچک که دارای سیلندر های عمودی هستند, شکل بندی **V** رایج ترین شکل برای کمپرسور های کوچک است.

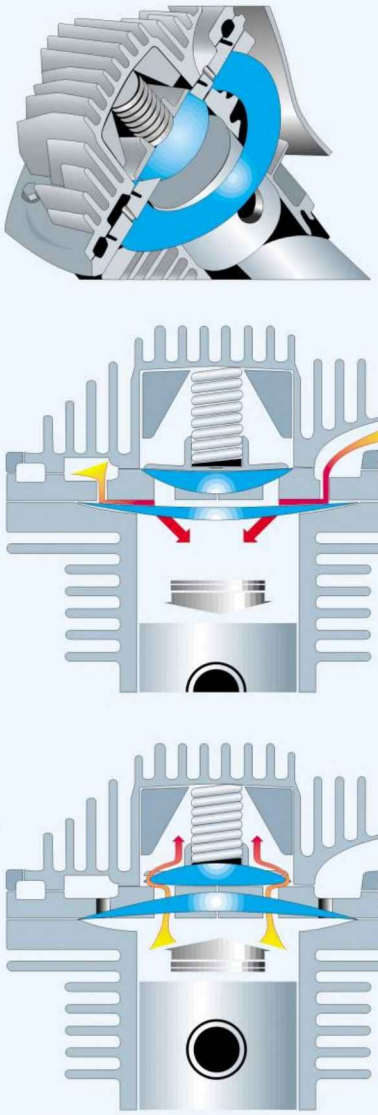
در کمپرسور های بزرگ دو طرفه ، شکل بندی نوع **L** با سیلندر عمودی فشار پایین و سیلندر افقی فشار بالا مزایای زیاد بسیاری داشته و به همین علت این نوع طرح نسبت به طرح های دیگر رایج تر است.



کمپرسورهایی که روغنکاری می شوند بطور معمول با سیستم روغن کاری پاششی یا روغن کاری فشاری کار می کنند . بیشتر کمپرسور ها دارای سوپاپ های خودکار هستند . یک سوپاپ خودکار به هنگام بروز اختلافات فشار در دو سمت بشقابک سوپاپ باز و بسته می شود .

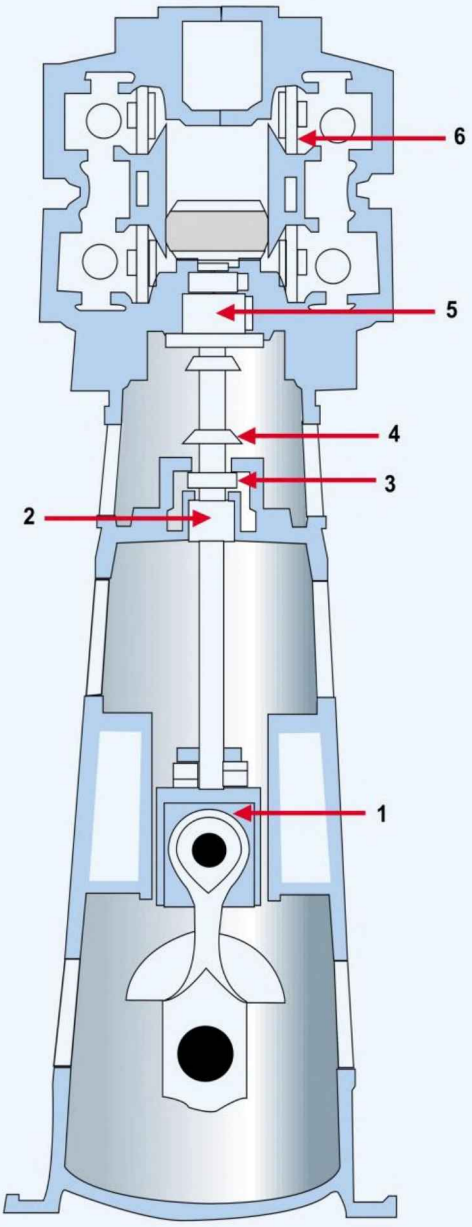


2:3

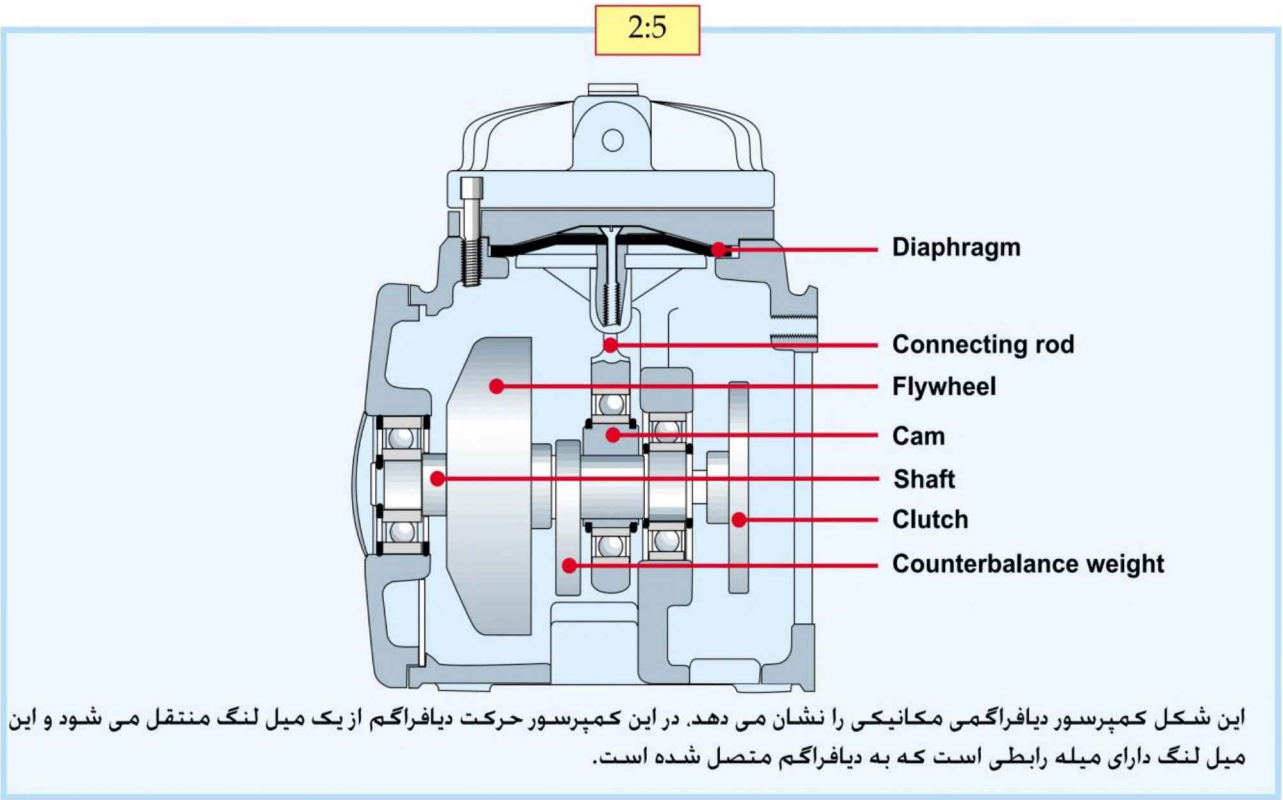


یک کمپرسور پیستونی به همراه یک سیستم سوپاپ که شامل دو بشقابک سوپاپ فولادی ضد زنگ می باشد.وقتی که پیستون به طرف پایین حرکت می - کندو هوارا به داخل سیلندر می کشد. بزرگترین بشقابک به اندازه کافی انعطاف پذیر است که به طرف پایین انحنا پیدا نموده و اجازه دهد که جریان هوا عبور کند. وقتی پیستون به طرف بالا حرکت می کند دیسک بزرگ به طرف بالا انحنا پیدا نموده و کاملا در سر سوپاپ جای میگیرد.سپس عملکرد سبک انعطاف پذیر کوچک و به هوای فشرده اجازه می دهدکه با فشار از طریق سوراخ نشیمن سوپاپ خارج شود.

2:4



1-زبانه متحرک(یاتاقان متحرک)
2-یاتاقان هادی
3-حلقه روغن روب
4-حلقه روغن پاش
5-جعبه آب بندی
6-دیسک سوپاپ
کمپرسور پیستونی دوطرفه با کلگی آب بندی شده تفلونی



این شکل کمپرسور دیافراگمی مکانیکی را نشان می دهد. در این کمپرسور حرکت دیافراگم از یک میل لنگ منتقل می شود و این میل لنگ دارای میله رابطی است که به دیافراگم متصل شده است.

۲-۱-۳ کمپرسورهای پیستونی روغنکاری نشونده (Oil-free piston compressors)

کمپرسورهای پیستونی روغنکاری نشونده یا دارای رینگ های پیستونی از جنس پلی اتیلنی یا کربنی می باشند و یا اینکه دیواره پیستون و سیلندر آنها می تواند همانند کمپرسورهای مارپیچی شیاردارباشد . کمپرسورهای بزرگتر دارای یک یاتاقان متحرک و واشرهای درزگیری هستند که بر روی پین های انگشتی پیستون قرار دارند و دارای قطعه میانی تهویه کننده ای است که از انتقال روغن از محفظه کارتل به محفظه تراکم خودداری می کند . کمپرسورهای کوچک تر اغلب یک کارتل روغن به همراه آببندی جهت افزایش عمر یاتاقان ها دارد .

۲-۱-۴ کمپرسورهای دیافراگمی (Diaphragm compressors)

کمپرسورهای دیافراگمی گروه دیگری را تشکیل می دهند . دیافراگم بطور مکانیکی یا هیدرولیکی به کار انداخته می شود.کمپرسور های دیافراگمی مکانیکی با جریان اندک و فشار پایین یا به عنوان پمپ های خلاء مورد استفاده قرار می گیرند. کمپرسور های دیافراگمی هیدرولیکی برای فشار بالا مورد استفاده قرار می گیرند .

۲-۱-۵ کمپرسور های مار پیچی (Screw compressors)

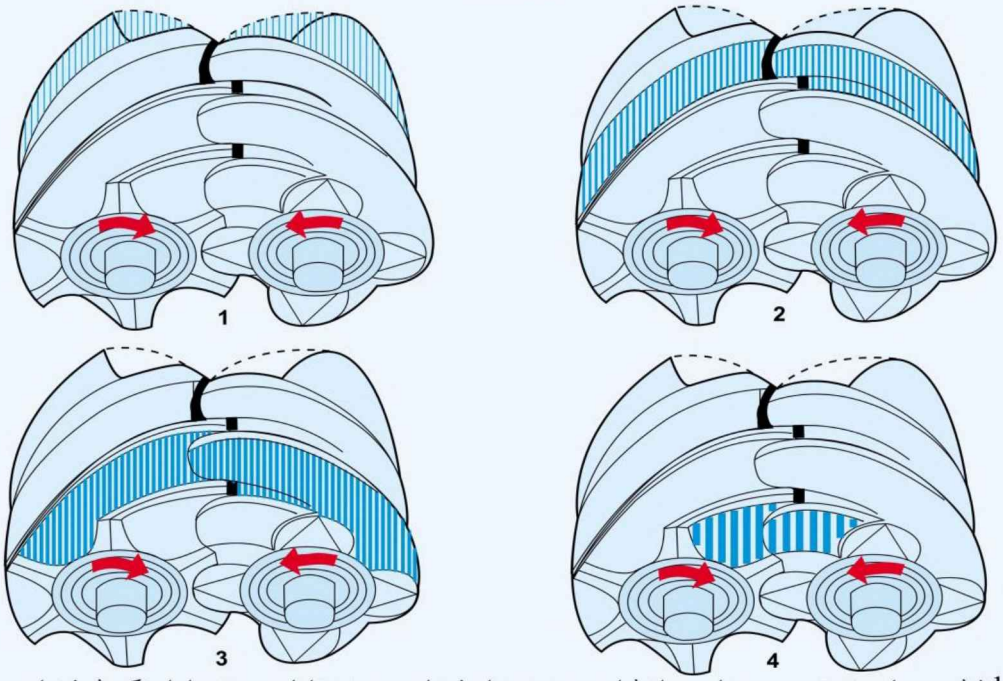
کمپرسور جابجایی چرخشی با پیستون مار پیچی شکل ، در سالهای دهه ۱۹۳۰توسعه یافت ، زمانی که یک کمپرسور چرخشی با ظرفیت بالا و جریانی ثابت در شرایط متفاوت مورد نیاز بود.

اجزاء اصلی هوا ساز کمپرسور شامل روتورهای نر و مادگی می باشد ، که تا وقتی به طرف یکدیگر حرکت می کنند ، حجم بین آنها و محفظه کاهش می یابد . هر هوا ساز مارپیچ دارای نسبت فشار ثابتی است که به طول مارپیچ ، فاصله میان دنده های مارپیچ و شکل مجرای تخلیه آن بستگی دارد . برای بدست آوردن بهترین بازده ، نسبت فشار با فشار کاری مورد نیاز باید مطابقت کند .

کمپرسور مارپیچی دارای سوپاپ نبوده و هیچ نیروی مکانیکی ندارد که باعث عدم تعادل شود . بدین معنی که این کمپرسور با ابعاد کوچک می تواند با سرعت بالایی کارکند و جریان عظیمی را ترکیب نماید . یک نیروی محوری فعال که بستگی به

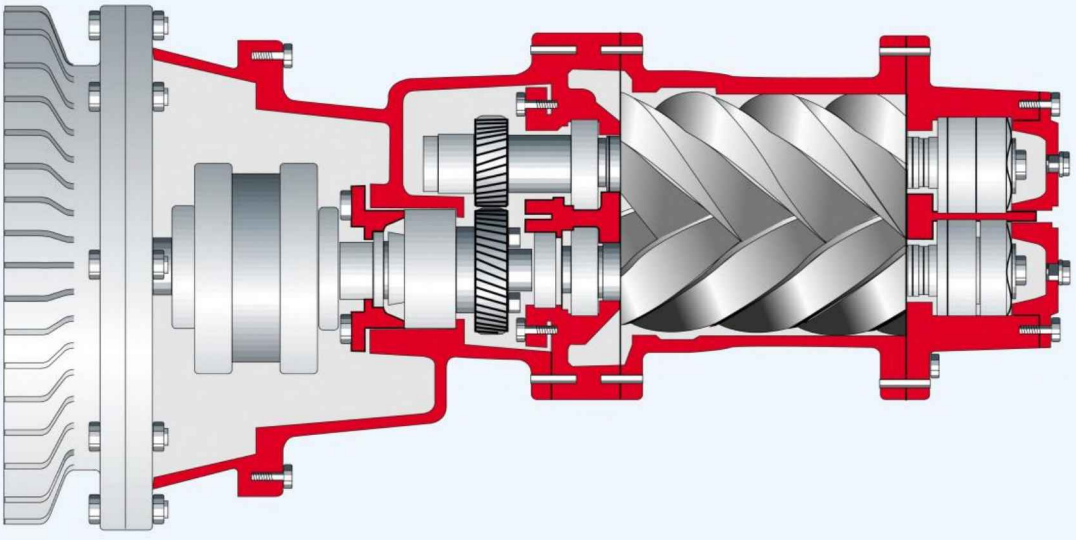
اختلاف فشار بین ورودی و خروجی دارد بر یاتاقان ها وارد می گردد .مارپیچ ، که در اصل متقارن بـود ، هـم اکنـون در طـرح های مختلف به صورت اشکال حلزونی توسعه یافته است.

2:6

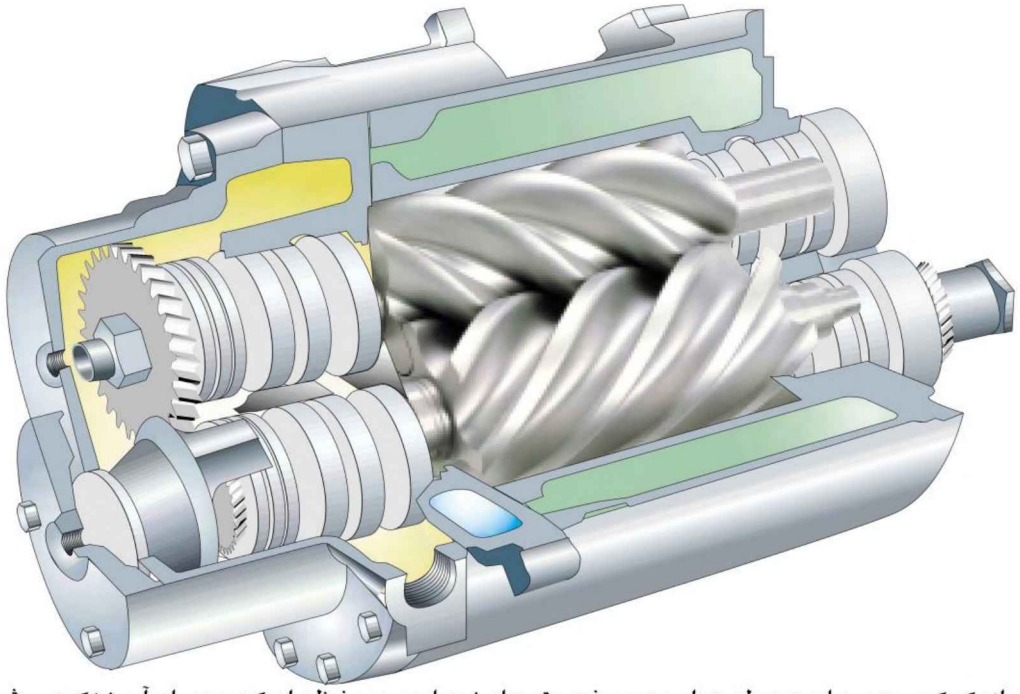


شکل 1 فشرده سازی یک کمپرسور مارپیچ را نشان می دهد. هوا و فضای بین روتورها را پر میکند. اما در گردش فضا پیوسته بیشتر کاهش می یابد.

2:7



بخش اصلی کمپرسور مارپیچی Oil-lubricated



ساختاری از یک کمپرسور مارپیچ مولد هوای بدون روغن روتورهای نروماده در محفظه ای که بوسیله آب خنک می شود. می چرخند.روتور جلویی که دارای چهار دنده می باشد.روتور نر است که به جعبه دنده متصل شده است. روتور پشتی که دارای شش دندانه می باشد.روتور ماده است که بوسیله چرخ دنده همزمان کننده ای در سمت چپ روتور، سر جای خود نگه داشته شده است.

۲-۱-۵-۱ کمپرسورهای مارپیچی روغن کاری نشونده (Oil-free screw compressors)

اولین کمپرسورهای مارپیچی دارای شکل متقارنی بودند و در محفظه فشارآنها از مایع استفاده نمی شد؛ به همین دلیل به آنها کمپرسورهای مارپیچی روغنکاری نشونده یا خشک می گفتند . در اواخر دهه ۱۹۶۰ کمپرسور مارپیچی روغنکاری نشونده با سرعت بالایی بوجود آمد که دارای شکل مارپیچ نامتقارنی بود . این شکل جدید روتور بطرز چشمگیری منجر به افزایش بازده شد که این افزایش کارایی به علت کاهش نشت در دستگاه بود .

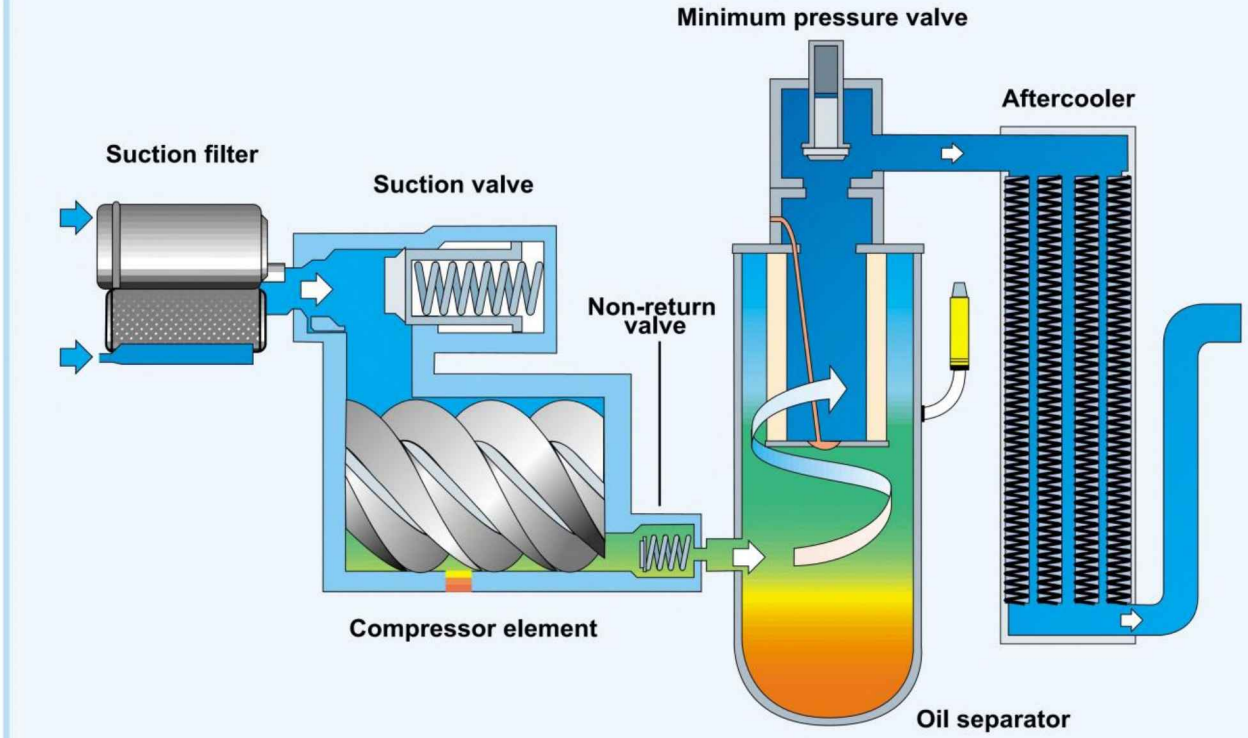
در کمپرسور های مارپیچی خشک , از یک چرخ دنده ی بیرونی استفاده می شود تا روتورهای چرخشی را که در جهت عکس یکدیگر حرکت می نمایند هماهنگ کند . از آنجاکه روتورها با یکدیگر و با محفظه تراکم کمپرسور تماس پیدا نمی کنند بنابراین در محفظه تراکم نیازی به روغن کاری نیست در نتیجه هوای فشرده شده به طور کامل از روغن خالی است . روتورها و محفظه با حداکثر دقت ساخته می شوند تا نشت روغن از قسمت تراکم به قسمت ورود هوا به حداقل برسد . نسبت فشار هوای اختلاط شده , توسط اختلاف درجه حرارت بین ورودی و خروجی محدود می شود . به همین دلیل است که کمپرسورهای مارپیچی روغنکاری نشونده را اغلب بصورت چندین مرحله ای می سازند.

۲-۱-۵-۲ کمپرسورهای مارپیچی مایع تزریقی (Liquid injected screw compressors)

در این نوع کمپرسور تزریقی ، مایعی با هدف روغن کاری و خنک کاری به محفظه تراکم و اغلب به یاتاقان های کمپرسور تزریق می شود . نقش این مایع , خنک کاری و روغن کاری کمپرسور و کاهش نشت برگشتی به قسمت ورودی هوا ست .

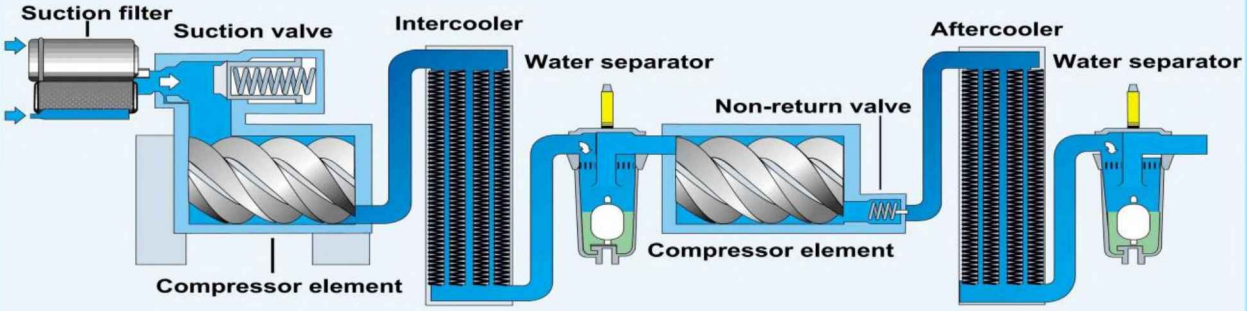
امروزه ، روغن ، به دلیل خواص خوب روانسازی, رایج ترین مایع مورد استفاده در روانکاری است . با توجه به این از مایعات دیگری , ازجمله آب نیز استفاده می شود . کمپرسورهای مارپیچ مایع تزریقی می توانند برای نسبت های فشار بالا ساخته شوند ، زیرا که با یک مرحله تراکم هوا ، فشاری معادل ۱۳ بار ایجاد می نماید .

2:9

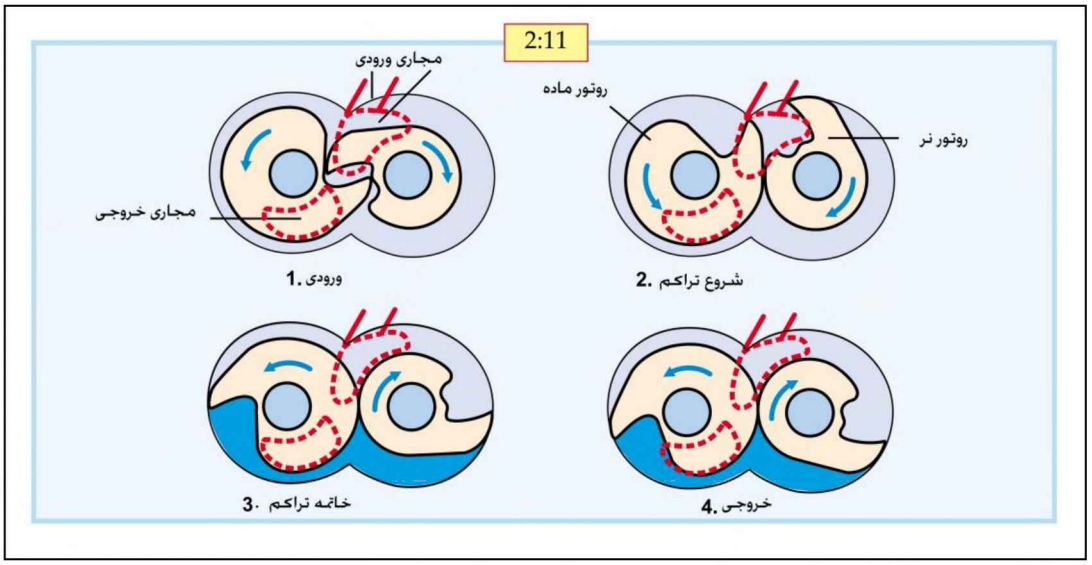


کمپرسور مارپیچ با هوای حاوی روغن

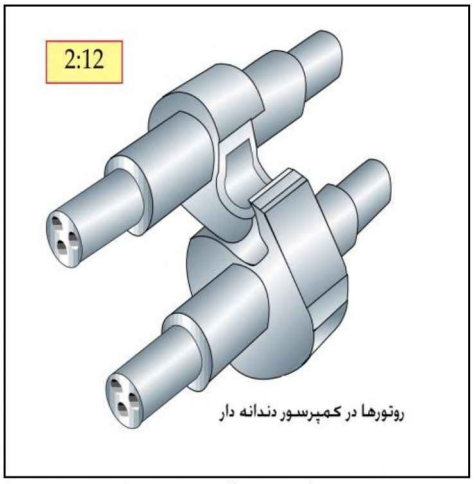
2:10



کمپرسور مارپیچ با هوای عاری از روغن



۲-۱-۶ کمپرسور دندانه دار (Tooth compressor)



واحد هواساز در کمپرسور دندانه دار از دو روتور تشکیل می شود که در محفظه تراکم به طرف یکدیگر حرکت می کنند .

فرایند فشرده سازی از سه مرحله مکش ، تراکم و رانش تشکیل می شود . در مرحله مکش ، هوا وارد محفظه تراکم می شود که با حرکت روتورها, بتدریج همواره کوچکتر می گردد . خروجی هوا در مرحله تراکم به وسیله یکی از روتورها مسدود می باشد ، در حالی که ورودی برای مکش هوای تازه, در قسمت دیگر محفظه ی تراکم باز است.

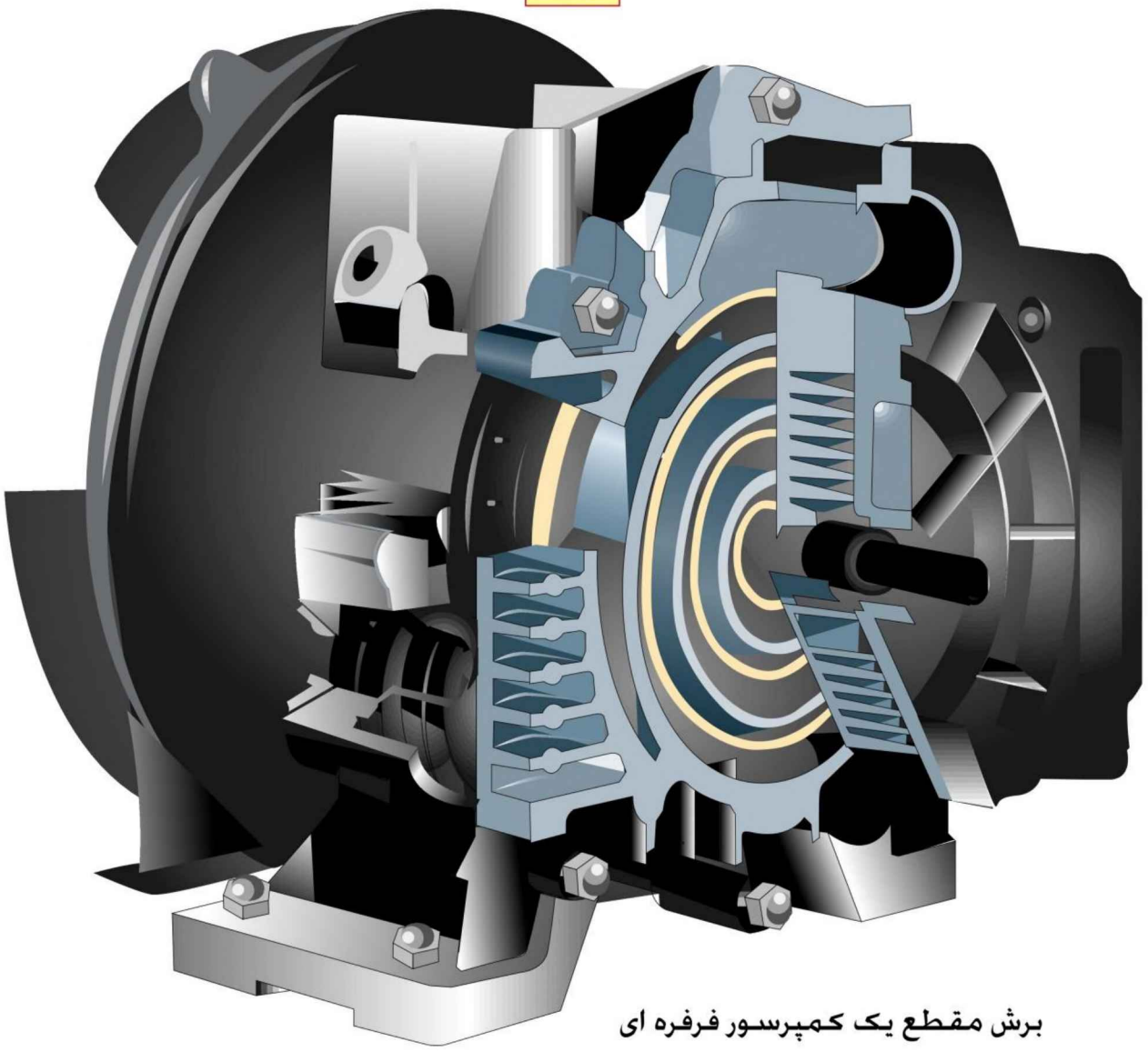
عمل تخلیه هنگامی صورت می گیرد که یکی از روتورها کانال را باز کند و بدین ترتیب هوای متراکم شده با نیروی زیادی به بیرون از محفظه تراکم فرستاده شود . مراحل مکش و رانش هوا در محفظه تراکم بصورت شعاعی صورت می پذیرد تا این امکان را فراهم آورد که از طرح های ساده تر یاتاقان استفاده شود و همچنین ویژگی های پر کردن هوا را بهبود بخشد .

هر دوی این روتور ها از طریق چرخ دنده ای هماهنگ شده و بطور همزمان می چرخند . حداکثر نسبت فشاری که توسط کمپرسور دندانه دار روغنکاری نشونده بدست می آید ، ۴/۵ است . در نتیجه برای فشار های بالا تر مراحل دیگری نیز مورد نیاز است .

۲-۱-۷ کمپرسور فرفره ای (Scroll compressor)

این کمپرسور یکی از انواع کمپرسور های جابجایی مارپیچی روغنکاری نشونده است ، برای مثال این کمپرسور همواره با کاهش حجم معینی از هوا , آن را فشرده می سازد . واحد هوا ساز کمپرسور , از یک حلزونی ثابت در قسمت محفظه، یک موتور که بصورت گریز از مرکز راه اندازی می شود و نیز یک مارپیچ متحرک تشکیل شده است . حلزونی ها با اختلاف فاز ۱۸۰ درجه نصب می شود تا محفظه هوایی با حجم های متغیر را تشکیل دهند .

این امر باعث می شود که قسمتهای تشکیل دهنده کمپرسور دارای تعادل شعاعی باشند ، میزان نشت وقتی اختلاف فشار در محفظه های هوا کمتر از اختلاف فشار بین ورودی و خروجی باشد ، به حداقل می رسد .

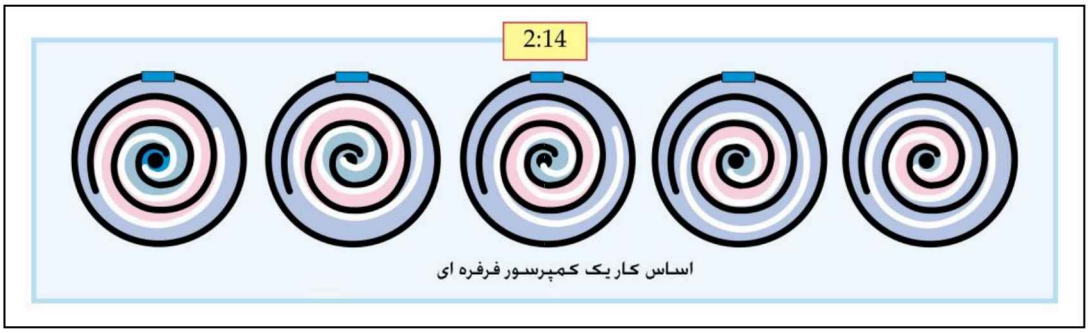


برش مقطع یک کمپرسور فرفره ای

حلزونی متحرک توسط میل لنگی به کار انداخته می شود که دارای کورس کوتاهی است و این مارپیچ بطور گریز از مرکز در حول مرکز حلزونی , ثابت حرکت می کند . قسمت ورودی هوا در بالای محفظه تعبیه شده است .

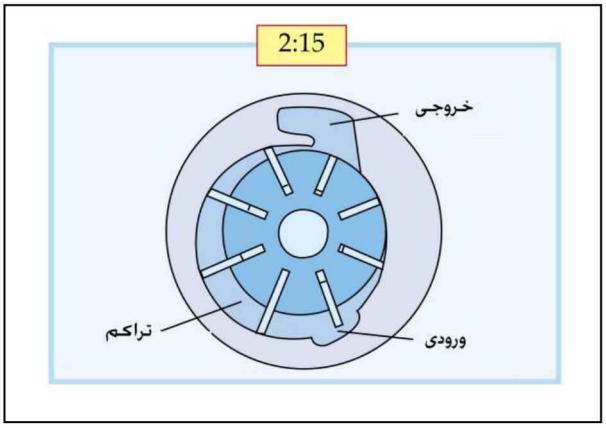
وقتی مارپیچ متحرک برخلاف عقربه های ساعت حرکت کند ، هوا به داخل فرستاده می شود و در یکی از محفظه های هوا حبس و بطور متغیری به سمت مرکز فشرده می شود .

در این قسمت دریچه خروجی و سوپاپ یک طرفه ای تعبیه شده است .به اندازه هر ۲/۵ دور چرخش , دوره ی تراکم در حال اجراء می باشد که در این دوره ، جریان هوا ثابت و بدون ضربه است . از آنجاکه این فرایند بدون هیچ تغییراتی در گشتاور می باشد ، تقریباً آرام و بدون لزرش و با کمپرسور پیستونی قابل مقایسه است .



۲-۱-۸ کمپرسور پره ای (Vane compressor)

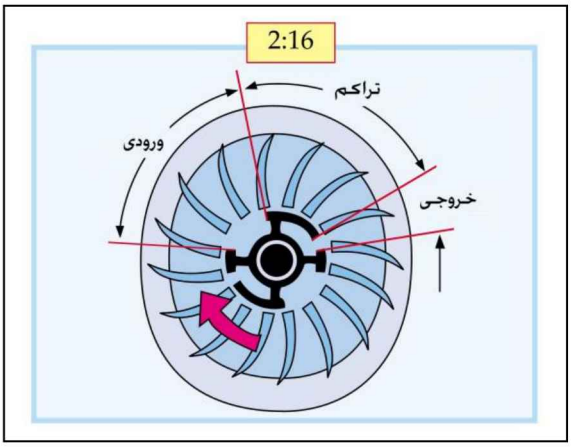
اصول کار کمپرسور پره ای , همانند بسیاری دیگر از موتور های هوای فشرده است . پره ها اغلب از آلیاژهای ریختگی مخصوص ساخته می شوند و بیشتر کمپرسور ها از نوع روغنکاری شونده می باشند .



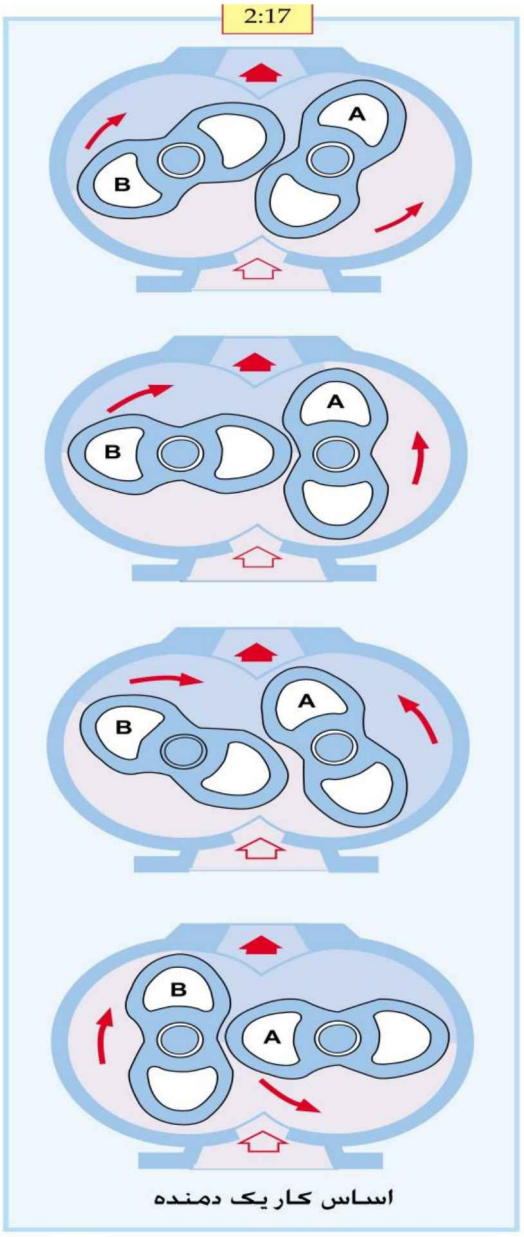
یک روتور که دارای پره های متحرک شعاعی است به صورت خارج از مرکز در محفظه استاتور نصب می شود . وقتی روتور می چرخد ، پره ها به واسطه نیروی گریز از مرکز با دیواره های استاتور تماس برقرار می کنند, فاصله بین روتور و استاتور افزایش می یابد و هوا به داخل فرستاده می شود . هوا در محفظه های مختلف کمپرسور حبس شده و حجم این محفظه ها همزمان با چرخش کاهش می یابد . آنگاه پره ها از مقابل مجرای خروجی می گذرند و هوا تخلیه می شود.

۲-۱-۹ کمپرسور حلقه روغنی (Liquid-ring compressor)

کمپرسور حلقه روغنی یکی از انواع کمپرسورهای جابجایی است که دارای نسبت فشار درونی می باشد . روتور این کمپرسور دارای پره های ثابتی است که به صورت خارج از مرکز در یک محفظه قرار گرفته و بخشی ازآن با مایعی پر می شود . چرخ پره ، مایع را به اطراف محفظه کمپرسور منتقل نموده و به واسطه نیروی گریز از مرکز، حلقه ای از مایع در اطراف محفظه کمپرسور تشکیل می شود . از آنجاکه محفظه کمپرسور بیضی شکل است ، حلقه ی مایع بصورت خارج از مرکز در اطراف روتور قرار می گیرد . حجم بین چرخ پره بطور متناوب تغییر می کند . این کمپرسور اغلب دارای دو محفظه ی تراکم متقارن رو به روی هم است تا بدین ترتیب از اعمال نیروهای شعاعی بر روی یاتاقان ها جلوگیری شود.



فرایند خنک کاری در این کمپرسور, بصورت مستقیم است و به تماس بین مایع و هوا بستگی دارد ، به این معنی که افزایش درجه حرارت بر روی هوای تراکم یافته خیلی کم است . هوا توسط مایع کمپرسور که بطور معمول آب است اشباع می شود . به منظور جذب معینی از عنصر تشکیل دهنده ی گاز و یا حفاظت کمپرسور در مقابل فرسودگی و خوردگی در مواقعی که گازهای تهاجمی تحت فشار قرار می گیرند ،گاهی اوقات از مایعات دیگری نیز می توان استفاده کرد .



اساس کار یک دمنده

۲-۱-۱۰ دمنده ها (Blowers)

به این علت که یک دمنده بدون تراکم سازی درونی کار می کند، کمپرسور جابجایی نیست . وقتی که محفظه تراکم در تماس با مجرای خروجی قرار می گیرد ، هوای فشرده از قسمت تراکم رهایی می یابد . وقتی که حجم اتاقک فشار با چرخش های پیوسته کاهش می یابد ، عمل تراکم صورت می پذیرد . بنابراین،تراکم،زمانی که در مقابل یک فشار هم سو قرار گیرد صورت می گیرد و بازدهی کمپرسور کاهش می یابد و سر و صدای زیادی تولید می شود .

دور روتور هم شکل ومتقارن که برخلاف جهت یکدیگر در محفظه دارای انتهای مسطح می چرخند ، درمحفظه استوانه ای کار می کنند . روتور ها به طور همزمان با یکدیگر, توسط چرخ دنده ی همزمان کننده ای می چرخند . دمنده های هوا اغلب روغنکاری نشونده می باشند . حتی اگر فشرده سازی دو یا سه مرحله ای در دسترس باشد بازدهی پایین باعث می شود آنها فقط در کاربردهای کم فشار و فشرده سازی تک مرحله ای مورد استفاده قرار گیرند . در اکثر موارد دمنده ها به عنوان پمپ های خلاء و عوامل پنو ماتیکی به کار گرفته می شوند .

۲-۲ کمپرسور های دینامیک(Dynamic compressors)

۲-۲-۱ بررسی کلی کمپرسور های دینامیکی(Dynamic compressors in general)

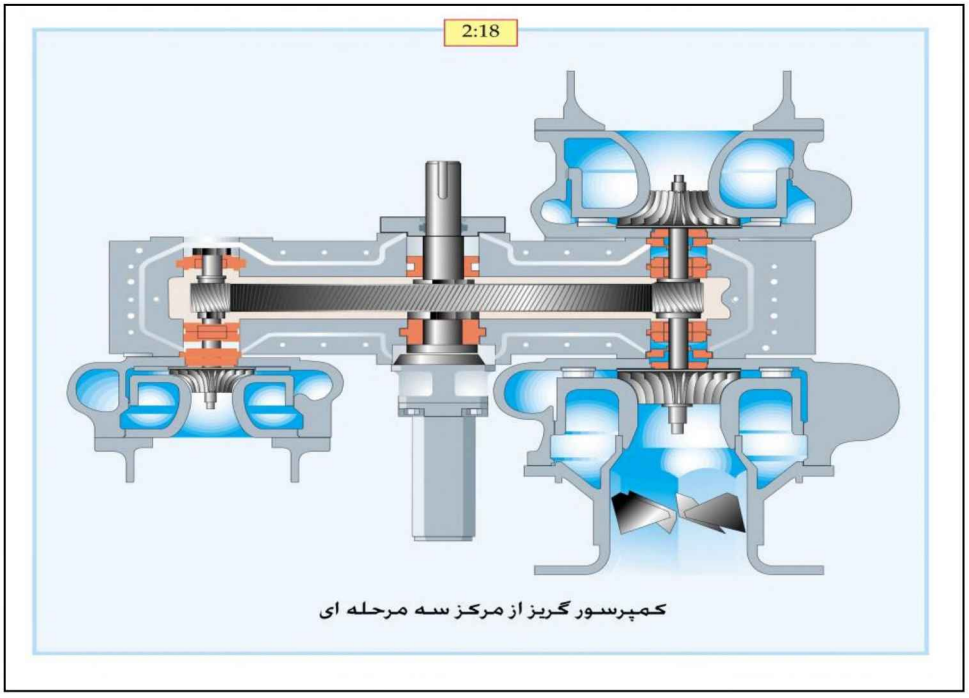
کمپرسورهای دینامیکی دردوطرح محوری و شعاعی موجودمی باشند .در اکثر موارد, طرح های شعاعی, کمپرسور های توربینی یا کمپرسورهای توربینی شعاعی نامیده می شوند و طرح های محوری اغلب کمپرسور های گریز از مرکز نامیده می شوند . برخلاف کمپرسورهای جابجایی که با جریان ثابت کار می کنند ، کمپرسور های دینامیکی با فشار ثابت کار می کنند . ایجاد تغییر جزئی در فشار ورودی که باعث تغییر زیادی در ظرفیت می شود ,از جمله شرایط بیرونی است که بر عملکرد کمپرسور دینامیکی اثر می گذارد.

۲-۲-۲ کمپرسورهای گریز از مرکز (Centrifugal compressors)

از ویژگی های کمپرسور گریز از مرکز ، جریان رانش شعاعی آن است . هوا با استفاده از پره های شعاعی وارد مرکز پروانه دواری می شود و توسط نیروهای گریز از مرکز به سوی محیط پروانه دوار به بیرون پرتاب می شود .قبل از اینکه هوا به مرکز پروانه دوار بعدی رانده شود ، از یک پخش کننده و یک محفظه حلزونی عبور می کند ، که در این محفظه انرژی جنبشی به فشار تبدیل می شود.

نسبت فشار, در هر مرحله, توسط فشار نهایی کمپرسور تعیین می شود . همچنین بعد از هـر پروانـه دوار, سـرعت هـوا بطـزر چشمگیری افزایش می یابد . در قسمت ورودی هر یک از مراحل, دمای هوا نقش مهمی در توان کمپرسور دارد ، و به همـین دلیل عمل خنک کاری بین مراحل نیاز می باشد. کمپرسور های گریز از مرکز حتی با بیش از ۶ مرحله و فشاری تا ۲۵ بار غیر معمول نیستند. پروانه دوار می تواند دارای طرح باز و یا بسته باشد . طرح باز در کاربرد های هوا رایـج تـر اسـت . پروانـه دوار بیشتر از آلیاژ فولاد ضد زنگ و یا آلومینیوم ساخته می شود.سرعت این کمپرسور در مقایسه با کمپرسور های دیگر خیلی بـالا ست و حدود۱۵۰۰۰ تا ۱۰۰۰۰۰ دور بر دقیقه بسیار رایج می باشد .

این ، بدین معنی است که به جای یاتاقان های ساچمه ای از یاتاقان های تخت در کمپرسور اسـتفاده مـی شـود . یاتاقانهـای ساچمه ای در کمپرسورهای یک مرحله ای با نسبت فشار کم مورد استفاده قرار می گیرند .اغلب کمپرسور هـای چنـد مرحلـه ای دارای دو پروانه دوار هستند که بر روی هر دو انتهای محور گردان نصب شده اند و بارهای محـوری تولیـد شـده توسـط اختلاف فشار را خنثی می کنند .پایین ترین میزان جریان حجمی در کمپرسور گریز از مرکز بطور عمده توسط جریـان موجـود در آخرین مرحله تعیین می شود.ظرفیت عملی l/s ۱۶۰ در مجرای خروجی یک قاعده کلی است .



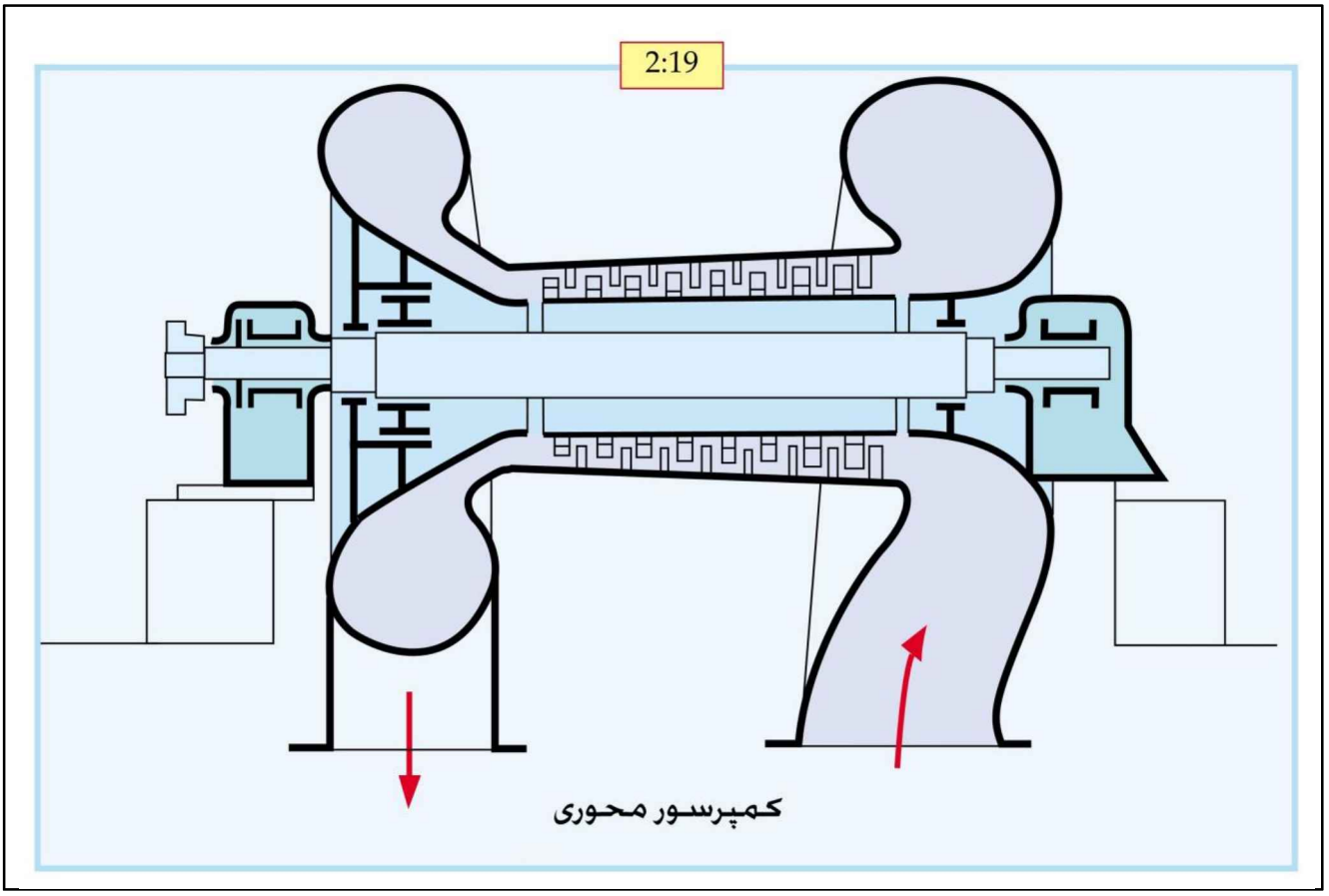
هر کمپرسور گریز از مرکز باید بطور مناسب آببندی شود تا میزان نشـت را در راسـتای محـور گردنـده کـه از میـان محفظـه کمپرسور عبور می کند کاهش دهد . آببندهای مختلفی مورد استفاده قرار می گیرند و پیشرفته ترین آنها را در کمپرسـورهای پر سرعت که تأمین کننده فشارهای بالاست می توان یافت.

رایج ترین انواع آب بندهای چهارگانه عبارت از: آب بندهای لابیرینتی ، آب بندهای حلقه ای (که اغلب این نوع آب بند ها بـا گرافیـک عـایق مـی شـوندوالبتـه در مـواردی هـم مـی تـوان از سـیالات اسـتفاده کـرد)، آببنـدهای مکـانیکی و آببنـدهای هیدرواستاتیکی.

۲-۲-۳ کمپرسورهای محوری (Axial compressors)

یک کمپرسور محوری دارای جریان محوری است . هوا یا گاز از میان ردیف هایی از پره های ثابت و متحرک در امتداد محور گردان کمپرسور عبور می کند . بدین ترتیب سرعت هوا بتدریج همزمان با اینکه پره های ثابت انرژی جنبشی به فشار تبدیل می شود ، افزایش می یابد . در چنین کمپرسوری پایین ترین میزان جریان حجمی حدود **15** m^3/s است . اغلب یک استوانه متعادل کننده در کمپرسور تعبیه می شود ، تا نیروی فشار محوری را متعادل سازد .

بطور کلی کمپرسور های محوری از کمپرسور های گریز از مرکز کوچکتر هستند و سرعت آنها ٪ ۲۵ بالاتر است .این کمپرسور ها برای میزان جریان حجمی بالا در فشار متوسط مورد استفاده قرار می گیرند . به استثنای کاربردهای توربین گازی ، نسبت فشار به ندرت بالاتر از ۶ است . جریان معمول تقریباً $65 / m^3/s$ و فشار مؤثر تقریبا ۱۴ بار است .



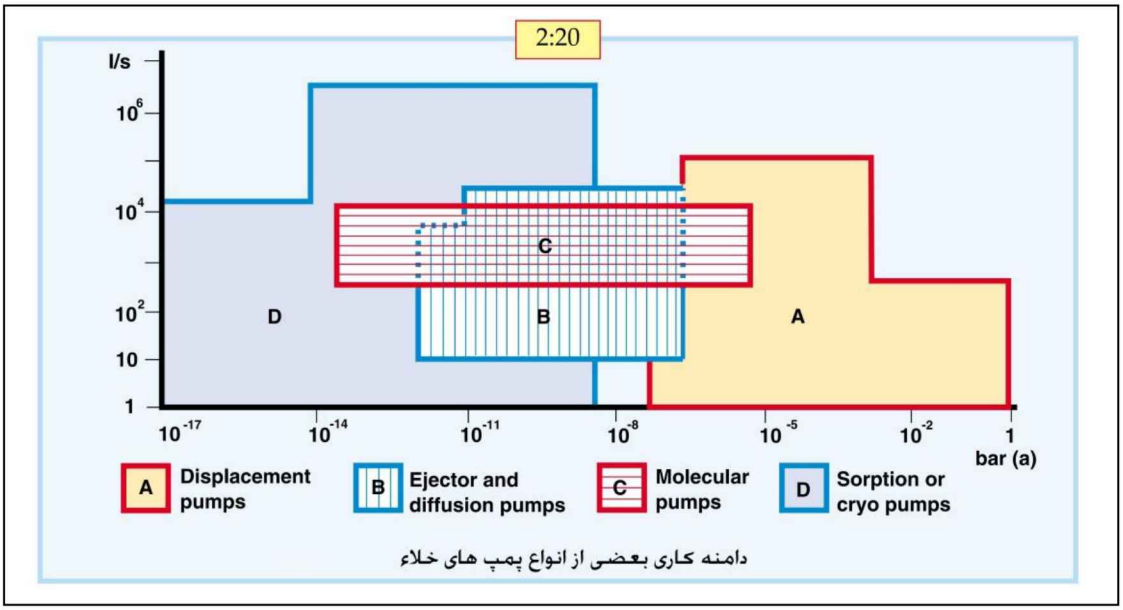
۲-۲ کمپرسور های دیگر (Other compressors)

۲-۳-۱ پمپ های خلاء (Vacuum pumps)

خلاء به معنی فشار پایین تر نسبت به فشار آتمسفر است . یک پمپ خلاء کمپرسوری است که در این دامنه فشار , کار می کند. از جمله ویژگی خاص پمپ خلاء این است که آنها با نسبت فشار خیلی بالا کار می کنند ، بر خلاف این, کمپرسورهای متراکم کننده ی چند مرحله ای می توانند برای محدوده فشارهای ۱ بار تا ۱/ . بار مورد استفاده قرار گیرند .

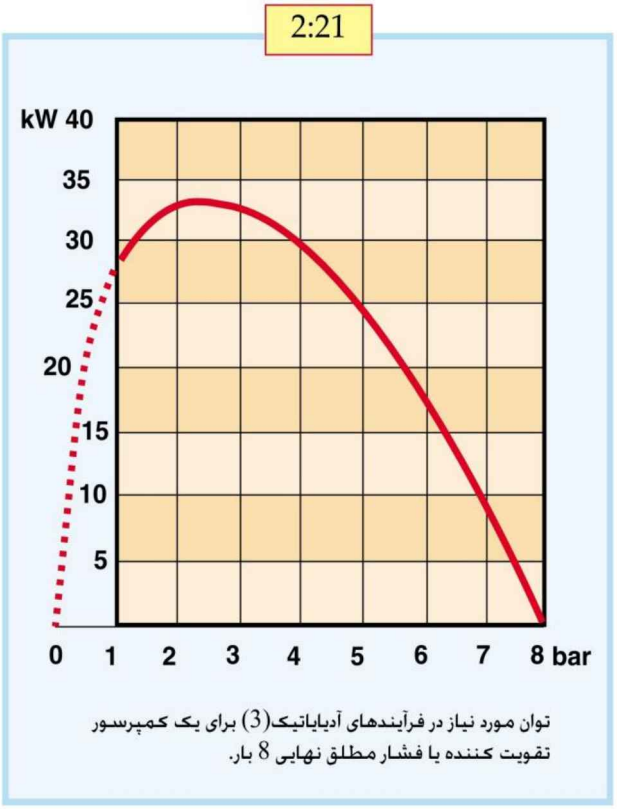
۲-۳-۲ کمپرسورهای کمکی (Booster compressors)

کمپرسور کمکی ، کمپرسوری است که هوای از قبل فشرده شده را تا سطح بالاتری از فشار متراکم می سازد . برای جبران فشارهایی که در امتداد خطوط لوله های طویل افت کرده است و یا در مواردی که به فشار های بالاتری در فرایند نیاز است از این کمپرسور استفاده می شود .



دامنه کاری بعضی از انواع پمپ های خلاء

کمپرسور ها می توانند یک یا چند مرحله ای باشد و یا دینامیکی وجابجایی باشد ولی در صورت کلی کمپرسورهای پیستونی رایج ترین هستند . درحالی که جرم در حال حرکت کاهش می یابد ،توان مورد نیاز برای کمپرسور کمکی با افزایش نسبت فشار , افزایش می یابد . منحنی توان که تابعی از فشار ورودی می باشد از نظر شکل کلی با منحنی پمپ خلاء مشابه است .



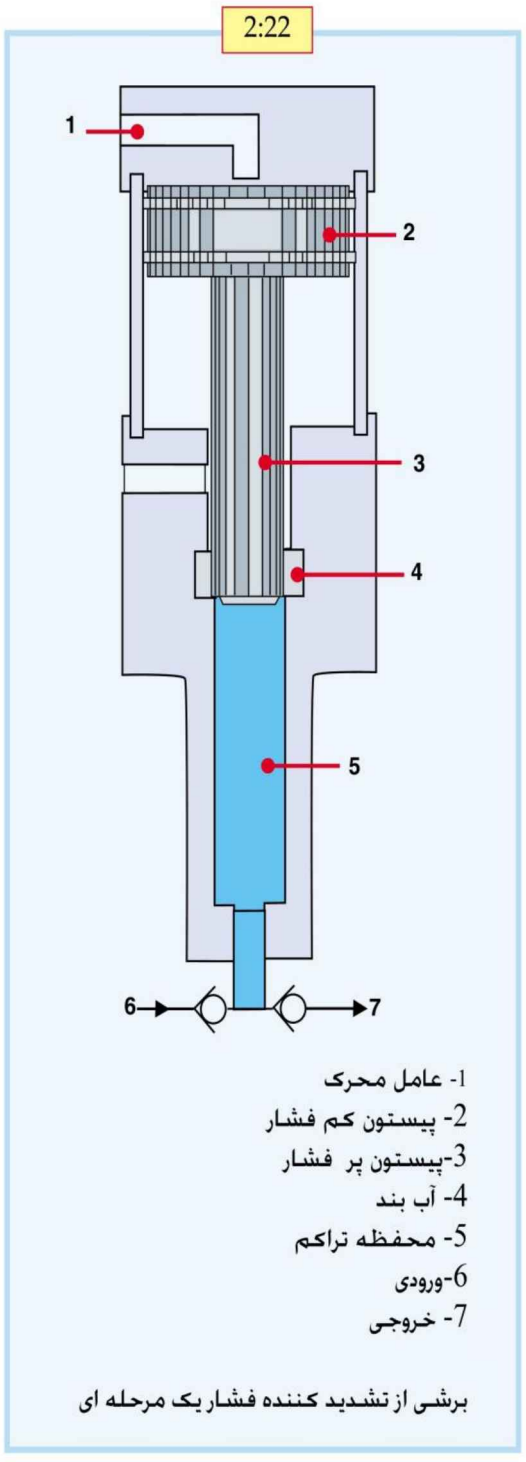
توان مورد نیاز در فرآیندهای آدیاباتیک(3) برای یک کمپرسور تقویت کننده یا فشار مطلق نهایی 8 بار.

۲-۳-۳ تشدید کننده های فشار

(Pressure intensifiers)

تشدید کننده های فشار ، فشار را در سیال افزایش می دهند(برای تست های آزمایشگاهی بر روی شیر ، لوله ها و شیلنگ ها) . فشاری حدود ۷ بار را می توان با یک مرحله تا ۲۰۰ بار یا حتی تا فشار ۱۷۰۰ بار در تجهیزات چند مرحله ای افزایش داد . تشدید کننده فشار فقط برای جریان های خیلی کم موجود می باشد .

وقتی که محفظه پر فشاری از هوا پر می شود ، پیستون کم فشارو بالا برده می شود . وقتی که سیال مولد فشارو وارد محفظه می شود



برشی از تشدید کننده فشار یک مرحله ای

پیستون به طرف پایین رانده می شود و تحت فشار بالایی , سیال را به بیرون می راند . تشدید کننده فشار می تواند در یک فرایند تناوبی به اندازه ی دامنه ی سطح فشار از پیش تنظیم شده ای کار کند . تمامی گازهای خنثی می توانند به این طریق فشرده شوند . هوا را نیز می توان در یک تشدید کننده فشار متراکم ساخت ، اما باید بطور کامل خالی از روغن باشد تا از شعله ور شدن خود به خود آن جلوگیری شود .

۲-۴ تصفیه سازی هوای فشرده

(Treatment of compressed air)

۲-۴-۱ خشک کردن هوای فشرده

(Drying compressed air)

همه هوای اتمسفر, حاوی بخار آب است. این میزان بخار آب در دمای بالا ، بیشتر و در دمای پایین, کم تر است . وقتی که هوا متراکم می شود غلظت آب افزایش می یابد.برای مثال ، کمپرسوری دارای فشار کاری ۷ بار و ظرفیت **l/s** ۲۰۰ است که در **C** ۲۰ °, رطوبت نسبی ٪ ۸۰ هوا را وارد کند. طی مدت هشت ساعت فشرده سازی , هوادر حدود ۸۰ لیتر آب تولید می نماید .

واژهٔ نقطه شبنم فشار (**PDP**) به این منظور استفاده می شود که میزان آب موجود در هوای متراکم شده را توضیح دهدو در واقع دمایی است که در آن بخار آب در فشار کاری جاری به آب تبدیل می شود . دمای پایین در نقطه شبنم فشار نشان دهنده ی مقادیر کم بخار آب در هوای فشرده است.

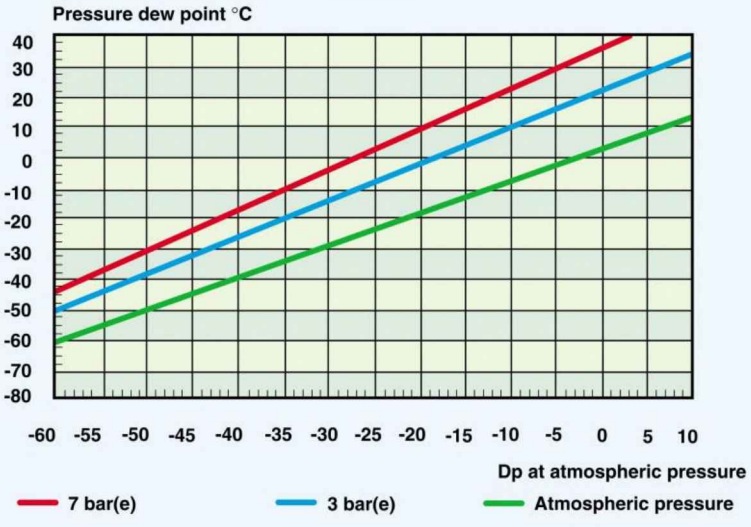
این نکته مهم را بخاطر داشته باشید که هنگام مقایسه خشک کن های مختلف نمی توان نقطه شبنم اتمسفری را با نقطه شبنم فشار مقایسه کرد .برای مثال ، دمای نقطه شبنم فشار در **C** ° ۲+ با فشار ۷ بار معادل است با دمای نقطه شبنم در **C** ° ۲۳- با فشار اتمسفر . برای خارج کردن رطوبت از هوا (زیر دمای نقطه شبنم) نمی توان از فیلتر استفاده کرد زیرا ، تبرید بیشتر به این معنی است که ته نشین شدن آب به صورت میعان ادامه یابد .

2:23

کمپرسوری که در هر ثانیه 200لیتر هوا انتقال می دهد،اگر در هوایی با دمای 20 درجه سانتیگراد کار کند؛ به اندازه روزانه 240لیترآب تولید می نماید. برای جلوگیری از مشکلاتی که به علت رسوبات آب در لوله و تجهیزات مرتبط روی می دهد، باید هوای فشرده خشک شود . به همان صورت که در شکل می بینید. این عمل در یک خنک کننده و تجهیزات خشک کن صورت می پذیرد.

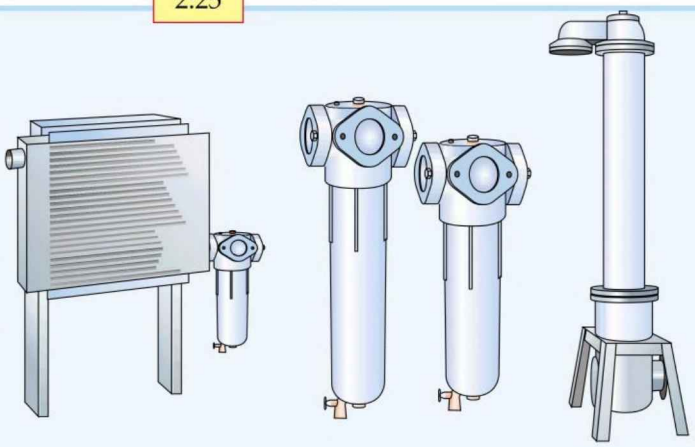
شما می توانید نوع اصلی ابزار خشک کننده را بر اساس نقطه شبنم فشار انتخاب کنید . از دیدگاه هزینه ، دمای نقطه شبنم پایین تر باعث دستیابی به هوای بیشتر شده و هزینه های تهیه هوای خشک را کاهش می دهد . به طور کلی ، چهار روش برای خارج کردن رطوبت از هوای فشرده وجود دارد : تبرید ، تراکم بیش از حد ، جذب نافذ و جذب سطحی . بر اساس این روش هاتجهیزات متعددی برای انواعی از کمپرسورها در دسترس است.

2:24



این شکل رابطه بین نقطه شبنمو هوای فشرده را نشان می دهد.

2:25



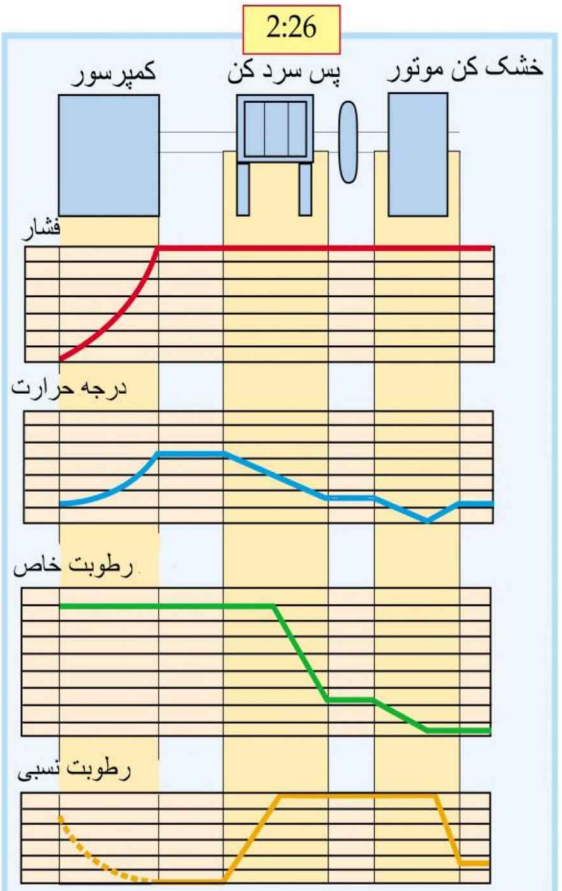
این شکل دستگاه های مختلف خنک کن و جداکننده های آب را نشان می دهد.برای مثال: جداکننده آب می تواند به روش چرخه ایو یا تغییر در جهت و سرعت عمل نماید.

۲-۴-۱-۱ پس خنک کاری (Aftercooler)

دستگاه پس خنک کاری یک مبدل حرارتی است که هوای فشرده گرم را خنک میکند تا آب موجود در آن را ته نشین سازد ، در غیر این صورت آب در سیستم لوله کشی تقطیر می شود . دستگاه می تواند آب خنک یا هوای خنک و مجهز به جداکننده آب با تخلیه اتوماتیک داشته باشد ، که باید در کنار کمپرسور نصب شود .

٪ ۹۰-۸۰ آب تقطیر به صورت ته نشین شده در جدا کننده آب موجود در دستگاه پس خنک کاری ، جمع آوری می شود . درجه حرارت متداول هوای فشرده شده بعد از پس خنک کن ، تقریباً ۱۰ °C بالاتر از دمای مبرد است ، اما با توجه به نوع دستگاه, خنک کاری می تواند تغییر کند . یک دستگاه پس خنک کاری در حقیقت در تمام دستگاه های ثابت مورد استفاده قرار می گیرد و در بیشتر موارد در کمپرسور های مدرن تعبیه می شود .

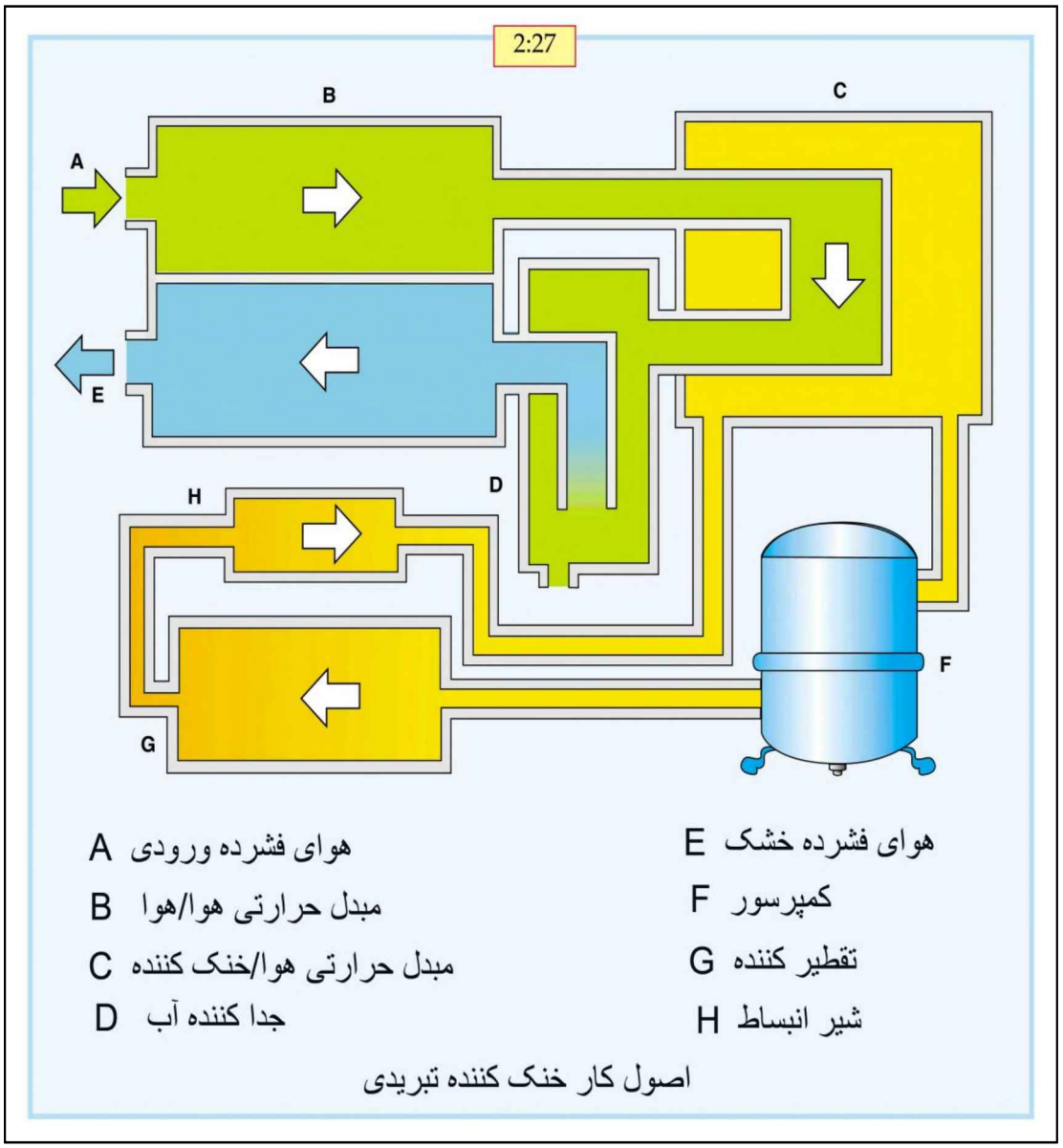
2:26



مثالهایی از چگونگی تغییر پارامترهای متفاوت با متراکم سازی خنک کاری و خشک کردن تبریدی

۲-۴-۱-۲ خشک کن تبریدی (Refrigerant dryer)

خشک کردن تبریدی به این معنی است که هوای فشرده شده ، خنک می شود و بدین طریق مقدار آب زیادی ، تقطیر شده و جدا می شود . بعد از خنک کاری هوا و تقطیر آب ، هوای متراکم به اندازه دمای محیط گرما داده می شود ،تا عمل تقطیر در بیرون لوله صورت نگیرد . خنک کردن هوای فشرده به روش سیستم خنک کاری بسته صورت می گیرد . با خنک کردن هوای متراکم شده ی در حال ورود ، توسط هوای خنک شده در مبدل حرارتی ، مصرف انرژی در خشک کن تبریدی کاهش می یابد . خشک کن های تبریدی با دمای نقاط شبنم, بین ۲ °C+ تا ۱۰°C+ مورد استفاده قرار می گیرند و توسط نقطه انجماد آب, تقطیر شده به طرف دمای پایین تر محدود می شوند

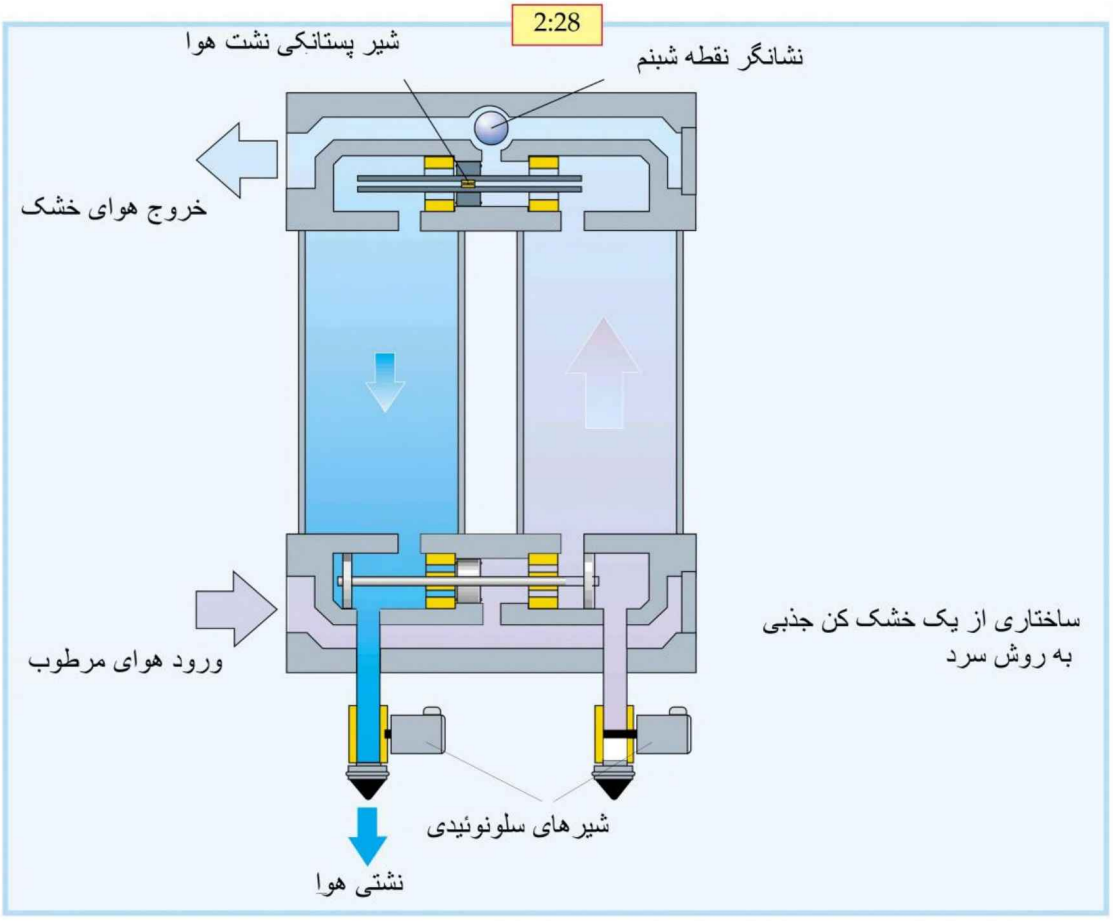


۲-۴-۱-۳ تراکم بیش از حد (Over-compression)

تراکم بیش از حد شاید ساده ترین روش خشک کردن هوای فشرده باشد . ابتدا هوا با فشار بالاتری نسبت به فشار کاری مورد نظر متراکم می شود, به این معنی که تراکم بخار آب افزایش می یابد . بعد از آن هوا خنک می شود و بدین ترتیب آب جدا می شود . سرانجام اجازه داده می شود فشار هوا تا حد فشار کاری معمولی پایین آورده شود و بدین طریق نقطه شبنم پایین تری ایجاد می شود که این روش فقط برای مقادیر جریان هوای خیلی کوچک مناسب است .

۲-۴-۱-۴ خشک کردن جذبی نافذ (Absorption drying)

خشک کردن جذبی نافذ ، فرایندی شیمیایی است که در این فرایند مواد جاذب ، بخار آب را به خود می گیرند . مواد جذب کننده می توانند جامد یا مایع باشند .اغلب از موادی چون کلرید سدیم و اسید سولفوریک استفاده می شود, بنابراین باید احتمال فرسودگی و خوردگی دستگاه مورد توجه قرار گرفته شود . این روش غیر معمول است و درآن مصرف مواد جاذب بسیار بالا ست . نقطه شبنم هم فقط تا حد معینی پایین آورده می شود.



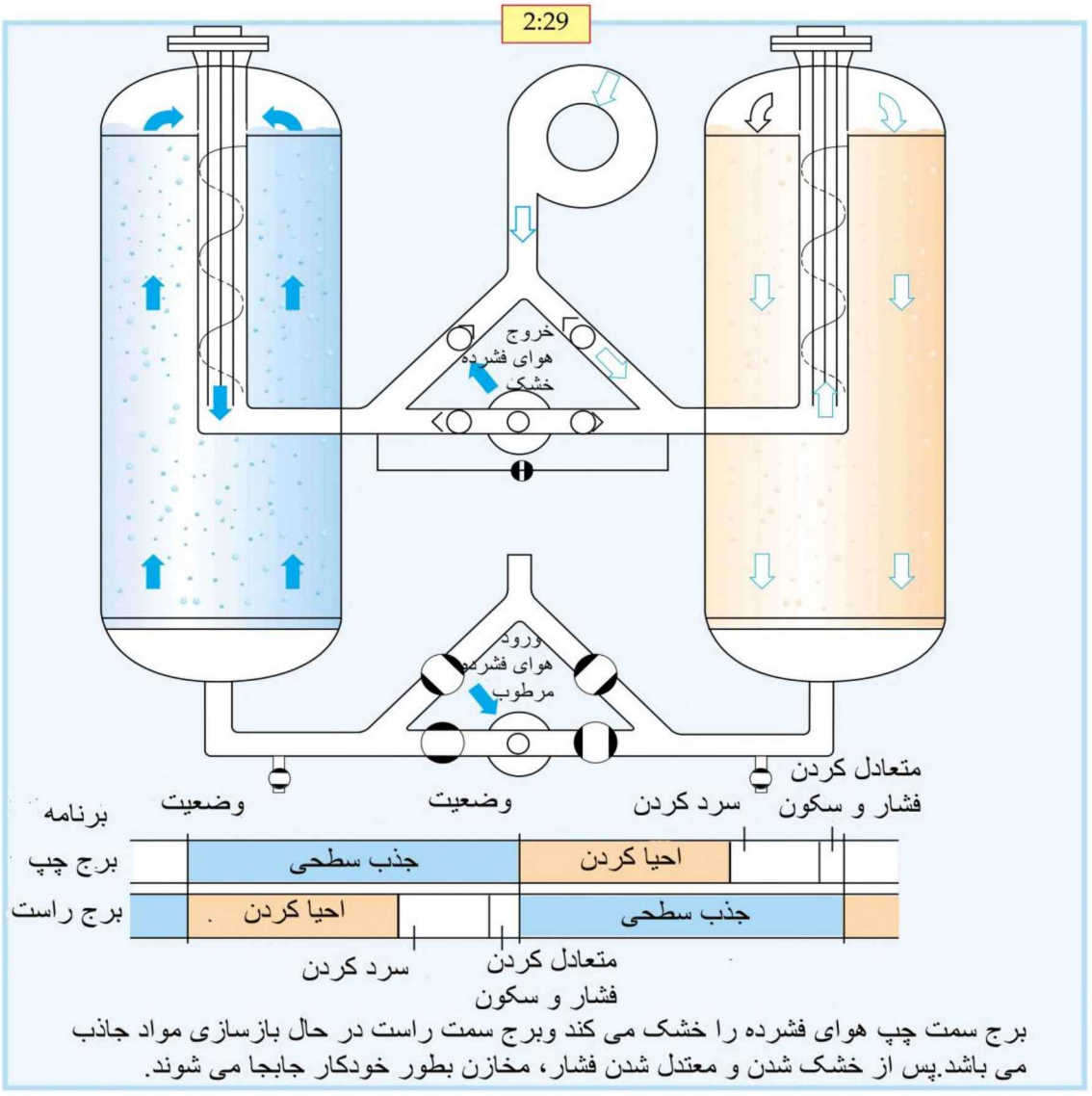
۲-۴-۱-۵ خشک کردن جذبی سطحی (Adsorption drying)

دو نوع خشک کن جذبی سطحی وجود دارد ، بازیافت سرد و بازیافت گرم . خشک کن های بازیافت سرد،مناسب ترین خشک کن برای جریان های هوا بامقادیر پایین تر هستند . فرایند بازیافت به کمک هوای فشرده صورت می گیرد و تقریباً به ٪۲۰ – ۱۵ ظرفیت اسمی خشک کن در فشار کاری ۷ بار ، دمای نقطه شبنم ۲۰+ °C نیاز دارد.

دمای نقطه شبنم پایین تر به جریان بیشتری از نشت هوا نیاز دارد . بازیافت کننده های گرم، ماده جذب کننده ی رطوبت را توسط گرمای الکتریکی یا گرمای کمپرسور بازسازی می کنند . این بازیافت کننده، نسبت به بازیافت کننده ی سرد کم هزینه تر است . با استفاده از این بازیافت کننده می توان نقطه شبنم های خیلی پایین (۳۰°C– یا پایین تر) را به دست آورد .

همیشه قبل از خشک کردن جذبی سطحی، باید جداسازی و تخلیه آب تقطیرشده را بطور تضمین شده ای برنامه ریزی کرد . اگر هوای فشرده با استفاده از کمپرسورهای روغن کاری شونده تولید شده باشد ، باید حتماً یک فیلتر جدا کننده روغن، پیش از تجهیزات خشک کن قرار داده شود . در بیشتر موارد، از یک فیلتر ذره ای بعد از خشک کن جذبی استفاده می شود .

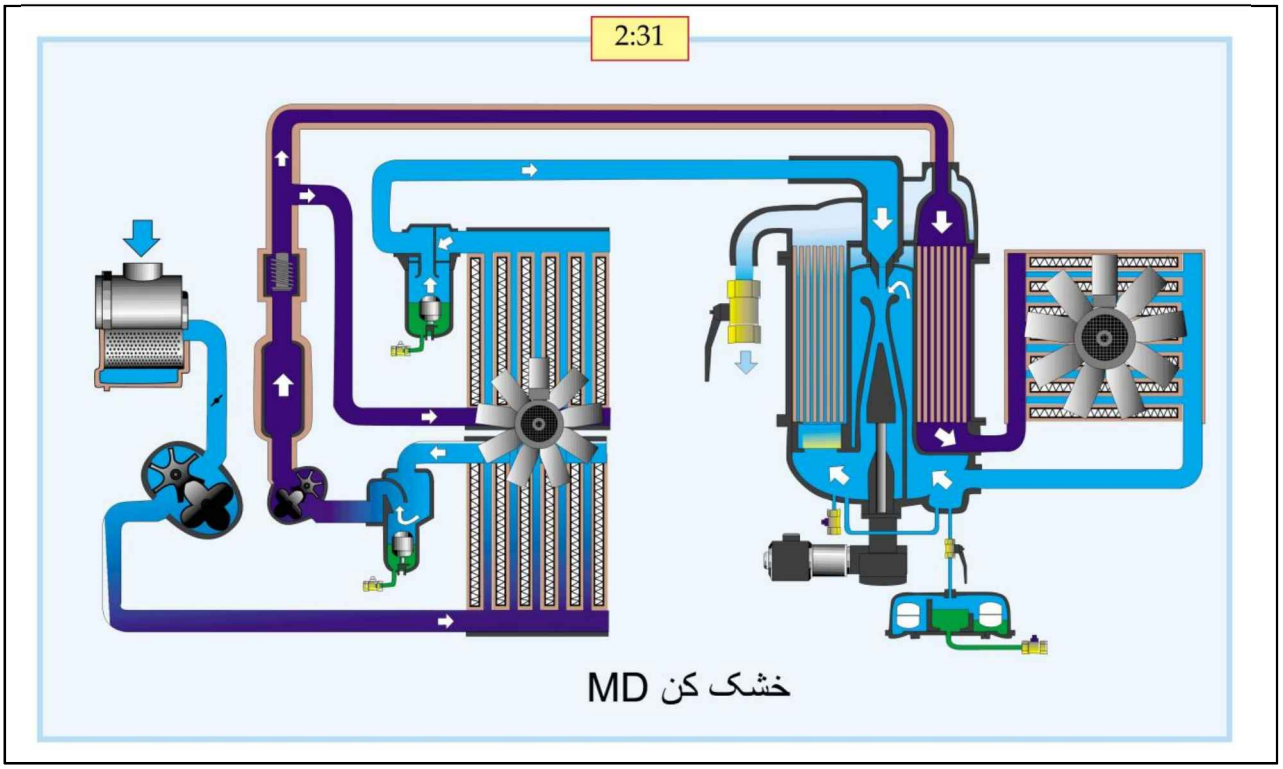
در کمپرسورهای مارپیچی روغنکاری نشونده (**Oil-free screw compressor**) از خشک کن های جذبی سطحی استفاده می شود که در آن، برای بازیافت ماده جذب کننده ی رطوبت ،از گرمای کمپرسور استفاده می کنند . بطور کلی این نوع خشک کن ها به همراه یک استوانه گردان، که حاوی ماده جذب کننده ی رطوبت است ، نصب می شود که یک قسمت از آن (یک چهارم) توسط جریان ناچیزی از هوای فشرده ی گرم (۱۳۰ – ۲۰۰ °C) بازیافت می گردد . هوای استفاده شده در بازیافت دوباره سرد می شود ، آب تقطیر شده تخلیه می شود و هوا از طریق پمپ افشانکی به جریان اصلی هوا فرستاده می شود . بقیه سطح استوانه خشک کن (سه چهارم) برای خشک کردن هوای فشرده ی پس خنک کن کمپرسور، مورد استفاده قرار می گیرد .



برج سمت چپ هوای فشرده را خشک می کند وبرج سمت راست در حال بازسازی مواد جاذب می باشد.پس از خشک شدن و معتدل شدن فشار، مخازن بطور خودکار جابجا می شوند.

در این سیستم هیچ هوای فشرده ای هدر نمی شود . توان مورد نیاز برای چنین خشک کنی به انـدازه ی راه انـدازی اسـتوانه است (برای مثال یک خشک کن با ظرفیت **l/s** ۱۰۰۰ فقط به ۱۲۰ وات توان نیاز دارد) .و نیز هیچ هـوای فشـرده ای هـدر نمی شود و به فیلتر های ذره ای و فیلتر روغن هم نیازی نیست .

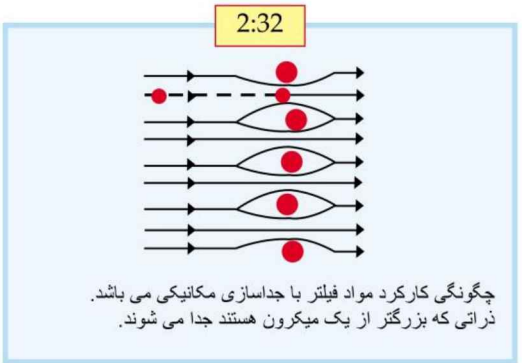
کمپرسور مارپیچ با هوای عاری از روغن به همراه خشک کن جذبی از نوع MD

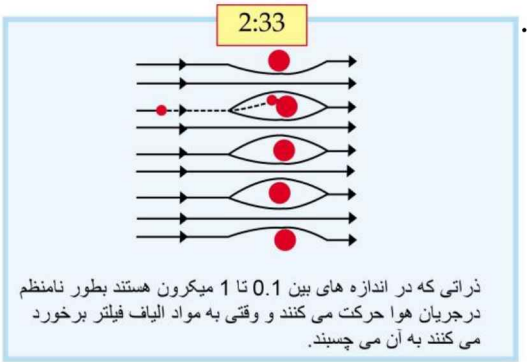


۲-۴-۲ صافی ها (Filters)

ذرات موجود در جریان هوا را که از صافی عبور می کنند می توان به چندین روش جدا کرد .اگر ذرات, بزرگ تر از روزنه های صافی باشند ، بطور مکانیکی جدا می شوند.

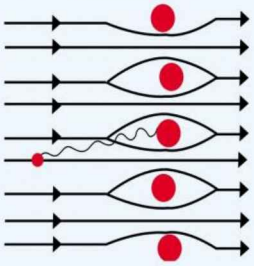
این روش اغلب برای ذراتی به کار برده می شود که بزرگتر از ۱m μ هستند . هـر چـه صـافی فشـرده تـر ، دارای فیبرهـای باریک تر و روزنه هایش کوچک تر باشد ، بازدهی صافی افزایش می یابد . ذراتی که بین μm ۱/ . و μm ۱ هسـتند مـی توانند بوسیله فیبرهای صافی, که جریان هوا از میان آنها حرکت می کند ، جدا شوند ;ولی ذراتی که به واسطه لختی شان بـه حرکت ادامه می دهند با فیبرهای صافی بر خورد می کنند و به سطح آن می چسبند . در ایـن خصـوص بـا افـزایش سـرعت جریان و به کار گیری صافی های فشرده تر بازدهی صافی افزایش می یابد .ذرات خیلی کوچک (μm ۱/ . >) که در جریان هوا بطور تصادفی حرکت می کنند, تحت تأثیر برخورد با مولکول های هوا قرار می گیرند . آنها در جریان هوا معلق می ماننـد و در تمام مدت, جهت شان تغییر می کند ، به همین علت به آسانی به فیبرهای صافی برخورد می کنند و به آنها می چسبند . در این خصوص با کاهش سرعت جریان هوا و به کار گیری صافی های فشرده تری که از فیبرهای نازک تر تشکیل شده انـد ، بازدهی صافی افزایش می یابد .





ظرفیت جدا کنندگی یک صافی ناشی از ظرفیت عناصر فرعی آن می باشد که در بالا به آنها اشاره شـد . در واقـع از آنجاکـه هیچ صافی ای نمی تواند در مقابل اندازه های متفاوت ذرات, کارایی کامل داشته باشد, هر صافی در یک جایگـاه معـین قـرار دارد.به این علت جداسازی ذراتی که بین μm ۱/ . و μm ۴/ . هستند.

2:34

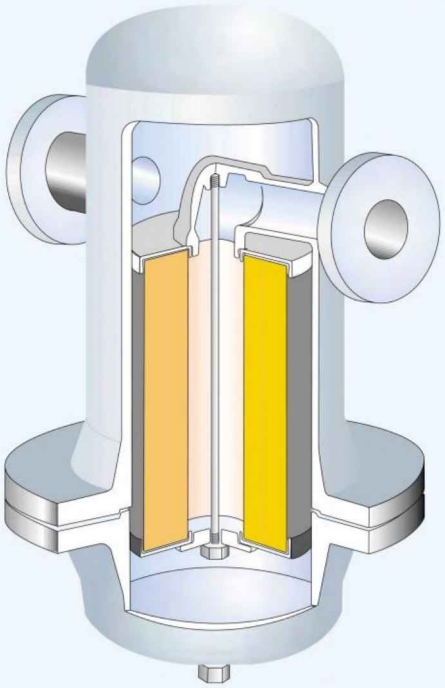


ذراتی ($<0.1\ \mu m$) که با الیاف فیلتر برخورد می کنند با چسبیدن به سطح فیلتر هوا جدا می شوند.

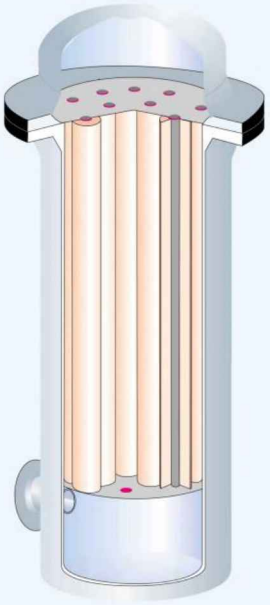
کارایی جدا کنندگی صافی ها را نسبت به اندازه ذرات بخصوصی تعیین می کند . معمولاً کارایی جداکنندگی، ٪۹۵–۹۰ بیان می شودو به این معنی است که ٪ ۱۰– ۵ تمام ذرات موجود در هوا، از میان صافی عبور می کنند .همچنین صافی ای که برای ذراتی به اندازه **µm** ۱۰ است و دارای کارایی جداسازی ٪۹۵ می باشد می تواند ذراتی که به اندازه **µm** ۱۰۰ – ۳۰ هستند را جدا سازد . آب و روغن معلق در هوا نیز همانند ذرات دیگر رفتار می کنند و می توانند با استفاده از یک صافی جدا شوند .

قطراتی که بر روی فیبرهای صافی تشکیل می شوند به علت نیروهای جاذبه ای، به طرف پایین صافی فرو می روند . صافی فقط روغن هایی را که به شکل هوا، ریز هستند می تواند جدا کند . اگر بخواهیم روغن هایی را که به شکل بخار هستند جدا کنیم ، صافی باید دارای ماده جاذب مناسبی مانند کربن فعال باشد.

2:35



فیلتر روغن برش داده شده که دارای یک محفظه بزرگ می باشد و هوا با سرعت و فشار معینی از آن می گذرد.



فیلتر جدا کننده روغن و آب و ذرات گردوغبار که دارای ساختمان اصلی با قطر کوچکی است و از الیاف پشم شیشه تشکیل شده است.

تمام فرایندهای جدا سازی منجر به افت فشار می شوند که به معنی افت انرژی در سیستم هوای فشرده است . فیلترهای ریز تر با ساختار های فشرده تر باعث افزایش افت فشار می شوند و همچنین سریع تر مسدود می شوند ، بنابر این باید پیوسته تعویض شوند زیرا باعث افزایش هزینه می شوند .

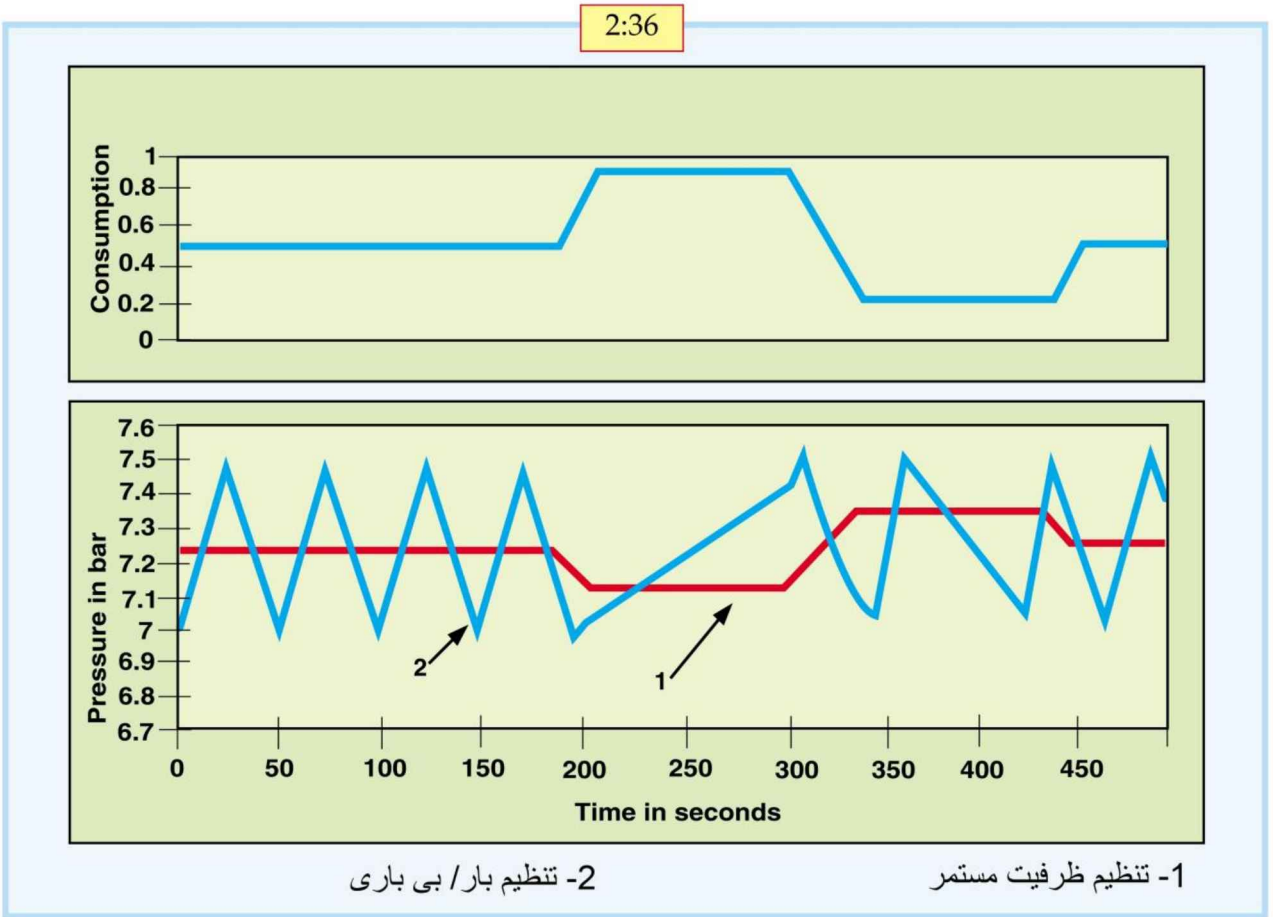
بدین ترتیب ، ابعاد صافی ها باید طوری در نظر گرفته شود که هم قادر باشند جریان های اسمی را از خود عبور دهند و هم حجم ظرفیت آنها آنقدر باشد که بتواند افت فشار را بنابر درجه انسداد تحمل کنند .

۲-۵ سیستم های کنترل و تنظیم (Control and Regulation systems)

۲-۵-۱ بررسی کلی تنظیم (Regulation, general)

اغلب در سیستم هوای فشرده به فشار ثابتی نیاز است و ما برای ثابت نگه داشتن فشار نیازمند سیستم کنترل مرکزی در کمپرسور هستیم. این امر به چند عامل از جمله: نوع کمپرسور ، نوسانات فشار مجاز ، تغییرات در مصرف و اتلاف های قابل قبول ، بستگی دارد .

مصرف انرژی نزدیک به ۸۰٪ هزینه کل را در هوای فشرده شامل می شود که بطور عمده ناشی از اختلاف کارایی گسترده بین انواع کمپرسور و سازندگان کمپرسور می باشد یعنی شما باید در انتخاب سیستم نظارتی دستگاه دقت زیادی به خرج دهید .بهترین حالت وقتی است که ظرفیت کامل کمپرسور بتواند دقیقاً با مصرف منطبق باشد. تعدادی از مصرف کننده ها خود تنظیم هستند ،یعنی افزایش فشار در سیستم ،افزایش جریان را به همراه می آورد ، که سیستم های ثابتی را تشکیل می دهند . چنین سیستم هایی برای مثال شامل سیستم های انتقال بادی ، سیستم های ضد یخ ، سیستم های تبرید و غیره می باشد . بنابراین بطور معمول میزان جریان را باید کنترل کرد و این کار اغلب با استفاده از نصب تجهیزات در داخل کمپرسور ها صورت می گیرد .این نوع سیستم های کنترلی به دو دسته تقسیم می شوند :



1- تنظیم ظرفیت مستمر

2- تنظیم بار/ بی باری

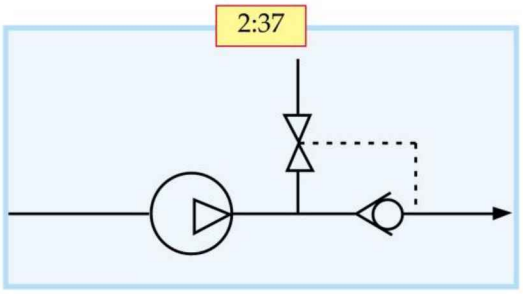
۱- کنترل ظرفیت پیوسته شامل کنترل موتور محرک و سوپاپ با توجه به تغیرات فشار است . نتیجه معمولاً نوسانات جزئی فشار است (۱ / . تا ۵ / . بار) که به تقویت و سرعت سیستم کنترل بستگی دارد.

۲- سیستم کنترل بار دهی / بی بار سازی از رایج ترین سیستم های کنترل است و به این امر بستگی دارد که تغییرات موجود فشار را بین دو سوپاپ قبول کنیم . این امر زمانی اتفاق می افتد که جریان را در بالاترین فشار متوقف کنیم (بی بار سازی) و وقتی فشار به پایین ترین حد خودش رسیدو جریان را ادامه دهیم (بار دهی) . تغییرات فشار به تعداد مجاز چرخه های بار دهی / بی بار سازی در هر واحد زمانی بستگی دارد ، اما اغلب بین ۳ / . تا ۱ بار است .

۲-۵-۲ قواعد کلی در تنظیم کمپرسور های جابجایی
(Regulation principles for displacement compressors)

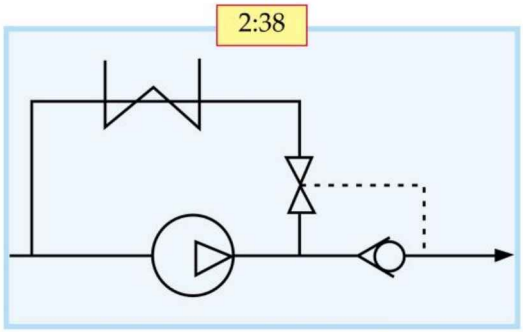
۲-۵-۲-۱ فشار شکن (Pressure relief)

روش اصلی برای تنظیم یک کمپرسور ، استفاده از یک شیر فشار شکن است . این شیرو فشار اضافه را از کمپرسور به محیط آزاد می کند . ساده ترین طرح این شیر می تواند فنری باشد ، که در آن نیروی کشش فنر، فشار نهایی را تعیین می کند .
در بسیاری از اوقات به جای آن از شیر برقی که توسط یک رگلاتور کنترل می شود استفاده می کنند . در این نوع شیر فشار می تواند به راحتی کنترل شود و هنگامی که فشار کمپرسور پایین تر از حد معمول می آید ، این شیر می تواند به عنوان شیر برگشت فشار عمل کند . فشار شکن ها ، به این علت که کمپرسور باید بطور پیوسته در مقابل فشار کاملاً متضاد کار کند به انرژی زیادی نیاز دارند .



در کمپرسور های کوچک تر با باز کردن کامل شیرو فشار کمپرسور را خارج می کنند بطوری که کمپرسور در برابر فشار اتمسفر کار می کند. با استفاده از این روش، مصرف انرژی بطرز چشمگیری رضایت بخش تر است.

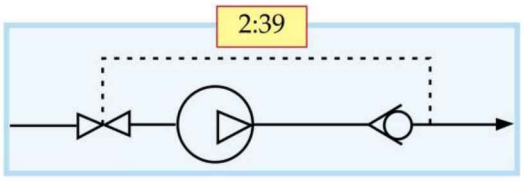
۲-۵-۲-۲ مسیر جنبی (Bypass)



عملکرد مسیر جنبی در اصل مشابه عملکرد فشار شکن است .با این تفاوت که مقدار هوای تخلیه شده در فشار شکن ، دوباره سرد می شودو به مجرای ورودی کمپرسور بر گردانده می شود. این روش اغلب در کمپرسور های مرحله ای استفاده می شود که درآنها گازهای مورد نظر، یا گرانقیمت هستند و یا اینکه برای اتمسفر مضر می باشند و بنابراین نمی توان آنهارا به اتمسفر فرستاد.

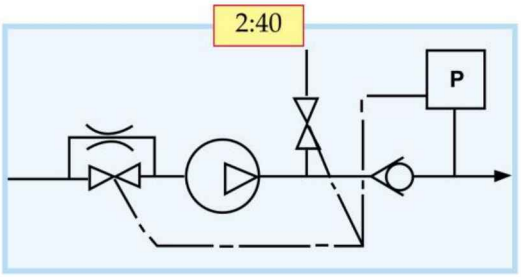
۲-۵-۲-۳ تنظیم مجرای ورودی (Throttling the intake)

تنظیم مجرای ورودی، روش ساده ای برای کاهش جریان است که با افزایش نسبت فشار در کمپرسور از طریق ایجاد کاهش فشار در ورودی انجام می پذیرد . این روش به هر حال دارای دامنه تنظیم محدودی است .



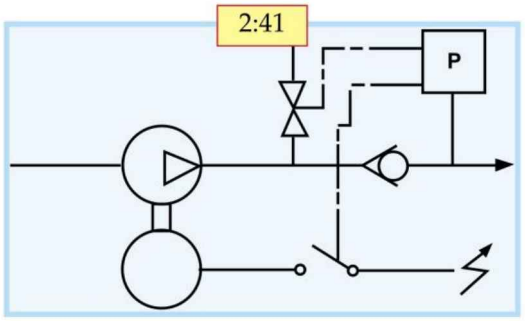
کمپرسور های تزریق مایع (Liquid injected)را که دارای نسبت فشار مجاز زیادی هستند, می توان تا زیر ۱۰٪ حداکثر ظرفیت کاهش داد . این روش با توجه به نسبت فشار بالا ، به انرژی زیادی نیاز دارد .

۲-۵-۲-۴ فشار شکن به همراه تنظیم مجرای ورودی (Pressure relief with throttled intake)



رایج ترین روشی است که مورد استفاده قرار می گیرد ، این روش اگرحداکثر دامنه تنظیم (٪ ۱۰۰– ۰) و مصرف پایین انرژی را به همراه داشته باشد, فقط ٪ ۲۰– ۱۵ از تمام توان بار کمپرسور را به هنگام فشار تخلیه شده (جریان صفر)و در خود دارد . همزمان با باز شدن شیر تخلیه و خارج شدن هوا از کمپرسور ، شیر ورودی بسته می شود اما روزنه کوچکی باقی می ماند .

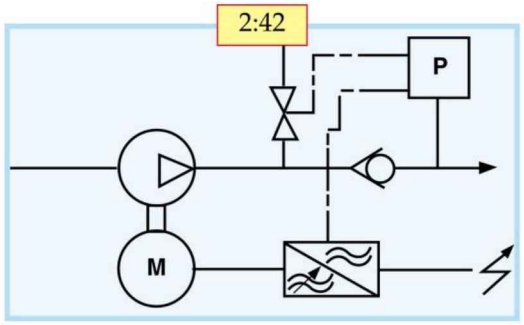
سپس دستگاه کمپرسور با ایجاد خلاء در مجرای ورودی و فشار متضاد پایینی به کار می افتد .باید فشار شکن به سرعت وارد عمل شود و میزان حجم هوای خارج شده کم باشد تا از اتلاف های غیر ضروری هوا در طول انتقال از مرحله بارگیری به بی بار سازی جلوگیری شود. سیستم به یک مخزن ذخیره هوا نیاز دارد ، که اندازه آن به وسیله اختلاف قابل قبول بین فشار بارگیری و بی بار سازی کمپرسور و تعداد توالی مجاز بی بار سازی کمپرسور در هر ساعت تعیین می شود .



۲-۵-۲-۵ روشن کردن / خاموش کردن (start / stop)

کمپرسور های کمتر از kW ۱۰ – ۵ اغلب بدین طریق کنترل می شوند که وقتی فشار به حد بالایی می رسد موتور به کلی خاموش می شود و وقتی فشار از حد معمول پایین تر می رود موتور دوباره روشن می شود .

این روش در سیستم هایی که ذخیره بسیار زیادی از حجم هوا دارند و یا اختلاف فشار زیادی بین زمان روشن و خاموش بودن موتور در آنها وجود دارد تا از بار وارده بر روی موتور اجتناب شود,کاربرد دارد .در این روش, شرایط باید به گونه ای باشد که تعداد روشن و خاموش شدن موتور در هر واحد زمانی پایین نگه داشته شود که برای تنظیم سیستم, روش موثری است .



۲-۵-۲-۶ تنظیم سرعت (Speed regulation)

یک موتور احتراقی ، توربین و یا موتور الکتریکی کنترل شونده از طریق فرکانس سرعت کمپرسور, میزان جریان را کنترل می نماید . این روش مؤثری است که می توان فشار خروجی یکنواختی داشت و مصرف انرژی را کاهش داد .

دامنه تنظیم در کمپرسورهای متفاوت, متغیر است اما این دامنه, در کمپرسور های تزریق مایع بـه حـداکثر مـی رسـد .اغلـب تنظیم سرعت و فشار شکن به همراه یا بدون ساسات مجرای ورودی درمقادیر پایین بارگیری با یکدیگر ترکیب می شوند.

۲-۵-۲-۷ مجرای تخلیه متغیر (Variable discharge port)

ظرفیت کمپرسورهای مارپیچی را می توان با حرکت دادن موقعیت مجرای تخلیه در راستای طول مارپیچ بـه طـرف مجـرای ورودی در محفظه ، تنظیم کرد .البته در این روش, به میزان توان مصرفی زیادی نیاز است که بـه ایـن علـت روش معمـولی نیست .

۲-۵-۲-۸ بی بارسازی شیر مکش (Suction valve unloading)

فشار موجود در کمپرسور های پیستونی را می توان با باز کردن شیرهای ورودی تخلیه کرد . سپس هوا با توجـه بـه موقعیـت پیستون به بیرون و داخل فرستاده می شود و اتلاف انرژی در این روش خیلی ناچیز است و اغلب این انرژی پایین تـر از ۱۰٪ توان محور گردان دارای بار است . در کمپرسورهای دو طرفه, بطور کلی بی بار سازی در چند مرحلـه صـورت مـی گیـرد ، در این کمپرسور هر سیلندر بطور همزمان بین ظرفیت و نیاز به نحو مطلوبی متعادل می شود . در کمپرسور های پیسـتونی روش عجیبی به کار گرفته می شود ، بدین ترتیب که شیر تخلیه در مرحله ای از حرکت پیستون باز می شود و بدین طریـق جریـان هوا بطور پیوسته کنترل می شود .

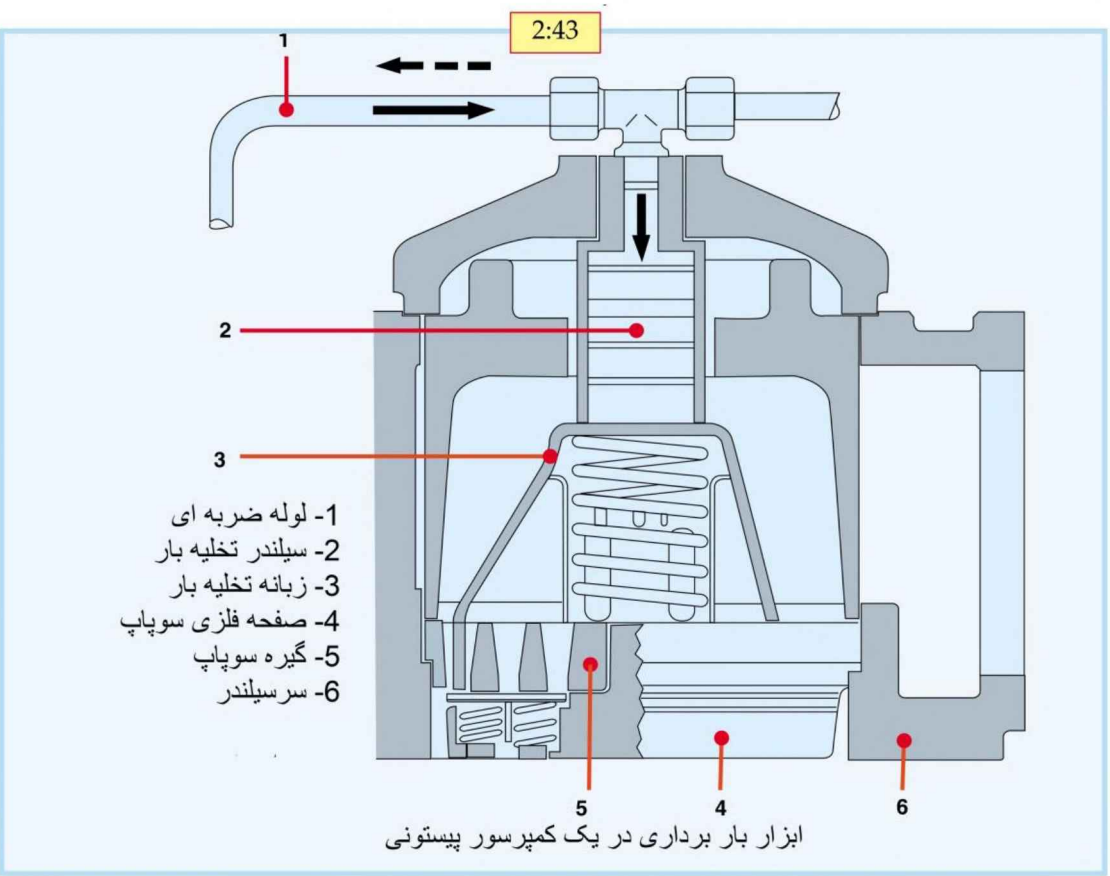
۲-۵-۲-۹ ضریب مجاز حجم (Clearance volume)

با تغییر دادن ضریب مجاز حجم در کمپرسور پیستونی میزان تغذیه هوا در سیلندر کم شده و بدین طریق ظرفیت نیـز کـاهش می یابد . ضریب مجاز حجم از طریق اتصالات بیرونی تغییر می کند.

۲-۵-۲-۱۰ بار دهی ـ بی بار سازی ـ خاموش (Load – unload – stop)

این روش رایج ترین روش تنظیم در کمپرسور هایی با توان بیشتر از kw ۵ است که دامنه تنظیم زیاد و اتلاف های کم را ترکیب می نماید . در عمل، این روش ترکیبی از روشن / خاموش کردن سیستم های مختلف تخلیه است .

توضیحات بیشتر در قسمت ۲-۵-۴-۲



ابزار بار برداری در یک کمپرسور پیستونی

۲-۵-۳ قواعد تنظیم در کمپرسور های دینامیکی

(Regulation principles for dynamic compressors)

۲-۵-۳-۱ تنظیم مجرای ورودی (Throttling the intake)

مجرای ورودی را می توان در کمپرسور های دینامیکی کنترل کرد تا بطور پیوسته ظرفیت کمپرسور کاهش یابد . وقتی نسبت فشار به حد پایین پمپ برسد ، معلوم می شود که جریان به حداقل رسیده است و در این موقع ماشین نامتعادل می گردد .

چگونگی طراحی ماشین ، دامنه تنظیم را تعیین می کند ، برای‌مثال: تعداد مرحله ها، شکل پره و تا اندازه زیادی عوامل بیرونی از جمله: فشار متقابل ، دمای مکش و دمای مبرد نیز تأثیر گذار هستند.به طور معمول نوسانات جریان بین مقدار٪ ۶۰ تا نهایت٪ ۸۵ تغییر می کند.

۲-۵-۳-۲ پره های راهنمای مجرای ورودی (Inlet guide vanes)

پره ها به صورت تیغه های شعاعی در مجرای ورودی قرار گرفته ، باعث چرخش گازهای در حال ورود می شوند و بطور همزمان جریان ورودی را نیز تنظیم می کنند . این ساختار با دامنه کنترل بیشتر و میزان مصرف انرژی بهینه به عنوان تنظیم کننده عمل می کند.

میزان کنترل تا ٪ ۶۰ – ۵۰ جریان مبنا ، مقدار معمولی است . از آنجاکه می توان پره ها را در جهت متضاد چرخاند ، این امکان نیز وجود دارد که بتوان ظرفیت و فشار کمپرسور را تا حد معینی افزایش داد .هر چند این عمل تا حدودی به کارایی کمپرسور آسیب می رساند .

۲-۵-۳-۳ پره های راهنمای مجرای خروجی (Outlet guide vanes (diffuser))

برای بهبود بیشتر تنظیم ، شما می توانید جریان را در مرحله ای که هوا از پره های خارجی منتشر می شود نیز کنترل کنید . بطور معمول تنظیم تا حد ٪ ۳۰ با حفظ فشار در کمپرسور, امری عملی می باشد .اغلب به علت پیچیدگی و هزینه های زیاد ، به کارگیری این روش در کمپرسورهای تک مرحله ای با محدودیت روبرو می باشد .

۲-۵-۳-٤ فشار شکن (Pressure relief)

روش اصلی برای کنترل یک کمپرسور دینامیکی استفاده از شیر فشار شکن بود که هوای فشرده اضافی را در آتمسفر رها کند. این روش در اصل, در کمپرسورهای جابجایی برای تخلیه فشار کاربرد دارد .

۲-۵-۳-۵ باردهی ـ بی بار سازی ـ خاموش (Load – unload – stop)

اگر چه هوای ورودی کمپرسور را حد پمپ تعیین می کند ، اما, ازهوای ورودی کمپرسوربا دو روش دیگر نیز می توان آگاه شد:

۱- میزان سازی (Modulating) : زیادی جریان, از کمپرسور به آتمسفر (یا ورودی) رها می شود . با وجود این مصرف انرژی تغییری نمی کند .

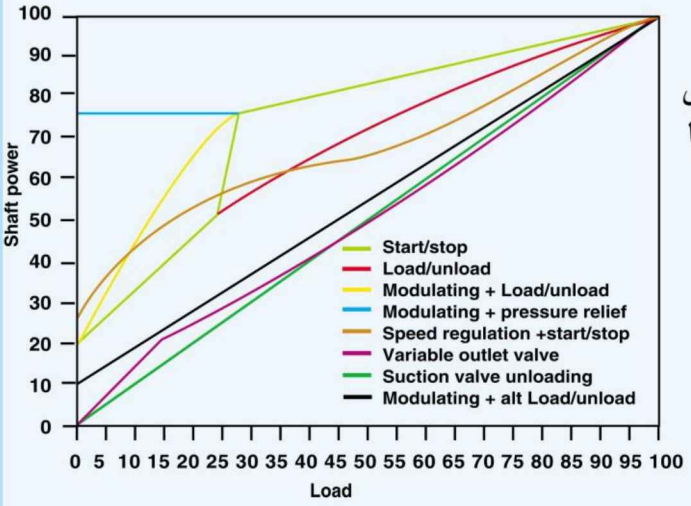
۲- همزمانی خودکار (Auto Dual) : سیستم کنترل ، همزمان با باز شدن شیر خروجی به آتمسفر ، در عمل بطور کامل شیر ورودی را می بندد (با کمپرسور جابجایی مقایسه کنید) . با وجود این توان بی بار سازی ، باتوجه به طراحی پروانه و غیره ، بیش از ٪۲۰ توان ظرفیت کامل می باشد که به نسبت بالا ست.

۲-۵-۳-٦ تنظیم سرعت (Speed regulation)

در اکثر موارد, تنظیم سرعت زمانی که فشار کمپرسور باید کنترل شود صورت می گیرد و اجازه داده می شود تا فشار تغییر کند .بنابرین با کنترل ثابت فشار, در مقایسه با دیگر سیستم ها,تنظیم سرعت مزیت چندانی ندارد.

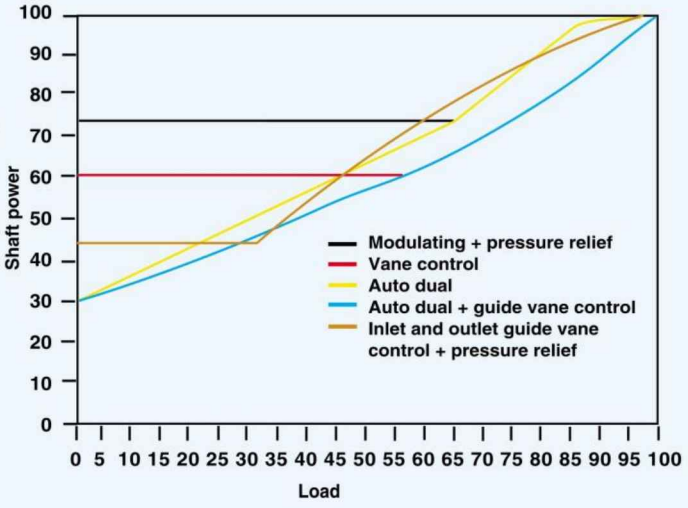
ترکیبی از سیستمهای تنظیم در مقایشه با دیگر سیستم ها

2:45

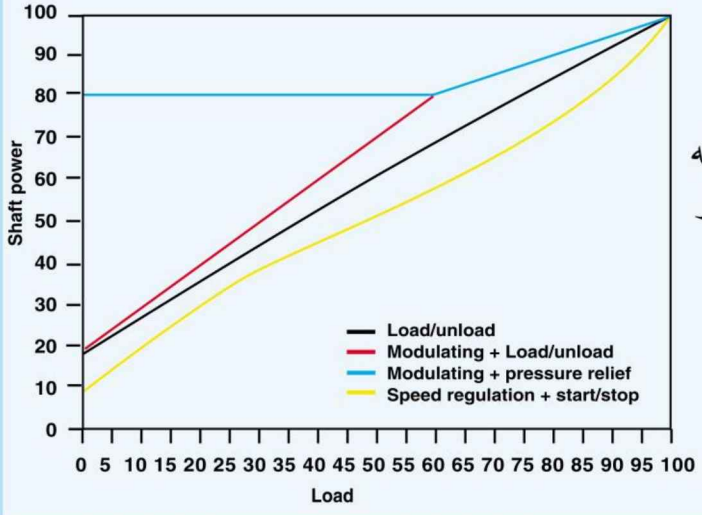


رابطه بین توان شافت وجریان هوا برای کمپرسررهای با هوای حاوی روغن متفاوت با سیستم های تنظیم است

رابطه بین توان شافت و جریان هوا برای کمپرسورهای دینامیکی به همراه سیستم های تنظیم



در کمپرسورهای مارپیچ رابطه بین توان شافت و جریان هوا در مقایسه با سیستم های تنظیم متفاوت است



۲-۵-٤ کنترل و فرابینی (Control and monitoring)

۲-۵-۴-۱ اصول کلی (General)

در بخش های ۲-۵-۲ و ۲-۵-۳ درباره اصول تنظیم کمپرسورهای مختلف صحبت کردیم . برای کنترل کمپرسور ها بر طبق این اصول , به یک سیستم تنظیم نیاز است که بتواند برای کمپرسور بخصوص و یا کل تأسیسات کمپرسور قابل استفاده باشد.

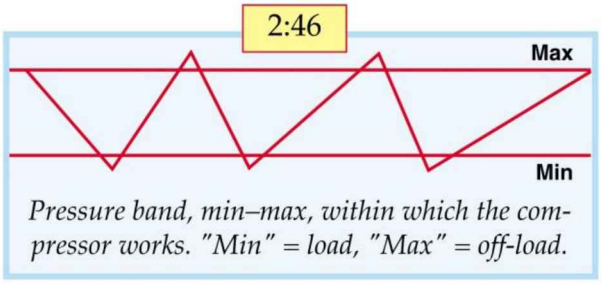
سیستم های کنترل بطور روز افزونی پیشرفت کرده و پیوسته توسعه می یابند . سیستم های کنترل قابل برنامه ریزی (**PLC**) جایگزین سیستم های رله ای شده اند که این سیستم های کنترل قابل برنامه ریزی نیز جایگزین سیستم های مبتنی بر میکرو کامپیوترها شده اند . همواره تلاش بر این است که کمپرسور به گونه ای طراحی شود که عملکردبهتر و هزینه پایین تری را بهمراه داشته باشد.

در این بخش, در رایج ترین کمپرسورها به بررسی تعدادی از سیستم های کنترل و فرابینی می پردازیم .

۲-۵-۴-۲ باردهی ـ بی بار سازی ـ خاموش (Load – unload – stop)

رایج ترین اصول کنترل در کمپرسور های جابجایی شامل " تولید هوا / عدم تولید هوا " (باردهی / بی بارسازی) می باشند (مراجعه شود به ۲-۵-۲-۴ و ۲-۵-۲-۵).

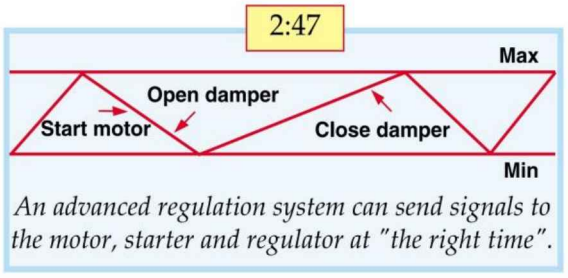
وقتی که کمپرسور به هوا نیاز دارد ، فرمانی به شیر کنترل الکترو مغناطیسی (شیر سولنویدی) داده می شود که این فرمان به نوبه خود پیامی به دریچه ورودی کمپرسور می فرستد و این دریچه بطور کامل باز می شود . دریچه یا بطور کامل باز می شود (باردهی) یا به طور کامل بسته می شود (بی بارسازی)و هیچ وضعیت میانه ای بین این دو حالت وجود ندارد .



Pressure band, min–max, within which the compressor works. "Min" = load, "Max" = off-load.

کنترل سنتی ، (که هم اکنون در کمپرسورهای کوچکتر رایج است) دارای یک کلید فشار که در سیستم هوای فشرده نصب می شود می باشد و دو مقدار قابل تنظیم است: یکی برای حداقل فشار (باردهی) و یکی برای حداکثر فشار (بی بار سازی) .سپس کمپرسور در محدوده ی این مقادیر فشار معین ، (برای مثال ۵/ . بار)کار می کند.

اگر در کمپرسور نیاز به هوا کم باشد و یا کمپرسور احتیاجی به هوا نداشته باشد بنابراین کمپرسور بدون بار کار می کند (هرزگردی) . طول دوره هرزگردی توسط تایمر محدود می شود (به عنوان مثال تنظیم زمان تا ۲۰ دقیقه) .



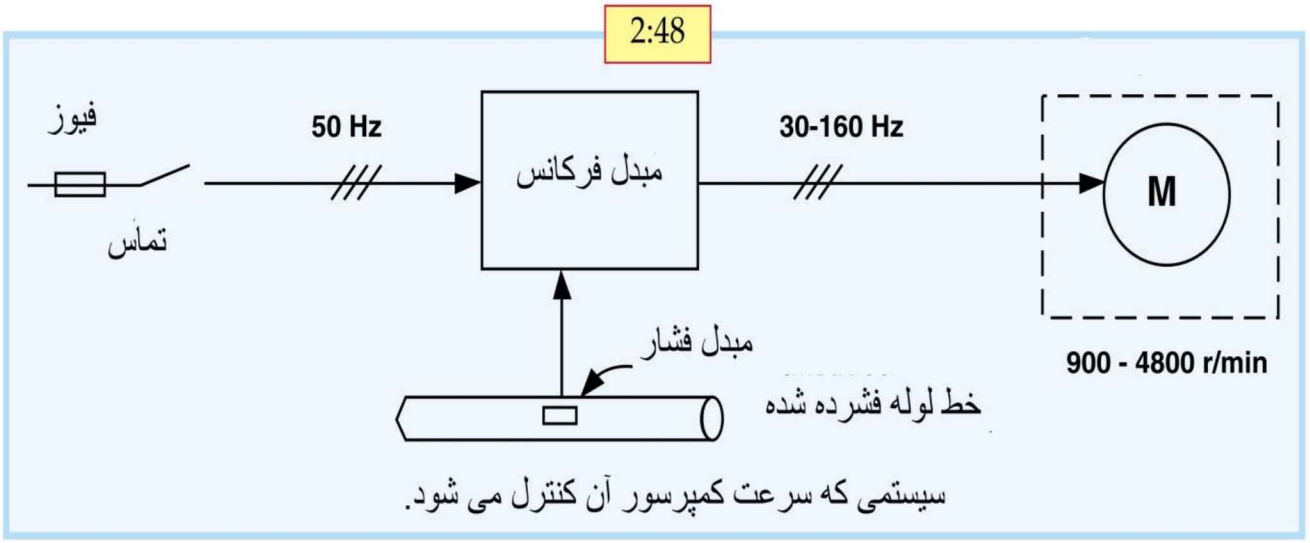
An advanced regulation system can send signals to the motor, starter and regulator at "the right time".

وقتی که زمان سپری می شود ،کار کمپرسور متوقف می گردد و تا وقتی فشار به حداقل میزانش افت نکرده است دوباره روشن نمی شود . این یک روش سنتی و قابل اطمینان است و نقطه ضعف این روش این است که کنترل به آهستگی صورت می گیرد . یک کلید فشار , جایگزین این روش سنتی شده است ; این کلید فشار دارای یک مبدل فشار آنالوگ و یک سیستم کنترل الکترونیکی سریع می باشد.

این مبدل آنالوگ به همراه سیستم کنترل می تواند سرعت تغییر فشار را در سیستم احساس کند . این سیستم در زمان مناسب موتور را روشن می کند و باز و بسته شدن دریچه را نیز کنترل می کند .

این سیستم می تواند در فشار بین ۲/ .± بار , کنترل سریع و مطلوبی ارائه دهد .

اگر هیچ هوایی استفاده نشود فشار ثابت می ماند و کمپرسور , هرز کار خواهد کرد .کمپرسور طی مدت کارکرد هرز ، بدین طریق کنترل می شود که سیستم تعیین می کند موتور الکتریکی تا چه اندازه می تواند بدون اینکه خیلی گرم شود در مقابل روشن و خاموش شدن مقاومت کند .در وجه اقتصادی نیز , سیستم , روشهای مصرف هوا را تجزیه و تحلیل می نماید که آیا الکترو موتور را خاموش نماید یا به صورت هرز ادامه دهد .



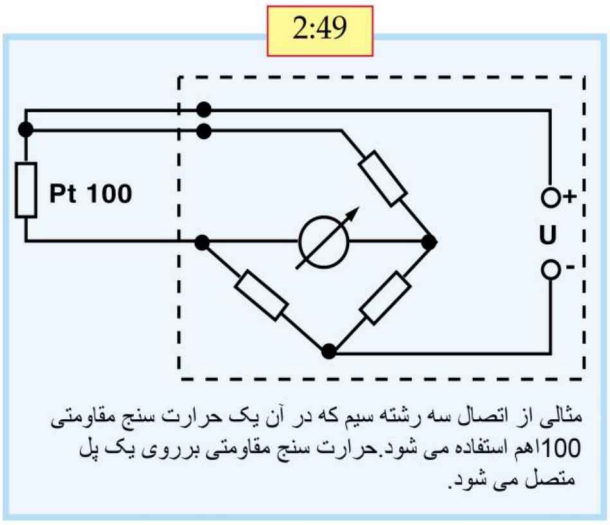
۲-۵-۴-۳ کنترل سرعت (Speed control)

کمپرسور هایی دارای منبع توانی هستند که سرعتشان بطور الکترونیکی کنترل می شودواین امکان را دارند که هوای فشرده را درون دامنه فشار خیلی محدودی , ثابت نگاه دارند (برای مثال یک مبدل فرکانس ، که سرعت را در موتور القایی کنترل می کند). ظرفیت کمپرسور را می توان بطور دقیق بامقتضیات هوا مطابقت داد ، بدین طریق که بطور پیوسته و دقیق فشار سیستم را اندازه گیری کنیم و سپس اجازه دهیم که فرمان های فشار , مبدل فرکانس موتور و بدین ترتیب سرعت موتور را کنترل کند . فشار داخل سیستم را می توان بین ۰/۱ ± بار نگه داشت .

۲-۵-۵ کنترل و فرابینی (Control and monitoring)

همه کمپرسورها دارای تجهیزات کنترل کننده ای هستند که کمپرسور را محافظت می کنند و از توقف در جریان عملیات جلوگیری می کنند . مبدل به این منظور استفاده می شود که شرایط کنونی دستگاه را حس کند . اطلاعات بدست آمده از مبدل ها توسط سیستم فرابینی پردازش می شوند . مبدلی که برای سنجش فشار یا درجه حرارت مورد استفاده قرار می گیرداغلب شامل یک حسگر و یک مبدل اندازه گیری است . حسگر ، کمیتی را که باید اندازه گیری شود ، حس می کند . مبدل اندازه گیری, فرمان خروجی حسگر را به یک فرمان الکتریکی مناسب تبدیل می کند که این فرمان می تواند توسط سیستم کنترل, پردازش شود .

۲-۵-۵-۱ اندازه گیری دما (Temperature measurement)

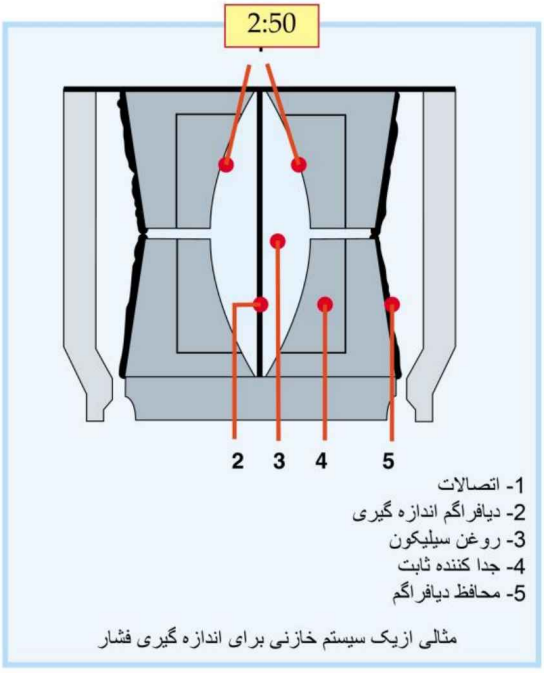


مثالی از اتصال سه رشته سیم که در آن یک حرارت سنج مقاومتی 100اهم استفاده می شود.حرارت سنج مقاومتی برروی یک پل متصل می شود.

یک دما سنج مقاومتی بطور معمول برای اندازه گیری دما مورد استفاده قرار می گیرد . این دما سنج دارای یک مقاومت فلزی می باشد که به عنوان مبدل عمل می کند و مقاومت آن با درجه حرارت افزایش می یابد. تغییر در مقاومت اندازه گیری می شود و به یک فرمان **mA** ۲۰ – ۴ تبدیل می شود . **Pt 100** رایج ترین دما سنج مقاومتی است . مقاومت اسمی در صفر درجه سانتیگراد برابر است با **Ω** ۱۰۰ .

ترمیستور یک نیمه رسانا است که مقاومت آن با دما تغییر می کند و می تواند به عنوان یک کنترل کننده دما استفاده شود برای مثال در یک موتور الکتریکی **PTC** ، ضریب دمای مثبت ، رایج ترین مدل است . مقاومت **PTC** با افزایش درجه حرارت تا نقطه مبدأ, تغییر جزئی دارد و نقطه مقاومت با یک جهش افزایش می یابد . **PTC** به یک کنترل گر متصل است که این کنترل گر " جهش مقاومت " را حس می کند و فرمانی می فرستد (برای مثال فرمان خاموش کردن موتور) .

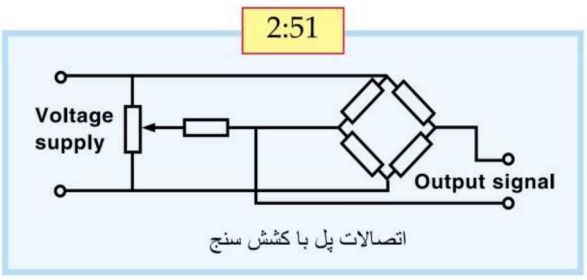
۲-۵-۵-۲ اندازه گیری فشار (Pressure measurement)



مثالی ازیک سیستم خازنی برای اندازه گیری فشار

برای اندازه گیری فشار از یک حسگر فشار استفاده می شود ، این حسگر برای مثال می تواند یک دیافراگم باشد . فرمان های مکانیکی بدست آمده از دیافراگم سپس به فرمان الکتریکی تبدیل می شود : **4 -20 mA** یا **0 – 5 V**.

تبدیل از فرمان مکانیکی به فرمان الکتریکی می تواند در سیستم های اندازه گیری مختلفی روی دهد . در یک سیستم خازنی , فشار به یک دیافراگم منتقل می شود . موقعیت دیافراگم اندازه گیری, توسط یک صفحه خازنی در یک مبدل, اندازه گیری و به ولتاژ مستقیم یا جریان مستقیم تبدیل می شود که با فشار متناسب می باشد .



اتصالات پل با کشش سنج

سیستم اندازه گیری مقاومتی از یک فشارسنج متصل به پل تشکیل شده است که به دیافراگم متصل است . وقتی که دیافراگم در معرض فشار قرار می گیرد ولتاژ پایینی (**mV**) دریافت می شود . سپس این ولتاژ به مقدار متناسبی تقویت می شود . سیستم پیزوالکتریک بر اساس کریستال های بخصوصی (برای مثال کوارتز) قرار دارد که در سطح کریستال بارهای الکتریکی بوجود می آورد . بارهای الکتریکی با نیروی وارده بر سطح (فشار) تناسب دارند .

۲-۵-۵-۳ فرا بینی (Monitoring)

تجهیزات فرا بینی بر اساس نوع کمپرسور با هم سازگار می شوند که با توجه به دامنه تجهیزات موجود ، دارای تنوع زیادی می باشند ، یک کمپرسور پیستونی کوچک فقط دارای کلیدی برای قطع جریان اضافه بار در موتور است ، در حالی که یک کمپرسور بزرگ مارپیچی می تواند دارای چندین کلید قطع جریان / مبدل باشد که درآن درجه حرارت می تواند فشار اضافه را کنترل کند .

در دستگاههای کوچک تر و ابتدائی تر وقتی کلید قطع جریان, زنگ خطری را به صدا در می آورد, تجهیزات کنترل, کمپرسور را خاموش می کنند . در بعضی موارد یک چراغ هشدار خطر نیز نشان دهنده زنگ خطر است . در حالی که کمپرسور های مارپیچ بزرگ و پیشرفته تر می توانند کلید های قطع جریان / مبدل ها را برای بار اضافه ، دما ، فشار و غیره دارا باشند . بدین طریق که می توان درجه حرارت ، فشار ، وضعیت و شرایط دیگر را بطور مستقیم از روی این صفحه کنترل وقرائت نمود . اگر میزان یک مبدل به حد اعلام خطر برسد, تجهیزات کنترل شروع به هشدار دادن می کند ، سپس می توان قبل از خاموش شدن کمپرسور اندازه گیری های لازم را انجام داد . اگر کمپرسور توسط اعلام خطر متوقف شود ، نمی توان دوباره آن را روشن کرد مگر اینکه کم و کاست دستگاه برطرف شود .

اغلب در کمپرسورهایی که دارای حافظه هستند برطرف کردن اشکال راحت تر انجام می گیرد ، در این حافظه ها داده هایی درباره درجه حرارت ، فشار و وضعیت عملکرد ثبت می شود . وقتی ظرفیت حافظه پوشش دهنده برای مثال حدود ۲۴ ساعت باشد , با استفاده از این حافظه می توان وضعیت کمپرسور را در طول روز گذشته بدست آورد و سپس با استفاده از رفع نقص منطقی به سرعت علل ایجاد توقف و خرابی دستگاه را ردیابی کرد .

۲-۵-۶ سیستم کنترل جامع (Comprehensive control system)

کمپرسور هایی که بخشی از سیستم چندین دستگاه می باشند باید دارای عملکردهای هماهنگی نسبت به دستگا ههای دیگر باشند . فاکتور های زیادی درباره سیستم کنترل جامع وجود دارد . تقسیم زمان های عملی در میان دستگا ها ,احتمال وقوع توقف های غیر منتظره را کاهش می دهدو نیز برنامه ریزی سرویس دهی کمپرسورها را ساده تر می کند . اگر در طول عملکرد مشکلی پیش آید می توان از دستگا ههای یدکی استفاده کرد .

۲-۵-۶-۱ انتخابگر راه اندازی مراحل (Starting sequence selector)

انتخابگرهایی که توالی روشن کردن دستگاهها را نشان می دهند از جمله ساده ترین و رایج ترین شکل سیستم کنترل اصلی می باشند . کار این انتخابگر این است که زمان های عمل و راه اندازی را بطور مساوی بین کمپرسور های مرتبط تقسیم می کند . ترتیب راه اندازی دستگاهها را می توان بطور دستی یا بطور خودکار بر طبق برنامه, زمان بندی کرد . این انتخابگر از یک مبدل فشار روشن / خاموش به همراه یک مبدل, در هر کمپرسور استفاده می کند که راه حلی ساده و عملی است .

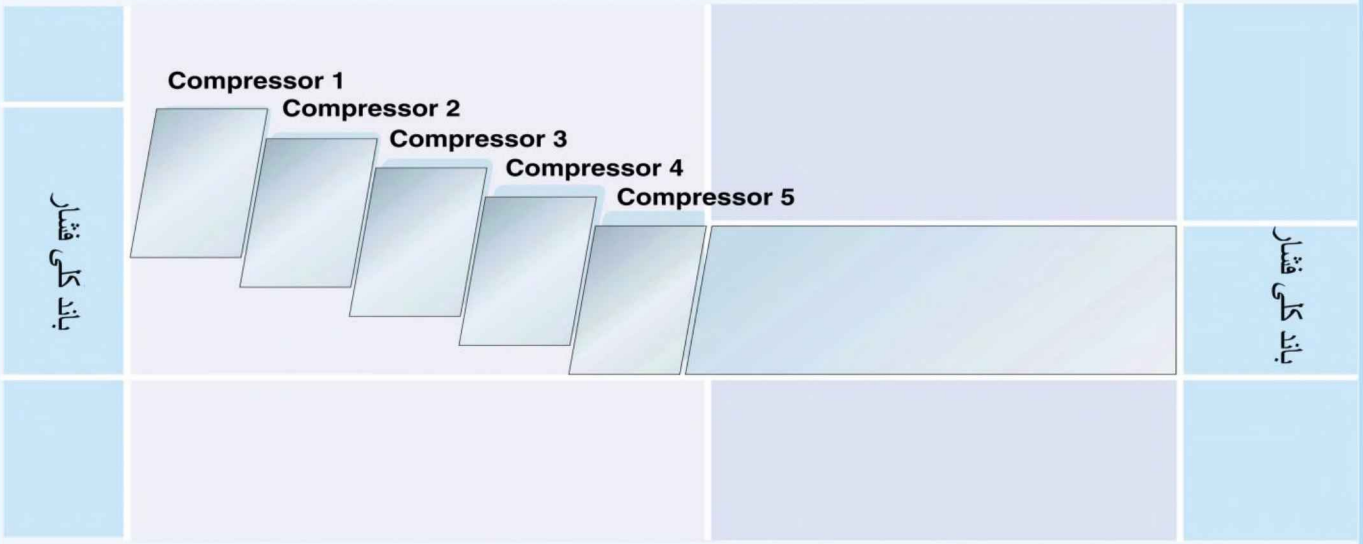
نقطه ضعف سیستم این است که مراحل زیادی بین مراحل باردهی و هرز گردی کمپرسورهای متعدد وجود دارد که این مراحل به نوبه خود باعث می شود فاصله زمانی (بین حداکثر و حداقل مراحل) افزایش یابد . بنابراین ،این نوع انتخابگر را نباید برای کنترل بیش از ۲ تا ۳ دستگاه استفاده کرد.

یکی از پیشرفته ترین انواع انتخابگر راه انداز مراحل, دارای نوع مشابهی از کنترل مرحله است ; اما دارای یک مبدل فشار آنالوگ است که بطور مرکزی نصب می شود .

2:52

صفحه کنترلی نظارتی که در بالا مشاهده می کنید تمام بخشهای عملیاتی کمپرسور برای مثال:فشار و درجه حرارت ها را نشان می دهد.کاربر می تواند داده های موجود در این صفحه کنترل را براحتی بخواند.

2:53



تفاوت در زنجیره فشار برای 5کمپرسور هوا که با کلیدهای فشار متداول کنترل می شود(قسمت سمت چپ) و همان دستگاه که به وسیله سیستم تنظیم به همراه مبدل انرژی آنالوگ کنترل می شود.(قسمت سمت راست)

این انتخابگر, فشار کلی دستگاه را کنترل می کند و می تواند ۲ الی ۷ دستگاه را کنترل کند . این نوع انتخابگر راه انداز مراحل ,که دستگاهها را در توالی های ثابتی انتخاب می کند ، به ظرفیت کمپرسور توجهی ندارد ; بنابراین بهتر است کمپرسور های مرتبط تقریباً دارای یک اندازه باشند .

۲-۵-۷ کنترل مرکزی (Central control)

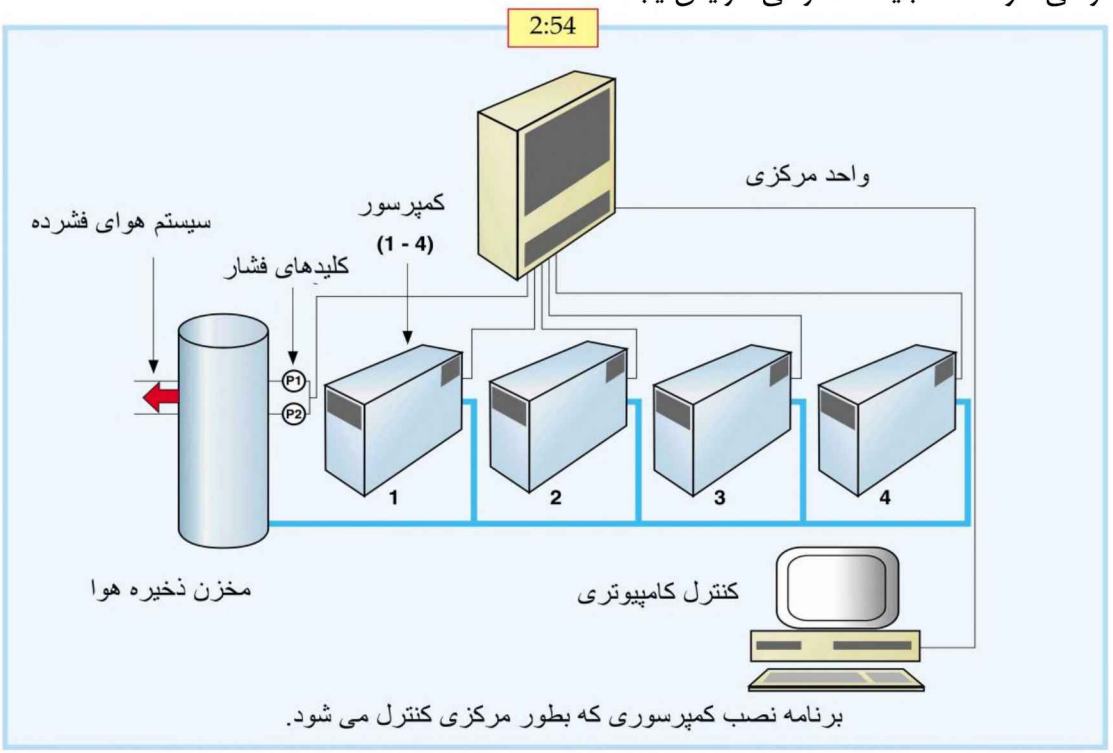
هماهنگ سازی کمپرسور ها به وسیله ی سیستم کنترل مرکزی معمولاً به معنی استفاده از سیستم های کنترل هوشمند می باشد. اینکه سیستم قادر باشد فشار از قبل تعیین شده ای را در محدوده های معینی نگاه دارد و اینکه عملکرد دستگاه باید تا آنجا که امکان دارد به صرفه باشد از جمله نیازهای اصلی در سیستم کنترل مرکزی است . برای رسیدن به این منظور ، سیستم باید قادر باشد مسائلی را که روی خواهد داد پیش بینی کند و همزمان میزان بار کمپرسور را حس کند .

این سیستم, سرعت بالا و پایین شدن تغییرات فشار (مدت زمان در یک فشار) را دریافت می کند . این سیستم با استفاده از این مقادیر می تواند محاسباتی انجام دهد که پیش بینی هوای مورد نیاز و همچنین زمان تخلیه بار / باردهی یا روشن / خاموش کردن دستگاه ممکن باشد . اگر دستگاه به درستی اندازه گیری شده باشد ، فشار بین **2** / . ± بار خواهد بود.

اگر انواع متعددی از کمپرسورها با ظرفیت های گوناگون در سیستم وجود داشته باشد ، برای صرفه جویی اقتصادی باید سیستم کنترل مرکزی یک یا ترکیبی از کمپرسورها را انتخاب کند که عملیاتی بسیار مهم است .

در عمل کمپرسورها باید بطور پیوسته زیر بار کارکنند و بدین ترتیب هرزگردی کمپرسور به حداقل برسد تا بدین ترتیب از نظر اقتصادی صرفه جویی شده باشد .

مزیت دیگر سیستم کنترل جامع این است که بطور کل امکان مرتبط ساختن دستگا ههای قدیمی تر به این سیستم هاوجود دارد و بدین طریق می توان در یک روش به نسبت ساده ,کل تأسیسات کمپرسور را به روزسانی کرد . عملکردهاوقتی اقتصادی تر می شوند که قابلیت دسترسی افزایش یابد .



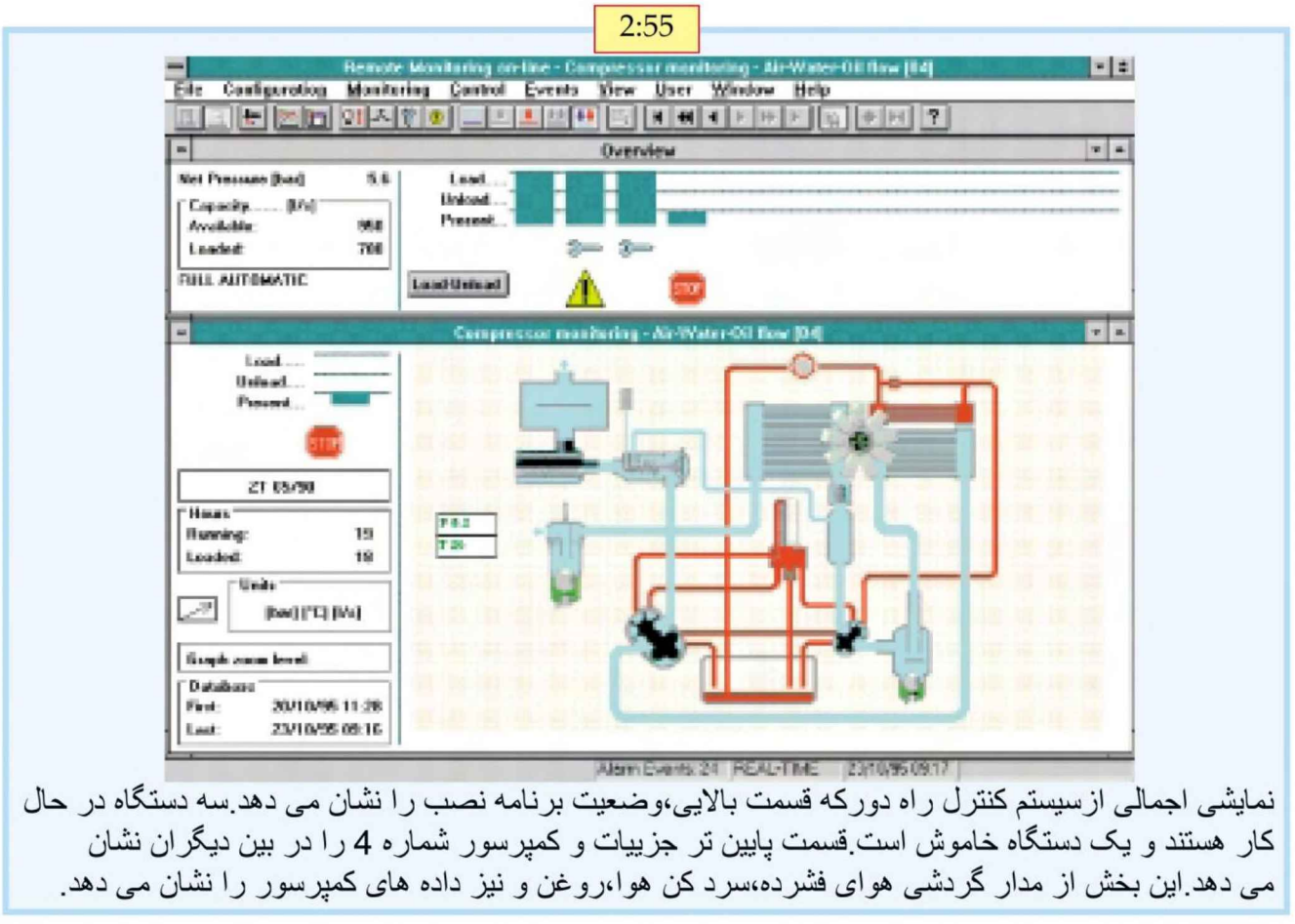
برنامه نصب کمپرسوری که بطور مرکزی کنترل می شود.

۲-۵-۸ فرابینی از راه دور (Remote monitoring)

در برخی از دستگاههای هوای فشرده لازم است عملکردهای کمپرسور را از راه دور کنترل کرد . در دستگاههای کوچک تر بطور ساده ای می توان یک زنگ خطر و یک نمایشگر نصب کرد . بطور معمول این امکان نیز وجود دارد که دستگاهها را از راه دور روشن و خاموش کرد .

در دستگاههای بزرگتر، کنترل مرکزی می تواند بهتر صورت گیرد . این سیستم کنترل مرکزی باید شامل تجهیزاتی باشد که عملیات سیستم را بطور پیوسته نظارت کند و این امکان وجود دارد که از ماشین های بخصوصی نیز برای کنترل کردن جزئیاتی از قبیل درجه حرارت روغن و فشار خنک کننده داخلی و غیره استفاده شود . سیستم کنترل همچنین باید دارای حافظه باشد ، بطوری که این امکان را بوجود آورد که وقایع پیش آمده در ۲۴ ساعت گذشته را ثبت کند . این واقعه نگاری ,منحنی های روند کار را ایجاد می کند ، از روی این منحنی ها می توان فهمید که آیا هیچ یک از ارقام تمایلی به انحراف از منحنی های پیش فرض را نشان می دهد یا خیر . منحنی ها می توانند اساس ادامه عملکرد ها و یا توقف دستگاه را نشان دهند .

سیستم اغلب گزارشات وضعیت دستگاه کمپرسور را نشان می دهد ، این گزارشات ، اشکال و سطوح متفاوتی از بررسی کلی گرفته تا وضعیت جزئی ماشین های بخصوص می باشد .



نمایشی اجمالی ازسیستم کنترل راه دورکه قسمت بالایی،وضعیت برنامه نصب را نشان می دهد.سه دستگاه در حال کار هستند و یک دستگاه خاموش است.قسمت پایین تر جزییات و کمپرسور شماره 4 را در بین دیگران نشان می دهد.این بخش از مدار گردشی هوای فشرده،سرد کن هوا،روغن و نیز داده های کمپرسور را نشان می دهد.

بخش سوم

برآورد ظرفیت تاسیسات کمپرسور

۳-۱ برآورد ظرفیت تأسیسات فشرده سازی هوا (Dimensioning compressor installations)

۳-۱-۱ بررسی کلی (General)

هنگام اندازه گیری برآورد ظرفیت تأسیسات هوای فشرده , تصمیمات متعددی باید گرفته شود تا تاسیسات با نیازهای کاربر متناسب بوده ، از لحاظ نحوه عملکرد, مقرون به صرفه و برای توسعه در آینده آماده باشد .

اساس این تصمیمات بر کاربردها یا فرایندهایی است که در آنها هوای فشرده مورد استفاده قرار می گیرد. بنابراین ، ابتدا باید نقشه کلی از این کاربردها و فرایندها را تهیه نمود تا بتوان مبنای صحیحی برای اندازه گیری در اختیار داشت .

حوزه هایی که باید مورد توجه قرار گیرند شامل محاسبات یا ارزیابی هوای مورد نیاز ، ظرفیت ذخیره سازی و فضا برای توسعه آتی می باشد . از آنجاکه فشار کاری تأثیر به سزایی در مصرف انرژی دارد ، عامل مهمی به حساب می آید . گاهی اوقات اقتصادی تر است که برای دامنه های فشار متفاوت, از کمپرسورهای متفاوت استفاده نمود.

کیفیت هوای فشرده فقط مربوط به مقدار رطوبت هوا نیست بلکه مسائل محیطی نیز به طور مستقیم کیفیت هوا را تحت تأثیر قرار می دهند . بوی ها و میکروارگانیزم های موجود در هوا عوامل مهمی هستند که کیفیت محصول ، عدم پذیرش ها ، محیط کاری و محیط بیرون را تحت تأثیر قرار می دهند . این موضوع که آیا نصب کمپرسور باید متمرکز یا نامتمرکز باشد ، بر میزان فضای مورد نیاز و شاید طرح های توسعه آتی تأثیر بگذارد . از دیدگاه اقتصادی و محیطی ، مهم است که امکان بازیافت انرژی را در مراحل اولیه بررسی کنیم ، این امر به سرعت به سرمایه گذاری بر می گردد .

مهم است که این مسائل را با توجه به نیازهای کنونی و آتی تجزیه و تحلیل نماییم و فقط بعد از آن ، این امکان وجود دارد تا تأسیساتی را طراحی کنیم که انعطاف پذیری مطلوبی داشته باشد .

۳-۱-۱-۱ محاسبه فشار کاری (Calculating the working pressure)

در یک تاسیسات ,تجهیزات هوای فشرده است که میزان فشار کاری لازم را تعیین می کند . فشار کاری مناسب نه تنها به کمپرسور, بلکه به طراحی سیستم هوای فشرده و لوله کشی ، شیرآلات ، خشک کن های هوای فشرده ، فیلترها و غیره بستگی دارد .

3:1

تجهیزات درحال بهره برداری	هوای مورد نیاز اسمی	ضریب بهره برداری حداقل/حداکثر	کل هوای مورد نیاز حداقل/حداکثر
ابزارها.کل			
خطوط تولید.کل			
خطوط فرایند.کل			

هوای مورد نیاز تجهیزات درحال بهره برداری را می توان به دست آورد.برای مثال با تجزیه و تحلیل و ارزیابی عوامل مصرف می توانید با استفاده از فهرست راهنمای ابزار و توضیحات دستگاه های تولید هوا، به سادگی حدود حداکثر و حداقل کل هوای مود نیاز را بدست آورد.

تجهیزات متفاوت در یک سیستم می توانند به فشار متفاوتی نیاز داشته باشند . بطور معمول ، بالاترین فشار ، فشار لازم را در تأسیسات تعیین می کند و فشار تجهیزات دیگر در نقاط مصرف, با شیرهای کاهش فشار تأمین می شوند . این روش برای نیازهای بخصوص یک کمپرسور مجزا می تواند راه حل خوبی باشد اما در موارد بحرانی تر نمی تواند اقتصادی باشد.

همچنین در نظر داشته باشید که افت فشار به سرعت با افزایش جریان ، افزایش می یابد . اگر تغییری در مصرف پیش بینی شود ، اقتصادی تر است که تأسیسات را با این وضعیت انطباق دهیم .

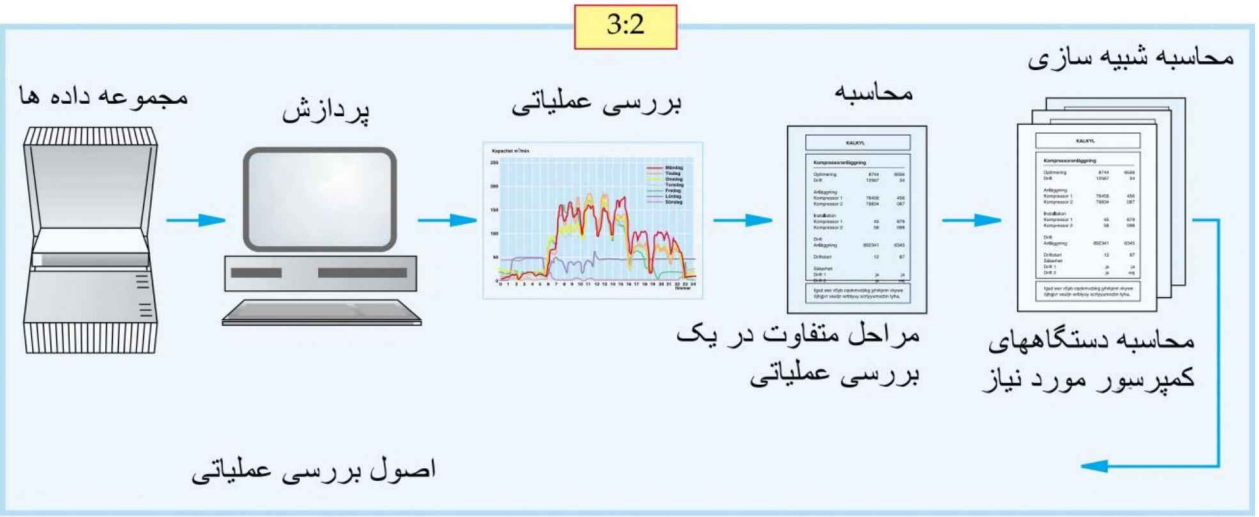
Description	Pressure drop bar(e)
End user	6
Final filter	0.1–0.5
Pipe system	0.2
Dust filter	0.1–0.5
Dryer	0.1
Compressor's regulation range	0.5
Compressor's max working pressure	7.0–7.8

فیلتر ها وفیلترهای گرد و غبار مخصوص ، در ابتدا افت فشار پایینی دارند اما زمانی که مسدود می شوند باید به هنگام افت فشار پیشنهادی تعویض گردند. بنابراین در اینجا زمان تعویض فیلتر از جمله عواملی است که نیاز به محاسبه دارد .
همچنین کنترل جریان کمپرسور نیز باعث تغییراتی در فشار می شود و باید در محاسبات گنجانده شود . لازم است که محاسبات را به ترتیب زیر انجام داد:
در اصل فشار مصرف کننده نهایی به همراه افت فشار بین کمپرسور و مصرف کننده, تعیین می کندکمپرسور نیاز به تولید چه فشاری دارد . همانند مثال بالا ، با اضافه کردن افت فشار در سیستم می توان فشار کاری را تعیین کرد .

۳-۱-۱-۲ محاسبه هوای مورد نیاز (Calculation the air requirement)

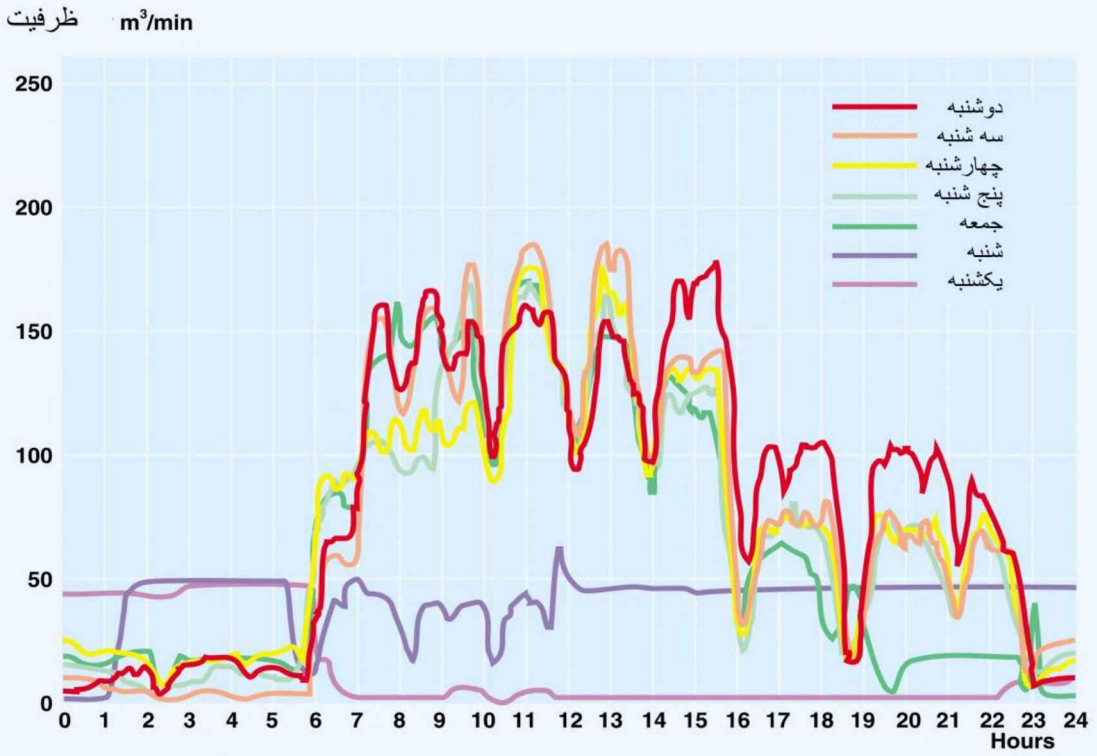
هوای فشرده مورد نیاز اسمی, توسط مصرف کننده های هوا تعیین می شود . هوای مورد نیاز بصورت مجموع هوای مصرفی در تمام ابزارها ، ماشین ها و فرایندهای موجود محاسبه می شود و ضریب مصرفی که بطور تجربی حاصل شده است باید در نظر گرفته شود . همچنین درمیزان هوای مورد نیاز باید نشتی ها ، فرسودگی و تغییرات آتی مورد توجه قرار گیرد .
یک روش ساده برای تخمین میزان هوای مورد نیاز کنونی و آینده این است که هوای مورد نیاز برای تجهیزات موجود رابا ضریب مصرف ترکیب کنیم .
در این نوع محاسبه, لازم است که فهرستی از تجهیزات فراهم آوریم . در این فهرست میزان مورد انتظار هوای مصرفی در هر دستگاه و نیز ضریب مصرف آن گنجانده می شود . اگر اطلاعاتی درباره مصرف هوا یا ضریب مصرف در اختیار نداشته باشید ، می توانید از مقادیر استاندارد استفاده کنید . برآورد ضریب مصرف برای ابزارها مشکل است ، بنابراین در کاربردهای مشابه باید مقادیر محاسبه شده را با مصرف اندازه گیری شده مقایسه کرد .
برای مثال وقتی که مصرف کننده های توان بالا از جمله تجهیزات خردکن و تجهیزات ماسه پاشی مورد استفاده قرار می گیرند ، خیلی اوقات برای دوره های طولانی (۳ تا ۱۰ دقیقه) پیوسته تحت کاربرد قرار دارند اگر چه ضریب مصرف پایین باشد .
در حقیقت این ارتباطی با کاربردهای بینا بین ندارد ، به همین دلیل لازم است تعداد دستگاه هایی که تأمین کننده ی کل حداکثرهوای مصرفی هستند، تخمین زده شود . در ابتدا ظرفیت کمپرسور توسط مقدار اسمی کل هوای فشرده ی مورد نیاز تعیین می شود . میزان جریان خروجی آزاد کمپرسور باید این میزان مصرف هوا را در برگیرد . ظرفیت ذخیره ی محاسبه شده در درجه اول توسط هزینه تولید کردن هوای فشرده به هدر رفته تعیین می شود .

3:2



تعداد کمپرسور ها و اندازه مشترک, در اصل با توجه به میزان انعطاف پذیری مورد نیاز ، سیستم کنترل و بازده انرژی تعیین می شود . سیستم می تواند در تاسیساتی که به دلایل مربوط به هزینه ، فقط باید یک کمپرسور جوابگوی تأمین هوای فشرده باشد ، برای اتصال سریع یک کمپرسور قابل حمل, آماده سرویس دهی باشد . یک کمپرسور قدیمی تر به عنوان منبع نیروی ذخیره کم هزینه می تواند مورد استفاده قرار گیرد .

3:3



طی یک بررسی عملیاتی،تولید هوای فشرده بطور پیوسته اندازه گیری می شود.برای مثال:این نتایج نموداری از یک کمپرسور با ظرفیت مترمکعب/میلی متر است که منحنی های متفاوت روزهای هفته را نشان می دهد.

۳-۱-۱-۳ اندازه گیری مقدار هوای مورد نیاز (Measuring the air requirement)

با انجام یک عملیات تجزیه و تحلیل, می توان عوامل کلیدی در باره مقدار هوای فشرده مورد نیاز را بدست آورد و همچنین می توان بررسی کرد که تولید چه مقدار هوای فشرده بهینه است . بیشتر شرکتهای صنعتی بطور پیوسته توسعه

می یابند ، و به همین دلیل نیاز به هوای فشرده نیز تغییر می کند . بنابراین همزمان با اینکه حدود مناسبی تجهیزات, برای توسعه در تأسیسات ساخته شده است, مهم است که تأمین هوای فشرده بر اساس شرایط متداول جاری قرار داشته باشد.
بررسی عملکردی شامل اندازه گیری داده های عملیاتی می باشد ، که این داده ها توسط بازرسی دستگاههای هوای فشرده طی دوره زمانی مناسب تکمیل می گردند . این تجزیه و تحلیل حداقل باید در طول یک هفته انجام گیرد و دوره اندازه گیری باید به دقت انتخاب شود بطوری که به عنوان یک نمونه مورد پذیرش, تصویر قابل قبولی از خود ارائه دهد . همچنین داده های ذخیره شده این موقعیت را فراهم می آورند که می توان در عملکردهای کمپرسور مقیاس ها و تغییرات را شبیه سازی کرد و بدین ترتیب اهمیت اقتصاد کل تأسیسات را بررسی کرد.
عواملی نظیر زمان های باردهی و زمان های هرز گردی نیز با ارزیابی کلی عملکرد های کمپرسور ارتباط دارند . این عوامل پایه و اساس ارزیابی ضریب باردهی و هوای فشرده مورد نیاز در طول روز یا هفته کاری را تشکیل می دهد . بدین ترتیب ، ضریب باردهی را نمی توان فقط از روی ساعت سنجش مقدار کارکرد کمپرسور قرائت کرد.

3:4

Hole diameter: mm	1	3	5	10
Leakage, (l/s) at 6 bar	1	10	27	105
Power loss, kW at the compressor	0,3	3,1	8,3	33

حتی نشتی های اندک نیز می تواند باعث مخارج زیاد و توقف در حین عملیات شود.

همچنین یک تجزیه و تحلیل عملیاتی از دستگاهها ، پایه و اساس بازیافت انرژی پتانسیل را ارائه می دهد .اغلب بیش از ۹۰٪ انرژی تأمین شده را می توان بازیابی کرد. نیز, با این تجزیه و تحلیل می توان پاسخ های مربوط به اندازه گیری و همچنین روش های عملکرد تأسیسات را ارائه داد .برای مثال ، در اکثر موارد می توان فشار کاری را در زمان های معینی کاهش داد و سیستم کنترل را می توان به منظور توسعه کاربر کمپرسور, به همراه تغییراتی در تولید اصلاح کرد . عامل مهم دیگر این است که هرگونه نشتی را مورد تجزیه و تحلیل قرار دهیم .
برای تولید مقادیر کم هوا در طول شب و آخر هفته ها ، باید به این موضوع توجه کنید که استفاده از کمپرسور های کوچک تر برای برآورده ساختن این نیاز مقرون به صرفه است .

۳-۱-۲ تمرکز یا عدم تمرکز (Centralisation or decentralisation)

۳-۱-۲-۱ بررسی کلی (General)

عوامل متعددی وجود دارد که انتخاب بین یک کمپرسور بزرگ یا چندین کمپرسور کوچک تر (که به همان میزان هوای فشرده مورد نیاز فراهم آورد) را تحت تأثیر قرار می دهد. برای مثال: هزینه توقف یک تولید ، قابل دسترس بودن جریان الکتریسیته ، تنوع باردهی ، هزینه های سیستم هوای فشرده و فضای موجود .

۳-۱-۲-۲ تأسیسات متمرکز فشرده سازی هوا (Centralised compressor installations)

نصب متمرکز کمپرسور ها در بیشتر موارد راه حل خوبی است ، به این علت که نسبت به نصب چندین کمپرسور بطور غیر متمرکز ارزان تر است . دستگاه های کمپرسور را می توان بطور مؤثری با یکدیگر مرتبط ساخت که باعث مصرف کمتر انرژی می شود . نصب دستگاهها بصورت متمرکز منجر به فرابینی و هزینه های نگهداری کمتر و نیز شرایط بهتری برای

بازیافت انرژی می شود و محوطه کلی مورد نیاز برای نصب کمپرسور کمتر می شود . فیلتر ها ، خنک کننده ها, تجهیزات کمکی دیگر و هوای ورودی را می توان بطور بهینه ای اندازه گیری و نصب کرد وعایق های صوتی نیز آسان تر نصب می شوند .

سیستمی که از چندین کمپرسور با اندازه های متفاوت در یک تأسیسات مرکزی تشکیل شده باشد می تواند برای افزایش بازدهی بطور ترتیبی کنترل شود . یک کمپرسور بزرگ نمی تواند تمام هوای فشرده مورد نیاز را بدون اتلاف انرژی و بازدهی برآورده سازد .

برای مثال ، سیستم هایی که دارای یک کمپرسور بزرگ هستند اغلب با یک کمپرسور کوچکتر جهت استفاده در طول شیفت های شبانه یا آخر هفته ها همراه می باشند . عامل دیگری که باید در نظر گرفت مربوط به تأثیری است که روشن کردن یک موتور الکتریکی بزرگ بر روی شبکه جریان برق اصلی دارد .

۳-۱-۲-۳ تأسیسات فشرده سازی هوای غیر متمرکز
(Decentralised compressor installations)

سیستمی که دارای چندین کمپرسور غیر متمرکز است ، از سیستم هوای فشرده ی ساده تر و کوچکتری تشکیل شده است. از جمله ضعفهای کمپرسور های غیر متمرکز, مشکل کنترل داخلی برای تأمین هوای فشرده است ، هزینه آن زیاد و کار تعمیر و نگهداری آن سخت تر و نیز نگهداری ظرفیت ذخیره مشکل است . اگر فرایندهای میانی بطور موقت هوای زیادی مصرف نمایند, در سیستمی که دارای افت فشار زیادی است می توان کمپرسور های غیر متمرکز را برای نگهداری فشار به کار گرفت . وگرنه نصب یک ذخیره(تانک ذخیره هوا) در مکان راهبردی, در نهایت جایگزینی با درجه های کوتاه است. . یک واحد صنعتی یا ساختمانی که اغلب به وسیله هوای فشرده مرکزی تأمین می شود و تنها, مصرف کننده هوای فشرده در زمینه های خاصی می باشد، می تواند جدا شده و با کمپرسور خودش تأمین شود .از مزایای این کار ، اجتناب از تغذیه هر گونه نشتی در قسمتهای باقی مانده سیستم است که کمپرسور موضعی می تواند نیازهای کمتر را تأمین نماید .

۳-۱-۳ اندازه گیری در ارتفاع بالا (Dimensioning at high altitude)
۳-۱-۳-۱ بررسی کلی (General)

فشار و دمای محیط در ارتفاعات بالاتر از سطح دریا کاهش می یابد . این مسأله نسبت فشار را برای کمپرسورها و نیز تجهیزات مرتبط با آن تحت تأثیر قرار می دهد . در عمل به این معنی است که مصرف انرژی و هوا را تحت تأثیر قرار می دهد . تغییرات همچنین بطور همزمان قدرت اسمی موجود در موتورهای الکتریکی و موتورهای احتراقی را تحت تأثیر قرار می دهند .

همچنین باید آگاه باشید که چگونه شرایط محیطی, مصرف کننده نهایی را تحت تأثیر قرار می دهد . آیا این همان میزان جریان جرم مخصوص برای مثال ، در یک فرایند است ؟ آیا این همان میزان جریان حجم مورد نیاز شما است ؟ آیا این همان میزان نسبت فشار ، فشار مطلق یا مافوق فشار است که برای اندازه گیری مورد استفاده قرار گرفته است ؟ آیا دمای هوای فشرده مهم است ؟

تمام این موارد ، شرایط متفاوتی برای اندازه گیری تأسیسات هوای فشرده که در ارتفاع بالایی نصب می شود ، ایجاد می کند و می تواند نسبتاً برای محاسبه پیچیده باشد . اگر احساس عدم اطمینان می کنید همیشه باید با سازنده تجهیزات تماس بگیرید .

۳-۱-۳-۲ تأثیر بر روی یک کمپرسور (The effect on a compressor)

برای انتخاب صحیح کمپرسور در مواقعی که شرایط محیطی غیر از شرایط ذکر شده در صفحه داده ها می باشد ، باید عوامل زیر را در نظر بگیرید :

- ارتفاع بالای سطح دریا یا فشار محیط
- دمای محیط
- رطوبت
- دمای مبرد
- نوع کمپرسور
- منبع تغذیه قدرت

این عوامل در ابتدا موارد زیر را تحت تأثیر قرار می دهند :

- حداکثر فشار کاری
- ظرفیت
- مصرف توان
- نیازهای خنک کاری

مهم ترین عامل ، تغییرات فشار ورودی در ارتفاع است . برای مثال ، کمپرسوری با نسبت فشار ۸ در سطح دریا ، در ارتفاع ۳۰۰۰ متری (تحت شرایطی که فشار کاری ثابت است) دارای نسبت فشار۱۱/۱ خواهد بود . این مسأله ، بازدهی و سپس توان مورد نیاز را تحت تأثیر قرار می دهد و اینکه تا چه میزان به نوع و طراحی کمپرسور بستگی دارد در شکل (۳:۶) به آن اشاره شده است .

3:5

ارتفاع پایین/بالای سطح دریا	فشار bar	درجه حرارت C
-1000	1.138	21.5
-800	1.109	20.2
-600	1.080	18.9
-400	1.062	17.6
-200	1.038	16.3
0	1.013	15.0
200	0.989	13.7
400	0.966	12.4
600	0.943	11.1
800	0.921	9.8
1000	0.899	8.5
1200	0.877	7.2
1400	0.856	5.9
1600	0.835	4.6
1800	0.815	3.3
2000	0.795	2.0
2200	0.775	0.7
2400	0.756	-0.6
2600	0.737	-1.9
2800	0.719	-3.2
3000	0.701	-4.5
3200	0.683	-5.8
3400	0.666	-7.1
3600	0.649	-8.4
3800	0.633	-9.7
4000	0.616	-11.0
5000	0.540	-17.5
6000	0.472	-24.0
7000	0.411	-30.5
8000	0.356	-37.0

این جدول فشار استاندارد و تغییرات درجه حرارت را در ارتفاعات گوناگون نشان می دهد. فشار به شرایط آب و هوایی بستگی داردو تقریبا بین 5- درصد و 5+ درصد تغییر می کند. تا آنجا که تغییرات دمای مرتبط با فصول محلی قابل توجه است.

3:6

نوع کمپرسور	کاهش برای هر 1000 متر بالاتر از سطح دریا	
	% جریان جرم یا جریان نرمال	% میزان جریان برون داد آزاد
کمپرسور پیچی پیچی تک مرحله ای oil-free	11	0.3
کمپرسورپیچی دو مرحله ای oil-free	11	0.2
کمپرسور پیچی تک مرحله ای oil-injected	12	0.5
کمپرسور پیستونی تک مرحله ای	17	5
کمپرسور پیستونی دو مرحله ای	13	2
کمپرسور گریز از مرکز چند مرحله ای	12	0.4

3:7

ارتفاع بالای سطح دریا	دمای محیط °C					
	<30	30-40	45	50	55	60
1000	107	100	96	92	87	82
1500	104	97	93	89	84	79
2000	100	94	90	86	82	77
2500	96	90	86	83	78	74
3000	92	86	82	79	75	70
3500	88	82	79	75	71	67
4000	82	77	74	71	67	63

جدول بار مجاز را به عنوان درصدی از توان اسمی موتور الکتریکی نشان می دهد.

دمای محیط ، رطوبت را و دمای ماده خنک کننده ، عملکرد کمپرسورها را تحت تأثیر قرار می دهد .

۳-۱-۳-۳ منبع توان (Power source)

۳-۱-۳-۳-۱ موتورهای الکتریکی (Electric motors)

خنک کاری در ارتفاعات بالا و هوای رقیق باعث صدمه رساندن به موتور الکتریکی می شود . باید برای موتورهای استاندارد این امکان وجود داشته باشد که تا ارتفاع ۱۰۰۰ متر و با دمای محیط ۴۰°C بدون انحراف از داده های مجاز اسمی به درستی کار کنند . در ارتفاعات بیشتر, جدول ۳:۷ می تواند به عنوان راهنمای موتورهای استاندارد به کار رود . توجه کنید که برای بعضی از انواع کمپرسور,کارایی موتور در ارتفاعات بالا, بیشتر از توان گرداننده مورد نیاز کمپرسور مورد آسیب قرار می گیرد.

۳-۱-۳-۲-۳ ماشین های احتراقی (Combustion engines)

کاهش فشار محیط ، افزایش دما یا کاهش رطوبت ، میزان اکسیژن موجود را در هوای ورودی کاهش می دهد و بدین ترتیب توان به دست آمده از موتور نیز کاهش می یابد . میزان افت توان محور گردنده به نوع موتور و روش هواگیری آن بستگی دارد (مراجعه شود به جدول ۸ : ۳) . وقتی درجه حرارت از ۳۰ °C پایین تر بیاید ، رطوبت نقش کمتری خواهد داشت (کمتر از ۱ ٪ در برابرهر ۱۰۰۰ متر) .

توجه کنید که توان موتور سریع تر از توان مورد نیاز محور گردنده افت می کند ، به این معنی که برای هر ترکیب کمپرسور / موتور یک حداکثر ارتفاع کاری وجود دارد . در واقع باید اجازه دهید که خود تأمین کنندگان محترم , داده های مخصوصی را که در کمپرسور ، موتور و تجهیزات مصرف کننده هوا وجود دارد, مورد محاسبه قرار داده و بیان نمایند .

3:8

نوع موتور	درصد کاهش توان به ازای هر 1000 متر	درصد کاهش توان به ازای هر10 درجه افزایش دما
موتور مکنده	12	3.6
کمپرسور	8	5.4

۲-۳ تصفیه هوا (Air treatment)

۳ -۲ -۱ بررسی کلی (General)

برای مصرف کننده مهم است که هوای فشرده کیفیت خوبی داشته باشد . اگر هوا حاوی آلودگی باشد ، محصول نهایی را تحت تأثیر قرار می دهد ، هزینه های عدم پذیرش محصول به سرعت بالا می رود و کم هزینه ترین راه حل به گران قیمت ترین راه حل تبدیل می شود . مهم است که کیفیت هوای فشرده را در راستای سیاست کیفی شرکت برگزینید و حتی تلاش نمایید تا نیازهای آتی را نیز فراهم آورید.

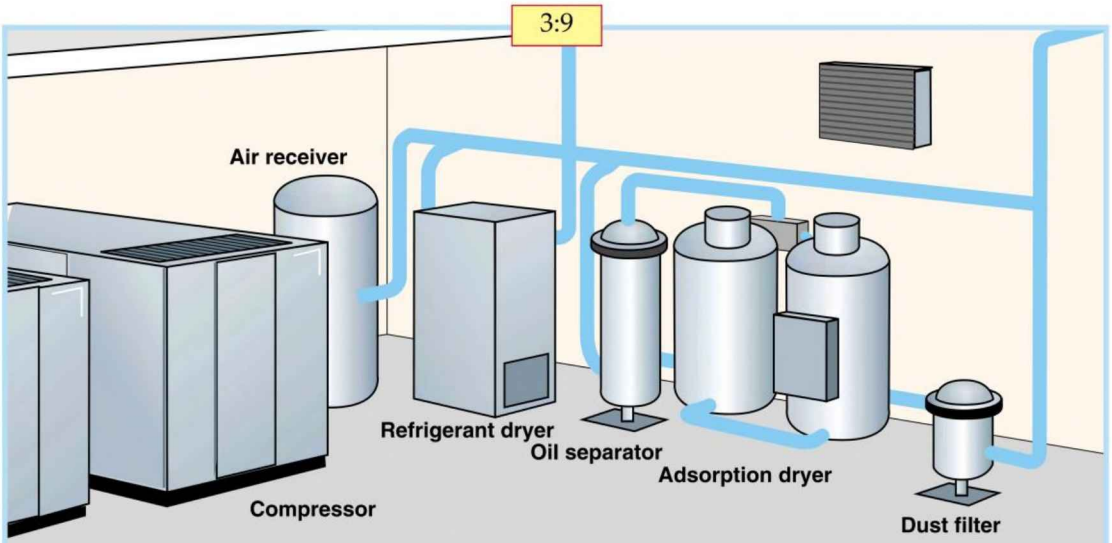
هوای فشرده می تواند دارای مواد ناخواسته ای باشد (برای مثال آب به صورت قطره یا بخار ، روغن به صورت قطره یا معلق در هوا و نیز گرد و غبار) . این مواد می توانند باتوجه به منطقه بکارگیری هوای فشرده ، تولید نهایی را تحت تأثیر قرار دهند و حتی باعث افزایش هزینه ها گردند . هدف از تصفیه هوا این است که کیفیت هوای فشرده را براساس نظر مشتری تولید کنیم .

۳-۲-۲ بخار آب در هوای فشرده (Water vapour in the compressed air)

هوای موجود در اتمسفر همیشه حاوی رطوبت است ، این رطوبت به شکل بخار آب می باشد . رطوبت می تواند در هوای فشرده وارد شود و مشکلاتی بوجود آورد . هزینه های بالای تعمیر و نگهداری ، کاهش طول عمر و کارایی ابزار ، مقدار زیاد عدم پذیرش با پاشیدن رنگ و تزریق پلاستیک ، افزایش نشتی ، ایجاد تداخل در سیستم کنترل و ابزارها ، کاهش طول عمر سیستم لوله کشی در اثر خوردگی و نصب گران تر از جمله مشکلاتی است که رطوبت در هوای فشرده به وجود

می آورد . آب را می توان با استفاده از لوازم متعددی از جمله: پس سردکن ها ، جداکننده های آب تقطیر ، خشک کن هـای تبریدی و خشک کن های جذبی جدا کرد .

3:9



این شکل قسمتهای اصلی سیستم هوای فشرده را به هنگام نصب و استقرار نشان می دهد.همانطور که کیفیت هوای فشرده تاثیرمهمی در اقتصاد دستگاهها دارد،دستگاهی که برای تولید هوا به کار می رود کیفیت هوای فشرده را تعیین می کند.

3:10

ISO 8573-1 رده های کیفیت

کیفیت رده(دسته)	اندازه ذرات (µm)	الودگی حداکثر شدت (mg/m³)	حداکثر نقطه مناسب برای فشار آب (°C)	حداکثر غلظت روغن (mg/m³)
1	0.1	0.1	-70	0.01
2	1	1	-40	0.1
3	5	5	-20	1.0
4	15	8	+3	5.0
5	40	10	+7	25
6	-	-	+10	-

برای مثال:رده بندی کیفیت2.2.2از هوای فشرده شدت ذرات 1 µm، 1 mg/m³ آب 40 °C pdp (نقطه فشار مناسب)
روغن 0.1 mg/m³

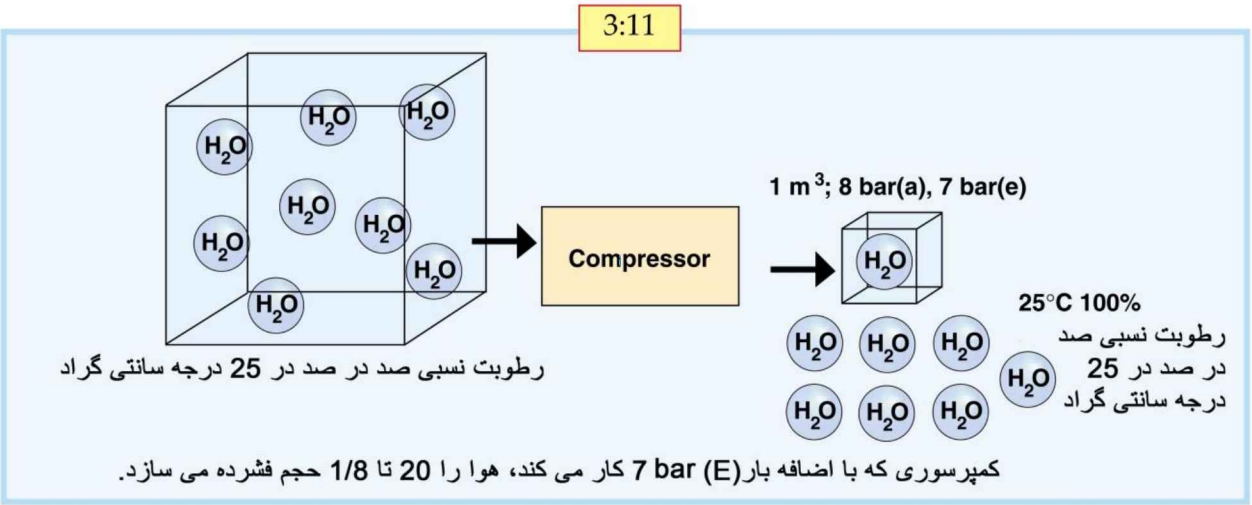
ISO دارای کیفیت رده بندی از هوای فشرده به درجه آلودگی است .

کمپرسوری که با فشاری بالاتر از ۷ بار کار می کند ، هوا را تا ۷/۸ حجم, فشرده می سازد . این امر توانایی هوا را نیـز بـرای نگاه داشتن بخار تا ۷/۸ حجم کاهش می د هـد . مقـدار آبـی کـه آزاد مـی شـود ، اهمیـت زیـادی دارد . بـرای مثـال یـک کمپرسور ۱۰۰kW که هوای ۲۰ °C را با رطوبت نسبی ۶۰٪ مکش می نماید ، طی ۸ ساعت کاری تقریباً ۸۵ لیتر آب تولیـد می کند . در نتیجه ، مقدار آبی که باید جدا شود به منطقه کاربرد هوا بستگی دارد . این امر به نوبه خود تعیین مـی کنـد کـه استفاده از چه خنک کننده و خشک کنی مناسبت تر است .

۳-۲-۳ روغن در هوای فشرده (Oil in the compressed air)

مقدار روغن در هوای فشرده به چندین عامل بستگی دارد ، از جمله نوع دستگاه ، طرح ،طول عمر ، وضعیت و غیره . در این خصوص ، دو نوع اصلی طرح کمپرسور وجود دارد ، کمپرسورهایی که در محفظه فشرده سازی با مواد روانساز کار می کنند و کمپرسورهایی که بدون مواد روانساز کار می کنند .

در کمپرسورهای روغن کاری شونده ، روغن در فرایند فشرده سازی شرکت دارد و همچنین بطور کامل و یا جزئی هوای فشرده را همراهی می کند . با وجود این در کمپرسور های مارپیچی و پیستونی روغن کاری شونده جدید ، مقدار روغن موجود در هوا اندک است . برای مثال در یک کمپرسور مارپیچی روغن کاری شونده ، مقدار روغن در هوا کمتر از $3\ mg / m^3$ در $20\ ^\circ C$ است . محتوای روغن را می توان با استفاده از فیلترهای چند مرحله ای کاهش داد . اگر چنین راه حلی را انتخاب می کنید ، مهم است که محدودیتهای کیفیت ، خطرات و هزینه های انرژی را نیز مورد توجه قرار دهید .



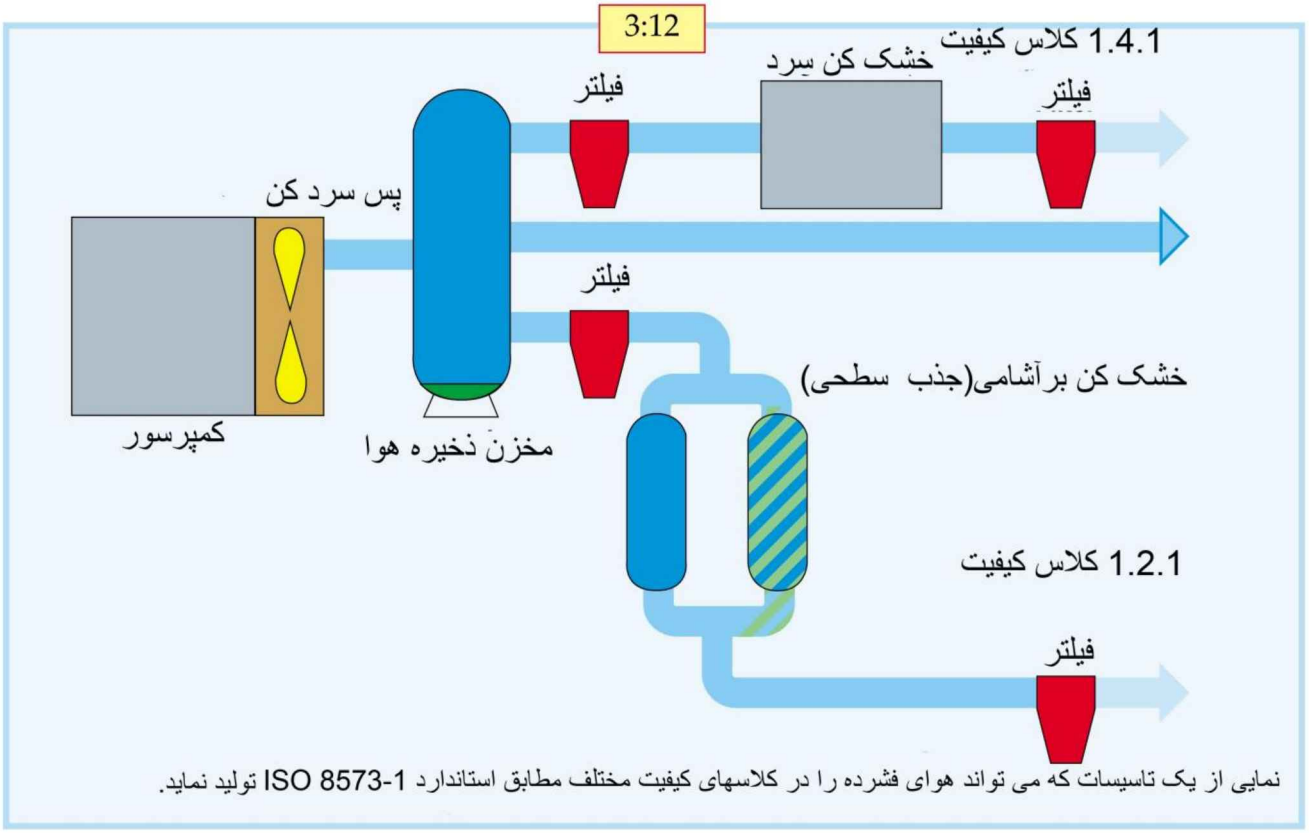
۳-۲-۴ میکرو ارگانیسم ها در هوای فشرده (Microorganisms in the compressed air)

اندازه ی بیش از ٪۸۰ ذراتی که هوای فشرده را آلوده می کنند کمتر از $2\ \mu m$ است و بدین ترتیب به راحتی از فیلتر ورودی کمپرسور عبور می کنند . سپس این ذرات در سیستم لوله کشی پخش می شوند و با آب و پسماندهای روغن و رسوبات لوله مخلوط می شوند . این امر باعث رشد میکرو ارگانیسم ها (موجودات ذره بینی) می شود . نصب یک فیلتر بلافاصله بعد از کمپرسور می تواند از بروز چنین خطراتی جلوگیری کند . با این وجود ، برای اینکه هوای خالص و ضد عفونی شده ای داشته باشید باید کنترل کاملی بر رشد هرگونه باکتری در مرحله بعد از فیلتر داشته باشید .

این امر زمانی که گازها و گازهای معلق در هوا را بتوان (از طریق بارور سازی الکتریکی یا تعلیق) حتی بعد از چندین مرحله گذراندن از فیلتر ، بصورت قطرات تغلیظ کرد ، پیچیده تر نیز می شود . میکرو ارگانیسم ها در سراسر دیواره های فیلتر رشد می کنند ، بنابراین میزان تراکم آنها در قسمتهای درونی و بیرونی فیلتر یکسان است .

طی بررسی های به عمل آمده ، اثبات شده است که میکرو ارگانیسم ها در سیستم های هوای فشرده با هوای خشک نشده و رطوبت بالا (٪ ۱۰۰) رشد می کنند . آلودگی کوچکتر از $1\ \mu m$ و از آن طریق میکرو ارگانیسم می تواند از فیلتر ورودی کمپرسور عبور کند .

روغن و مواد آلوده کننده دیگر به عنوان مواد غذایی این میکرو ارگانیسم ها عمل می کنند . قطعی ترین روش خشک کردن هوا تا رطوبت کمتر از ٪ ۴۰ است ، که می تواند با استفاده از خشک کن های جاذب سطحی و افزون بر این در دمای اتاق با خشک کن های تبریدی حاصل گردد .

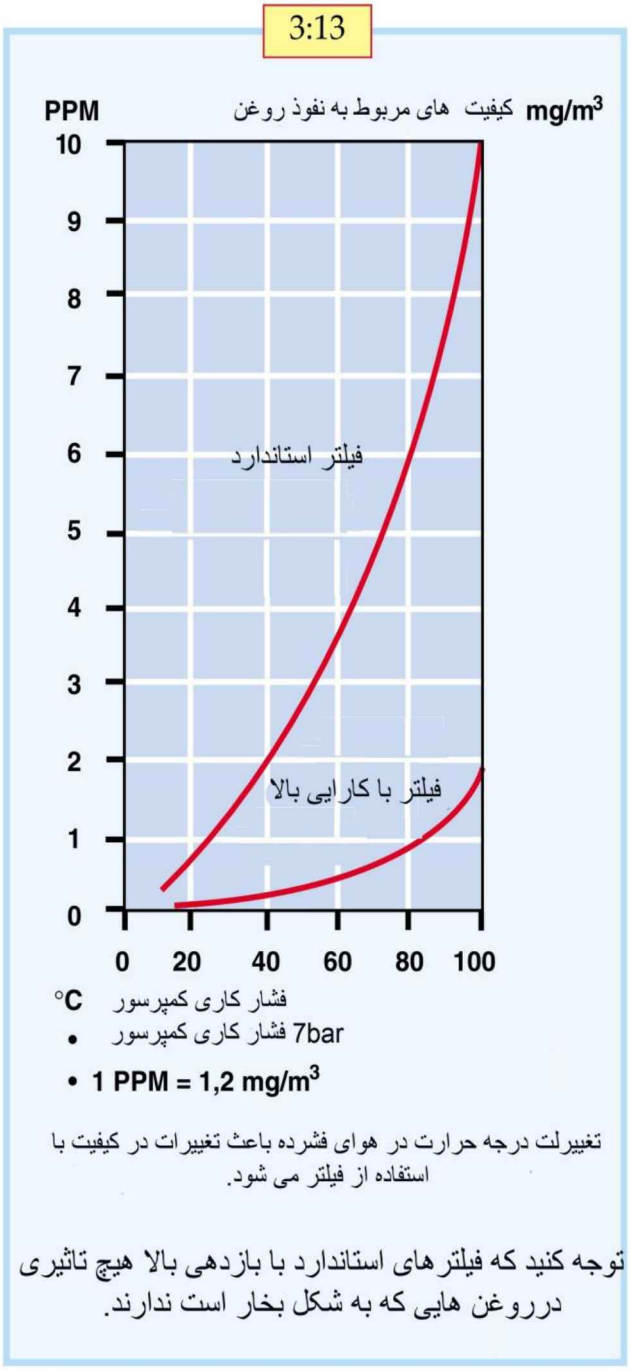


نمایی از یک تاسیسات که می تواند هوای فشرده را در کلاسهای کیفیت مختلف مطابق استاندارد ISO 8573-1 تولید نماید.

۳-۲-۵ صافی ها (Filters)

صافی های الیافی جدید برای جدا کردن روغن خیلی مؤثر هستند . با وجود این کنترل دقیق مقدار روغن باقی مانده در هوا بعد از گذراندن از صافی مشکل است ، زیرا درجه حرارت تأثیر مهمی بر روی فرایند جداسازی دارد . همچنین میزان بازدهی تحت تأثیر مقدار روغن و مقدار آب آزاد در هوای فشرده قرار دارد.

برای کسب بهترین نتیجه باید هوا تا آنجا که امکان دارد خشک شود . اگر در هوا آب وجود داشته باشد ، صافی های استریل ، کربن و روغن نتایج خوبی ارائه نمی دهند . صافی های الیافی فقط می توانند روغنهایی را که به شکل قطره یا معلق در هوا هستند جدا کنند . بخار روغن باید با استفاده از فیلتری که دارای کربن فعال است ، جدا شود . یک صافی الیافی که بدرستی نصب شده است به همراه یک پیش صافی مناسب ، می تواند مقدار روغن موجود در هوای فشرده را تاحدود ۰/۰۱mg/ m^3 در دمای ۲۱ °C کاهش دهد . یک فیلتر کربن فعال, می تواند مقدار روغن موجود در هوای فشرده را تاحدود ۰/۰۰۳mg/ m^3 در دمای ۲۱ °C کاهش دهد .



فیلتر های کربن باید دارای مقدار کربن مناسبی باشند و به لحاظ ابعادی به گونه ای نصب شود که افت فشار به حداقل برسد . برای تأثیر بهتر ، فیلترها باید تا آنجا که ممکن است نزدیک به وسیله مورد نظر قرار داده شوند . علاوه بر این باید آنها را بدقت کنترل نمود و هر چند وقت یکبار آنها را جایگزین کرد . صافی هایی که دارای کربن فعال هستند فقط آلودگی هایی را که به شکل بخار می باشند ، جدا می سازند (برای مثال روغن) . صافی های استریل باید در سیستم لوله کشی نصب شود و به کمک بخار, ضد عفونی کردن انجام شود. .ظرفیت صافی برای جدا کردن روغن از هوای فشرده در درجه حرارت های کاربردی متفاوت ، تغییر می کند .

داده هایی که در مجموعه خصوصیات ویژه صافی تعیین شده است همیشه در درجه حرارت بخصوصی(بطور معمول در °C ۲۱) کاربرد دار که تقریباً با درجه حرارت کارکرد یک کمپرسور هوا خنک در دمای محیط °C ۱۰ انطباق دارد . هر چند آب و هوا و تغییرات فصلی ، تنوع درجه حرارت را تغییر می دهد ، که این امر به نوبه خود ظرفیت جداسازی صافی را تحت تأثیر قرار می دهد.

یک کمپرسور روغنکاری نشونده نیاز به فیلتر روغن ندارد . این بدین معنی است که کمپرسور در فشار پایینی که مصرف انرژی را کاهش می دهد کار می کند . در بسیاری از موارد نشان داده شده است که کمپرسورهای روغنکاری نشونده, هم به لحاظ اقتصادی و هم کیفی, بهترین راه حل می باشند .

۳-۲-۶ پس سردکن ها (Aftercooler)

هوای فشرده بعد از فشرده سازی داغ است ، غالباً بین °C ۲۰۰ – ۷۰ می باشد . بنابراین برای کاهش دما از یک پس سردکن استفاده می شود که محتوای آب را نیز کاهش می دهد و هم اکنون در تأسیسات کمپرسور به عنوان یک قطعه استاندارد گنجانده می شود . پس سردکن ها ، همیشه باید بطور مستقیم بعد از کمپرسور نصب شوند . این مبدل گرما است که هوای گرم را سرد می کند ، و سپس بخش اصلی آب تقطیر را هرچه سریعتر ته نشین می نماید ، در غیر اینصورت به داخل سیستم وارد می شود . پس سردکن هم می تواند آب خنک و هم هواخنک باشد و بطور کلی با یک جداکننده آب به همراه تخلیه اتوماتیک است .

۳-۲-۷ جدا کننده آب (Water separator)

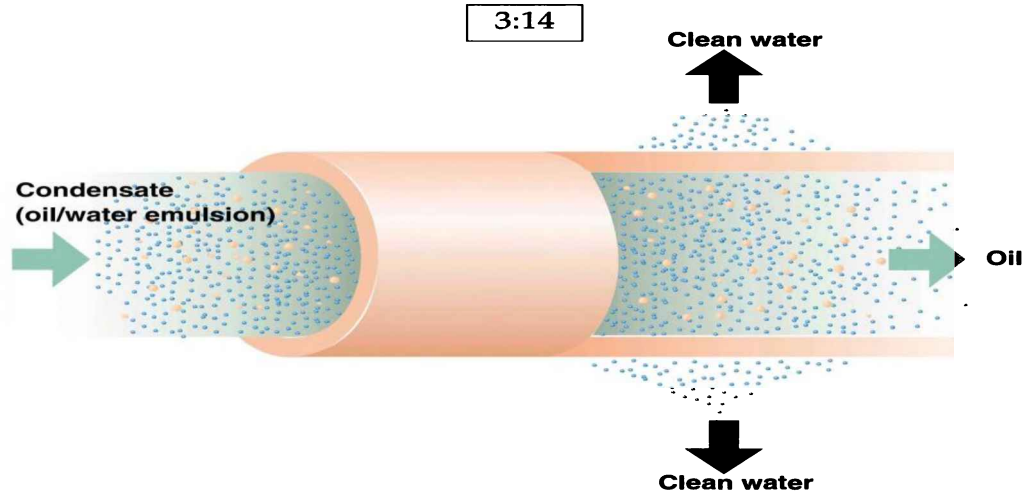
بیشتر دستگاه های فشرده ساز دارای یک پس سردکن و نیز جداکننده آب هستند و بدین ترتیب آب را تا آنجا که ممکن است جدا کرده و تقطیر می کنند . با انتخاب صحیح و اندازه درست دستگاه جدا کننده آب می توان ٪ ۹۰-۸۰ بازدهی را به دست آورد .

۳-۲-۸ قطرات کوچک روغن (Oil as droplets)

روغن به صورت قطرات کوچک تا حدودی در پس سردکن و جداکننده آب تقطیر ویا به همراه میعان آب جدا می شود و بدنبال آب حرکت می کند . این شیرابه روغن / آب از دیدگاه زیست محیطی به عنوان روغن زائد طبقه بندی می شود و نباید وارد سیستم فاضلاب و یا بطور مستقیم وارد طبیعت شود.

با توجه به کنترل فضولات محیط زیست قوانین جدید و شدیدتری بطور مستمر ارائه می گردند . تخلیه و جمع آوری میعان نیز شامل این قوانین پرهزینه می باشند .

یک راه حل ساده و مقرون به صرفه برای این مشکل این است که از یک جدا کننده روغن / آب استفاده کنیم ، برای مثال با یک صافی دیافراگمی که آب تمیز را تخلیه و روغن را به داخل مخزن مخصوصی هدایت می کند می توان این کار را انجام داد. .



این شکل نشان می دهد کهیک فیلتر دیافراگمچگونه روغن را جدا می سازد.این دیافراگم مولکولهای کوچک (آب تمیز) را عبور می دهد،درحالیکه مولکولهای بزرگ(روغن)در سیستم نگه داشته می شوندو می توانند در یک مخزن جمع آوری شوند.

۳-۳ سیستم خنک کننده (Cooling system)

۳-۳-۱ کمپرسورهای آب خنک کاری شونده (Water cooled compressors)

۳-۳-۱-۱ بررسی کلی (General)

یک کمپرسور آب خنک ، به این علت که بخش عظیمی از گرمای ایجاد شده آن توسط آب خنک کننده به بیرون هدایت می شود نیاز کمتری به تهویه اتاقک فشرده سازی دارد . آب خنک کننده در یک کمپرسور آب خنک ، به صورت حرارتی ، شامل تقریباً ٪۹۰ انرژیی است که توسط موتور الکتریکی مصرف می شود .

سیستم آب خنک کننده کمپرسور را می توان بر اساس یکی از سه اصل بنیادی طراحی کرد : به عنوان یک سیستم مدار باز بدون گردش آب ، به عنوان یک سیستم مدار باز با گردش آب و به عنوان یک سیستم گردشی مدار بسته .

۳-۳-۱-۲ سیستم باز بدون گردش آب (Open system without circulating water)

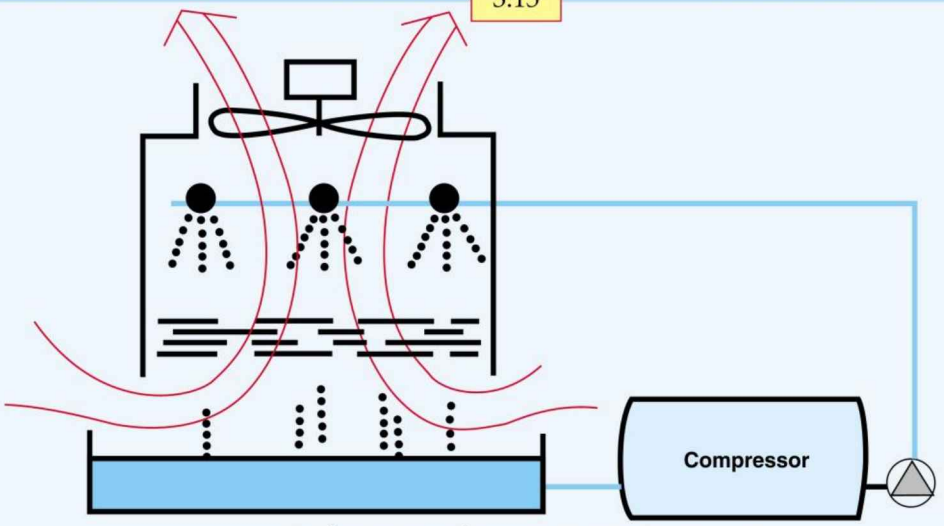
سیستم باز بدون گردش آب به این معنی است که آب از منابع آب شهری ، دریاچه ، نهر و یا چاه تأمین و برای خنک کردن کمپرسور مورد استفاده قرار می گیرد و سپس به عنوان فاضلاب تخلیه می شود . سیستم باید توسط یک ترموستات کنترل شود تا دمای مطلوبی را حفظ کند و مصرف آب را نیز کنترل نماید . فشار آب خنک کننده باید پایین تر از فشار قسمت های قطعه ای که برای آن طراحی شده است باشد.

بطور کل نصب یک سیستم باز, ساده و کم خرج است ، اما راه اندازی آن پر خرج است ، بخصوص اگر آب خنک کننده از منبع آب شهری گرفته شود . آب دریاچه یا نهر بطور معمول آزاد است اما برای اینکه مشکل گرفتگی در سیستم خنک کننده ایجاد نکند باید از صافی گذرانده شود و خالص گردد. گذشته از این آب حاوی آهک, باعث ایجاد رسوب در خنک کننده و افت توان خنک کاری می گردد . این موضوع در خصوص استفاده از آب شور در صورت طراحی های مشابه نیز صادق می باشد .

۳-۳-۱-۳ سیستم باز با گردش آب (Open system with circulating water)

یک سیستم باز با گردش آب به این معنی است که آب خنک کاری برگشتی از کمپرسور در یک برج خنک کننده دوباره سرد می شود .

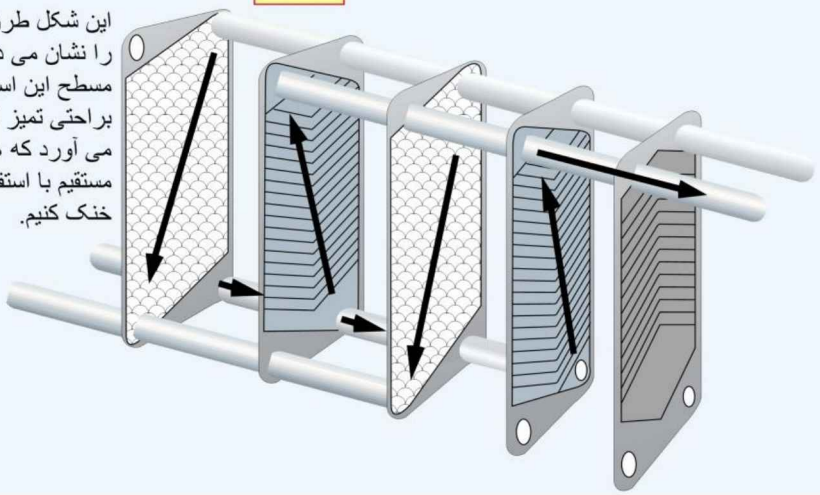
3:15



یک سیستم خنک کننده باز به همراه آب خنک کننده گردشی

3:16

این شکل طرز کار مبدل حرارتی مسطح را نشان می دهد.مزیت مبدل حرارتی مسطح این است که می توان آن را براحتی تمیز کرد، که این امکان را فراهم می آورد که هوای کمپرسور را بطور غیر مستقیم با استفاده از آب دریاچه یا شهر خنک کنیم.

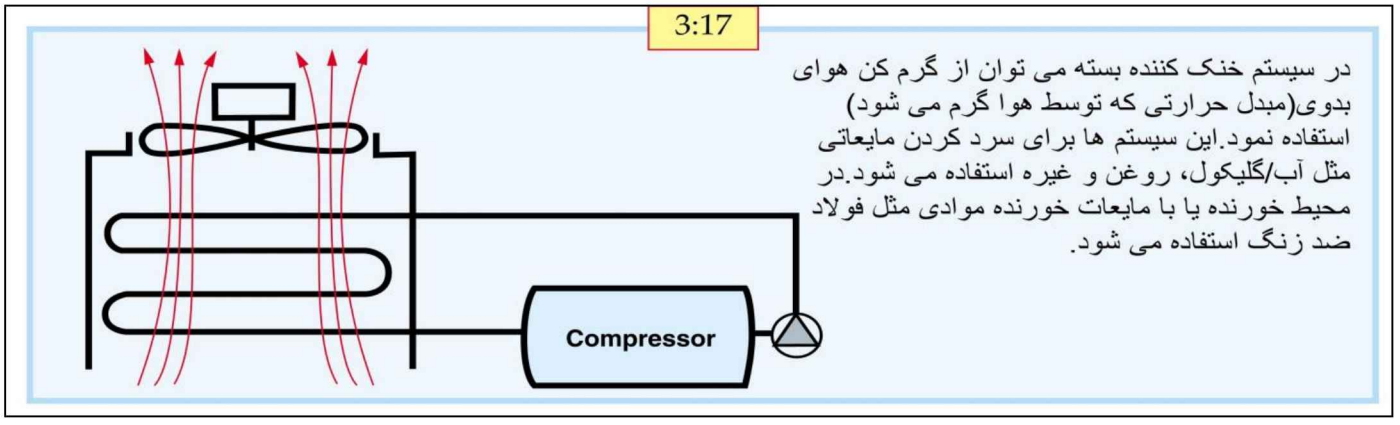


آب با این روش خنک می شود که همزمان با پاشش آب به داخل محفظه خنک کننده ، هوای محیط نیز به داخل دمیده می شود ، که بدین طریق قسمتی از آب بخار می شود و آب باقی مانده در دمای محیط تا ۲ °C خنک می شود (این امر می تواند با توجه به درجه حرارت و میزان رطوبت نسبی متغیر باشد) . سیستم های باز با گردش آب بیشتر در مواقعی استفاده می شوند که میزان آب موجود کم باشد . مضرت این سیستم این است که آب توسط هوای محیط آلوده می شود . به علت تبخیر باید پیوسته این سیستم آب رسانی شود .

نمک های نامحلول بر سطوح فلزی گرم رسوب می دهند ، این امر ظرفیت پخش حرارتی برج خنک کننده را کاهش می دهد . آب باید پیوسته مورد تجزیه و تحلیل قرار گیرد و با مواد شیمیایی تصفیه شود تا از پیدایش جلبک هایی که در آب رشد می کنند جلو گیری شود . طی مدت زمستان ، وقتی که کمپرسور کار نمی کند ، برج خنک کننده را باید خالی یا آب آن را گرم کرد تا از یخ زدن آن جلو گیری به عمل آید .

۳-۳-۱-۴ سیستم مدار بسته (Closed system)

در کمپرسوری که با سیستم مدار بسته خنک می شود ، آب ، بین کمپرسور و دستگاه خنک کننده در گردش است . این خنک کننده پشت سر هم توسط مدار آب دیگر یا هوای محیط اطراف خنک می شود . وقتی که آب به وسیله جریان آب دیگری خنک می شود اغلب یک مبدل حرارتی مسطح مورد استفاده قرار می گیرد .



وقتی آب به منظور هوای محیط اطراف خنک می شود برج خنک کننده ای که شامل لوله ها و فلنج های(لبه لوله) خنک کننده است مورد استفاده قرار می گیرد. هوای محیط توسط یک یا چند پروانه تحت فشار قرار می گیرد تا در اطراف برج جاری گردد . هوا در ابتدا بطور معمول از صافی گذرانده می شود تا از گرفتگی جلوگیری شود . این روش در مواقعی که آب مورد نیاز , محدود است ، مناسب می باشد . ظرفیت خنک کنندگی مدارهای باز یا بسته تقریباً یکسان است ، به عبارت دیگر آب کمپرسور تا ۵ °C بالاتر از دمای ماده خنک کننده , خنک می شود .

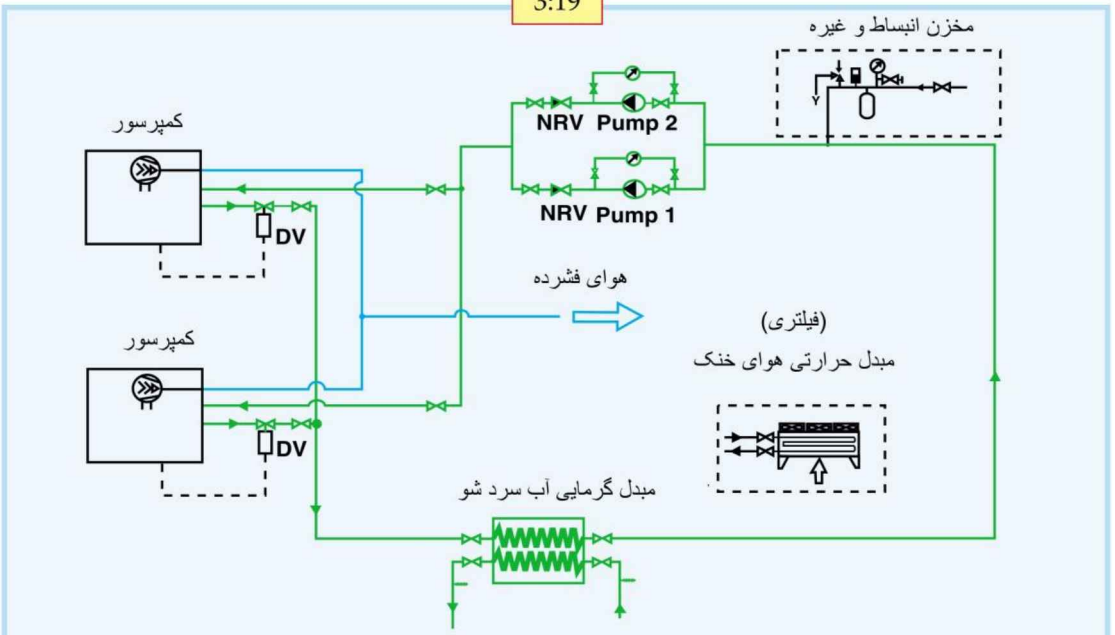
3:18

ظرفیت گرما kJ/°C. kg	ترکیب گلیکول %	نقطه ذوب °C
3.850	23	-10
3.650	30	-15
3.450	37	-20
3.350	43	-25
4.190	0	± 0

آب باید در دماهای پایین از یخ زدگی محافظت شود.اندازه سرد کن بنابر ترکیبات متفاوت ممکن است تغییر کند.برای مثال در ترکیبات آب/گلیکول گنجایش سردکن به علت ظرفیت گرمایی پایین آن نسبت به آب خالص بیشتر است.

اگر آب توسط هوای محیط سرد شود ، افزودن ضد یخ ، برای مثال ، گلیکول لازم است . سیستم آب خنک کننده بسته با آب خالص و نرم پر می شود . وقتی گلیکول اضافه می شود جریان آب سیستم کمپرسور باید دوباره محاسبه گردد ، زیرا نوع و غلظت گلیکول, ظرفیت گرمایی و گرانروی را تحت تأثیر قرار می دهد . اضافه کردن عوامل شیمیایی دیگر نیز ظرفیت آب خنک کننده را تحت تأثیر قرار می دهد . همچنین مهم است که کل سیستم را قبل از اینکه برای اولین بار پرکنیم به خوبی تمیز کنیم . سیستم آب مدار بسته ای که به درستی طراحی و اجرا شده باشد ، نیاز اندکی به کنترل دارد و هزینه های مربوط به نگهداری و تعمیر آن نیز کم است . در تأسیساتی که آب خنک کننده موجود بصورت خورنده است ، مناسب است از کولری استفاده کنیم که از مواد مقابله کننده با خوردگی و فرسایش ساخته شده باشد .

3:19



این شکل نشان می دهد که چگونه می توان یک سیستم خنک کننده بسته ساخت.مبدل حرارتی می تواند آب خنک یا هوای خنک باشد.

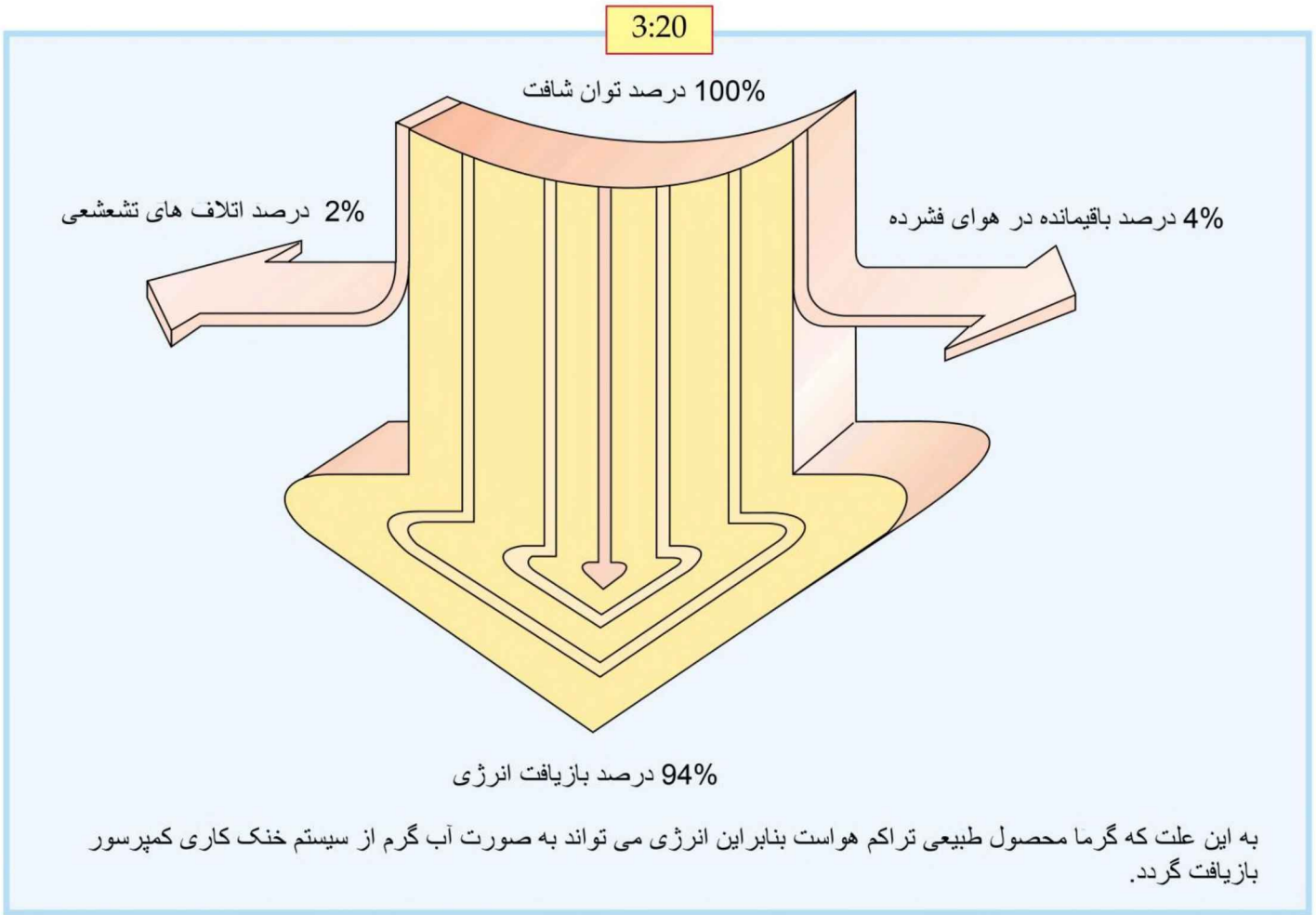
۴-۳ بازیافت انرژی (Energy recovery)

۱-۴-۳ بررسی کلی (General)

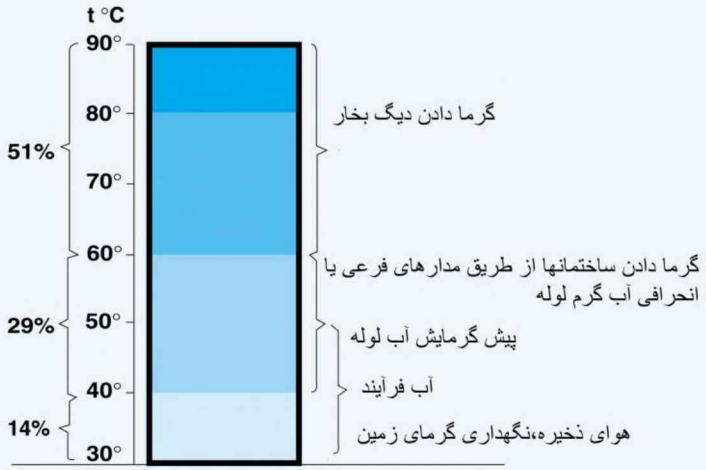
وقتی هوا فشرده می شود ، گرما به وجود می آید . انرژی گرمایی در حجم رو به کاهش متمرکز می شود و مقدار اضافی آن قبل از اینکه وارد سیستم لوله کشی شود به بیرون هدایت می گردد . برای هر یک از دستگاههای هوای فشرده باید اطمینان حاصل کنید که ظرفیت خنک کنندگی قابل اطمینان و کافی برای دستگاه وجود دارد . این کار را می توان توسط هوای بیرون یا از طریق یک سیستم مدار آبی از جمله آب شهری ، آب نهر یا آب فرایندی در سیستم مدار باز یا بسته انجام داد .

در بسیاری از دستگاههایی که هوای فشرده تولید می کنند این امکان وجود دارد که بخش مهمی از انرژی را می توان بازیافت کرد . هزینه های انرژی می تواند در صنایع بزرگتر, بالغ بر ۸۰٪ هزینه کل برای تولید هوای فشرده باشد. به اندازه ۹۴٪ انرژی ذخیره شده کمپرسور را می توان برای مثال به صورت آب گرم ۹۰°c از کمپرسورهای بزرگ مارپیچی روغنکاری نشونده بازیافت کرد . بدین معنی که هر میزان بازیافت, سود قابل توجه ای را نشان می دهد .

فرض کنید یک کمپرسور مرکزی در یک کارخانه بزرگ حدود ۵۰۰ Kw انرژی طی۸۰۰۰ ساعت کاری در هر سال مصرف می کند . این عدد تقریباً برابر است با ۴ میلیون Kwh/ سال . امکان بازیافت این گرمای به هدر رفته از طریق هوا یا آب گرم مطلوب می باشد .



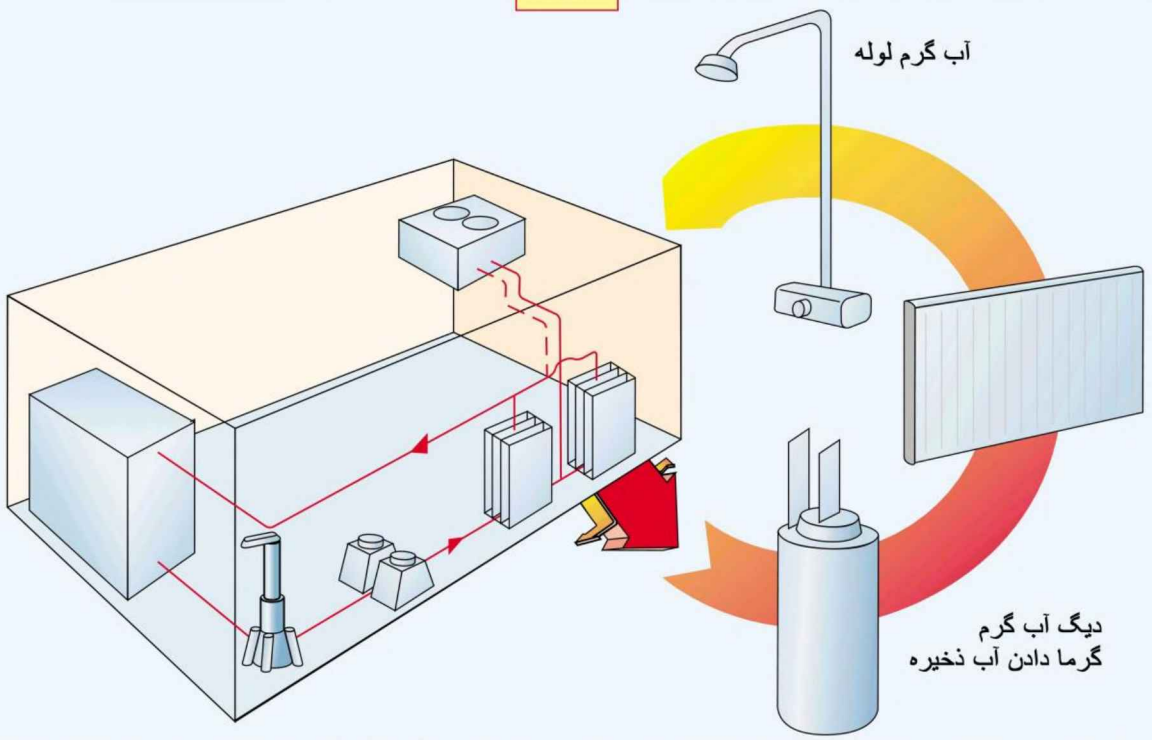
3:21



این نمودار بعضی از موارد کاربردی بازیافت انرژی را برای آب خنک کاری کمپرسور در درجه حرارت های متفاوت نشان می دهد. در بالاترین درجه حرارت میزان بازیافت انرژی بیشتر است.

بازگشت سرمایه جهت بازیافت انرژی بطور معمول یک تا سه سال طول می کشد . علاوه بر این ، انـرژی بازیـافتی از طریـق سیستم خنک کننده مدار بسته برای شرایط عملکردی کمپرسور سودمند است ، همچنین قابلیت اطمینان و طول عمر دستگاه به علت سطح دمای یکسان و کیفیت بالای آب خنک کننده افزایش می یابد . کشور های اروپای شمالی از جملـه پیشـگامان بازیافت انرژی هستند و سالهای درازی است که روش کاربرد آن را در کمپرسورها یاد گرفتـه انـد .بیشـتر کمپرسـورها کـه از تأمین کنندگان عمده هستند امروزه با تجهیزات استاندارد بازیافت انرژی تکمیل شده اند.

3:22



نصب هر کمپرسور نشان می دهد که امکان بازیافت انرژی زیادی وجود دارد.برای مثال یک رقم 95 درصدی از انرژی اعمال شده بر کمپرسور را می توان در کمپرسورهای مارپیچ بزرگ با هوای عاری از روغن بازیافت نمود.

۳-۴-۲ محاسبه پتانسیل بازیافت (Calculation of the recovery potential)

درعمل تمام انرژی عرضه شده به یک کمپرسور به گرما تبدیل می شود . به هر میزان بتوان انرژی بیشتری را بازیافت کرد ، بازدهی سیستم نیز بیشتر می شود . رابطه زیر محاسبه مقدار انرژی قابل بازیافت را نشان می دهد .

مقدار انرژی بازیافت شده بر حسب kwh در هر سال :

$W = (K_1 \times Q_1) + (K_2 \times Q_2) \times T_R$

ذخیره/ سال = $W \times e_p / \eta$

روغن ذخیره شده= m^3 / سال : $W / 68000 \times \eta$

W = انرژی بازیافت شده (Wh / year)

T_R = زمان در هر سال وقتی که به توان بازیافت شده نیاز است (hours / year)

K_1 = قسمتی از T_R در کمپرسور بارگیری شده

K_2 = قسمتی از T_R درکمپرسور بی بار سازی شده

Q_1 = توان موجود در ماده خنک کننده درکمپرسور بارگیری شده (kW)

Q_2 = توان موجود در ماده خنک کننده درکمپرسور بی بار سازی شده (kW)

e_p = بهای انرژی

η = بازدهی معمولی منبع گرما

3:23

توان انرژی قابل بازیافت

FAD m^3/min	جریان گرما kW	ذخیره در 2000 سال/هر ساعت kWh/year	Oil EO1 m^3/
6.4	34	68 000	10.0
7.4	40	80 000	11.8
11.4	51	102 000	15.0
14.0	61	122 000	17.9
18.7	92	184 000	27.1
21.6	109	218 000	32.1
23.2	118	236 000	34.7
27.9	137	274 000	40.3
34.8	176	352 000	51.8
43.1	215	430 000	63.2
46.9	235	470 000	68.1
46.5	229	458 000	67.4
51.3	253	506 000	74.7
56.9	284	568 000	83.5
62.9	319	638 000	93.8
69.7	366	732 000	108
75.4	359	718 000	106
83.2	392	784 000	115
103.6	490	980 000	144
124.5	602	1 200 000	177

مثالی از پتانسیل بازیافت از کمپرسورها

اگر بتوانید از انرژیی که از طریق خنک کردن به دست می آورید بطور مؤثر مراقبت کنید, در بسیاری از موارد میزان بازیافت می تواند بیشتر از ۹۰٪ باشد.عملکرد سیستم خنک کننده ، فاصله تا محل مصرف و میزان و تداوم تقاضا, همگی از جمله فاکتورهای قطعی در رابطه با این امر هستند.

وقتی که صحبت بر سر ایجاد جریان حرارتی خیلی زیاد باشد می توان به دنبال راههایی جهت فروش انرژی گرمایی بازیافت شده ، گشت . خریدار می تواند تأمین کننده انرژی باشد و شما می توانید برای سرمایه گذاری ، فرم های توافقی جهت سفارش و تحویل امضاء نمایید . همچنین این امکان وجود دارد که بازیافت انرژی را از روی چندین فرایند هماهنگ کنید .

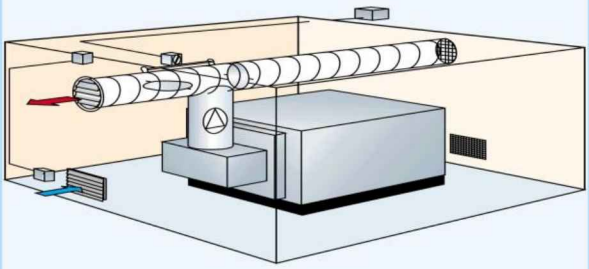
۳-۴-۳ روش های بازیافت (Recovery methods)

۳-۴-۳-۱ بررسی کلی (General)

همیشه بازیافت انرژی از دستگاههای هوای فشرده, گرما را در زمانی که ما می خواهیم و شاید به همان اندازه که مورد نیاز است به ما نمی دهد . اگر میزان بار کمپرسور متغیر باشد ، میزان انرژی بازیافتی نیز متغیر خواهد بود . برای این که امکان بازیافت انرژی وجود داشته باشد ، لازم است مقدار انرژی مورد نیاز تأمین گردد ، که این مقدار انرژی بطور معمول از طریق منبع سیستم معمولی برآورده می شود . انرژی بازیافت شده به عنوان بهترین پشتیبان به صورت انرژی اضافی در سیستم معمولی به کار رفته ، به طوری که انرژی موجود همیشه در مواقعی که کمپرسور کار می کند ، به کار گرفته می شود .

۳-۴-۳-۲ سیستم های هوا خنک (Air cooled systems)

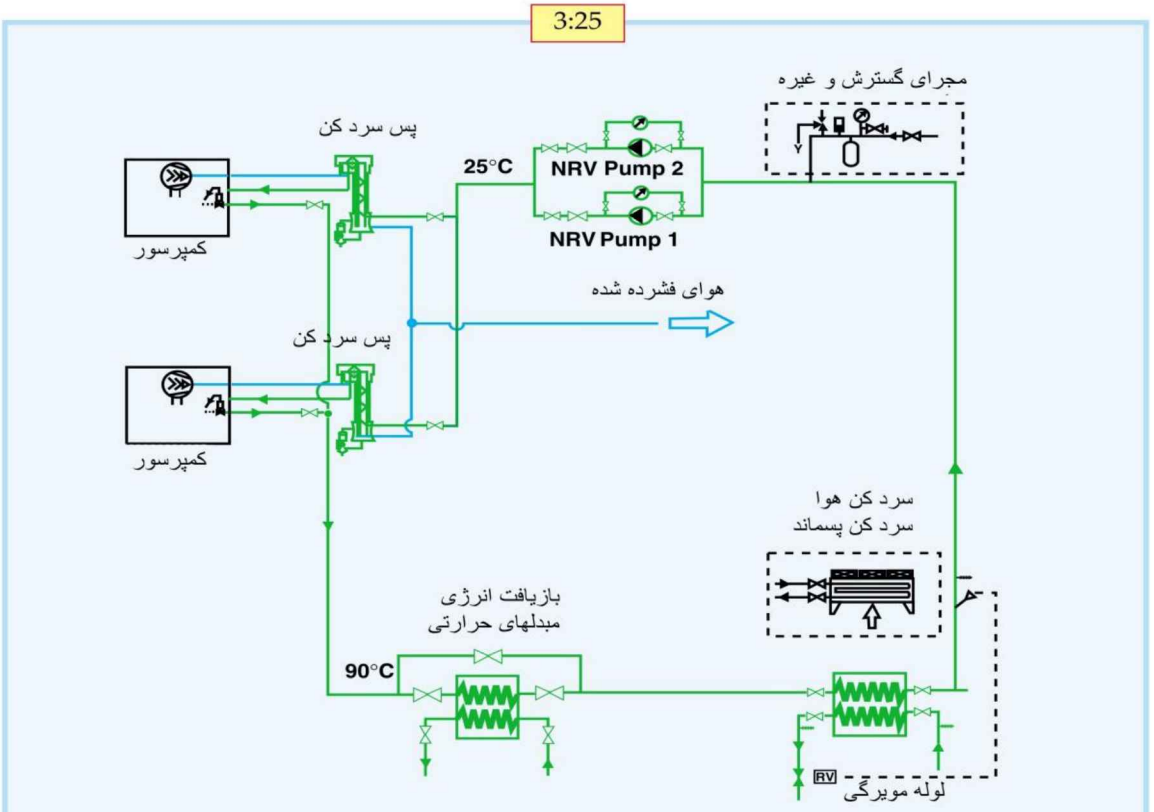
3:24



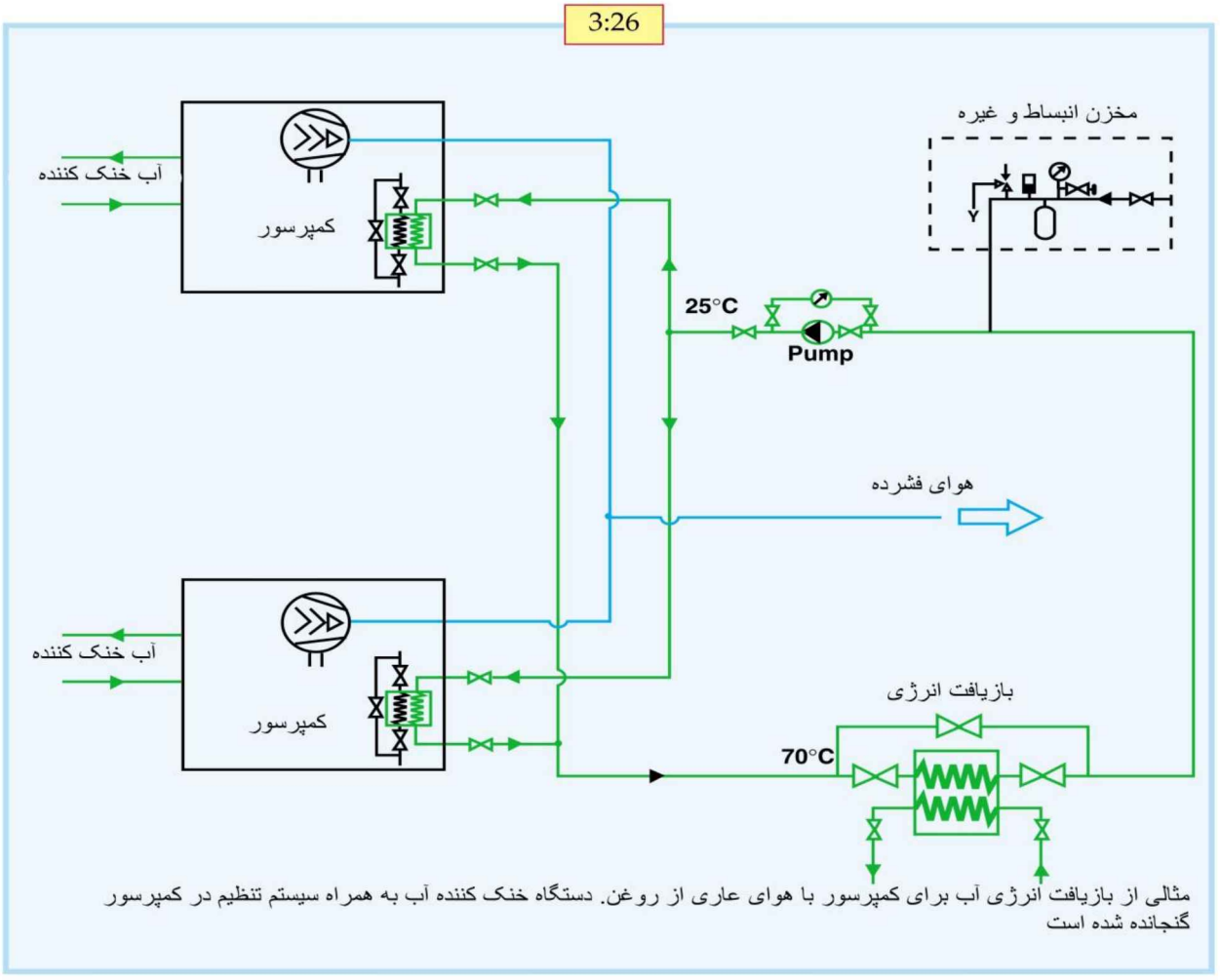
بازیافت انرژی از یک کمپرسور هوا خنک

گرمای ایجاد شده در سیستم های هوا خنک در محیط های با دمای کم بطور مستقیم برای گرم کردن ساختمان به کار می رود یا این تبادل گرما به برج های پیش گرمایش داده می شود . وقتی که هوای خنک ، گرم می شود توسط فن توزیع می گردد . در مواقعی که ساختمان به گرمای اضافی نیاز ندارد ، هوای گرم بطور اتوماتیک و یا با استفاده از کنترل ترموستات بطور دستی به بیرون هدایت می شود .

3:25



مثالی از بازیافت انرژی آب برای یک کمپرسور مارپیچ با هوای عاری از روغن



در این سیستم ها ، فاصله کمپرسور تا ساختمان باید کم باشد تا هوای گرم بدست آمده بتواند به راحتی نیازهای گرمایشی آن را بر آورده سازد.علاوه بر این امکان بازیافت فقط به فصول سرد سال محدود می شود. باز یافت انرژی هـوای بـردی , بیشـتر در کمپرسورهای کوچک و متوسط رایج است و سرمایه مورد نظر برای این بازیافت اندک است.

۳-۳-۴-۳ سیستم های آب خنک (Water cooled systems)

در کمپرسور آب خنک ، آب خنک کننده کمپرسور با درجه حرارت ۹۰ °C می تواند به جریان آب گرم اضافه شود . اگـر آب گـرم بـرای شسـتن ، تمیـز کـردن یـا دوش گـرفتن اسـتفاده شـود ، هنـوز بـه یـک دیـگ آب جـوش معمـولی نیاز می باشد. انرژی بازیافت شده از سیستم هوای فشرده ، میزان بار مصرفی دیگ آب جوش را کاهش مـی دهـد ، باعـث صرفه جویی در سوخت می شود و در نتیجه باعث می شود که از دیگ های آب جوش کوچکتری استفاده شود .

شرایط لازم برای بازیافت انرژی تا اندازه ای به نوع کمپرسور بستگی دارد . کمپرسور های روغنکاری نشونده حتی در طـرح های استاندارد برای بازیافت انرژی به راحتی کاربرد دارد. این نـوع کمپرسـور در طـرح آب گـرم بـه درجـه حـرارت ۹۰ °C می رسد که درجه حرارت مطلوبی برای بازیافت انرژی است .

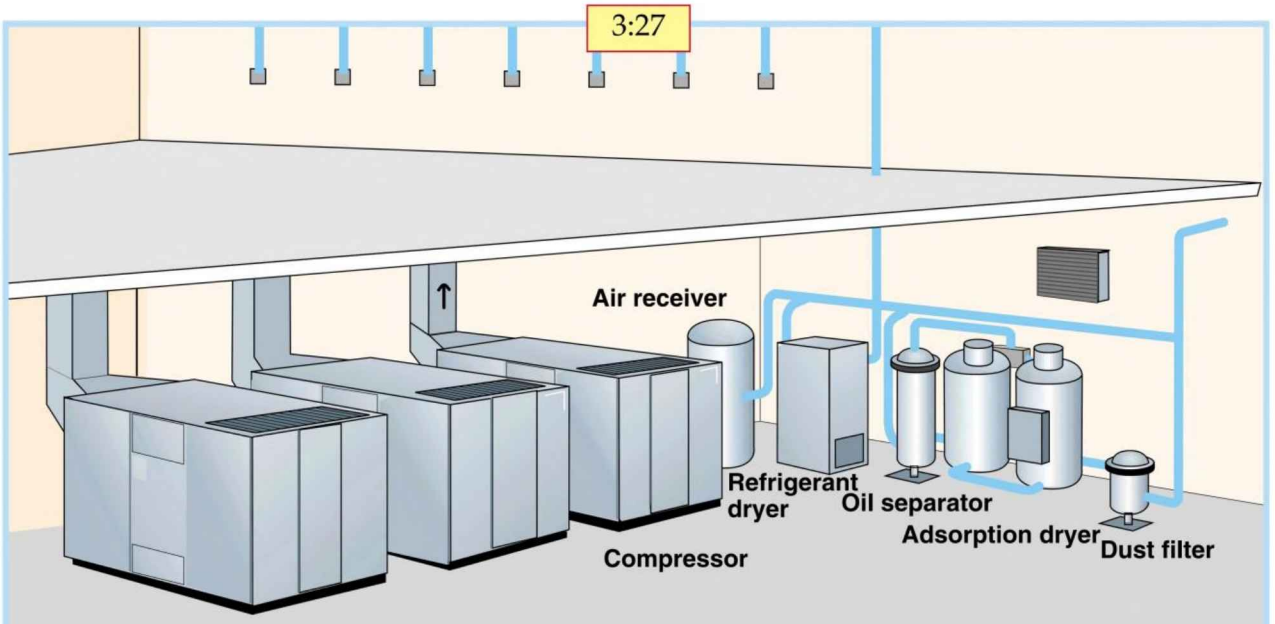
در کمپرسورهایی که توسط روغن ، روغنکاری می شوند ، روغن موجـود در کمپرسـور از جملـه عـواملی اسـت کـه امکـان رسیدن دمای آب خنک کننده را به درجه حرارت های بالاتر کاهش می دهد .

در کمپرسورهای گریز از مرکز ، سطوح درجه حرارت پایین است و بدین ترتیب میـزان بازیافـت انـرژی نیـز پـایین اسـت . همچنین عملکرد کمپرسور بطور منفی تحت تأثیر درجه حرارتهای بالای آب قرار می گیرد .
بازیافت انرژی آب بردی برای کمپرسورهایی مناسب است که توان موتورشان بیش از kw ۱۰ اسـت . بازیافـت انـرژی آب بردی نسبت به بازیافت انرژی هوای بردی نیازمند دستگاههای پیچیده تری است . تجهیزات بنیادی شامل پمپ ها ، مبدل حرارتی و شیرآلات کنترلی می باشد .
با استفاده از بازیافت انرژی آب بردی می توان گرما را با استفاده از لوله های کوچکی(mm ۸۰ - ۴۰) بدون اتلاف حرارتـی چشمگیری بین ساختمان های دورتر توزیع کرد . درجه حرارت بالای آغازین به این معنی است که می توان انرژی را بـرای افزایش درجه حرارت آب بازگشتی از یک دیگ آب جوش مورد استفاده قرار داد . بدین ترتیب منبع گرم کننده را مـی تـوان بطور دوره ای خاموش کرد و به جای آن از گرمای تلف شده کمپرسور استفاده نمود . همچنین از این گرمای تلف شده مـی توان برای افزایش درجه حرارت فرایند استفاده کرد . حتی برای کمپرسورهای مارپیچی روغنکاری شـونده کـه توسـط هـوا سرد می شوند ، این امکان وجود دارد که بازیافت انرزی آب بردی را داشته باشند . برای رسیدن به این منظـور لازم اسـت که در چرخه روغن از یک مبدل حرارتی استفاده کنیم ، اما سطوح درجه حرارت ایجاد شده در ایـن کمپرسـورها نسـبت بـه کمپرسورهای روغنکاری نشونده پایین تر است .

۳-۵ اتاق کمپرسور (The compressor room)

۳-۵-۱ بررسی کلی (General)

در گذشته ای نه چندان دور تهیه کمپرسور به معنای نیاز به خریداری یک موتور الکتریکی ، تجهیزات راه انـداز ، پـس سـرد کن ، صافی های ورودی و غیره بود . سپس لازم بود به بررسـی نیـاز هـای کیفـی و ظرفیتـی بخشـهای گونـاگون دسـتگاه بپردازید. لازم است اطمینان حاصل کنید که این تجهیزات و لوازم فرعی به درستی و مطابق با کمپرسور کار می کنند .



امروزه نصب دستگاه ها در اتاق کمپرسور نسبت به گذشته راحتتر است. هم اکنون دستگاه کمپرسور به صورت دستگاه های آماده به کار نصب شده و به تجهیزات کمکی مورد نیاز متصل می گردند.

امروزه ، کمپرسور و لوازم فرعی آن بصورت تجهیزات آماده به کار خریداری می شوند . بسته کمپرسور شامل شاسی جعبه ای است ، که کمپرسور و تجهیزات جانبی اش بر روی آن نصب می گردد . کلیه اتصالات درونی بین قسمتهای مختلف پیش از این نصب شده است . بسته کامل کمپرسور در یک محفظه کاهش دهنده صدا بسته بندی می شود تا میزان سر و صدا را کاهش دهد .

بدین لحاظ نصب دستگاه ها تسهیل می شود و می توانید کاملاً مطمئن باشید که سیستم کار خواهد کرد.صرفنظر از این، مهم است این مسئله را بخاطر داشته باشید که روش نصب و فن آوری تأثیر مهمی بر عملکرد واعتبار سیستم کمپرسور دارد.

قاعده اصلی در نصب کمپرسور این است که یک کمپرسور مجزا را بطور مرکزی قرار دهید . تجربه نشان داده است که متمرکز سازی بدون توجه به نوع صنعت ، کارایی بیشتری دارد . متمرکز سازی باعث توسعه اقتصاد اجرایی ، طراحی سیستم هوای فشرده ، رابطه بهتر بین کاربر و سرویس ، کنترل هرچه بهتر صدا و امکانات ساده تری برای تهویه هوا می شود .

دوم اینکه ، منطقه مشخص شده ای در ساختمان که برای اهداف دیگر مورد استفاده قرار می گرفت را می توان برای نصب کمپرسور بکار برد . در چنین سیستمی باید خطر احتمال وقوع مشکلات دیگری مد نظر قرار داده شود (برای مثال اختلالات ایجاد شده به علت سر و صدا ، تجهیزات تهویه کمپرسور ، خطرهای فیزیکی و خطرات مربوط به گرم شدن بیش از حد ، سیستم فاضلاب برای آب تقطیر ، محیط های خطرناک مثل گرد و غبار و یا مواد اشتعال زا ، وجود مواد خورنده در هوا ، فضاهای مورد نیاز برای توسعه آتی و قابلیت دسترسی به سرویس دهی) .هر چند وجود چنین تأسیساتی ، برای مثال در کارگاه یا انبارها می تواند نصب دستگاههای بازیافت انرژی را تسهیل کند . اگر هیچ امکاناتی برای نصب کمپرسور در داخل ساختمان وجود نداشته باشد ، می توان آن را در بیرون از ساختمان و در زیر سقفی جای داد . همچنین باید احتمال یخ زدگی قطرات تقطیر و تخلیه ها، حفاظت از مجرای ورودی هوا در مقابل برف و باران ، ورودی مکنده و تهویه ، لوازم زیر سازی مثل آسفالت ، بتون های قالبی یا بستر های مسطح توخالی ، احتمال وجود گرد و غبار و مواد اشتعال زا یا خورنده و غیره را مورد توجه قرار دهید .

۳-۵-۲ جانمایی و طراحی (Placement and design)

سیستم هوای فشرده باید به صورت مرکزی نصب گردد تا مسیر سیستم توزیع در تأسیسات بزرگ با لوله کشی های طویل تسهیل گردد . اگر قسمت مرکزی هوای فشرده نزدیک تجهیزات کمکی مثل پمپ ها و فن ها نصب شود نگهداری و تعمیر و خدمات رسانی راحت تر انجام می گیرد ، حتی جایابی در مجاورت اتاق دیگ جوش نیز می تواند مفید باشد .

ساختمان هم باید دارای وسایلی باشد که بتواند قطعات سنگین دستگاهها (معمولاً موتور الکتریکی) را در تأسیسات هوای فشرده بلند کند و یا در صورت امکان برای بلند کردن این اجزاء سنگین از لیفتراک استفاده کند . همچنین باید فضای کافی برای ایجاد توسعه در آینده نیز وجود داشته باشد .

علاوه بر این ارتفاع مجاز محل مورد نظر باید به اندازه کافی باشد تا در صورت نیاز امکان بالا بردن موتور الکتریکی وجود داشته باشد . اتاقک مرکزی سیستم هوای فشرده باید دارای کف شوی یا امکانات دیگری باشد تا آب تقطیر حاصل از کمپرسور ، پس سرد کن ، مخزن ذخیره هوا ، خشک کن ها و غیره از طریق آن خارج شود . کف شوی را باید مطابق با دستور العمل های فاضلاب شهری نصب کرد .

۳-۵-۳ زیر بنا (Foundation)

معمولاً برای نصب دستگاه کمپرسور فقط باید از کف های مسطحی که استحکام کافی دارند استفاده شود . در بیشتر موارد یک ارتعاش گیرنده در دستگاه گنجانده می شود . بطور معمول به همراه نصب دستگاههای جدید ، برای هر کمپرسور ، پایه ای ستونی در نظر گرفته می شود و بدین ترتیب این امکان فراهم می آید که کف ساختمان تمیز شود .

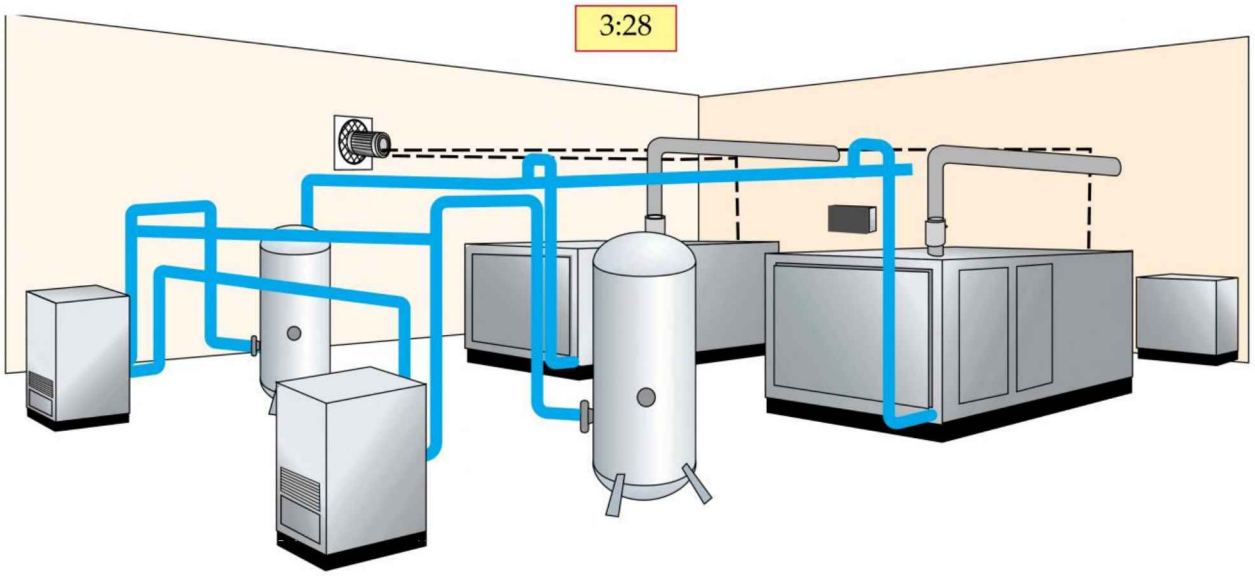
کمپرسورهای بزرگ پیستونی و گریز از مرکز نیاز به پایه ستون بتونی دارند که این پایه بر روی سنگ بستر و یا بر روی بستر خاکی مقاومی ثابت می شود . تأثیرات ارتعاشات بیرونی در دستگاههای کمپرسور پیشرفته کامل, تا اندازه زیادی کاهش یافته است . در سیستم هایی که داری کمپرسور های گریز از مرکز هستند ممکن است لازم باشد در پایه ستون های اتاقک کمپرسور از ارتعاش گیرنده استفاده شود .

۳-۵-۴ هوای ورودی (Intake air)

هوای ورودی به کمپرسور باید تمیز و به دور از هر گونه مواد آلاینده جامد و گازی شکل باشد . به خصوص ذرات گرد و خاک که باعث ایجاد سایش و گازهای خورنده می شود می تواند مضر باشد .

معمولاً ورودی هوای کمپرسور از طریق کانال کاهنده صدا صورت می پذیرد ، اما می تواند در جاهایی نیز که هوا به اندازه کافی تمیز است نصب شود . آلودگی گاز ، مثل گازهای خروجی از خودروها اگر با هوا ترکیب شود به هنگام تنفس می تواند کشنده باشد . به طور مثال ، کاربرد های بیمارستانی معمولاً شرایط ویژه ای را در نصب ورودی هوا ایجاب می نماید . در تأسیساتی که هوای اطراف آن به وجود ذرات گرد و خاک آلوده است باید در مقابل دریچه هوای ورودی، صافی های چرخه ای ، ورقه ای یا نواری چرخشی نصب شود . در چنین مواردی باید به افت فشاری که به علت نصب این صافی ها ایجاد می شود ، توجه کنیم ، بطوری که افت فشار هوا نباید از حد مجاز تعیین شده توسط تولید کننده تجاوز کند .

همچنین بهتر است که هوای ورودی سرد باشد . بنابراین مناسب است که هوا از طریق لوله جداگانه ای از بیرون ساختمان به کمپرسور وارد شود .

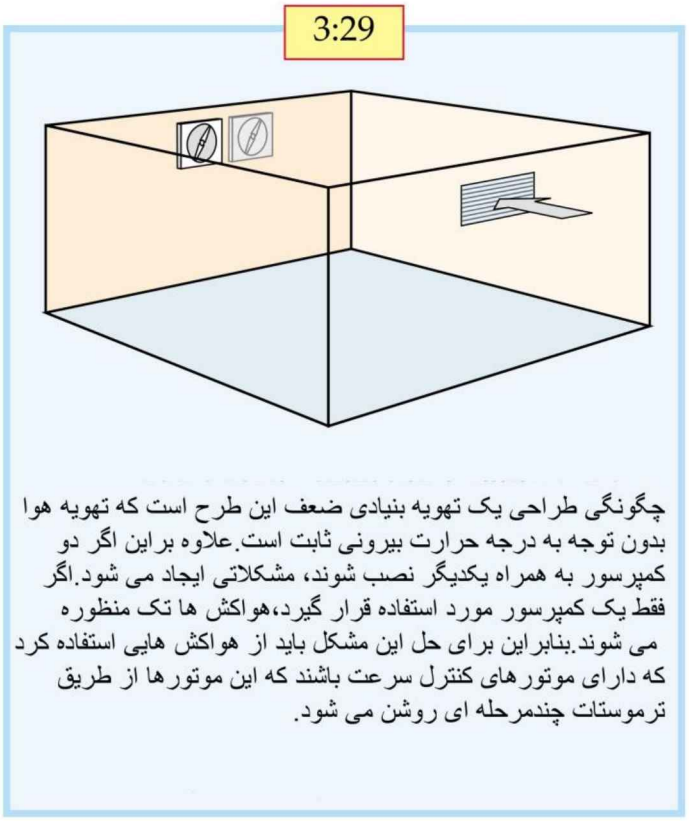


این مهم است که تاسیسات کمپرسور دارای طرحی باشد که سرویس دهی به آن آسان و به لحاظ توسعه آتی دارای انعطاف و قابلیت باشد.حداقل فضای سرویس دهی در مقابل تابلو های برق دستگاه باید 1300 میلی متر باشد.

مهم است که لوله هایی که در شبکه نصب می شوند در مقابل خوردگی و فرسایش مقاوم باشند و قسمت ورودی آنها طوری طراحی شود که احتمال ورود برف و باران به داخل کمپرسور وجود نداشته باشد . همچنین لازم است کـه ابعـاد لولـه هـا بـه اندازه کافی بزرگ باشد تا از افت فشار جلوگیری شود .

به ویژه طرح لوله های ورودی در کمپرسورهای پیستونی ،حساس اسـت . ارتعـاش لولـه کـه بـه علـت فرکـانس ضـربه ای کمپرسور ایجاد می شود ، می تواند به کمپرسور خساراتی وارد کند و ارتعاش ایجاد شده از طریق ایجاد صدا ، محیط اطـراف را تحت تأثیر قرار دهد .

۳-۵-۵ تهویه اتاقک کمپرسور (Compressor room ventilation)



چگونگی طراحی یک تهویه بنیادی ضعف این طرح است که تهویه هوا بدون توجه به درجه حرارت بیرونی ثابت است.علاوه براین اگر دو کمپرسور به همراه یکدیگر نصب شوند، مشکلاتی ایجاد می شود.اگر فقط یک کمپرسور مورد استفاده قرار گیرد،هواکش ها تک منظوره می شوند.بنابراین برای حل این مشکل باید از هواکش هایی استفاده کرد که دارای موتورهای کنترل سرعت باشند که این موتورها از طریق ترموستات چندمرحله ای روشن می شود.

گرمای بوجود آمده در اتاقک کمپرسور توسط تمام کمپرسور ها ایجاد می شود . این گرما از طریق تهویه اتاقک کمپرسـور بـه بیرون فرستاده می شود . اندازه کمپرسور و اینکه آیا کمپرسـور توسط آب یا هوا خنک می شود ، میزان تهویـه هـوا را تعیـین می کند .

هوای تهویه در کمپرسورهایی که هوا خنـک هسـتند ، تقریبـاً حاوی ۱۰۰٪ انرژی است که توسط موتور الکتریکی بـه شـکل گرما مصرف می شود . هوای تهویه در کمپرسور هایی کـه آب خنک هستند حاوی کمتر از ۱۰٪ انرژی است که توسط موتور الکتریکی مصرف می شود . گرما بایـد خـارج شـود تـا دمـای موجـود در اتاقـک کمپرسـور متعـادل بـاقی بمانـد . سـازنده کمپرسور باید اطلاعات مفصلی درباره تهویـه مـورد نیـاز ارائـه دهد ، اما از طریق رابطه زیر نیز می توان میـزان تهویـه مـورد نیاز را محاسبه کرد :

$$P_v = \frac{Q_v}{1.25 \times \Delta T}$$

P_v = مقدار هوای تهویه مورد نیاز (m^3 / s)

Q_v = جریان گرما (kW)

ΔT = افزایش مجاز درجه حرارت ($^\circ C$)

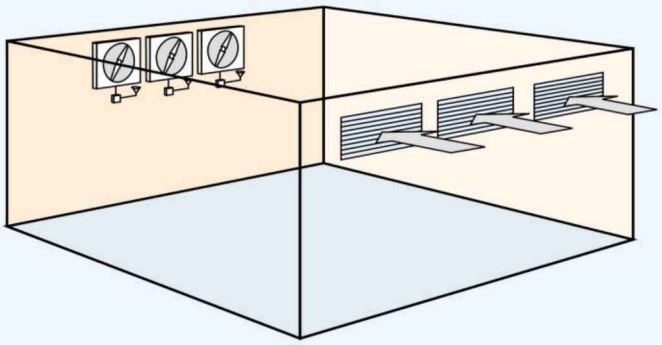
راه بهتر برای رویارویی با این مسئله بازیافت انرژی و استفاده مجدد آن است .

هوای تهویه باید از بیرون تهیه شود ، بهتر است از کانال های طویل استفاده نشود .اگر امکان داشته باشد باید مجرای ورودی هوای تهویه در نمای شمالی دیوار نصب شود ، یا اگر در جای دیگری در سایه نصب می شود باید به گونه ای باشد که طی فصل تابستان تا جایی که امکان دارد هوای خنک تری وارد سیستم شود . یک پنجره مشبک باید در قسمت بیرونی مجرای هوای ورودی و یک دریچه تنظیم جریان هوا باید در قسمت داخلی آن نصب شود تا از ورود اشیاء خارجی و جریان هوای سرد جلوگیری کند .

علاوه بر این تا آنجا که ممکن است باید مجرای ورودی را در قسمت های پایین نصب کرد که از احتمال پوشیده شدن با برف در طول ماههای زمستان جلوگیری شود . حتی باید احتمال ورود گرد و غبار و مواد منفجره و خورنده به داخل اتاقک کمپرسور را در نظر بگیرید .

هواکش / هواکش های تهویه باید در بالای یکی از دیواره های انتهایی اتاقک کمپرسور نصب شود ، در حالی که دریچه ورودی هوا در دیوار مقابل نصب می شود . سرعت هوا در مجرای ورودی نباید از ۴ m/s بیشتر باشد .

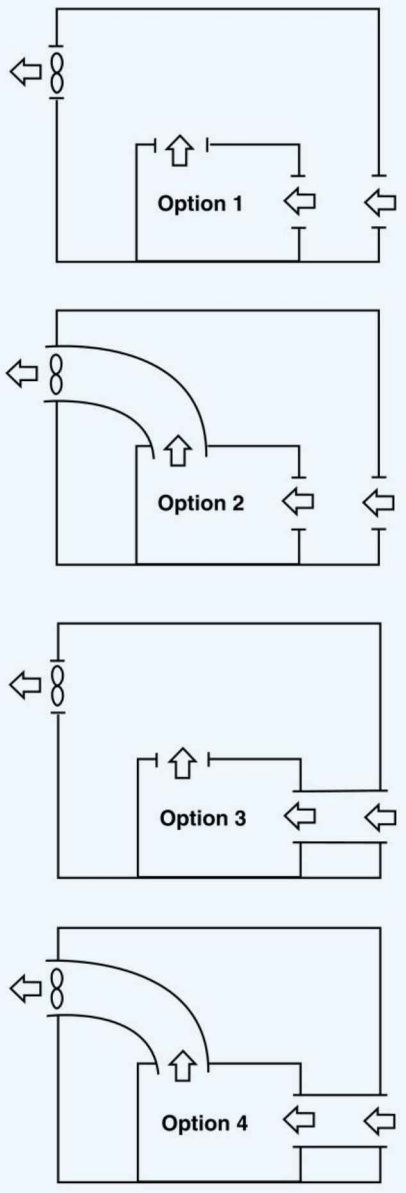
3:30



این شکل نشان می دهد که چگونه می توان سیستمی را طراحی کرد که دارای چندین هواکش است.که این هواکش ها توسط ترموستات کنترل می شوند و به همراه یکدیگر می توانندمقتضیات کلی تهویه را برآورده سازند.ترموستات ها در هریک از این هواکش ها درنظر گرفته شده اند و دارای دامنه های متفاوتی هستند.به این معنی که مقدار هوای تهویه می تواند برطبق دمای محیط و یا تعداد کمپرسورهای مورد استفاده تغییر کند.به این طریق که ترموستات ها بنابر درجه حرارت موجود درمحفظه کمپرسور یکی پس از دیگری هواکش ها را روشن می کنند.روش جایگزین این است که هواکش ها را می توان از طریق یک ترموستات چند مرحله ای روشن کرد.

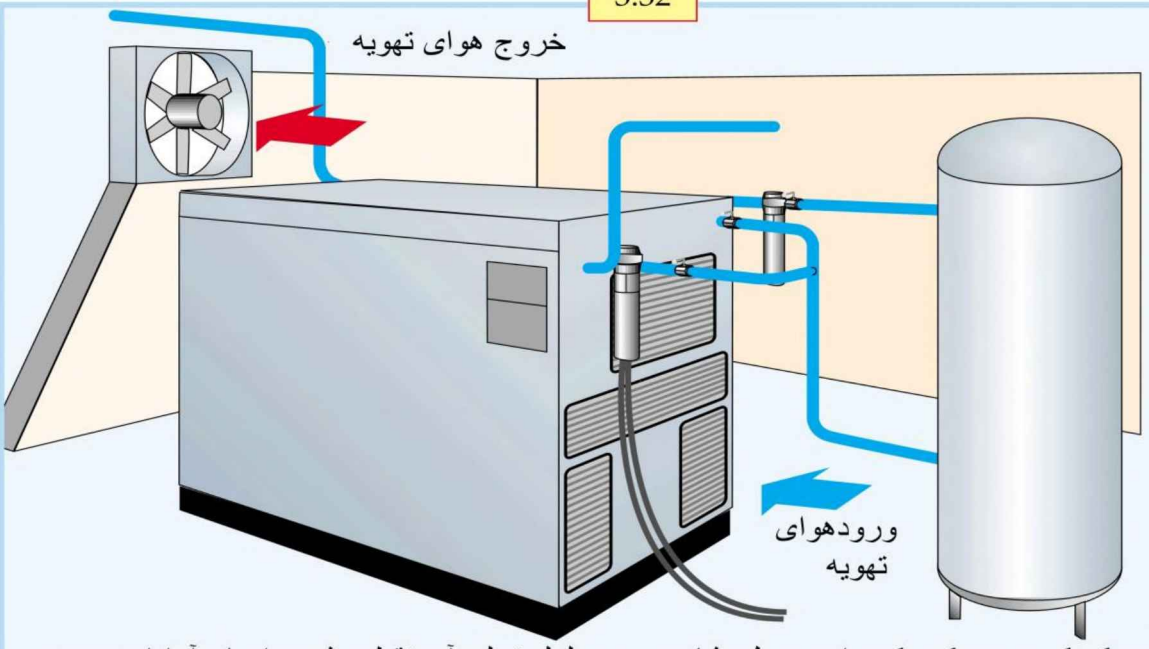
هواکش هایی که توسط ترموستات کنترل مـی شـوند مناسـب ترین نوع هستند . این هواکش ها بایـد بـه گونـه ای انتخـاب شوند که افت فشار را در کانال ها ، پنجـره مشـبک دیـواره ی بیرونی ، دریچه تنظیم جریان هوا و غیره کنترل کننـد . مقـدار هوای تهویه باید به حد کافی باشد تا افزایش درجـه حـرارت را در اتاق تا ۱۰ °C – ۷ محدود سـازد . اگـر مشـکلی در تنظـیم تهویه کافی در اتاق ایجاد شود ، مـی تـوان امکـان اسـتفاده از کمپرسورهای آب خنک را در نظر گرفت .

3.31



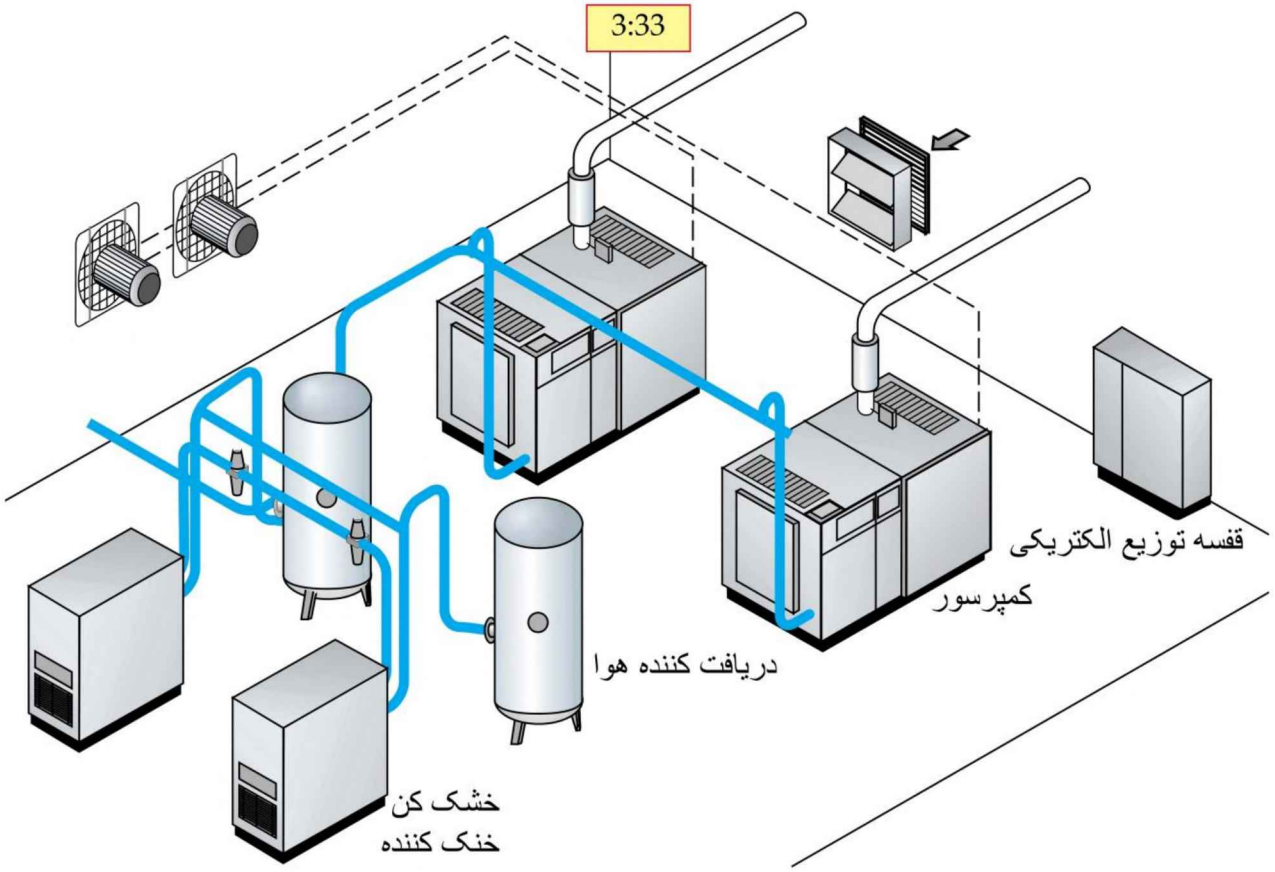
مثالهایی از راهکارهای تهویه ای متفاوت

3:32



این شکل نصب یک کمپرسور کوچک را در عمل نشان می دهد.لوله تخلیه آب تقطیر شده را نباید آزادانه درزیر سطح آب درکف رهاکرد.اگر احتمالا خطر روغن درآب وجود داشته باشد،باید یک دستگاه جداکننده روغن نصب کرد.

3:33



مثالی از سیستم تهویه بیمارستان با تامین مکش بسته و صد در صد سیستم یدکی(سیستم دوگانه مستقل)

۳-۶ ساختار شبکه هوای فشرده (The compressed air network's structure)

۳-۶-۱ بررسی کلی (General)

سه فاکتور اصلی برای ایجاد عملکردهای قابل اطمینان و بازدهی اقتصادی مناسب در سیستم توزیع وجود دارد : افت فشار پایین بین کمپرسور و نقطه مصرف ، حداقل نشتی و جداسازی آب تقطیر به بهترین نحو در سیستمی که خشک کن هوای فشرده در آن نصب نشده باشد .

این امر اصولاً در لوله های اصلی به کار می رود . هزینه نصب لوله با ابعاد بزرگتر و نیز اتصالاتی که در مراحل اول مورد نیاز است در مقایسه با هزینه بازسازی دوباره سیستم در آینده کمتر است . مسیریابی ، برآورد ابعاد و طراحی شبکه خط لوله, در کارایی ، قابلیت اطمینان و هزینه دستگاه مهم است. گاهی اوقات افت شدید فشار در خط لوله با افزایش فشار کاری کمپرسور جبران می شود ، مثلاً وقتی از ۷ بار به ۸ بار برسد . این امر مقرون به صرفگی هوای فشرده را کاهش می دهد . وقتی که مصرف هوای فشرده کم شود ، افت فشار نیز کاهش می یابد و فشار در نقطه مصرف, بیشتر از حد مجاز بالا می رود .

دستگاههای هوای فشرده ثابت باید به گونه ای برآورد ابعاد شوند که افت فشار در لوله ها بین کمپرسور و دورترین نقطه مصرف از bar ۰/۱ تجاوز نکند . علاوه بر آن افت فشار در شیلنگ ها ، بست های لوله و اتصالات دیگر لوله کشی را مورد توجه قرار دهید . چگونگی اندازه گیری این بخش ها نیز اهمیت بخصوصی دارد ، به این علت که اغلب در چنین اتصالاتی افت فشار به حداکثر می رسد .

از رابطه زیر می توان بلندترین طول مجاز را در شبکه لوله کشی برای افت فشار معینی محاسبه کرد :

$$l = \frac{\Delta_p \times d^5 . p}{450 \times Q_c^{1.85}}$$

l = (متر) طول کلی لوله

Δ_p = (بار) بیشترین افت فشار مجاز در شبکه

p = (بار) فشار مطلق ورودی

Q_c = و جریان FAD (l / s)

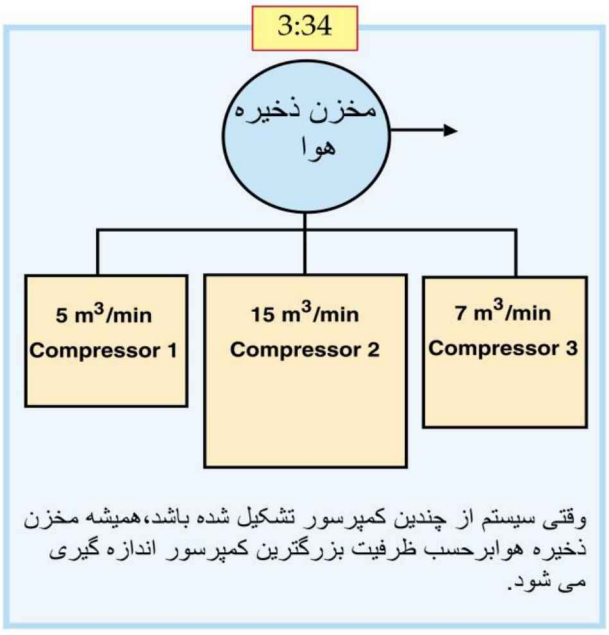
d = قطر داخلی لوله (mm)

به طور کلی ، بهترین راه حل این است که سیستم لوله کشی را بصورت خط حلقوی در اطراف منطقه مورد نظر طراحی نمود. سپس انشعابات لوله را از خط لوله اصلی به نقاط مصرف رساند . اگرچه هوای فشرده از دو طرف به نقطه مصرف هدایت می شود ، با وجود این سیستم توزیع یکنواختی را تأمین می نماید .

این سیستم باید برای تمام دستگاهها مورد استفاده قرار گیرد ، حتی اگر بعضی از نقاط مصرف فاصله زیادی نسبت به کمپرسور داشته باشد . سپس یک لوله اصلی جداگانه ، به این قسمتها کشیده می شود .

۳-۶-۱-۱ مخزن ذخیره هوا (Air receiver)

در هر تأسیسات کمپرسور یک یا چند مخزن ذخیره هوا وجود دارد . اندازه مخزن ها با ظرفیت کمپرسور ، سیستم کنترل و مقدار هوای مورد نیاز مصرف کننده انطباق دارد .



مخزن ذخیره هوا, فضایی را برای ذخیره سازی هوای فشرده تشکیل می دهد ، ارتعاش کمپرسور را متعادل می کند ، هوا را خنک می کند و آب تقطیر را جمع آوری می نماید.

بدین ترتیب مخزن ذخیره هوا باید با تجهیزات تخلیه فاضلاب متناسب باشد . هنگام برآورد اندازه حجم مخزن هوا ، می توانید رابطه زیر را به کار ببرید . توجه کنید که این رابطه فقط در کمپرسورهایی به کار می رود که دارای کنترل بی بار سازی / باردهی هستند .

$$V = \frac{0.25 \times Q_c \times p_1 \times T_0}{f_{max} \times (p_U \quad p_L) \times T_1}$$

V = حجم مخزن ذخیره هوا (l)

Q = ظرفیت کمپرسور (l / s) FAD

p_1 = فشار ورودی کمپرسور (bar (a))

T_1 = دمای حداکثر ورودی کمپرسور (K)

T_0 = دمای هوای فشرده در مخزن هوا (K)

$p_U \quad p_L$ = تفاوت فشار دستگاه بین زمان بی بار سازی و زمان باردهی

f_{max} = حداکثر فرکانس = ۱ چرخه / ۳۰ ثانیه

رابطه زیر ، فرمول ساده شده ای است که در فشار محیط ۱ بار آتمسفری و دمای حدود ۲۰ °C و زمان چرخه ۳۰ ثانیه به کار می رود .

$$V = \frac{Q}{8 \times \Delta p}$$

V = حجم مخزن ذخیره هوا (m^3)

Q = ظرفیت بزرگترین کمپرسور (m^3 / mm)

ΔP = اختلاف فشار طراحی شده (bar)

اگر مقدار زیادی از هوای فشرده در طول دوره های کوتاه مدت مورد نیاز باشد (مقرون به صرفه نیست که کمپرسور یا شبکه لوله را بر طبق این فرمول اندازه گیری کنیم) . پس یک مخزن ذخیره هوای جداگانه نزدیک مصرف کننده نصب می شود و بر طبق حداکثر هوای خروجی اندازه گیری می شود .

در موارد بحرانی تر ، یک کمپرسور پر فشار کوچک تر به همراه یک مخزن هوای بزرگ مورد استفاده قرار می گیرد و بدین ترتیب نیاز به مقادیر زیاد هوای فشرده را در طول دوره های کوتاه مدت بین فواصل طولانی تأمین می کند . سپس می توان کمپرسور را برای مقدار مصرف میانگین اندازه گیری کرد .

رابطه زیر را می توان برای چنین مخزن هوایی به کار برد :

$$V = \frac{Q \times t}{p_1 \quad p_2} = \frac{L}{p_1 \quad p_2}$$

V = حجم مخزن ذخیره هوا (l)

Q = مقدار جریان هوا طی دوره تخلیه (l / s)

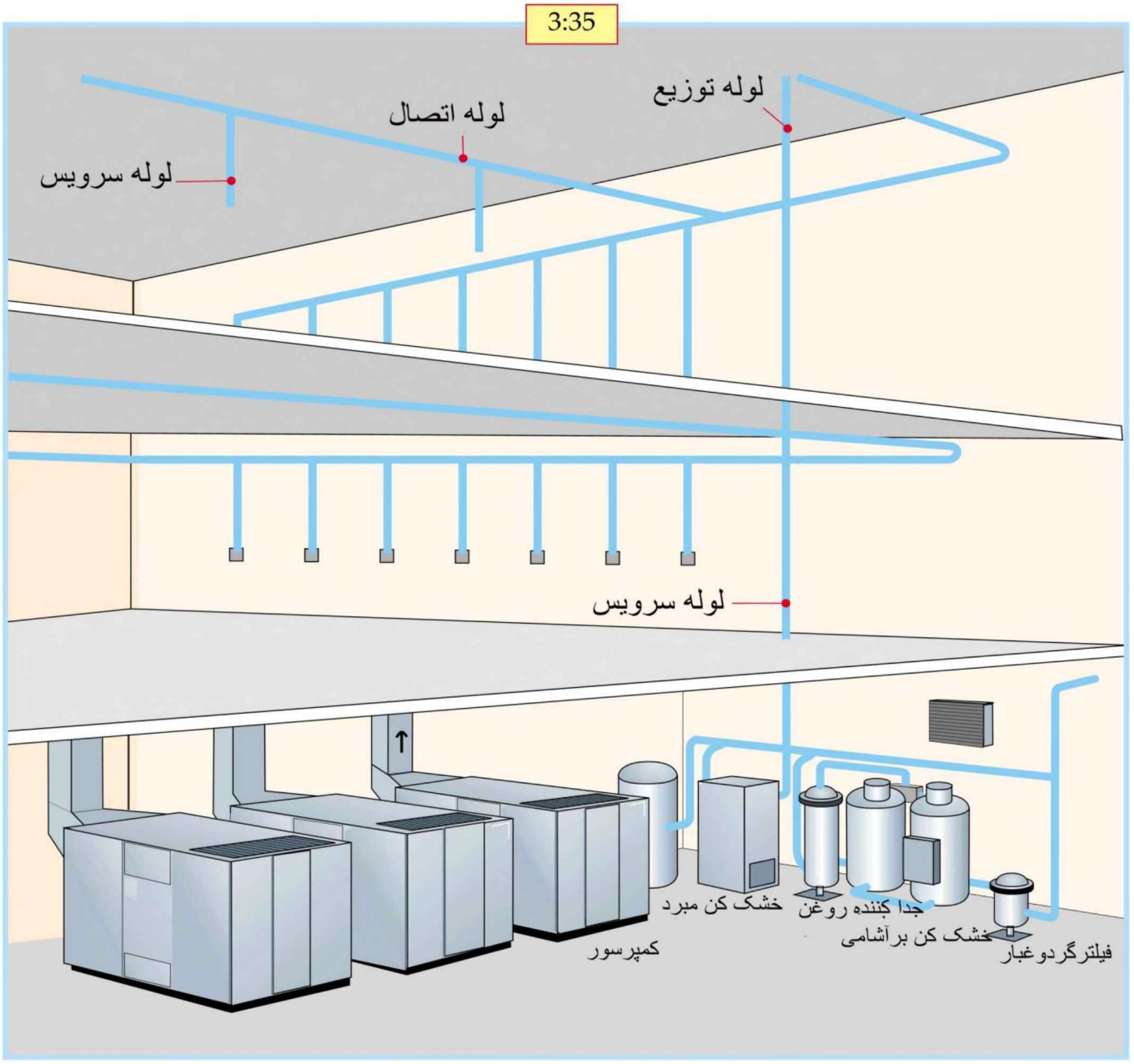
t = مدت دوره تخلیه (s)

p_1 = فشار کاری معمولی در شبکه (bar)

p_2 = حداقل فشار برای عملکرد مصرف کننده (bar)

L = مراحل پر کردن هوای مورد نیاز (چرخه کاری / 1)

این فرمول به این نکته توجه نمی کند که کمپرسور می تواند در طول مرحله تخلیه کردن ، هوا را ذخیره کند . کاربرد رایج این فرمول در به کار اندازی موتورهای بزرگ کشتی است ، که در این موتورها فشار پر کننده ی مخزن هوا ۳۰ بار است .



۳-۶-۲ طراحی شبکه هوای فشرده (Design of the compressed air network)

در تأسیسات کوچک تر می توان از همان لوله ای که به عنوان بالابر استفاده می شود برای لوله توزیع استفاده نمود . در هنگام طراحی و برآورد شبکه ، اولین کاری که باید انجام داد این است که فهرستی از تجهیزات به همراه تمام مصرف کننده های هوای فشرده را تهیه و نقشه جایابی آنها را مشخص نمایید . مصرف کننده ها در واحدهای منطقی گروه بندی می شوند و از طریق لوله توزیع یکسانی تأمین می شوند . سپس لوله توزیع توسط لوله های بالابر موجود از قسمت کمپرسور مرکزی تغذیه می شود .

یک شبکه هوای فشرده ی بزرگتر می تواند به چهار قسمت اصلی تقسیم شود : لوله های بالابر ، لوله های توزیع ، لوله های سرویس و اتصالات هوای فشرده . لوله های بالابر هوای فشرده را از قسمت کمپرسور مرکزی به محدوده مصرف منتقل می کنند . لوله های توزیع، هوا را در سرتاسر محدوده مصرف توزیع می کنند . لوله های سرویس ، هوا را از لوله های توزیع به مکان های کاری تغذیه می کنند .قطعات هوای فشرده , رابط بین لوله سرویس و مصرف کننده ی هوای فشرده است.

۳-۶-۳ برآورد ظرفیت شبکه هوای فشرده (Dimensioning the compressed air network)

فشاری را که بلافاصله بعد از کمپرسور حاصل می شود هرگز نمی توان بطور کامل به کار برد ، بدین ترتیب ، بایـد اتلافـی را که توزیع هوای فشرده به همراه دارد محاسبه کنید ، بطور عمده اصطکاک در لوله ها . علاوه بر این ، کنتـرل و تغییـر جهـت جریان هوا در شیرآلات و خم های لوله رخ می دهد . تلفاتی که به گرما تبدیل می شود ، باعث افت فشار می شـود کـه ایـن افت فشار را برای یک لوله مستقیم می توان از فرمول زیر محاسبه کرد :

$$\Delta p = 450 \times \frac{q_v^{1/85} \times l}{d^5 \times p}$$

Δp = افت فشار (bar)

q_v = جریان هوا ، هوای آزاد (l/s)

d = قطر داخلی لوله (mm)

l = طول لوله (mm)

p = فشار مطلق ابتدائی (bar (a))

3:36

طول معادل برحسب متر

	قطر لوله دلخلی mm (d)										
	25	40	50	80	100	125	200	250	250	300	400
شیر کروی (جریان کامل)	0.3 5	0.5 8	0.6 10	1.0 16	1.3 20	1.6 25	1.9 30	2.6 40	3.2 50	3.9 60	5.2 80
دریچه دیافراگم کاملا باز	1.5	2.5	3.0	4.5	6	8	10	-	-	-	-
زاویه شیر کاملا باز	4	6	7	12	15	18	22	30	36	-	-
سوپاپ فنری	7.5	12	15	24	30	38	45	60	-	-	-
شیر کنترل قلاب	2.0	3.2	4.0	6.4	8.0	10	12	16	20	24	32
زانویی R=2d	0.3	0.5	0.6	1.0	1.2	1.5	1.8	2.4	3.0	3.6	4.8
زانویی R=d	0.4	0.6	0.8	1.3	1.6	2.0	2.4	3.2	4.0	4.8	6.4
زاویه 90 درجه	1.5	2.4	3.0	4.5	6.0	7.5	9	12	15	18	24
لوله جریان سه راهی	0.3	0.4	1.0	1.6	2.0	2.5	3	4	5	6	8
لوله جریان سه راهی	1.5	2.4	3.0	4.8	6.0	7.5	9	12	15	18	24
پستانک کاهنده	0.5	0.7	1.0	2.0	2.5	3.1	3.6	4.8	6.0	7.2	9.6

برخی اتصالات در لوله هایی با قطرهای مختلف و تاثیر انهادر تلفات انرژی. تلفات انرژی با توجه به افزایش طول شبکه لوله محاسبه می گردد.

هنگام محاسبه ی قسمت های مختلف شبکه هوای فشرده می توانید از مقادیری که در زیر ذکر شده است استفاده کنید ، این ارقام مربوط به افت فشار مجاز هستند :

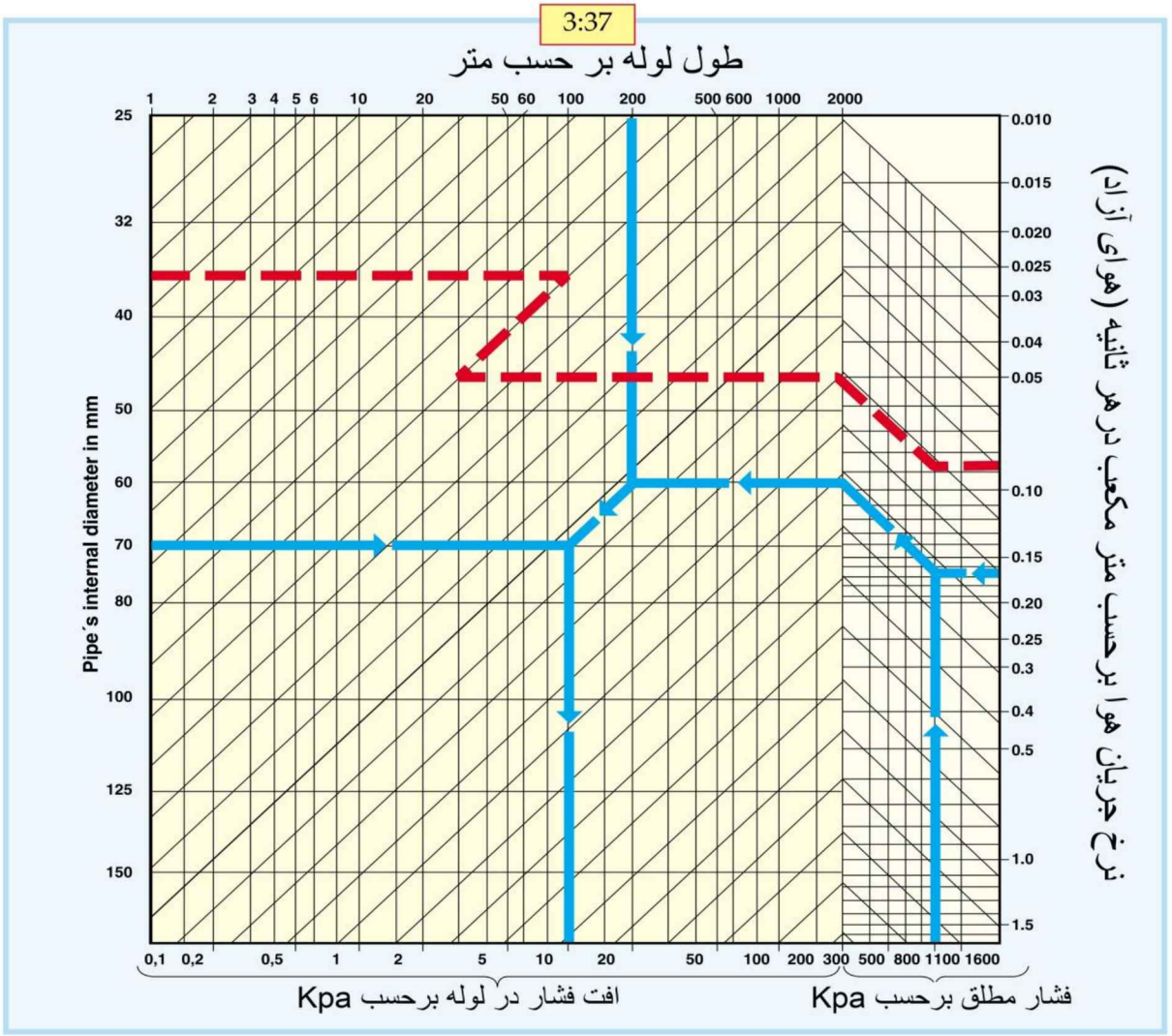
افت فشار در لوله های سرویس ۰/۰۳ bar

افت فشار در لوله های توزیع ۰/۰۵ bar

افت فشار در لوله های بالابر ۰/۰۲ bar

افت فشار کلی در تأسیسات لوله کشی ۰/۱۰ bar

طول لوله های مورد نیاز برای بخش های متفاوت شبکه تخمین زده می شوند (لوله های بالابر ،توزیع ، سرویس) . یک نقشه مقیاس از طرح شبکه می تواند مبنای مناسبی باشد . طول لوله از طریق اضافه کردن طول های معادل شیرها ، زانویی ها ، اتصال ها و غیره ،جبران می شود ، همانطور که در شکل ۳:۳۶ ذکر شده است . هنگام محاسبه قطر لوله می توانید از یک جدول نمودارمحاسباتی ، همانطور که در شکل ۳:۳۷ نشان داده شده است ، استفاده کنید و بدین ترتیب مناسب ترین قطر لوله را به عنوان جایگزینی برای فرمول (صفحه ۹۹) بدست آورید . باید جریان ، فشار ، افت فشار مجاز و طول لوله مشخص شود تا محاسبه ای در رابطه با آنها صورت گیرد . سپس نزدیک ترین لوله ی استاندارد, با قطر بیشتر برای تأسیسات انتخاب می شود .



طول لوله های معادل برای قسمتهای مختلف تأسیسات را می توان با استفاده از فهرستی از اتصالات و تجهیزات لوله کشی و نیز مقاومت جریان که در اثر طول لوله ایجاد شده است ، محاسبه کرد . این طول های " اضافی " لوله به طول لوله اولیه اضافه می شوند . سپس اندازه های انتخاب شده شبکه دوباره محاسبه می شوند تا اطمینان حاصل شود که افت فشار ، زیاد نخواهد بود . در تأسیسات بزرگ, بخش های خاص (لوله سرویس ، لوله توزیع و لوله های بالا برنده) باید به طور جداگانه محاسبه شوند .

۳-۶-۴ اندازه گیری جریان (Flow measurement)

جریان سنج هایی که به طور راهبردی و حساس ، در کمپرسور نصب می شوند ، میزان بدهکاری داخلی و بودجه اقتصادی مصرف هوای فشرده را در داخل شرکت نشان می دهند . هوای فشرده یکی از فرآورده هایی است که در داخل کارخانه تولید می شود و جزء هزینه های کارخانه محسوب می شود . با چنین دیدگاهی ، این موضوع برای همه جالب می شود که مصرف را در بخش های مختلف کاهش دهند . جریان سنج های مدرنی که امروزه در بازار یافت می شود می توانند تمام ارقام عددی را ارائه دهند ، این ارقام را می توان یا به طور مستقیم مشاهده کرد و یا داده های اندازه گیری شده آن را بطور مستقیم به جداول بدهکاری کامپیوتر وارد نمود .

جریان سنج ها بطور کلی نزدیک به شیرهای کنترل نصب می شوند .جریان سنج های حلقوی به طریق خاصی عمل می نمایند که جریان های رفت و بر گشت را اندازه گیری کنند .

۳-۷ کمپرسور های قابل حمل (Portable compressors)

۳-۷-۱ بررسی کلی (General)

امروزه درعمل تمام کمپرسور های قابل حمل شامل یک کمپرسور مارپیچی روغنکاری شونده به همراه یک موتور دیزلی است . کمپرسور های روغنکاری شونده برای مثال فقط با امور خدماتی در فرایند صنعت به کار می روند .

۳-۷-۲ خروج گاز و سر و صدا (Noise and gaseous emissions)

طرح های مدرن کمپرسور هایی که با موتور دیزلی راه اندازی می شوند ، بر طبق استانداردهای کاربردی (ISO 84 /536 / EC) EU دارای سطح صدای خیلی پایینی هستند و بنابراین می توان از آنها در مناطق پرجمعیت نزدیک به بیمارستان و غیره استفاده کرد .

3:38

منطقه کاربردی	فشار (bar)	دامنه فشار
کار پیمانکاری	≥7	پایین
پاشش کاری،امر روی زمین	10 - 12	متوسط
حفاری چاه آب و انرژی مطالعات زمین شناسی	≤20	بالا

کمپرسورهای قابل حمل به ویژه در سه دامنه فشار متفاوت وجود دارند.

طی چند سال گذشته اقتصاد سوخت بطرز چشمگیری به واسطه ی هواسازهای مارپیچی و از طریق موتورهای دیزلی توسعه یافته است .به ویژه در رابطه با حفاری چاه ، که از کمپرسورها در مدت زمان طولانی استفاده می شود . در حال حاضر ، موتور هایی وجود دارند که انتشار گاز خروجی آنها با شرایط اجرایی لازم در استاندارد Euro – 1 مطابقت دارد .امروزه پیمانکارانی که در شهر های بزرگ کار می کنند از ماشین آلاتی استفاده می کنند که با این استاندارد مطابقت داشته باشد .

۳-۷-۳ دامنه فشار (Pressure range)

کمپرسور های قابل حمل مدرن کاملاً مقرون به صرفه, دارای قابلیت اطمینان اجرایی بالا ، ویژگی های سرویس دهی خوب ، ابعاد فشرده و وزن کل پایینی هستند . بدنه آنها به گونه ای طراحی شده است که می توانند با سرعت ۳۰ km/h یا ۸۰km/h حمل شوند . این کمپرسورها همانند کمپرسورهای ثابت ، دارای تجهیزات کمکی از جمله : پس سرد کن ها ، بسته های متفاوت فیلتر (فیلتر های گرد و غبار ، کربن و غیره) ، سیستم های پس گرمایش و سیستم های روغنکاری هستند . همچنین آنها دارای تجهیزات راه اندازی سرد و یک ژنراتور 400 V / 230 V می باشند . ژنراتورهای دیزلی قابل حملی نیز وجود دارند که به همین نحو برای کمپرسور های قابل حمل ساخته می شوند و مقدار توان مورد نیاز بیشتری را فراهم می آورند . دامنه های توان از ۱۰ kVA تا مقادیر بالاتر متفاوت است .

۳-۸ تأسیسات الکتریکی (Electrical installation)

۳-۸-۱ بررسی کلی (General)

برای اندازه گیری و نصب یک تأسیسات کمپرسور, لازم است درباره اینکه بخش های متعدد چگونه بر روی یکدیگر تأثیر می گذارند و همچنین چه کنترل و تدارکاتی به کار گرفته شود ، اطلاعاتی داشته باشیم .

در این قسمت پارامترهایی را مورد بررسی قرار می دهیم که این پارامترها برای نصب مناسب دستگاه و با این هدف که دستگاه به لحاظ الکتریکی بطور رضایت بخشی به کار انداخته شود ، مورد نیاز است .

مثالی از یک کمپرسور قابل حمل

۳-۸-۲ موتورها (Motors)

موتورهای القایی سه فاز ، مدار کوتاه برای عملکردهای کمپرسور به کار گرفته می شوند . بطور کلی موتورهای کم ولتاژ تا ۴۵۰ kW به کار گرفته می شوند و از این توان به بالا استفاده از موتورهای ولتاژ بالا انتخاب بهتری است .

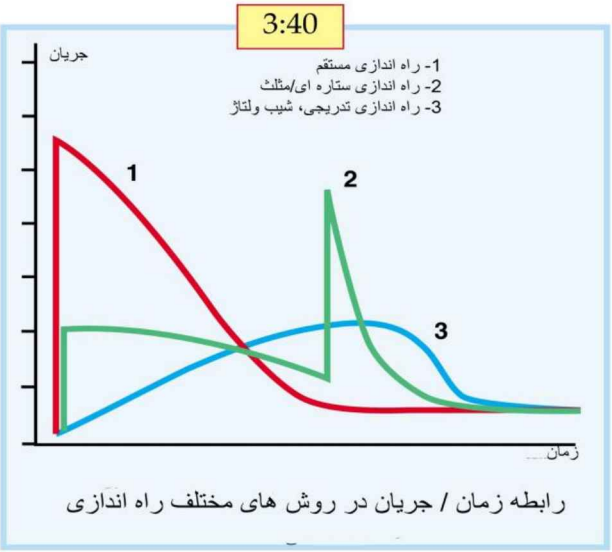
طبقه بندی کلاس حفاظت موتور, توسط استانداردها کنترل می شود . استفاده از طرح موتورهای مقاوم در برابر آب و گرد و غبار (IP54) , به موتور های باز (IP23) که پیوسته به پیاده سازی و تمیز کاری نیاز دارند ، ترجیح داده می شود . در موارد دیگر ، رسوب گرد و غبار در موتور باعث گرم شدن بیش از حد می شود و در نتیجه عمر مفیدکاری کاهش می یابد .

موتور ، که بطور معمول با استفاده از دمنده خنک می شود ، در محیط هایی که درجه حرارت بالایی در حدود ۴۰ °C دارند ، مورد استفاده قرار می گیرد . در درجه حرارتهای بالا باید میزان خروجی را کاهش داد . موتور در اکثر موارد بطور مستقیم به کمپرسور متصل می شود . سرعت موتور در بیشتر مواقع با کمپرسور مطابقت داده می شود ، با وجود این در عمل, موتورهای ۲ قطبی یا ۴ قطبی به ترتیب فقط با سرعت ۳۰۰۰ rpm و۱۵۰۰ rpm مورد استفاده قرار می گیرد .

خروجی اسمی موتور همچنین توسط کمپرسور تعیین می شود و باید تا آنجا که امکان دارد به تجهیزات کمپرسور نزدیک باشد.

یک موتور خیلی بزرگ برای خریداری بسیار گران است ، به جریان راه انداز غیر ضروری بالایی نیاز دارد ، به فیوزهای بزرگ تری نیاز دارد ، دارای فاکتور خروجی پایینی است و تا حدودی بازدهی آن ناچیز است .

یک موتور خیلی کوچک دارای اضافه بار می شود و در نتیجه احتمال خراب شدگی آن وجود دارد . هنگام انتخاب یک موتور همچنین باید به روش راه اندازی آن نیز توجه کنیم . موتور فقط با یک چهارم گشتاور اسمی اش و به روش راه اندازی ستاره / مثلث راه اندازی می شود ، به همین علت است که مقایسه بین منحنی های گشتاور موتور و کمپرسور می تواند این اطمینان را حاصل نماید که کمپرسور به درستی راه اندازی می شود .



رابطه زمان / جریان در روش های مختلف راه اندازی

۳-۸-۳ روش های راه اندازی (Starting methods)

رایج ترین روش های راه اندازی عبارت از : راه اندازی مستقیم ، راه اندازی ستاره / مثلث و راه اندازی تدریجی می باشد . راه اندازی مستقیم ، ساده است و فقط به یک کنتاکتور و محافظ اضافه بار نیاز دارد . ولی از معایب آن این است که جریان شروع آن ۱۰-۶ برابر جریان اسمی موتور بالا است و گاهی اوقات گشتاور, شروع بالایی دارد و می تواند به محورهای گردان و رابط ها صدمه وارد سازد .

روش راه اندازی ستاره ای / مثلث به منظور محدود کردن جریان شروع مورد استفاده قرار می گیرد . دستگاه راه انداز از سه کنتاکتور ، محافظ اضافه بار و تایمر تشکیل شده است . موتور با اتصال ستاره روشن می شود و بعد از گذشت مدت زمان معینی (وقتی که سرعت به ۹۰٪ سرعت اسمی رسید) تایمر کنتاکتورها را بطوری تغییر می دهد که موتور بصورت مثلث اتصال یابد.

راه اندازی ستاره/ مثلث نسبت به راه اندازی مستقیم, جریان شروع را نزدیک به یک سوم کاهش می دهد ، با وجود این گشتاور شروع در زمان مشابه به یک چهارم کاهش می یابد . گشتاور پایین در هنگام شروع به این معنی است که بار موتور

باید طی مدت مرحله راه اندازی پایین باشد ، بطوری که موتور عملاً قبل از متصل شدن به اتصال مثلث به سرعت اسمی خودش برسد . اگر سرعت خیلی پایین باشد ، یک نقطه اوج جریان / گشتاور به بزرگی راه اندازی مستقیم ، طی متصل شدن به اتصال مثلث ایجاد خواهد شد .

راه اندازی تدریجی که می تواند جایگزینی برای راه اندازی ستاره/ مثلث باشد ، راه اندازی است که به جای کلید های مکانیکی از چندین نیمه رسانا ساخته شده است . این نیمه رساناها بر طبق یک شیب زمانی کنترل می شوند ، بطوری که یک جریان فزاینده مساوی ، موتور را تغذیه می کند . موتور به طور تدریجی راه اندازی می شود و جریان راه اندازی تقریباً به سه برابر جریان اسمی محدود می شود .

در راه اندازی مستقیم و راه اندازی ستاره / مثلث ، راه اندازها در بیشتر موارد با کمپرسور هماهنگ می شوند . در طرح های بزرگ فشرده سازی ، به علت نیازمندی های فضا ، توسعه حرارتی و دستیابی به خدمات ، ترجیح داده می شود که بدین منظور ادوات برقی به طور جداگانه در تابلو ها جاسازی می شوند .

استارتری که برای راه اندازی تدریجی به کار می رود معمولاً به طور جداگانه ای در نزدیک کمپرسور نصب می شود . همیشه تجهیزات راه اندازی کمپرسورهایی که با ولتاژ بالا تغذیه می شوند ، در دستگاه کلید جای داده می شوند .

۳-۸-۴ کنترل ولتاژ (Control voltage)

بطور معمول هیچ کنترل ولتاژ جداگانه ای به کمپرسور متصل نمی شود ، به این علت که بیشتر کمپرسورها دارای یک ترانسفورماتور کنترل کامل می باشند . قسمت اصلی ترانسفورماتور به ذخیره توان کمپرسور متصل می شود که این امر موجب قابلیت اطمینان عملکرد می شود . در مواقعی که اختلالاتی در ذخیره توان ظاهر می شود ، کمپرسور به سرعت متوقف خواهد شد . در مواردی که استارتر در فواصل دورتری نسبت به کمپرسور قرار گرفته است این عملکرد ، دارای یک کنترل ولتاژ است که بطور داخلی تغذیه می شود و باید تقلید شود .

۳-۸-۵ محافظ مدار اتصال کوتاه (Short-circuit protection)

محافظ مدار اتصال کوتاه که در یکی از نقاط کابل، راه اندازی و نصب می شود می تواند از چندین فیوز یا مدارشکن ساخته شود .صرفنظر از راه حل هایی که شما انتخاب می کنید محفاظ مدار اتصال کوتاه اگر به درستی کنار هم چیده شود می تواند حفاظت خوبی را ارائه دهد .

هر دوی این روش ها دارای معایب و مزایایی هستند . فیوزها به خوبی شناخته شده اند و در جریان های بزرگ مدار کوتاه بهتر از مدارشکن ها کار می کنند ، اما فرایند قطع جریان در آنها بطور کامل عایق نیست و مدت قطع سازی مدار در آنها طولانی است . مدار شکن ، حتی در نشتی جریان های خیلی کوچک ، مدار را قطع می کند و آنرا به کلی عایق می کند ، ولی در مرحله طراحی نیاز به کار بیشتری دارد . برآورد اندازه دستگاه محافظ مدار کوتاه بر اساس میزان بار مورد نظر قرار دارد ، اما محدودیت های دستگاه استارتر نیز تأثیر گذار می باشد .

با توجه به محفاظ مدار اتصال کوتاه استاندارد 947-4-1 (هیئت الکتروتکنیکال بین المللی) IEC ، نوع ۱ و نوع ۲ را مورد توجه قرار دهید . انتخاب هر یک از این گزینه ها تعیین می کند که چگونه یک مدار اتصال کوتاه ، استارتر را تحت تأثیر قرار خواهد داد .

نوع ۱ :

" احتمال صدمه رسیدن به کنتاکتورها و رله های اضافه بار وجود دارد . ممکن است نیاز به جایگزینی تجهیزات باشد ."

نوع ۲ :

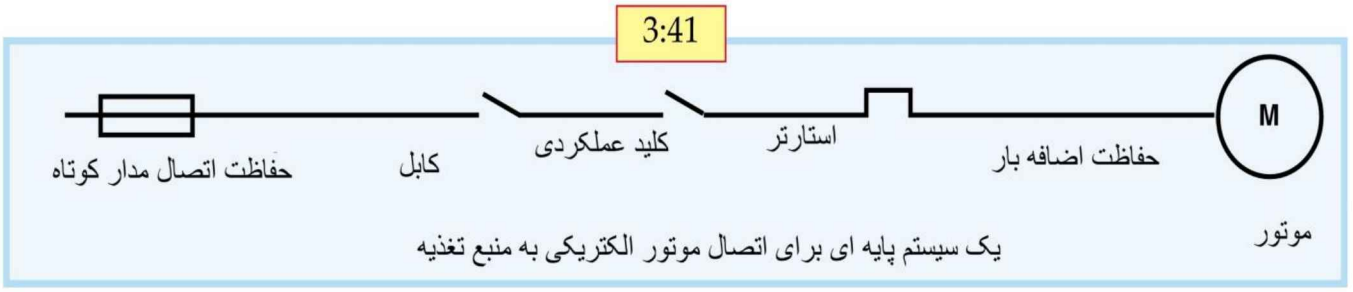
" واقعاً به رله های اضافه بار خسارت وارد می آید ، جوشکاری جزئی کنتاکتورها امکان پذیر است. باید این امکان وجود داشته باشد که برای تنظیم مجدد استارتر در حالت عملکرد, از مقیاس های بنیادی استفاده شود . "

۳-۸-۶ کابل ها (Cables)

کابل ها باید بر طبق اصول ، به گونه ای برآورد ابعاد شوند که طی مدت عملکرد عادی, نشانی از درجه حرارت های خطرناک در آنها دیده نشود و اینکه با ایجاد یک اتصالی در مدار, از نظر حرارتی یا مکانیکی دچار خسارت نشوند . برآورد ابعاد و انتخاب کابل ها بر اساس : بار ، افت ولتاژ مجاز ، روش کابل گذاری (بر روی سینی کابل ، دیوار و غیره) و درجه حرارت محیط قرار دارد . برای مثال می توان از فیوزها برای محافظت از کابل ها استفاده کرد و می توان هم محافظ مدار اتصال کوتاه و هم محفاظ اضافه بار را در مدار ایجاد کرد .برای عملکردهای موتور از یک محافظ مدار اتصال کوتاه (برای مثال فیوزها) و یک محافظ جداگانه اضافه بار استفاده می شود .

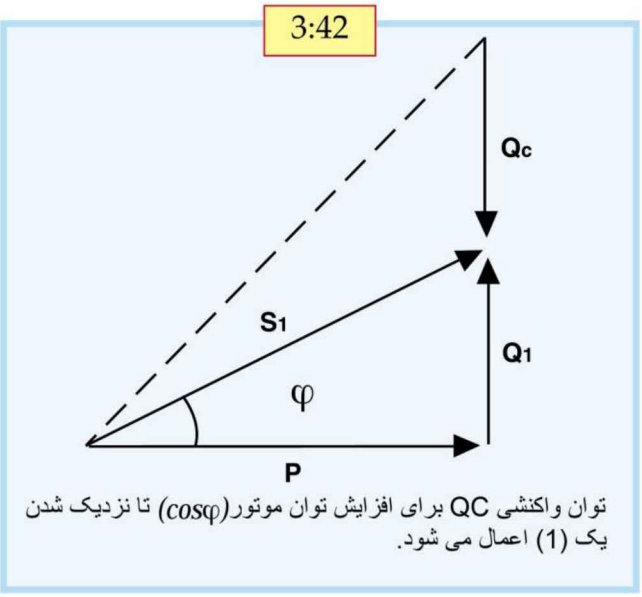
محفاظ اضافه بار می تواند با قطع کردن استارتر از موتور و کابل های موتور محافظت کند ، این فیوز به مجرد افزایش بار مدار, جریان را قطع می کند . فیوز مدار اتصال کوتاه (اتصالی), از استارتر ، فیوز اضافه بار و کابل ها محافظت می کند . برای برآورد ابعاد کابل ها, باید به میزان بار توجه کنید . شما می توانید از استاندارد (IEC 364 5 523 (SS 4241424 استفاده کنید .

در هنگام برآورد ابعاد کابل ها و محفاظ مدار اتصال کوتاه باید " شرایط قطع کردن " را نیز در نظر بگیرید . این شرایط به این معنی است که دستگاه باید طوری طراحی شود که ایجاد هرگونه اتصالی در هر جای مدار به سرعت منجر به قطع مدار شود .



۳-۸-۷ تعادل فاز (Phase compensation)

موتور الکتریکی نه تنها توان کنشی را که می تواند به کار مکانیکی تبدیل شود مصرف می کند ، بلکه توان واکنشی را که برای مغناطیسی شدن موتور مورد نیاز است نیز مصرف می کند . این توان واکنشی بر روی کابل ها و ترانسفورماتور, بار وارد می کند . رابطه بین توان کنشی و واکنشی توسط ضریب توان $\cos\varphi$ ، تعیین می شود . این ضریب توان معمولاً بین ۰/۰۷ و ۰/۰۹ است و مقادیر کمتر مربوط به موتورهای کوچک تر است .



توان واکنشی QC برای افزایش توان موتور($cos\varphi$) تا نزدیک شدن یک (1) اعمال می شود.

ضریب توان در عمل تا ۱ می تواند افزایش یابد ، بدین طریق که توان واکنشی را بطور مستقیم با استفاده از موتوری بوجود آورد که از یک خازن استفاده می کند . این موتور نیاز به بدست آوردن توان واکنشی را از منبع نیرو کاهش می دهد . یک راه برای متعادل کردن فاز این است که منبع تأمین کننده توان می تواند برای بدست آوردن توان واکنشی, بر روی سطح از پیش تعیین شده ای شارژ شود و اینکه کابل ها و ترانسفورماتورهایی که به شدت بار دار هستند ، لازم است بی بار سازی شوند .

۳-۹ صدا (Sound)

۳-۹-۱ بررسی کلی (General)

صدا شکلی از انرژی است که در فضای اتاق به صورت موج های طولی, از طریق هوا که ماده ای انعطاف پذیر است پخش می شود . حرکت موج باعث تغییراتی در فشار می شود ، می توان آن را توسط ابزاری که در مقابل فشار حساس است ثبت کرد ، برای مثال توسط یک میکروفن . بنابراین میکروفن یکی از تجهیزات اصلی برای اندازه گیری صدا است .

اندازه گیری توان صدا بر حسب وات مشکل است . به این علت که دامنه ای از صدا های متفاوت در محیط اطراف ما وجود دارد . در علم صوت شناسی ، صحبت از سطوح به میان می آید و صدا در رابطه با یک نقطه مرجع, اندازه گیری می شود . با به کار گرفتن لگاریتم در فرمول مربوطه, می توان اندازه گیری را تحت کنترل در آورد . فرمول زیر :

$L_w = 10 \times \log_{10} \times W / W_0$

L_w = میزان توان صدا (dB)

W = توان واقعی صدا (W)

W_0 = توان مبدأ = 10 – 12 (W)

۳-۹-۲ فشار صدا (Sound pressure)

سطح فشار صدا به عنوان مقیاسی از شدت صدا است . رابطه آن بدین صورت است :

$L_P = 20 \times \log_{10} \times p / p_0$

L_P = سطح فشار صدا (dB)

p = فشار واقعی صدا (bar)

p_0 = فشار صدای مبنا $= 0.0002 \times 10^{-6}$ (bar)

سطح فشار صدا, همواره به فاصله مشخص تا منبع صدا ، برای مثال یک ماشین مربوط می شود . برای کمپرسور ثابت این فاصله ۱ متر است و برای کمپرسور قابل حمل این فاصله ۷ متر است (طبق استاندارد CAGI Pneurop) .

اطلاعات مربوط به سطح فشار صدا, باید همیشه با ضریب ثابت محفظه ای که سنجش صدا در آن صورت می گیـرد تکمیـل شود. در غیر اینصورت محفظه مورد نظر بدون محدوده فرض می شود ، مثلاً به عنوان یک محوطه باز در نظر گرفته می شود . در محفظه بدون محدوده ، هیچ دیواری وجود ندارد که امواج صدا را منعکس کند .

۳-۹-۳ جذب (Absorption)

وقتی امواج صدا با سطحی تماس پیدا می کنند ، قسمتی از امواج منعکس می شود و بخشی از آن نیـز جـذب مـواد تشـکیل دهنده سطح می شود . بنابراین فشار صدا در یک لحظه معین, همیشه شامل قسمتی از صدایی است کـه توسـط منبـع صـدا بوجود آمده و قسمتی از صدایی که از سطوح محیط منعکس شده است (پس از یک یا چند انعکاس) .
اینکه چگونه یک سطح بطور موثر می تواند صدا را جذب کند به مواد تشکیل دهنده آن بستگی دارد و اغلب به عنوان فـاکتور جذب بیان می شود(بین 0 و 1) .

۳-۹-۴ ضریب ثابت اتاق (Room constant)

ضریب ثابت محفظه, برای اتاقی محاسبه می شود که دارای چندین سطح ، دیوار و سطوح دیگـری اسـت ، کـه بسـتگی بـه ویژگی های جذب سطوح گوناگون دارد . رابطه آن به صورت زیر است :

$$K = \frac{A \times \alpha}{1 \quad \alpha}$$

$$\bar{\alpha} = \frac{\text{جذب کلی}}{\text{منطقه کلی}} = \frac{A_1 \times \alpha_1 + A_2 \times \alpha_2 +}{A_1 + A_2 +}$$

K = ضریب ثابت اتاق

α = ضریب جذب میانگین برای اتاق (m^2)

A = مساحت کل اتاق (m^2)

A_1 ، A_2 و غیره همگی قسمتهایی از سطح اتاق هستند که دارای ضریب جذب α_1 ، α_2 و غیره می باشند .

۳-۹-۵ انعکاس (Reverberation)

زمان انعکاس ، مدت زمانی است که طول می کشد فشار صدای میانگین به محض ساکت شدن منبع تولید صدا ، تـا 60 dB کاهش یابد . ضریب جذب معادل یا میانگین برای اتاق بدین صورت محاسبه می شود :

$$\alpha = \frac{0/163 \times V}{T}$$

V = حجم اتاق (m^3)

T = زمان انعکاس (s)

ضریب ثابت اتاق زمانی بدست می آید که این عبارت درون رابطه گنجانده شود :

$$K = \frac{A \times \alpha}{1 \quad \alpha}$$

A = مساحت کلی اتاق (m^2)

۳-۹-۶ رابطه بین توان صدا و فشار صدا

(Relation between sound power and sound pressure)

اگر صدا از یک نقطه منبع, در اتاقی منتشر شود که هیچ گونه سطح منعکس کننده ای نداشته باشد ، صدا بطـور مسـاوی در تمام جهات پخش می شود و بنابراین شدت سنجیده شده در تمام نقاط یکسان خواهد بود . بنابراین, این شدت در تمام نقـاط موجود در روی سطح کروی در اطراف منبع صدا ثابت خواهد ماند.

بنابراین نتیجه می گیریم که سطح صدا برای هر مسافت مضاعفی نسبت به منبع صدا به اندازه 6 dB افت می کند . بـا ایـن وجود اگر اتاق دارای دیواره های منعکس کننده و سختی باشد ، موضوع تغییر می کند . بنـابراین بایـد صـدایی را کـه توسـط دیواره ها منعکس شده است نیز در نظر بگیرید . اگر شما ضریبی برای جهت ارائه دهید ، رابطه بدین صورت می شود :

$$L_P = L_W + 10\log \frac{Q}{4\pi r^2}$$

L_P = سطح فشار صدا (dB)

L_W = سطح توان صدا (dB)

Q = ضریب جهت (m^2)

r = مسافت از منبع صدا

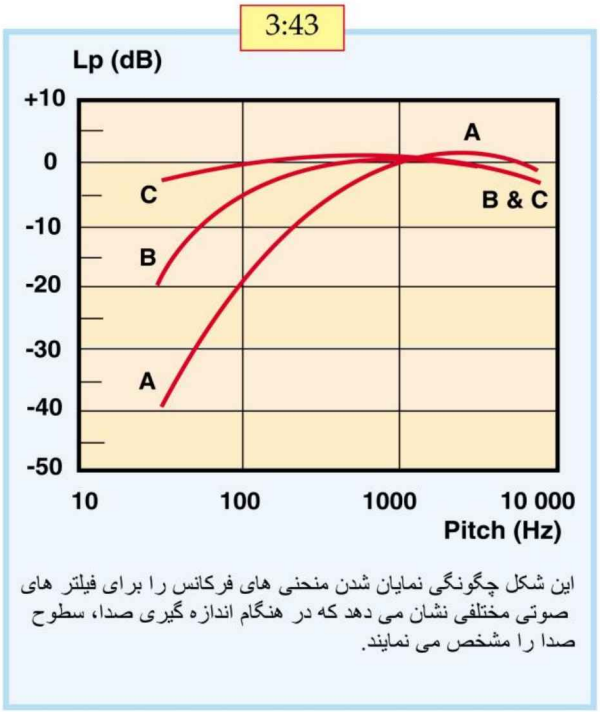
برای Q می توان از ارقام تجربی استفاده کرد (برای موقعیت های دیگر منبع صدا ، مقدار Q تخمین زده شود) :

اگر منبع صدا در وسط اتاق بزرگی معلق باشد.	Q = 1
اگر منبع صدا در اتاقی باشد که دارای کف انعکاسی و سخت است و منبع صدا در نزدیکی دیوار یا سقف قرار داشته باشد.	Q = 2
اگر منبع صدادر مجاورت(دیوار-کف) یا (دیوار-سقف) قرار داشته باشد.	Q = 4
اگر منبع صدا در گوشه ای نصب شده باشد که در مجاورت تقاطع سه سطوح قرار دارد.	Q = 8

اگر منبع صدا در اتاقی قرار گیرد که سطوح مرزی آن تمام صدا را جذب نکند ، بنابراین سطح فشار صدا بنابر تأثیر ارتعاش افزایش می یابد . این مقدار به طور نسبی رابطه معکوسی با ضریب ثابت اتاق دارد :

$$L_P = L_W + 10\log\left[\frac{Q}{4\pi r^2} + \frac{4}{K}\right]$$

اگر این رابطه به عنوان مجموعه ای از چندین منحنی رسم شود ، نشان خواهد داد که در مجاورت منبع توان, سطح فشار صدا برای هر مسافت دو برابر شده ، به اندازه 6 dB افت می کند . با این وجود در مسافت های دورتر نسبت به منبع صدا ,سطح توان صدا تحت تأثیر صدای منعکس شده قرار می گیرد و بدین طریق با افزایش فاصله, هیچ کاهشی صورت نمی گیرد.



این شکل چگونگی نمایان شدن منحنی های فرکانس را برای فیلتر های صوتی مختلفی نشان می دهد که در هنگام اندازه گیری صدا، سطوح صدا را مشخص می نمایند.

۳-۹-۷ اندازه گیری صدا (Sound measurements)

گوش انسان می تواند صداهایی با فرکانس های متفاوت را تشخیص دهد . صداهایی که دارای فرکانس خیلی بالا یا خیلی پایین هستند باید از صداهایی که در حد 1000-2000 Hz هستند قوی تر باشند تا بتوان انرژی آنها را بطور یکسان درک کرد .

فیلترهای گوناگونی که سطوح سنجش شده در فرکانس های بالا و پایین را تنظیم می کنند ، برای افزایش توانایی شنوایی انسان مورد استفاده قرار می گیرند . هنگام اندازه گیری صدا بطورمعمول از یک فیلتر A استفاده می شود و صدا به عنوان dB اندازه گیری می شود .

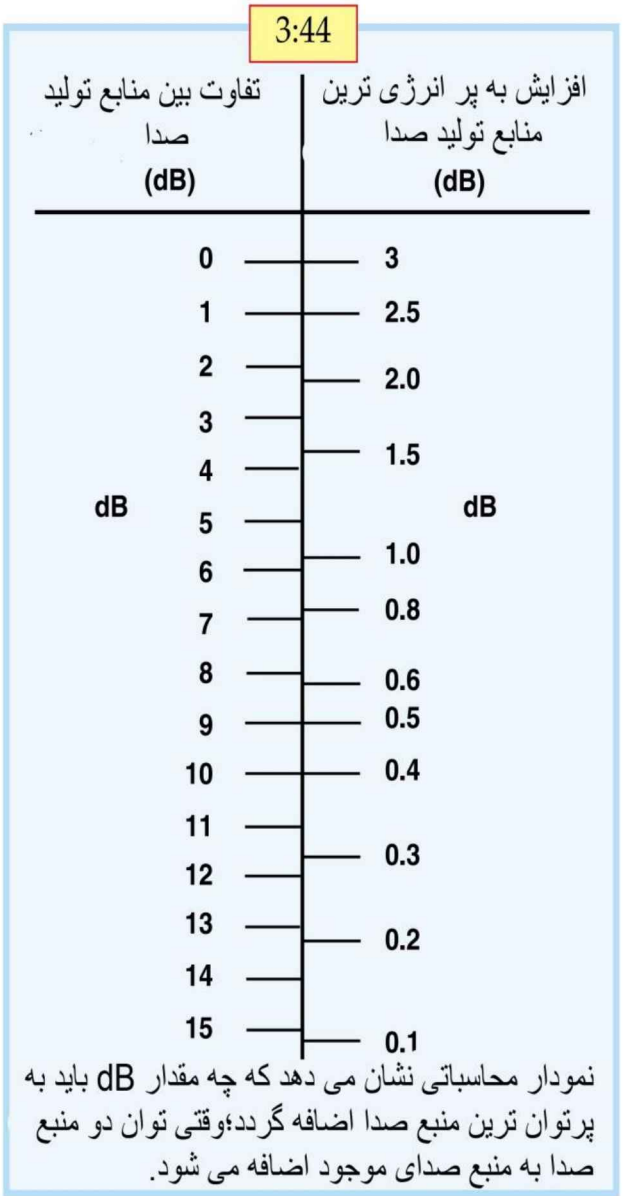
۳-۹-۸ رابطه متقابل چندین منبع صدا (Interaction of several sound sources)

وقتی که بیش از یک منبع تولید صدا در اتاق وجود داشته باشد ، فشار صدا افزایش می یابد . با این وجود بـه ایـن علـت کـه سطح فشار صدا بصورت لگاریتمی تعریف می شود نمی توانید سطوح فشار صدا را به صورت جبری اضـافه کنیـد . وقتـی کـه بیش از دو منبع صدا وجود داشته باشد ، باید ابتدا دو منبع صدا را به مجموع رقم محاسبه شـده اضـافه کنیـد و سـپس منبـع دیگری اضافه شود و ....

به مانند یک قانون حفظـی وقتـی کـه دو منبـع صـدا بـا سـطوح یکسـان اضـافه شـود ، در نتیجـه فشـار تـا 3dB افـزایش می یابد . وقتی که ده منبع صدا با سطوح یکسان اضافه شوند ، فشار به اندازه 10 dB افزایش می یابد :

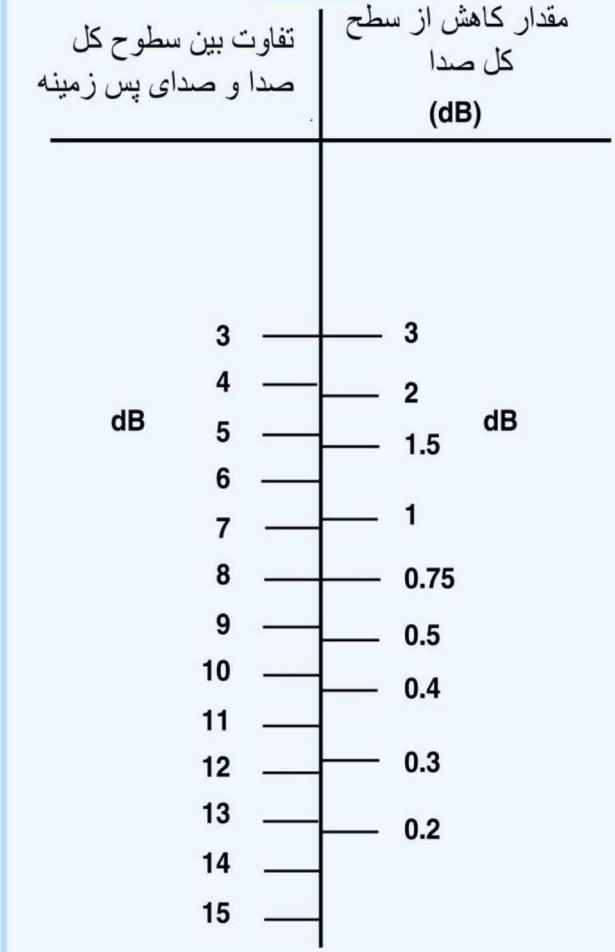
صداهای پس زمینه نیز باید مورد توجه قرار گیرد . این صدا ها به عنوان منبع جداگانه ای مـی باشـند و مقـدار آن از مجمـوع منبع های دیگر تولید صدا, کسر می شود .

3:44



نمودار محاسباتی نشان می دهد که چه مقدار dB باید به پرتوان ترین منبع صدا اضافه گردد؛وقتی توان دو منبع صدا به منبع صدای موجود اضافه می شود.

3:45



نمودار محاسباتی نشان می دهدکه چه مقدارdB باید از سطح کلی صدا در پس زمینه های مختلف صدا کاسته شود تا میزان کل صدا های نا خواسته مشخص شود.

۳-۹-۹ کاهش صدا (Sound reduction)

پنج روش متفاوت برای کاهش صدا وجود دارد : عایق صدا ، جذب صدا ، عایق ارتعاش ، تضعیف کننده ارتعاش و کاهش دادن منبع صدا . عایق صدا شامل یک مانع صوتی است که بین منبع صدا و دریافت کننده نصب می شود .

این به این معنی است که بنابر ناحیه مورد تسلط مانع و ویژگی های عایق ، فقط قسمتی از صدا می تواند عایق شود . موانع سنگین تر نسبت به موانع سبک تر مؤثر تر می باشند .

جذب صدا شامل منبع صدایی است که توسط مواد جذب کننده منفذ دار و سبکی احاطه شده است ، این ماده جذب کننده به یک مانع متصل است . جذب کننده های ضخیم تر نسبت به جذب کننده های باریک تر مؤثرتر هستند و بطور معمول چگالی ها برای اسفنج پلی یورتان تقریباً $10\ kg/m^3$ و برای پشم معدنی تقریباً $150\ kg/m^3$ است . عایق ارتعاش برای جلوگیری از عبور ارتعاش از یک قسمت از ساختار به قسمت دیگر به کار می رود . یک مشکل رایج این است که ارتعاشات از یک دستگاه که بطور درونی نصب شده است به موانع اطراف و یا به کف زمین منتقل می شوند . فنرهای فولادی ، چوب پنبه، پلاستیک و لاستیک از جمله مواد عایق ارتعاش هستند . انتخاب مواد و اندازه گیری توسط فرکانس ارتعاش و مقاومت در برابر دستگاهها تعیین می شود .

تضعیف کننده ارتعاش (ارتعاش گیر) شامل ساختاری است که از مواد لاستیکی تشکیل شده است و ضریب تغییرات ارتجاعی بالایی دارد . وقتی که سطح ارتعاش گیر به اندازه کافی ضخیم باشد ، (برای مثال یک دیوار بطور مؤثری از ارتعاش جلوگیری می کند) و در نتیجه شروع به از بین بردن صدا می کند .

ارتعاش گیرها اگر چه از نظر هزینه مقرون به صرفه هستند ولی نتایج چندان خوبی ارائه نمی دهند . بدین ترتیب سطح کلی صدای ماشین تقریباً تا 5 dB کاهش می یابد در حالی که با ترکیب این روش ها می توان صدا را تا 15-25 dB کاهش داد .

۳-۹-۱۰ سر و صدای ایجاد شده توسط تأسیسات کمپرسور (Noise with compressor installations)

سطح سر و صدای کمپرسور از روی دستگاه و در محوطه باز اندازه گیری می شود . وقتی که کمپرسور در اتاق نصب می شود ، تحت تأثیر ویژگی های اتاق قرار می گیرد . اندازه اتاق ، مواد بکار رفته در دیوار و سقف و نیز وجود دستگاههای دیگر در اتاق همگی مهم هستند .

همچنین قرار دادن کمپرسور در اتاق بطور دقیق از زمان نصب لوله ها و تجهیزات دیگر ، سطح سر و صدا را تحت تأثیر قرار می دهد . ارتعاش صدا از لوله های هوای فشرده اغلب نسبت به منبع اصلی صدا ، مشکل سازتر است . بنابر این لازم است که ارتعاش گیرهایی نیز برای کل سیستم لوله کشی به کار برده شود ، علاوه بر ارتعاش گیر باید از مواد کاهش دهنده صدا و موانع صدا نیز استفاده شود .

۳-۱۰ استانداردها ، قوانین و تمهیدات (Standards , laws and provisions)

۳-۱۰-۱ بررسی کلی (General)

در بخش هوای فشرده ، همانند بخش های دیگر ، قوانینی وجود دارد که باید رعایت شود . این قوانین می توانند به صورت قوانین و تمهیدات درآمده و به شکل استانداردهای ملی و بین المللی ارائه گردند . گاهی اوقات قوانین موجود در استانداردها تحت اجبار قانون می باشند و لازم است اجرا شوند . اگر استانداردی در یک توافق نامه ذکر شود ، طرف قرار داد موظف به اجرای آن می شود .

قوانین الزامی می توانند برای مثال برای ایمنی انسان و دارایی به کار روند ، در حالی که استانداردهای اختیاری برای تسهیل سازی فعالیت ها به کار می روند ، از جمله کار با خصوصیات ویژه ای چون : انتخاب کیفیت ، مقیاس ها ، طرح های تولیدی و غیره .

۳-۱۰-۲ استانداردها (Standards)

استانداردها در بسیاری موارد توسط قانونگذاران مطرح می شوند تا سطحی از ایمنی را بوجود آورند . اگر شما به دستور العملی که توسط استانداردها در خصوص طرح ، تجهیزات و آزمایش ارائه شده است ، عمل کنید به عنوان شخصی شناخته می شوید که از قوانین پیروی کرده است . استانداردها برای سازنده و مصرف کننده مفید می باشند . استانداردها میزان تعویض پذیری اجزاء دستگاهها را در بین سازندگان متفاوت افزایش می دهد .

استانداردها به طور ملی در سراسر اروپا و همچنین بطور بین المللی تولید و منتشر می گردند . استانداردهای بین المللی مثل ISO یا EN بطور معمول به عنوان استاندارد های ملی نیز به مرحله اجرا در می آیند. (SIS در سوئد) .

گروه استاندارد سازی ISO (سازمان بین المللی استاندارد سازی) به همراه گروه CEN (هیئت استاندارد سازی اروپایی) کارهای استاندارد سازی بین المللی را بر عهده دارند .

هیئت استاندارد SIS یک حزب سوئدی است که در این کار مشارکت دارد و علاوه بر این استاندارد سازی ملی را در سوئد به کمک تعدادی از گروههای استاندارد سازی انجام می دهد . شما می توانید تمام استانداردهای ملی و بین المللی را از SIS خریداری کنید .

علاوه بر استانداردهای رسمی ، اسناد دیگری نیز وجود دارد که توسط گروههای تجاری مثل PNEUROP که یکی از هیئت های سازنده اروپایی تجهیزات هوای فشرده است ، تولید می شود . برای مثال استاندارد اندازه گیری ظرفیت کمپرسور مقدار روغن در هوای فشرده و غیره .

بخش چهارم

اقتصاد

۴-۱ اقتصاد (Economy)

۴-۱-۱ هزینه های تولید هوای فشرده (Costs for compressed production)

۴-۱-۱-۱ بررسی کلی (General)

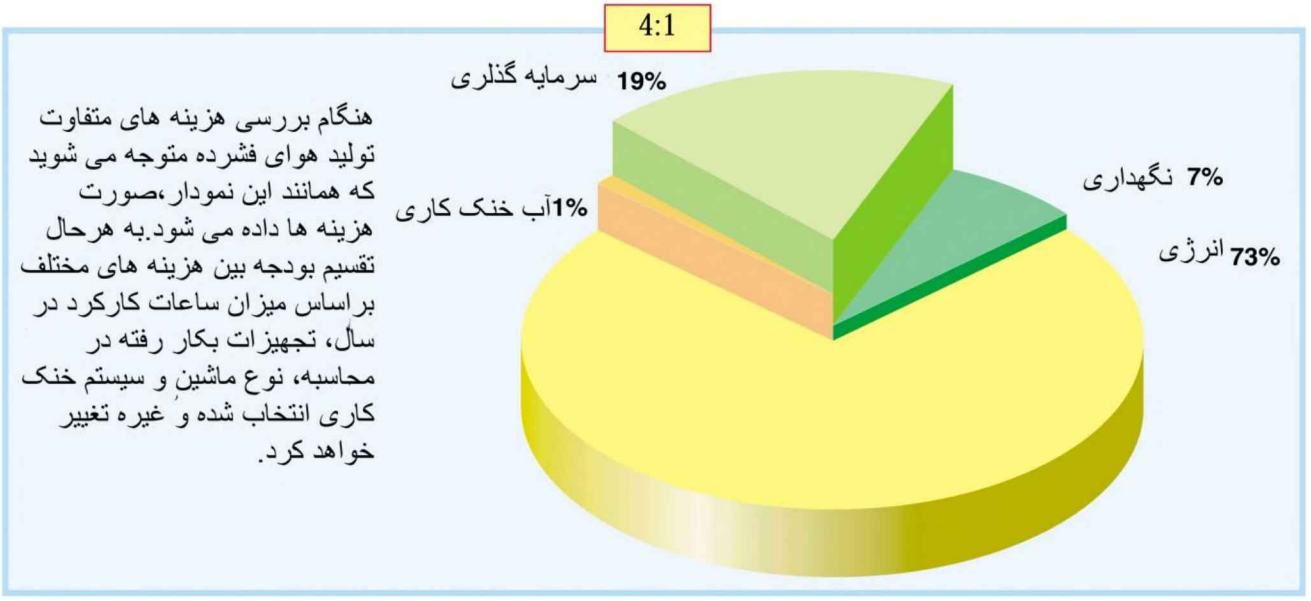
انرژی الکتریکی بارزترین نوع انرژی است که در تولید هوای فشرده صنعتی بالقوه مورد استفاده قرار می گیرد . در بسیاری از تأسیسات هوای فشرده اغلب در مقدار به کار گرفته نشده ای از انرژی که چشم گیر است امکان صرفه جویی از طریق بازیافت انرژی ، کاهش فشار ، کاهش اتلاف و روز آمد سازی عملکردها از طریق سیستم کنترل و تنظیم وجود دارد.

هنگامی که می خواهید سرمایه گذاری جدیدی را برنامه ریزی نمایید ، بهتر است تا جایی که می توانید به آینده نگاه کرده و سعی کنید که تأثیرات اوضاع جدید و مقتضیاتی را که ممکن است در تاسیسات به کار گرفته شوند مورد ارزیابی قرار دهید . مواردی از نمونه های بارز عبارت از : نیازهای محیطی ، مقتضیات صرفه جویی انرژی ، نیازهای افزایش کیفیت در تولید و سرمایه گذاری های تولید در آینده می باشد .

عملکرد کمپرسورهای بهینه شده همواره مهم تر می شود ،به ویژه برای صنایع بزرگتر مرتبط با هوای فشرده . تولید با گذشت زمان در یک صنعت در حال توسعه تغییر می کند و به همین ترتیب شرایط عملکردهای کمپرسور نیز تغییر می کند . بنابراین مهم است که تأمین هوای فشرده هم بر اساس مقتضیات واقعی و هم بر اساس طرح های آتی باشد . تجربه نشان می دهد که بررسی های گسترده و بی غرضانه نتایج وضعیت عملکرد ، تقریباً در هر شرایطی باعث توسعه کلی اقتصاد می شود .

هزینه های انرژی به روشنی از جمله مهمترین عوامل اقتصاد کلی تأسیسات هستند . بنابراین مهم است که به دنبال یافتن راه حل هایی باشیم که با نیازهای اجرایی و کیفیتی و نیز نیازهای کاربرد مؤثر انرژی مطابقت داشته باشد . هزینه های مضاف مربوط به خریداری کمپرسورها و تجهیزات دیگری که با هر دو این نیاز ها مطابقت داشته باشد ، در دراز مدت به عنوان یک سرمایه گذاری خوب دیده می شود .

از آنجا که مصرف انرژی اغلب ۸۰٪ هزینه کل را تشکیل می دهد ، باید به هنگام انتخاب سیستم کنترل, دقت نمایید . تفاوت در سیستم های کنترل ، تفاوت بین انواع کمپرسورها را تحت الشعاع قرار می دهد .



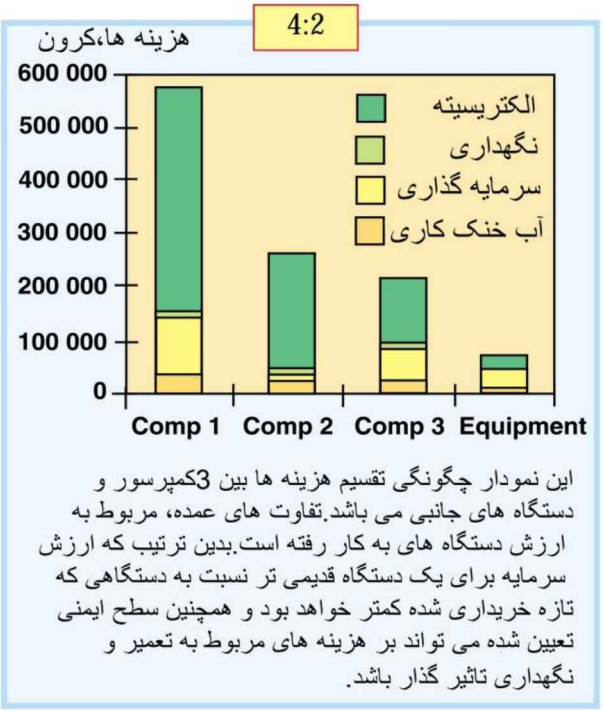
شرایط ایده آل زمانی است که ظرفیت کامل کمپرسور دقیقاً با مصرف متعادل مطابقت داشته باشد ، چیزی که خیلی اوقات در برنامه های فرایند در نظر گرفته می شود . بیشتر انواع کمپرسورها توسط سیستم کنترل و تنظیم خودشان عرضه می شوند

، اما تجهیزات اضافی دیگری نیز وجود دارند که می توانند تمام کمپرسورهای موجود در کارخانه را بطور جمعی کنترل کنند و باعث توسعه اقتصاد اجرایی گردند .

در حال حاضر کنترل سرعت با روش شناخته شده کنترل رایج شده است ، به این علت که نیازمندی انرژی در عمل نسبتی مساوی با سرعت و ظرفیت دارد . اگر به دقت اندیشه کنیم و اجازه دهیم که نیازمندی ها ، تجهیزات کنترل را تعیین نمایند ، نتایج خوبی را بدست خواهیم آورد .

اگر برای مثال به مقدار اندکی هوای فشرده در هنگام شب و اواخر هفته نیاز داشته باشیم ، مقرون به صرفه است که از کمپرسور کوچکی استفاده کنیم که با این مقدار نیاز مطابقت داشته باشد . اگر به دلیلی به فشار کاری دیگری نیاز داشته باشید باید این نیاز مورد بررسی قرار داده شود و نتیجه گیری شود که آیا کل تولید را می توان با استفاده از یک مرکز کمپرسور بدست آورد و یا اینکه شبکه را باید برای بدست آوردن سطوح متفاوت فشار تقسیم کنیم .بخش شبکه هوای فشرده نیز باید مورد توجه قرار گیرد ،برای اینکه بخش های معینی از شبکه را در طول شب یا آخر هفته ها بست تا بتوان مصرف هوا را کاهش داد (یا زمانی که بخواهید تخصیص هزینه های داخلی بر اساس مقادیر جریان باشد) .

۴-۱-۱-۲ تخصیص هزینه ها (Apportioning costs)



این نمودار چگونگی تقسیم هزینه ها بین 3کمپرسور و دستگاه های جانبی می باشد.تفاوت های عمده، مربوط به ارزش دستگاه های به کار رفته است.بدین ترتیب که ارزش سرمایه برای یک دستگاه قدیمی تر نسبت به دستگاهی که تازه خریداری شده کمتر خواهد بود و همچنین سطح ایمنی تعیین شده می تواند بر هزینه های مربوط به تعمیر و نگهداری تاثیر گذار باشد.

هزینه های سرمایه گذاری ، هزینه های ثابتی هستند که شامل قیمت خرید ، هزینه های ساختمان ، نصب و بیمه می شوند . هزینه سرمایه گذاری به عنوان بخشی از هزینه کلی محسوب می شود که قسمتی از آن به انتخاب کیفیت هوای فشرده مربوط است و قسمت دیگری از آن مربوط به هزینه استهلاک و محاسبه نرخ سود است . میزان هزینه های انرژی به زمان اجرا در هر سال ، مقدار بهره برداری ، قیمت انرژی و غیره مرتبط می باشند . بعضی از هزینه های مربوط به تهیه و دستیابی ، برای مثال تجهیزات مورد نیاز برای بازیافت انرژی ، بازدهی مستقیمی در سیستم ایجاد می کنند ، که این بازدهی به صورت کاهش هزینه های تعمیر و نگهداری و هزینه های اجرایی می باشد .

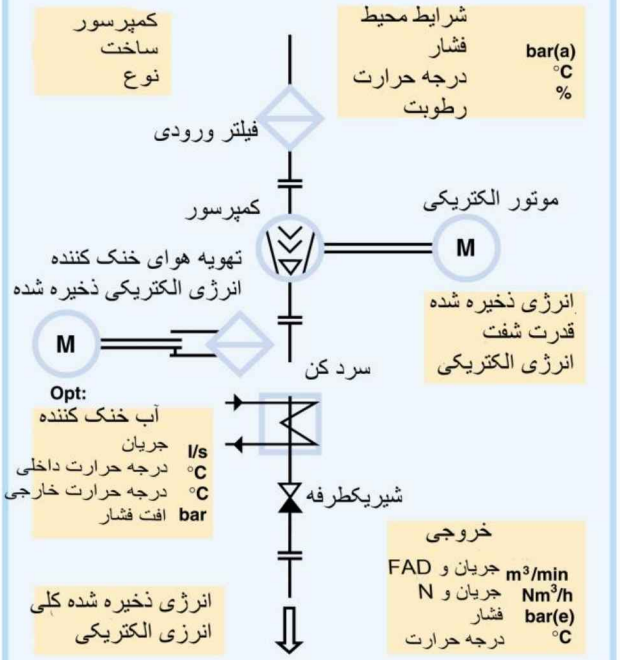
۴-۲ فرصت هایی برای صرفه جویی (Opportunities for saving)

۴-۲-۱ توان مورد نیاز (Power requirement)

هنگام انجام محاسبات ، مهم است که مقتضیات کلی توان را مورد توجه قرار دهیم . باید تمام مصرف کننده های انرژی را که به قسمت های مختلف دستگاه از جمله صافی های ورودی,تهویه ها و پمپ ها تعلق دارند مورد بررسی قرار دهیم . برای مقایسه بین گزینه های سرمایه گذاری مختلف باید اهمیت ویژه ای روی استفاده از مقادیر قابل قیاس گذاشت. بنابراین باید اطمینان حاصل کنید که ارقام بر طبق قوانین توافقی بین المللی ارائه می شوند ، برای مثال بر اساس ارقام ذکر شده در استاندارد ISO 1217 . Ed3 ، ضمیمه C – 1996 .

4:3

عملکرد کمپرسورهای خنک شده توسط آب



این شکل نمونه ای ساده و کاملا مفید است که یک تصویر واقعی از عملکرد انرژی الکتریکی مورد نیاز یک کمپرسور را نشان می دهد.

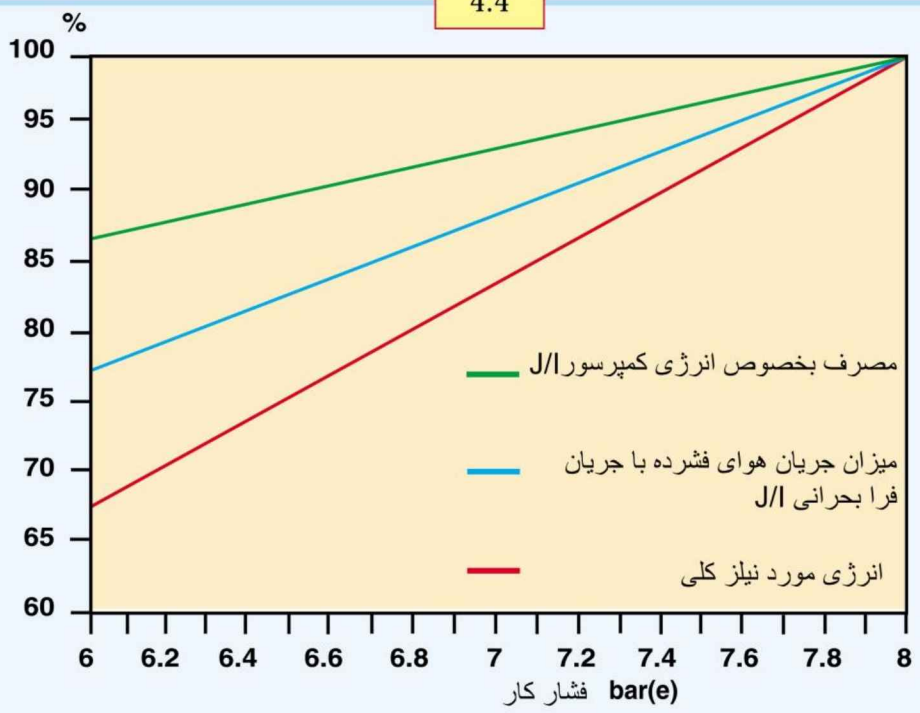
۴-۲-۲ فشار کاری (Working pressure)

فشار کاری بطور مستقیم بر توان مورد نیاز اثر می گذارد . فشار بالا به معنی مصرف انرژی بالاتر است . افزایش فشار کاری به منظور جبران افت فشار همیشه باعث تضعیف عملکرد اقتصادی می شود .

این پدیده ای متداول است که به علت کوچک بودن سیستم لوله کشی یا مسدود شدن فیلترها ، افت فشار روی می دهد . برای مثال افزایش در فشار کاری تا ۱ بار, توان مورد نیاز را تا نزدیک به ۶٪ افزایش می دهد . در تأسیساتی که دارای چندین صافی هستند ،بخصوص اگر برای مدت زمان طولانی و بدون اینکه جایگزین شده باشند مورد بهره برداری قرار گیرند ، افت فشار می تواند بیشتر و بنابراین به طرز چشمگیری پر هزینه باشد .

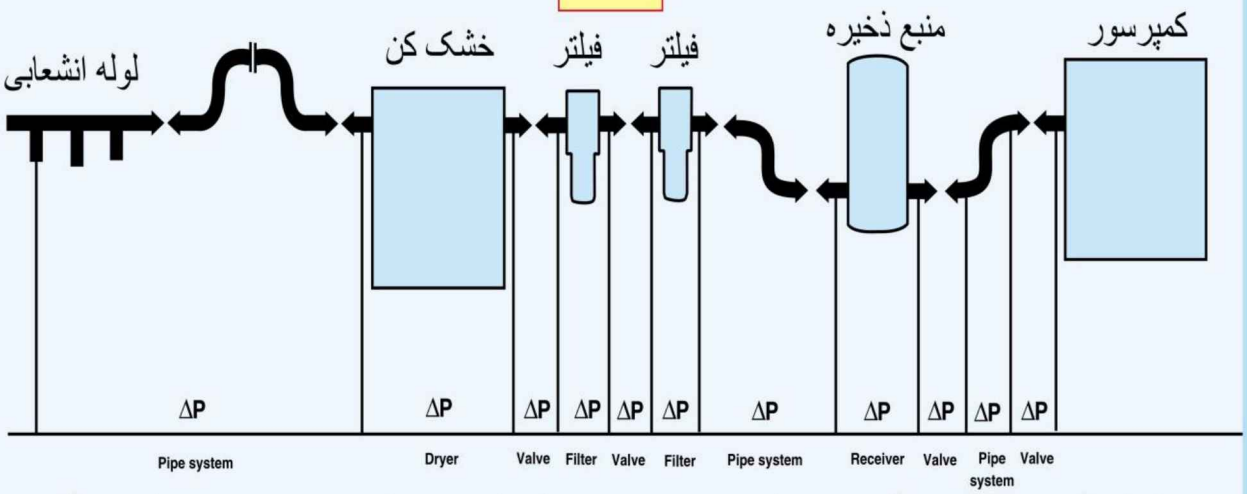
در بسیاری از تأسیسات امکان کاهش فشار به میزان زیاد وجود ندارد ، اما با استفاده از تجهیزات مدرن کنترلی اغلب می توان فشار را تا ۰/ ۵ بار کاهش داد . این به معنی صرفه جویی در سطح کم است که پایین ترین حد به نظر می رسد ، ولی اگر بازدهی کلی دستگاه را در نظر بگیرید که به سطح معادلی افزایش یافته بیشتر آشکار خواهد شد که معنی کاهش فشار چیست.

4:4



رابطه بین فشار ومصرف انرژی الکتریکی؛ دریک کمپرسور 15مترمکعب بر دقیقه،کاهش فشار کار از 7تا6بار به معنی کاهش توان مورد نیاز از91 تا 85 کیلووات است.با زمان کارکرد 400ساعت در سال نشانگر 24000 کیلووات ساعت در سال می باشد.

4:5



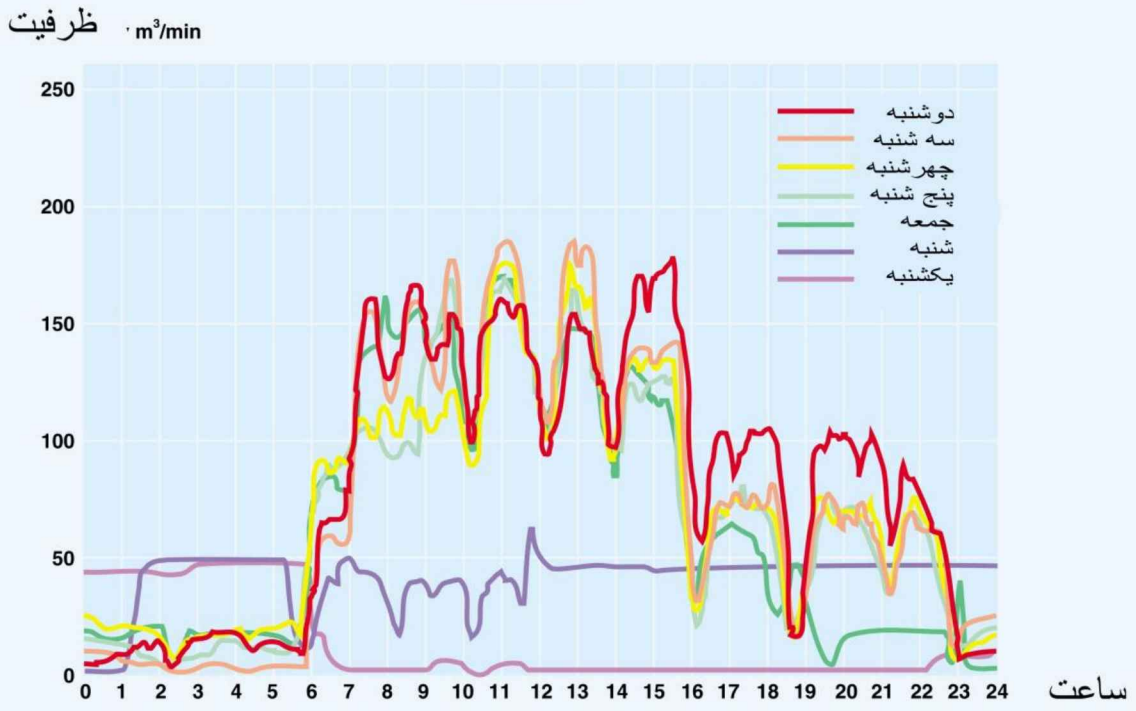
این شکل نشان می دهدکه چگونه افت فشار در تجهیزات مختلف شبکه در فشار کار مورد نیاز تاثیر می گذارد.

۳-۲-۴ مصرف هوا (Air consumption)

با تجزیه و تحلیل مسیرها و استفاده از هوای فشرده ، شما می توانید به راه حل هایی دست یابید که بار معادل بیشتری را در سیستم هوای فشرده ایجاد می کند . بدین طریق نیاز به افزایش تولید هوا می تواند پایین نگاه داشته شود ، که هزینه های اجرایی را کاهش می دهد .

مصرفی که مقرون به صرفه نیست بیشتر به نشتی ، تجهیزات فرسوده ، استفاده از فرایندهای نا منطبق یا استفاده ناصحیح از هوای فشرده مربوط می شود ، این مشکل به نحو مطلوبی با افزایش دانش کلی اصلاح می گردد . تقسیم بندی سیستم هوای فشرده به چندین بخش که می توانند با استفاده از دریچه ها جدا شوند ، می تواند روشی برای کاهش مصرف در طول شب و آخر هفته ها باشد . در بیشتر دستگاهها ، مقداری نشتی وجود دارد که این نشتی یک اتلاف مطلق تلقی می شود که بنابراین باید به حداقل برسد . اغلب نشتی ها ٪ ۱۵-۱۰ هوای فشرده تولید شده را تشکیل می دهند . میزان نشتی رابطهٔ نسبی با فشار کاری دارد که به همین علت یکی از روش های کاهش نشتی این است که تجهیزاتی را که نشتی دارند تعمیر کنیم و فشار کاری را برای مثال در طول شب کاهش دهیم .

4:6



این شکل چگونگی توزیع مصرف را طی یک هفته و 24 ساعت در روز نشان می دهد.مصرف طی شیفت های شب پایین است و در شیفت های روز بالاست.درزمان های استراحت بین بار افت می کند.اما در طول آخر هفته ها ثابت است.(نشت با تولید)

4:7

قطر سوراخ		جریان بیرون داد در فشار کاری 7bar	مقتضیات توان برای کمپرسور
اندازه	mm	l/s	kW
•	1	1.2	0.4
●	3	11.1	4.0
●	5	31	10.8
●	10	124	43

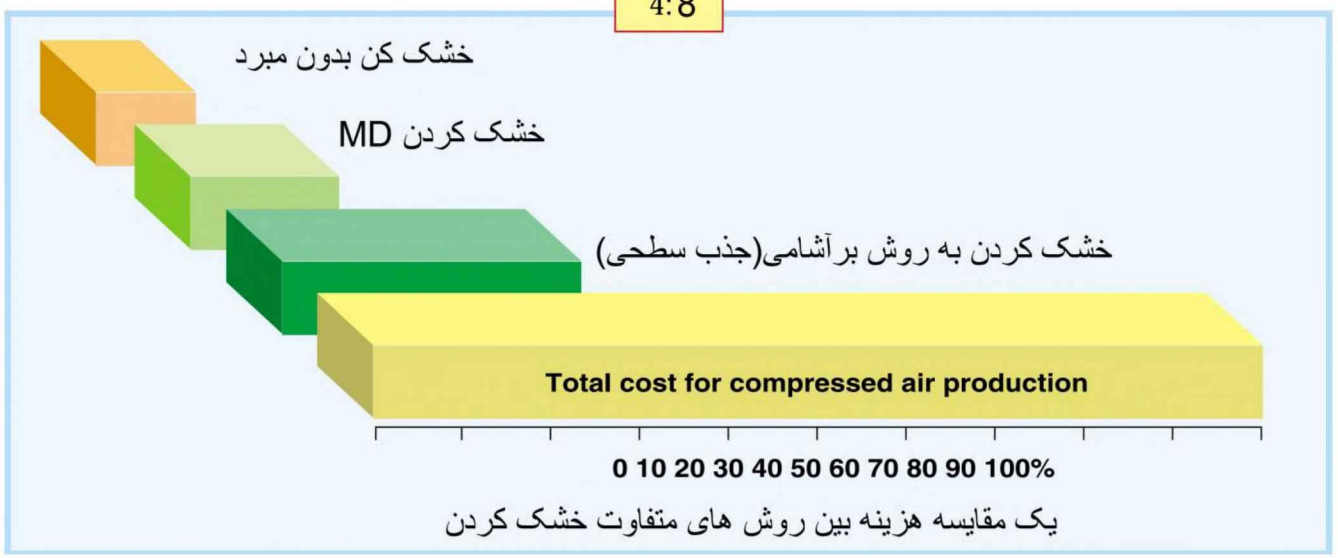
این جدول رابطه بین نشتی ها و توان مصرفی را برای برخی سوراخ های متفاوت و در سیستمی با فشار 7 بار نشان می دهد.

پایین آوردن فشار تا ۰/ ۳ بار می تواند میزان نشتی را تا ٪ ۴ کاهش دهد . اگر میزان نشتی در تأسیساتی با ظرفیت $100\ m^3/min$ برابر با ٪ ۱۲ باشد و فشار به میزان ۰/۳ بار کاهش داده شود ، میزان صرفه جویی نزدیک به 3KW بر ساعت خواهد بود ، که با مصرف برق در خانه ای که به طریق الکتریکی گرم می شود معادل است . حتی مصرف هوا در ماشین ها و تجهیزات, با افزایش فشار کاری ، افزایش می یابد.

۴-۲-۴ روش کنترل (Regulation method)

با استفاده از یک سیستم کنترل اصلی مدرن ، قسمت کمپرسور مرکزی می تواند به نحو مطلوبی برای وضعیت های مختلف اجرایی به کار انداخته شود و همزمان ایمنی و قابلیت دسترسی را افزایش دهد. انتخاب روش کنترل مناسب, این امکان را فراهم می آورد که مقدار انرژی عرضه شده با پایین آوردن فشار سیستم کاهش یافته و میزان مصرف برای هریک از موتور های موجود در تأسیسات بهینه سازی شود . در همین زمان قابلیت دسترسی افزایش می یابد که احتمال ایجاد توقف ناخواسته را کاهش می دهد . علاوه بر این کنترل مرکزی امکان برنامه ریزی برای کاهش فشار را به صورت خودکار در کل سیستم فراهم می آورد . برای مثال در طول انجام عملیات به هنگام شب و آخر هفته ها.

4:8



یک مقایسه هزینه بین روش های متفاوت خشک کردن

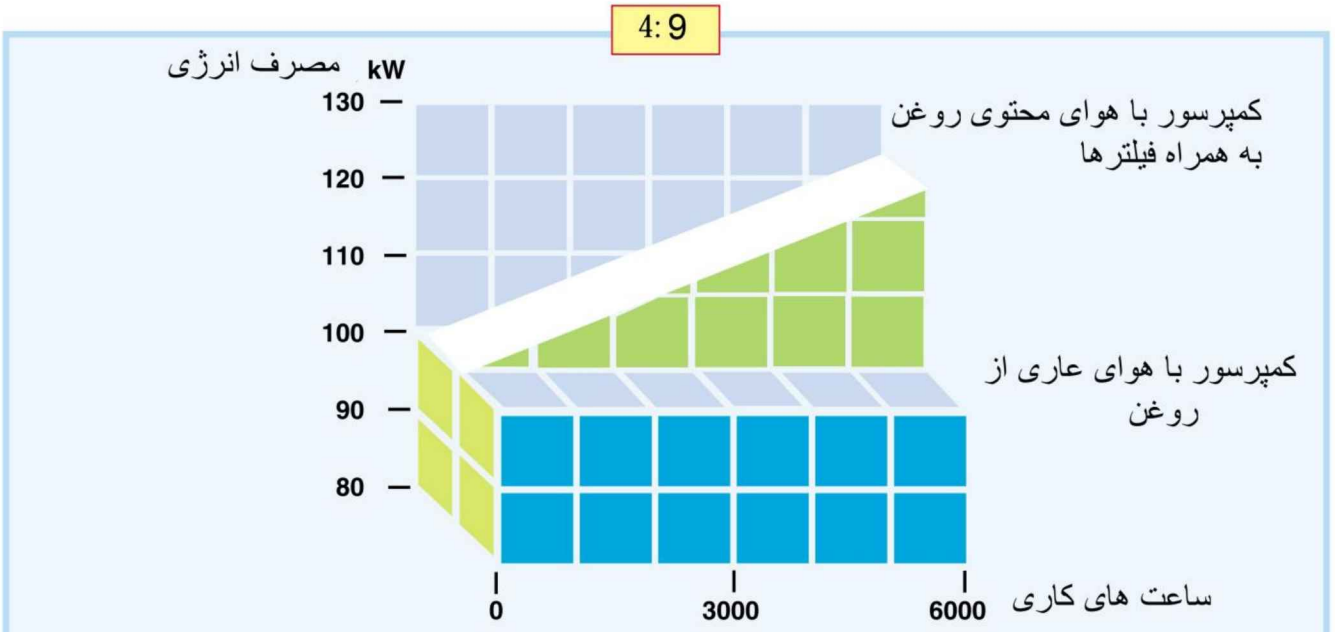
از آنجا که مصرف هوای فشرده به ندرت ثابت است بنابراین تأسیسات کمپرسور باید دارای طرح انعطاف پذیری باشد . برای مثال از کمپرسورهایی استفاده شود که دارای ظرفیت های متفاوت و موتورهای مجهز به کنترل سرعت باشند . کمپرسورهایی که دارای طرح حساب شده ای هستند ، می توانند با کنترل سرعت راه اندازی شوند و کمپرسورهای مارپیچی کاملاً برای این منظور مناسب می باشند ، زیرا ظرفیت و توان آنها در عمل رابطه ای نسبی با سرعت دارد .

۴-۲-۵ کیفیت هوا (Air quality)

هوای فشرده با کیفیت بالا نیاز به نگهداری و تعمیر را کاهش می دهد ، قابلیت اطمینان به سیستم هوای فشرده ، سیستم کنترل و تجهیزات ابزاردقیق را افزایش می دهد و در عین حال میزان فرسودگی دستگاههایی را که توسط هوا کار می کنند کاهش می دهد .

اگر سیستم هوای فشرده را از ابتدا به منظور تأمین هوای فشرده خشک تنظیم کنیم نصب تأسیسات کم خرج تر و ساده تر خواهد بود ، زیرا دیگر نیازی نیست که سیستم لوله کشی را به یک دستگاه جدا کننده آب و لوله های معروف به شتر گلویی (لوله های دو خم) مجهز کنیم .وقتی که هوا خشک باشد دیگر لازم نیست که آنرا به بیرون تخلیه کنیم تا بخار آن از بین برود .همچنین به تخلیه میعانات در سیستم لوله کشی نیازی نمی باشد ، بنابراین هزینه های نصب و نگهداری کاهش می یابد . برای مقرون به صرفه تر شدن سیستم می توان یک خشک کن هوای فشرده را بطور مرکزی نصب کرد . بهینه سازی هوا به صورت نامتمرکز با استفاده از چندین دستگاه کوچکتر درسیستم ، هم هزینه را بیشتر و هم نگهداری سیستم را دشوارتر می سازد .

با یک محاسبه معمولی مشخص می شود ، کاهش هزینه های مربوط به نگهداری و نصب در سیستمی که دارای هوای فشرده خشک است, هزینه های مربوط به تجهیزات خشک کن را پوشش می دهد . بازدهی بسیار مطلوب است ، حتی وقتی که تجهیزات خشک کن به تأسیسات مکمل موجود اضافه می گردد .



یک کمپرسور با هوای عاری از روغن نشان دهنده نسبت کیفیت هوای فشرده به هزینه انرژی معین ثابتی می باشد.

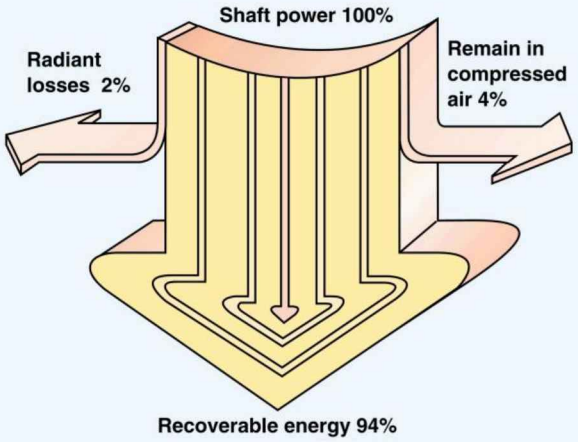
کمپرسورهای روغنکاری نشونده نیازی به دستگاه جداکننده روغن یا تجهیزات تمیز کاری آب تقطیر ندارند . همچنین این کمپرسورها به صافی نیازی ندارند و بنابراین از هزینه های مربوط به تعویض صافی صرف نظر می گردد . در نتیجه ، به جبران افت فشار در اثر وجود صافی نیاز نمی باشد بنابراین می توان فشار کاری کمپرسور را پایین آورد ، که این امر موجب بهبود بیشتر اقتصاد تأسیسات می گردد .

۴-۲-۶ بازیافت انرژی (Energy recovery)

اگر در تأسیسات تولیدی یا فرایندی خود از جریان الکتریکی ، گاز یا نفت برای هر نوع گرمایش استفاده می کنید ، دلایل خوبی برای بررسی امکان جایگزینی کلی یا جزئی انرژی با مازاد انرژی حاصل از تأسیسات هوای فشرده وجود دارد . عوامل قطعی شامل ارقام جایگزین موجود در SEK / kWh هستند که این ارقام مربوط به مازاد انرژی ، میزان مصرف و مقدار سرمایه گذاری اضافی می باشند . یک سرمایه گذاری که به خوبی برنامه ریزی شده , در بازیافت انرژی فقط در زمانی بین ۱ تا ۳ سال بازپرداخت خواهد شد . بیش از ۹۰٪ انرژی ذخیره شده در کمپرسور را می توان به شکل انرژی گرمایی با ارزشی بازیافت کرد . میزان درجه حرارت انرژی بازیافتی ، حوزه های کاربردی احتمالی و ارزش بازیافت را تعیین می کند .

بیشترین مقدار بازدهی معمولاً از دستگاههای آب خنک بدست می آید ، که در این موارد آب خنک کننده را که از دستگاه کمپرسور خارج می شود می توان بطور مستقیم به تجهیزات گرمایی مستمر متصل ساخت ، برای مثال مدار برگشت دیگ بخار. بنابراین مازاد انرژی را می توان بطور مؤثری در سرتاسر سال به کار برد . طرح های مختلف کمپرسور پیش نیازهای متفاوتی را طلب می نماید . در شرایطی که در مسیرهای جابجایی طویل به نقاط مصرف جریان حرارتی زیادی مورد نیاز می باشد (بطور عمده نیاز کمتر یا نیازی که در طول سال متغیر است) ،این می تواند جالب باشد که امکان فروش انرژی بازیافتی را بررسی کنیم.

4:10



Recovered energy kWh/year:

$W = [(K_1 \times Q_1) + (K_2 \times Q_2)] \times T_R$

Saving/year: $W \times e_p/\eta$

Saved oil m³/year: $W/6800 \times \eta$

- W = Recovered energy (kWh/year)
- T_R = Time per year when there is a need of power recovery (hours/year)
- K_1 = Part of T_R with loaded compressor
- K_2 = Part of T_R with off-loaded compressor
- Q_1 = Available power in coolant with loaded compressor (kW)
- Q_2 = Available power in coolant with off-loaded compressor (kW)
- e_p = Energy price
- η = Normal heat source's efficiency.

در همان زمانی که کمپرسور ،هوای فشرده تولید می کند؛انرژی تامین شده که به هوا یا آب خنک کاری منتقل می شود را به حرارت تبدیل می نماید.فقط بخش کوچکی به همراه هوای فشرده و بصورت تشعشع از دستگاه انتشار می یابد و در لوله ها جاری می گردد.یک کمپرسور هواخنک دارای ساده ترین سیستم بازیافت است درحالیکه یک کمپرسور آب خنک دارای امکانات بازیافت منعطف تر و کاراتر می باشد.

۴-۲-۷ نگهداری (Maintenance)

همانند تمام دستگاههای دیگر ، کمپرسورها نیز باید در مراحل اولیه و قبل از وارد آمدن خسارات جدی, تعمیر و اصلاح گردند و بدین ترتیب از وارد آمدن خسارات جدی و ایجاد وقفه در دستگاه جلوگیری کرد .

با استفاده از فراهم آوردن کارمندان خدماتی و قطعات یدکی اصلی ، می توانید انتظار داشته باشید که دستگاه دارای استاندارد فنی بالایی باشد و می توانید بر اساس جدیدترین یافته ها ، دستگا ههایتان را اصلاح کنید .

ارزیابی نیازهای مربوط به نگهداری توسط گروهی از تکنسین های آموزش دیده انجام می شود ، این تکنسین ها همچنین کارمندان مربوط به بخش نگهداری و تعمیر داخلی را نیز آموزش می دهند . خود شما نیز باید کارمندان با تجربه ای داشته باشید تا دستگاهها را بطور روزمره مورد بررسی قرار دهند ، به این علت که چشم ها و گوش ها چیزهایی را می توانند ببینند و بشنوند که سیستم ها و تجهیزات کنترل قادر به تشخیص آنها نیستند .

۴-۲-۷-۱ تجهیزات کمکی (Auxiliary equipment)

می توان به راحتی با استفاده از تجهیزات کمکی ، دستگاهها را گسترش داد ، برای مثال کیفیت هوا را افزایش داد و یا سیستم را فرابینی کرد . با این وجود ، حتی تجهیزات کمکی نیز نیاز به سرویس دارند و هزینه هایی برای نگهداری و تعمیر ایجاد می کنند ، برای مثال این هزینه ها می توانند به شکل تعویض صافی ها ، تعویض دستگاه ابزار خشک کن ، سازگاری با تجهیزات دیگر و آموزش کارمندان باشد .

علاوه بر این هزینه های نگهداری و تعمیر دیگری نیز وجود دارند ، مانند شبکه توزیع و دستگا ههای تولید ، که تحت تأثیر هزینه های کیفیت هوای فشرده و هزینه های ذخیره روغن و صافی قرار می گیرند . همه این هزینه ها باید در محاسبات مورد ارزیابی قرار گیرد که پایه ی اساسی سرمایه گذاری را تشکیل می دهد .

۴-۳ عوامل اقتصادی دیگر (Other economic factors)

۴-۳-۱ بررسی کلی (General)

شما می توانید یک تولید ، یک ماده یا خدماتی را به روش سیستماتیک (حتی ساده) به کمک بررسی چرخه عمر ، LCA توصیف و تحلیل نمایید . LCA تمامی مراحل موجود در چرخه عمر تولید را مورد بررسی قرار می دهد . واین معنی می دهد که همه چیز ، از انتخاب مواد اولیه تا پس ماند نهایی شامل این مطالعات می باشد .

نتیجه بررسی اغلب به عنوان مقایسه ای بین گزینه های مختلف مورد استفاده قرار می گیرد ، برای مثال ، تولیداتی با عملکردهای معادل . این دست آورد اغلب برای تأمین راهنمایی در مسائل مرتبط با فرایندها یا طراحی محصول مورد استفاده قرار می گیرد . همچنین بررسی چرخه عمر می تواند توسط شرکت هایی مورد استفاده قرار گیرد که در ارتباط با پیمانکاران ، مشتریان یا مقامات مسئول ویژگی های محصولات خود را توضیح دهند .

نتایج حاصل از بررسی چرخه عمر بطور عمده پایه و اساسی را برای تصمیم گیری درباره کاهش تأثیر محصول بر محیط زیست تشکیل می دهد . بررسی چرخه عمر, پاسخ گوی تمامی سؤالات نیست ، از جمله اینکه چرا موضوعات دیگری مثل کیفیت و فن آوری موجود باید مورد بررسی قرار گیرند تا مطالب, پس زمینه جامعی را ارائه دهد .

۲-۳-۴ هزینه چرخه عمر (LCC)

محاسبات هزینه چرخه عمر (هزینه چرخه عمر = LCC)همواره بیشتر به عنوان ابزاری برای ارزیابی گزینه های مختلف سرمایه گذاری استفاده می شوند . محاسبات هزینه چرخه عمر شامل, هزینه های توأم تولید در طی دوره ای خاص ، همچنین هزینه ثابت ، هزینه عملکردی و هزینه خدمات می باشد .

محاسبات هزینه چرخه عمر اغلب بر اساس طراحی دستگاه یا کار دستگاه قراردارد و بدین ترتیب میزان نیاز به دستگاههای جدید را تعیین می کند . با این وجود درست است که به این موضوع اشاره کنیم که محاسبه هزینه چرخه عمر اغلب با توجه به هزینه های آتی و دانش امروزی از وضعیت و تغییرات نرخ انرژی, به طور مطلوبی حدس زده می شود. باید به خاطر بسپاریم که مسائلی نظیر ایمنی تولید و هزینه های بعدی آن دارای اهمیت خاص می باشد .

برای انجام محاسبه هزینه چرخه عمر لازم است که اطلاعات و تجربه ای در باره دستگاههای هوای فشرده داشته باشیم . هزینه چرخه عمر برای اینکه بهترین نتیجه را ارائه کند باید بین خریدار و فروشنده حکم مشاور را داشته باشد. مسائل مرکزی عبارتند از چگونگی گزینه های مختلف سرمایه گذاری و عواملی نظیر : کیفیت تولید ، ایمنی تولید ، نیاز به سرمایه گذاری ، نگهداری تجهیزات تولید و شبکه توزیع ، محیط اطراف ، کیفیت محصول نهایی ، ارزیابی احتمال ایجاد وقفه در حین عملیات و دورریزی ها را تحت تأثیر قرار می دهد . اصطلاحی که نباید هرگز در این فهرست فراموش شود LCP ، سود چرخه عمر است به عبارت دیگر در آمدی که می تواند از طریق بازیافت انرژی و کاهش دورریزها بدست آید.

4:11

Example of a compressor calculation

داده های درون دادی						
قیمت الکتریسیته	SEK/kWh	0.45				
محاسبه سودها	%	12				
دوره کاهش بهاء	years	10				
زمان عملیات	hours/year	6 000				
		Comp 1	**Comp 2**	**Comp 3**	**Dryers**	**TOTAL**
مصرف سالانه						
الکتریسیته	MWh/year	1 200	555	406	133	2 294
آب(سیستم گردشی)	m^3/year	-	-	-	-	-
هزینه های عملیاتی تقسیم شده						
الکتریسیته	kSEK/year	540	250	183	60	1 033
آب	kSEK/year	6	4	2	0	12
هزینه های سالانه بدون بازیافت انرژی	**kSEK/year**	**760**	**383**	**197**	**114**	**1 454**
هزینه های عملیاتی	kSEK/year	547	254	185	60	1 046
هزینه های سرمایه داری	kSEK	167	99	2	44	312
سرویس و نگهداری	kSEK/year	45	30	11	11	97
تولید هوا ،کلی	**Mm^3/year**	**12 600**	**5 760**	**3 670**	**-**	**22 030**
بازیافت انرژی						
قیمت انرژی	SEK/kWh	0.4	0.4	0.4	-	-
ذخیره بازیافت	months/year	10	10	8	-	-
میزان بازیافت	%	94	94	94	-	-
کیفیت بازیافت انرژی	MWh/year	893	395	233	-	1 521
هزینه سالانه با بازیافت انرژی	**kSEK/year**	**413**	**234**	**109**	**114**	**870**
صرفه جویی با بازیافت انرژی	kSEK/year	347	149	88		584
هزینه های بخصوص هوا	öre/m^3	6.0	6.6	5.4	0.5	6.6
بدون بازیافت انرژی						
هزینه های بخصوص هوا	öre/m^3	3.3	4.1	3.0		3.9
با بازیافت انرژی						

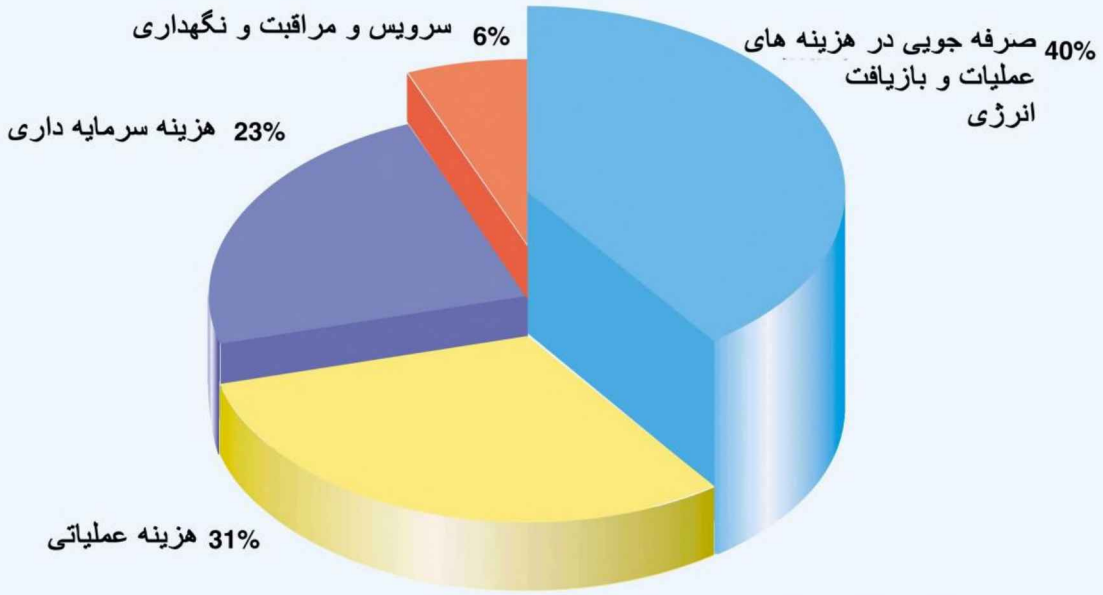
Note:values have been rounded off.

هنگام ارزیابی هزینه های سرویس و نگهداری باید بعد از سپری کردن دوره محاسبه ، شرایط مورد انتظار دستگاهها را نیـز در نظر بگیرید . علاوه بر این مدل محاسبه نیز باید با نوع کمپرسور تطبیق داده شود . مثال زیر را می توان به عنوان مدلی برای ارزیابی اقتصادی دستگاه کمپرسور ، به همراه بازیافت انرژی و یا بدون بازیافت انرژی ، مورد استفاده قرار داد .

4:12

این شکل چگونگی تقسیم هزینه ها را بدون بازیافت انرژی نشان می دهد.

4:13



این شکل چگونگی تقسیم هزینه ها را با در نظر گرفتن بازیافت انرژی نشان می دهد.

بخش پنجم

محاسبات

۵-۱ مثالی از برآورد ظرفیت تأسیسات هوای فشرده

(Example of dimensioning compressed air installations)

تعدادی محاسبه معمولی برای برآورد ظرفیت تأسیسات هوای فشرده به شرح زیر ارائه می گردد .ما می خواهیم چگونگی استفاده از بعضی فرمول ها و داده های فصل های قبل رانشان دهیم .نمونه ای بر اساس نیازمندی هوای فشرده ی تقاضا شده قرار داردو نتیجه ی داده های برآورد ظرفیت, بر اساس تجهیزاتی است که می توانند برای تأسیسات هوای فشرده انتخاب شوند . بعد ازنمونه ، تعدادی مطلب اضافی وجود دارد که نشان می دهد چگونه موارد خاص می توانند کنترل شوند.

۵-۲ داده های ورودی (Input data)

قبل از شروع برآورد, باید مقتضیات هوای فشرده و شرایط محیط ثبت گردند . علاوه بر این نیازمندی ، تصمیمی مبنی بر این که آیا کمپرسور باید روغنکاری شونده یا روغنکاری نشونده باشد و آیا دستگاه باید آب خنک یا هوا خنک باشد ، باید گرفته شود .

۵-۲-۱ مقتضیات (Requirement)

فرض کنید که نیاز شامل سه مصرف کننده هوای فشرده است .

آنها دارای داده های زیر هستند :

مصرف کننده	جریان	فشار	نقطه شبنم
1	12 Nm^3/min	6 bar(e)	+5°C
2	67 l/s (FAD)	7 bar(a)	+5°C
3	95 l/s (FAD)	4 bar(e)	+5°C

۵-۲-۲ شرایط محیطی (برآورد ظرفیت) (Ambient conditions (dimensioning))

اندازه گیری دمای محیط اطراف : ۲۰ °C

حداکثر دمای محیط اطراف : ۳۰ °C

فشار محیط اطراف : ۱ bar(a)

رطوبت : ٪ ۶۰

۵-۲-۳ موارد متفرقه (Miscellaneous)

دستگاه خنک کننده هوا

کیفیت هوای فشرده بدست آمده از کمپرسور روغنکاری شونده کافی به نظر می رسد .

۵-۳ انتخاب اجزاء تشکیل دهنده (Component selection)

عقیده خوبی است که تمام داده های ورودی را از جدول مقتضیات بخش ۵-۲-۱ دوباره محاسبه کنیم ، به طوری که قبل از شروع برآورد ظرفیت اجزاء مختلف ، این داده ها با توجه به نوع اجزاء همگن شوند .

جریان : بطور کل برای تعیین ظرفیت کمپرسور از واحد l/s استفاده می شود ، و به همین دلیل مصرف کننده شماره ۱ را که بر حسب $N\ m^3/min$ ارائه شده است باید دوباره محاسبه کرد .

$$12\ N\,m^3/min = 12 \times 1000 / 60 = 200\ Nl/s$$

با وارد کردن داده ورودی جریان در فرمول ، داریم :

$$Q_{FAD} = \frac{Q_n \times (273 + T_i) \times 1/013}{273 \times P_i} = \frac{200 \times (273 + 35) \times 1/013}{273 \times 0/74} \approx 309\ 1/s\ (FAD)$$

فشار : واحدی که بطور معمول برای تعریف فشار قسمت های مختلف کمپرسور استفاده می شود بر حسب فشار مازاد در بار است ، برای مثال bar(e) .

مصرف کننده شماره ۲ بر حسب فشار مطلق بیان می شود ، مثل ۷ bar(a) . فشار محیط باید از این bar ۷ کسر شود تا فشار مازاد حاصل آید . از آنجا که در این مورد ، فشار محیط ۱ بار است فشار برای مصرف کننده شماره ۲ می تواند به صورت ۷ - ۱ bar(e) = 6 bar(e) نوشته شود .

با محاسبه مجددی که در بالا صورت گرفته ، جدول مقتضیات همگن بصورت زیر در می آید :

مصرف کننده	جریان	فشار	نقطه میعان
1	225 l/s (FAD)	6 bar(e)	+5°C
2	67 l/s (FAD)	6 bar(e)	+5°C
3	95 l/s (FAD)	4 bar(e)	+5°C

۵-۳-۱ برآورد ظرفیت کمپرسور (Dimensioning the compressor)

مصرف کلی برابر است با مجموع سه مصرف کننده : ۲۲۵ + ۶۷ + ۹۵ = ۳۸۷ l/s

یک ایمنی نهایی تقریبی ٪۲۰-۱۰ نیز باید به آن اضافه گردد ، بدین ترتیب میزان جریان اندازه گیری شده برابر است با $387 \times 1/15 \approx 445\ 1/s$ (با ٪۱۵ ایمنی نهایی)

حداکثر فشار مورد نیاز برای مصرف کننده ها ، ۶ bar(e) است . مصرف کننده اندازه گیری شده با احتساب افت فشار, مصرف کننده ای است که به بالاترین فشار نیاز دارد .

یک شیر کاهش فشار باید به مصرف کننده ای که به bar(e) ۴ نیاز دارد متصل گردد . فرض کنید زمانی که فشار در خشک کن ، صافی و لوله افت می کند ، این افت در مجموع بیشتر از bar ۱/۵ نیست . بنابراین کمپرسوری با حداکثر فشار کاری bar(e) ۷/۵ ، مناسب است .

۵-۳-۲ فرضیاتی برای محاسبه مستمر (Assumption for the continued calculation)

کمپرسوری با داده های زیر انتخاب می شود :

حداکثر فشار = ۷/۵ bar (e)

چگونگی جریان در ۴۵۰ l/s = 7 bar(e)

توان تغذیه شده کلی در ۱۷۵ kW = 7 bar(e)

توان تغذیه شده محور گردنده در ۱۶۲ kW = 7 bar(e)

درجه حرارت هوای فشرده ی بیرون از کمپرسور برابر است با درجه حرارت محیط + ۱۰°C

گذشته از این ، کمپرسور انتخاب شده دارای کنترل باردهی / بی بار سازی با حداکثر فرکانس چرخه ۳۰ ثانیه است . با استفاده از کنترل باردهی / بی بار سازی ، کمپرسور انتخاب شده دارای فشاری است که بین bar(e) 7/5 - 7/0 در تغییر است .

۵-۳-۳ برآورد ظرفیت حجم مخزن ذخیره هوا (Dimensioning of the air receiver volume)

Q_C = ظرفیت کمپرسور (l/s) = ۴۵۰ l/s

P_i = فشار ورودی کمپرسور (bar (a)) = 1 bar(a)

T_i = حداکثر دمای ورودی کمپرسور (K) = 273 + 30 = 303 K

T_{max} = حداکثر فرکانس چرخه = 1 / 30 ثانیه

(P_U P_L) = تفاوت فشار بین کمپرسور باردهی شده و کمپرسور بی بار سازی شده (bar) = 0/05 bar

T_O = درجه حرارت هوای فشرده در بیرون از کمپرسور مورد نظر ، 10°C بیشتر از دمای محیط است،

به همین علت حداکثر درجه حرارت در مخزن ذخیره هوا برابر است با : ۲۷۳+۴۰=۳۱۳ K

کمپرسوری که دارای کنترل باردهی / بی بار سازی است ، فرمول صحیحی برای حجم مخزن دخیره هوا ارائه می دهد .

$$V = \frac{0/25 \times Q_C \quad T_O}{f_{max} \times (p_U \quad p_L) \times T_i} = \frac{0/25 \times 450 \times 313}{1/30 \times 0.5 \times 303} = \underline{6972 \quad 1}$$

این حداقل حجم پیشنهاد شده مخزن ذخیره هوا است . اندازه استاندارد بعدی تا آخر (فرمول) انتخاب شده است.

۵-۳-۴ برآورد ظرفیت خشک کن (Dimensioning of the dryer)

از آنجا که نقطه شبنم مورد نیاز در این مثال ، ۶+ °C است ، خشک کن تبریدی مناسب ترین گزینه خشک کن است . هنگام انتخاب اندازه ی خشک کن تبریدی ، باید چندین ضریب را مورد توجه قرار دهیم ، برای تصحیح کردن ظرفیت خشک کن تبریدی از ضریب های تصحیح استفاده کنید . این ضریب های تصحیح برای هر مدل خشک کن تبریدی ، منحصر بفرد است . در زیر ضریب های تصحیح قابل استفاده برای خشک کن های تبریدی Atlas Copco مورد استفاده قرار گرفته که آنها در صفحه داده های Atlas Copco بیان می شوند . در اینجا چهار ضریب تصحیح ذکر شده است .

۱- دمای ورودی خشک کن تبریدی و نقطه شبنم فشار .

از آنجا که دمای هوای فشرده در بیرون از کمپرسور مورد نظر ، ۱۰ °C بالاتر از درجه حرارت محیط اطراف است ، بنابراین دمای ورودی خشک کن تبریدی ، حداکثر برابر است با ۴۰°C=۱۰+۳۰ . علاوه بر این ، نقطه شبنم فشار مطلوب برابر است با ۵+°C .

ضریب تصحیح ۰/۹۵ از صفحه داده های Atlac Copco بدست می آید .

۲- فشار کاری

فشار کاری واقعی در کمپرسور مرکزی نزدیک به ۷ bar است که بیانگر ضریب تصحیح ۱/۰ است .

۳- دمای محیط

اگر حداکثر درجه حرارت محیط ۳۰°C باشد ، عدد تصحیح برابر است با ۰/۹۵.

به همین ترتیب ، خشک کن تبریدی باید قادر به تحمل ظرفیت کامل کمپرسور ضربدر ضریب تصحیح ذکر شده در بالا باشد .

450 : 0/95 **x** 1/0 : 0/95 = <u>406 l/s</u>

۵-۳-۵ فرضیاتی برای محاسبه مستمر (Assumptions for the continued calculation)

یک خشک کن تبریدی هوا خنک با داده های زیر انتخاب شده است :

ظرفیت در 450 l/s = 7 bar(e)

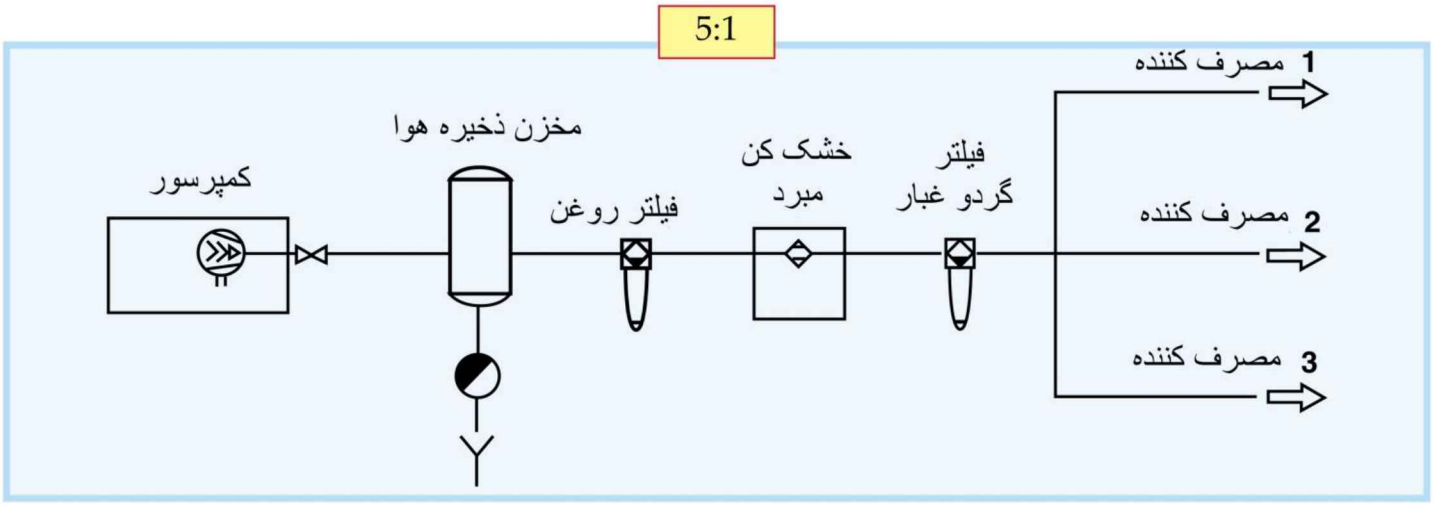
کل توان مصرفی = 5.1 kW

جریان گرمای پخش شده در محیط = 14/1 kW

افت فشار در خشک کن = 0/09 bar

۶-۳-۵ محاسبات کنترل (Control calculations)

وقتی که تمامی قسمت های تشکیل دهنده دستگاه کمپرسور انتخاب شدند ، باید بررسی کنیم که افت فشار خیلی زیاد نباشد.
به این منظور باید افت فشار را در قسمت های مختلف کمپرسور و لوله ها با یکدیگر جمع کنیم .
به گونه ای که در شکل ۵:۱ مشاهده می کنید ، می توان از تأسیسات هوای فشرده یک نمودار کلی طراحی کرد.



افت فشار برای قسمت های تشکیل دهنده کمپرسور از طریق عرضه کنندگان این قطعات بدست می آید ، در حالیکه افت فشار در سیستم لوله کشی از 0/1 bar تجاوز نمی کند .

اجزاء	افت فشار(bar)
صافی روغن(افت فشار زمانی که صافی جدید است)	0.14
خشک کن تبریدی	0.09
صافی گردوغبار(افت فشار زمانی که صافی جدید است)	0.2
سیستم لوله کشی در کمپرسور مرکزی	0.05
سیستم لوله کشی از کمپرسور مرکزی تا نقاط مصرف	0.1
:افت کلی فشار	0.58

حداکثر فشار ۷/۵ bar(e) و فشار کاری 7/0 bar(e) در کمپرسور مورد نظر برای مصرف کننده ها, پایین ترین فشار 7/5 – 0/58 = 6/42 bar(e) را ارائه می دهد . باید به این رقم ، افزایش افت فشار را که با بهره برداری بیش از حد از صافی رخ می دهد اضافه کنید . این افزایش افت فشار را می توان از عرضه کننده صافی دریافت نمود .

۵–۵ اندازه گیری های دیگر (Other dimensioning)

۵-۴-۱ محاسبه کمیت آب تقطیر (Condensation quantity calculation)

به این علت که در این مثال کمپرسورروغنکاری شونده انتخاب شده است ، بنابراین آب تقطیر جدا شده از کمپرسور و خشک کن تبریدی, حاوی روغن خواهد بود . قبل از اینکه آب وارد فاضلاب شود باید روغن آن جدا شود ، که این کار می تواند در دستگاه جدا کننده روغن صورت بگیرد . به منظور تعیین اندازه ی جدا کننده روغن ، اطلاعاتی مبنی بر مقدار آب تقطیر شده, مورد نیاز است .

مقدار کل جریان آب در هوای وارد شده از طریق رابطه زیر بدست می آید :

f_1 = جریان هوا **x** مقدار آبی که هوا در حداکثر دمای محیط ۳۰ °C می تواند جذب نماید **x** رطوبت نسبی **x** 0/6

0/030078 **x** 445 ≈ 8/0 g/s .

مقدار آب باقی مانده در هوای فشرده , بعد از خشک کردن , از این کمیت کسر می شود (وضعیت اشباع در ۶+° C)

$$f_2 = \frac{1 \times 0/007246 \times 445}{8} \approx 0/4 \ g/s$$

بنابراین, جریان کلی تقطیر بدست آمده از دستگاه f_3 برابر است با :

$$f_1 \quad f_2 = 8/0 \quad 0/4 = 7/6 \ g/s \approx 27/4 \ kg/hour$$

به کمک محاسبه ی جریان تقطیر , می توان جدا کننده ی مناسبی برای روغن انتخاب کرد .

۵-۴-۲ مقتضیات تهویه در اتاقک کمپرسور (Ventilation requirement in the compressor room)

برای تعیین مقتضیات تهویه هوا در اتاق کمپرسور از این اصل استفاده می شود که توان به کار گرفته شده در هوای اتاق باید از طریق دستگاه تهویه هوا خارج شود .

برای انجام این محاسبه از رابطه زیر استفاده می شود :

$Q = m \times C_p \times \Delta T$

Q = جریان کلی گرما (kW)

m = جریان جرم (kg/s)

C_p = ظرفیت گرمایی مخصوص (kJ/kg,K)

ΔT = اختلاف دما (K)

فرمول مورد نظر را می توان به این صورت نوشت :

$$m = \frac{Q}{C_p \bullet \Delta T}$$

که :

ΔT افزایش دمای هوای تهویه

$\Delta T = 10K$ فرض کنید که افزایش دمای هوا می تواند تا 10 K مورد قبول باشد

C_p = 1/006 kJ/kg **x** K (20°C و 1 bar ظرفیت گرمایی مخصوص برای هوا (در

جریان کلی گرما(برحسب kW) = Q

(٪ ۹۴ توان اعمال شده در محور گردنده کمپرسور + اختلاف بین توان کل اعمال شده در کمپرسور
و توان محور گردنده اعمال شده در کمپرسور + جریان گرمای بدست آمده از خشک کن تبریدی)

$= 0/94 \times 162 + (175 - 162) + 14/1 \approx 180\ kW$

که هوای تهویه را ارائه می دهد .

$$m = \frac{Q}{c_p \times \Delta T} = \frac{180}{1/006 \times 10} \approx 17/9\ kg/s$$

که در دانسیته هوای ۱/۲ kg/m^3 معادل است با ۱۵ $\approx$ ۱/۲ / ۱۷/۹ m^3/s

۵– ۵ (ضمیمه ۱) در ارتفاع بالا (At high altitude ((Addition 1)

سوال : کمپرسوری که در مثال قبل توضیح داده شد را با همان مقتضیات هوای فشرده ، در نظر بگیرید ، که در ارتفاع ۲۵۰۰ متری بالاتر از سطح دریا قرار دارد و دارای حداکثر دمای محیط $35^{\circ}C$ می باشد . ظرفیت این کمپرسور چقدر باید باشد؟

جواب : هوا در ارتفاعات بالا رقیق تر است ، که باید به هنگام برآورد ظرفیت تجهیزات که مقتضیات هوای فشرده برای شرایط معمولی تعیین نموده است (برای مثال $N\,m^3/min$) ، در نظر گرفته شود . در مواردی که جریان در مصرف کننده بر حسب کمیت هوای آزاد (FAD) بیان می شود ، نیازی به محاسبه مجدد نیست .
به این علت که مصرف کننده شماره ۱ در مثال بالا بر حسب واحد $N\,m^3/min$ ارائه شده است بنابراین جریان لازم برای این مصرف کننده باید دوباره محاسبه شود . شرایط ۱ bar و $20^{\circ}C$ وضعیتی است که کارایی کمپرسور در آن عادی می باشد ، به همین علت ، اگر کمپرسور در وضعیت ۲۵۰۰ متری از سطح دریا قرار گیرد باید آن را طبق این وضعیت دوباره محاسبه کرد .

با استفاده از جدول ، فشار محیط ۰/۴۷ bar را در ارتفاع ۲۵۰۰ متری از سطح دریا می توان بدست آورد . اگر جریان بر حسب Nl/s ($12\ N\ m^3/min = 12000 / 60\ Nl/s = 200\ Nl/s$) محاسبه گردد و در فرمول گنجانده شود ، رابطه زیر حاصل می گردد :

$$Q_{FAD} = \frac{Q_n \times (273 + T_i) \times 1/013}{273 \times P_i} = \frac{200 \times (273 + 35) \times 1/013}{273 \times 0/74} \approx 309\ l/s\ (FAD)$$

بنابراین ظرفیت کلی کمپرسور مورد نظر برابر است با : ۳۰۹ + ۶۷ + ۹۵ = ۴۷۱ l/s (FAD)

۶-۵ (ضمیمه ۲) خروجی متناوب (Intermittent output ((Addition 2)

سوال : فرض کنید که در محاسبات مثال بالا مصرف کننده شماره ۱ در هر ساعت, مقدار هوای فشرده بیشتری حدود l/s ۲۰۰ برای مدت۴۰ ثانیه را نیاز داشته باشد . همانطور که می دانید در طول این مرحله, فشار سیستم تا bar(a) ۵/۵ افت می کند . حجم مخزن ذخیره هوا چقدر باید باشد تا بتواند این نیاز اضافی را بر آورده سازد ؟

جواب : این امکان وجود دارد که در طول دوره کوتاهی با ذخیره کردن هوا در مخزن ذخیره, بتوان هوای فشرده بیشتری را نسبت به میزانی که کمپرسور می تواند ارائه کند ، بدست آوریم . با این وجود برای بدست آوردن این مقدار هوای اضافی, لازم است که کمپرسور ظرفیت بالای معینی داشته باشد .

رابطه زیر درباره این موضوع به کار می رود :

$$V = \frac{Q \times t}{P_1 \quad P_2}$$

$Q = 200$ l/s جریان هوا در مدت زمان مرحله تخلیه

$t =$ ۴۰ ثانیه مدت زمان مرحله تخلیه

$P_1 \quad P_2 = 6/46 - 5/5 = 0/96$ bar

حداقل فشار قابل قبول طی مرحله تخلیه ـ فشار معمولی = افت فشار مجاز طی مرحله تخلیه

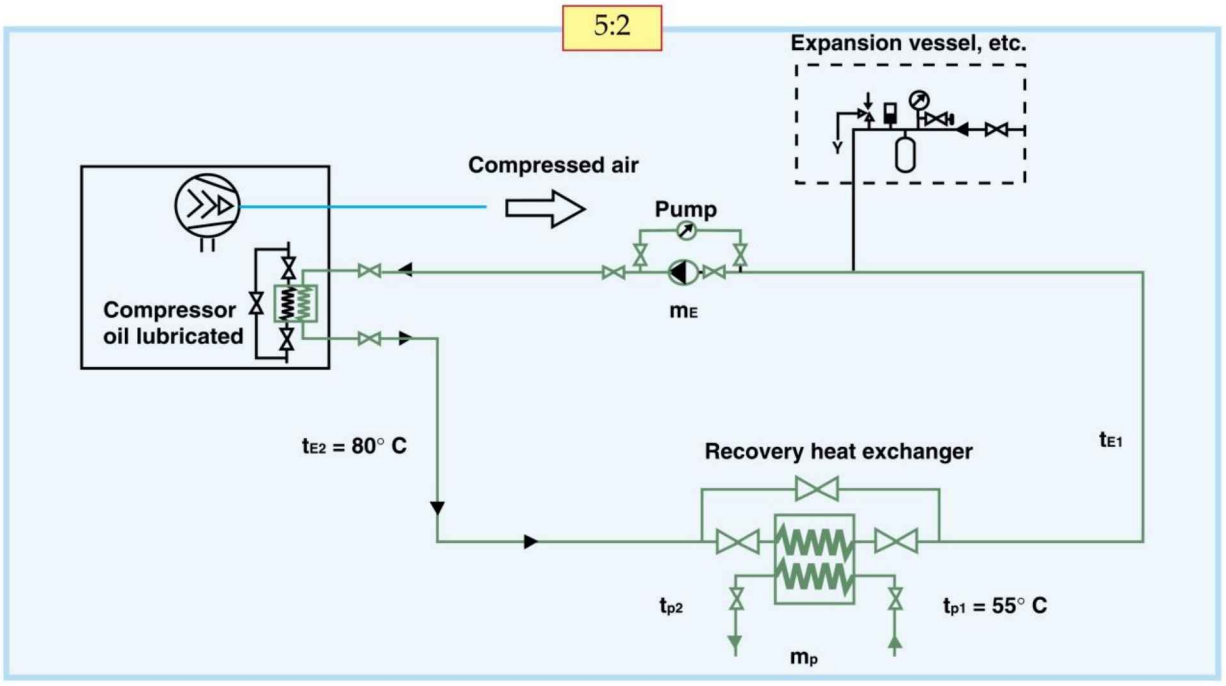
با وارد کردن آن در فرمول ، حجم مخزن ذخیره هوای مورد نیاز بدست می آید :

$$V = \frac{Q \times t}{P_1 \quad P_2} = \frac{200 \times 40}{0/96} \approx 8340$$

علاوه بر این ، لازم است که کمپرسور دارای ظرفیت مازاد معینی باشد ، بطوری که بتواند مخزن ذخیره هوا را بعد از مرحله تخلیه پر کند . کمپرسور انتخاب شده دارای ظرفیت مازاد 5 l/s = 18000 liters/hour است.

از آنجا که مخزن ذخیره هوا, هر یک ساعت یکبار تخلیه می شود; بنابراین ظرفیت مازاد کمپرسور بیش از مقدار مورد نیاز است .

۷-۵ (ضمیمه ۳) بازیافت انرژی آب بردی ((Addition 3) Water borne energy recovery)



سوال : قرار است که یک مدار بازیافت انرژی آب بردی برای کمپرسوری که در مثال های بالا ذکر شده ساخته شود . فرض کنید آبی که قرار است گرما داده شود در یک مدار برگشت آب گرم (برگشت دیگ آبگرم) است که دارای دمای برگشت ورودی ۵۵°C است . جریان مورد نیاز برای مدار بازیافت انرژی و مقدار توان بازیافت شده را محاسبه کنید .

جواب : ابتدا مدار بازیافت انرژی را رسم کنید و توان ، جریان و درجه حرارت های متفاوت را نامگذاری کنید . اکنون، محاسبه زیر را دنبال نمایید :

Q_E مقدار توان منتقل شده از کمپرسور به مدار بازیافت انرژی(kW)

Q_P مقدار توان منتقل شده از مدار بازیافت انرژی به برگشت دیگ آبگرم(kW)

m_E جریان آب در مدار بازیافت انرژی(l/s)

m_P جریان آب در مدار برگشت دیگ آبگرم(l/s)

t_{E1} دمای آب قبل از کمپرسور(°C)

t_{E2} دمای آب بعد از کمپرسور(°C)

t_{P1} دمای آب ورودی در مدار برگشت آبگرم(°C)

t_{P2} دمای آب خروجی در مدار برگشت آبگرم(°C)

۵-۷-۱ فرض (Assumption)

شرایط زیر فرض شده است :

برای بازیافت انرژی می توان دمای آب مناسبی را بعد از کمپرسور از تأمین کننده کمپرسور بدست آورد و در این مثال ، فرض می شود که این دما برابر $t_{E2} = ۸۰^{\circ} C$ باشد .

فرض برای مدار آب از طریق مبدل حرارتی بازیافت انرژی به این صورت است :

$t_{E1} = t_{P1} + 5\ ^{\circ}C$

$t_{P2} = t_{E2} + 5\ ^{\circ}C$

علاوه بر این فرض می شود که مبدل حرارتی و لوله هیچ تبادل گرمایی با محیط اطراف ندارند .

۵-۷-۲ محاسبه جریان آب خنک کننده در مدار بازیافت انرژی

(Calculation of the cooling water flow in the energy recovery circuit)

$Q = m \times c_p \times \Delta T$

$\Delta T = t_{E2} - t_{E1} = 80^{\circ}C - 60^{\circ}C = 20^{\circ}C$ افزایش دما در کمپرسور

$c_p = 4/18\ kJ / kg \times K$ ظرفیت گرمایی مخصوص آب

$Q = Q_E$ توانی که می تواند مورد نظر قرار گیرد

$0/70 \times 162 = 113/4\ kW$ ۷۰ ٪ توان منتقل شده به محور گردنده

این توانی است که در کمپرسور مورد نظر امکان بازیافت دارد .

$m = m_E$ جریان جرم در مدار بازیافت انرژی

فرمول می تواند بصورت زیر نوشته شود :

$$m_E = \frac{Q_E}{c_P \times \Delta T} = \frac{113}{4/18 \times 20} = \underline{1/35\ kg/s}$$

۵-۷-۳ تعادل انرژی در مبدل حرارتی بازیافت

(Energy balance across the recovery heat exchanger)

برای مبدل حرارتی بازیافت رابطه زیر به کار می رود :

$Q_E = m_E \times c_p \times (t_{E2} - t_{E1})$

$Q_p = m_p \times c_p \times (t_{P2} - t_{P1})$

با این وجود ، به این علت که فرض شده است هیچ تبادل گرمایی با محیط اطراف صورت نمی گیرد ، بنابراین انرژی ای که از کمپرسور به مدار بازیافت انرژی منتقل می شود با انرژی ای که به مبدل حرارتی بازیافت منتقل می شود ، برابر خواهد بود ، برای مثال :

$Q_E = Q_p = 113\ kW$

فرمول می تواند بصورت زیر نوشته شود :

$$m_p = \frac{Q_p}{(t_{p2} \times t_{p1}) \times c_P} = \frac{113}{(75 \quad 55) \times 4/18} \approx \underline{1/35 \ \ l/s}$$

۵-۷-۴ جمع آوری پاسخ (Compilation of the answer)

می توان از محاسبات نتیجه گرفت که توان قابل بازیافت برابر است با ۱۱۳ kW . این بازیافت نیازمند وجود جریان آب در مدار بازیافت انرژی ۱/۳۵ l/s است . یک جریان مناسب برای مدار بازگشت دیگ آبگرم برابر با ۱/۳۵ l/s به همراه افزایش دمای دیگ آبگرم تا ۲۰°C است .

۵-۸ (ضمیمه ۴) افت فشار در سیستم لوله کشی

((Addition 4) Pressure drop in the piping)

سوال : یک لوله ۲۳ متری که دارای قطر داخلی 80mm است باید جریانی حدود ۱۴۰ l/s را از خود عبور دهد . این لوله دارای ۸ زانویی است که قطر تمام آنها با قطر درونی لوله یکسان است . اگر فشار مطلق آغازین ۸ bar(a) باشد ، افت فشار در سراسر لوله چقدر خواهد بود ؟

جواب : ابتدا طول معادل برای ۸ زانویی باید تعیین شود . طبق جدول ۳۶ :۳ طول لوله معادل برای هر زانویی ۱/۳ متر است . بنابراین طول کلی لوله برابر است با ۳۳/۴ = ۲۳ + ۱/۳ × ۸ متر .

برای محاسبه افت فشار ، فرمول زیر به کار می رود :

$$\Delta P = 450 \ \frac{Q^{1/85}{}_c \times 1}{d^5 \times P}$$

با جایگزین کردن ارقام داریم :

$$\Delta P = 450 \ \frac{140^{1/85} \times 33/4}{80^5 \times 8} \approx 0/0054 \quad bar$$

بدین ترتیب ، افت کلی فشار در سراسر لوله برابر با ۰/۰۰۵۴ bar خواهد بود.

بخش ششم

کمیت ها ، واحدها و نمادها

۱-۶ استاندارد سیستم بین المللي متریک (The SI -system)

از سال ۱۹۶۴ ، SI به عنوان استانداردی سوئدی درحوزه کمیت ها و واحدها بوده است و اطلاعات پایه ای رامی توان در SIS 01 61 18 (اصول کلی و قوانین نوشتاری) و SIS 01 61 26 (پیشوندها برای واحدهای چندگانه)و SIS 01 61 32

(واحدهای سیستم بین المللي متری ، فرعی و واحدهای اضافی) بدست آورد.

واحدها به چهار گروه متفاوت تقسیم می شوند :

واحدهای اصلی

واحدهای مکمل

واحدهای فرعی

واحدهای اضافی

اگر پیشوندی (میکرو ، میلی ،کیلو ، مگا و غیره) قبل از یک واحد قرار گیرد ، این واحد تشکیل شده یک واحد مرکب نامیده می شود .

واحدهای اصلی ، مکمل، فرعی و اضافی همگی واحدهای SI نامیده می شوند و واحدهای مرکبی که توسط واحدهای SI تشکیل می شوند ، واحدهای موجود در استاندارد سیستم بین المللي متری نامیده می شوند .

واحدهای اصلی ، از جمله واحدهای مستقل و تثبیت شده ای هستند که تمامی واحدهای دیگر را می توان در آنها بیان کرد .

هفت واحد اصلی در استاندارد سیستم بین المللي متری وجود دارد :

واحد طول	**متر**	**m**
واحد جرم	**کیلو گرم**	**kg**
واحد زمان	**ثانیه**	**s**
واحد جریان الکتریکی	**آمپر**	**A**
واحد دما	**کلوین**	**K**
واحد شدت نور	**شمع**	**cd**
واحد مقدار ماده	**مول**	**mol**

واحد های مکمل واحدهایی هستند که دارای طبیعتی پایه ای می باشند ، ولی جزء گروه واحدهای اصلی یا واحدهای فرعی قرار نمی گیرند .

در SI دو واحد مکمل وجود دارد :

واحد زاویه مسطحه	**رادیان**	**rad**
واحد زاویه فضایی	**استرادیان**	**sr**

بر طبق قوانین فیزیکی, واحدهای فرعی برای ایجاد ارتباط بین واحد های مختلف از توان یا مضربی از توان هایی از یک یا چند واحد اصلی و/ یا واحد های مکمل, تشکیل می شوند .

در جدول زیر ۱۵ واحد فرعی آمده است ، این واحدها دارای نام خاص خودشان می باشند :

برحسب واحدهای بنیادی واحدهای مکمل	برحسب واحدهای دیگر SI	نماد	علامت گذاری	کمیت
s^{-1}	-	Hz	هرتز	فرکانس
$m \times kg \times s^{-2}$	-	N	نیوتون	نیرو
$m^{-1} \times kg \times s^{-2}$	N/m^2	Pa	پاسکال	فشار ، فشار مکانیکی
$m^2 \times kg \times s^{-2}$	$N \times m$	J	ژول	انرژی، کار
$m^{-2} \times kg \times s^{-3}$	J/s	W	وات	توان
$s \times A$	$A \times s$	C	کوسن	کمیت الکتریکی، شارژ
$m^2 \times kg \times s^{-3} \times A^{-1}$	W/A	V	ولت	ولتاژ الکتریکی
$m^{-2} \times kg^{-1} \times s^4 \times A^{-2}$	C/V	F	فاراد	ظرفیت خازنی
$m^2 \times kg \times s^{-3} \times A^{-2}$	V/A	W	اهم	مقاومت
$m^{-2} \times kg^{-1} \times s^3 \times A^2$	A/V	S	زیمنس	رسانایی
$kg \times s^{-2} \times A^{-1}$	Wb/m^2	T	تسلا	چگالی شار مغناطیسی
$m^2 \times kg \times s^{-2} \times A^{-1}$	V x s	Wb	وبر	شار مغناطیسی
$m^2 \times kg \times s^{-2} \times A^{-2}$	Wb/A	H	هنری	ضریب القایی
cd x sr	cd x sr	lm	لومن	شاری فوری
cd x sr x m^2	lm/m^2	lx	لوکس	نور

واحد های اضافی : چندین واحد در خارج از SI وجود دارند ، که اگر چه می توان برای آنها واحدهای معادل در SI به وجود آورد ولی به دلایلی نمی توان آنها را حذف کرد .تعدادی از این واحدها که به همراه واحدهای SI مورد استفاده قرار می گیرند ، واحدهای اضافی نامیده می شوند .

همچنین چهار واحد اضافی دیگر نیز وجود دارند که بطور عمده در حوزه فیزیک و ستاره شناسی کاربرد دارند . تمام این واحدهای اضافی توسط هیئت بین المللی مقیاسهای پویدز (CIPM) در سال ۱۹۶۹ تصویب شده اند و به همراه واحدهای SI مورد استفاده قرار می گیرند .

جدول زیر شامل واحدهای اضافی می باشد که کاربرد تکنیکی دارند :

واحدهای اضافی			
نکات قابل توجه	نماد	علامت گذاری	کمیت
$1° = \frac{\pi}{180}$ rad	...°	درجه	زاویه مسطحه
$1' = \frac{1°}{60}$	...'	دقیقه	زاویه مسطحه
$1'' = \frac{1'}{60}$	..."	ثانیه	زاویه مسطحه
$1\ l = 1\ dm^3$	l	لیتر	حجم
1 min = 60 sec	min	دقیقه	زمان
1 h = 60 min = 3.600 sec	h	ساعت	زمان
1 d = 24 h	d	روز	زمان
1 t = 1.000 kg	t	تن	جرم
1 bar = 10^5 Pa = 10^5 N/m^2	bar	بار	فشار

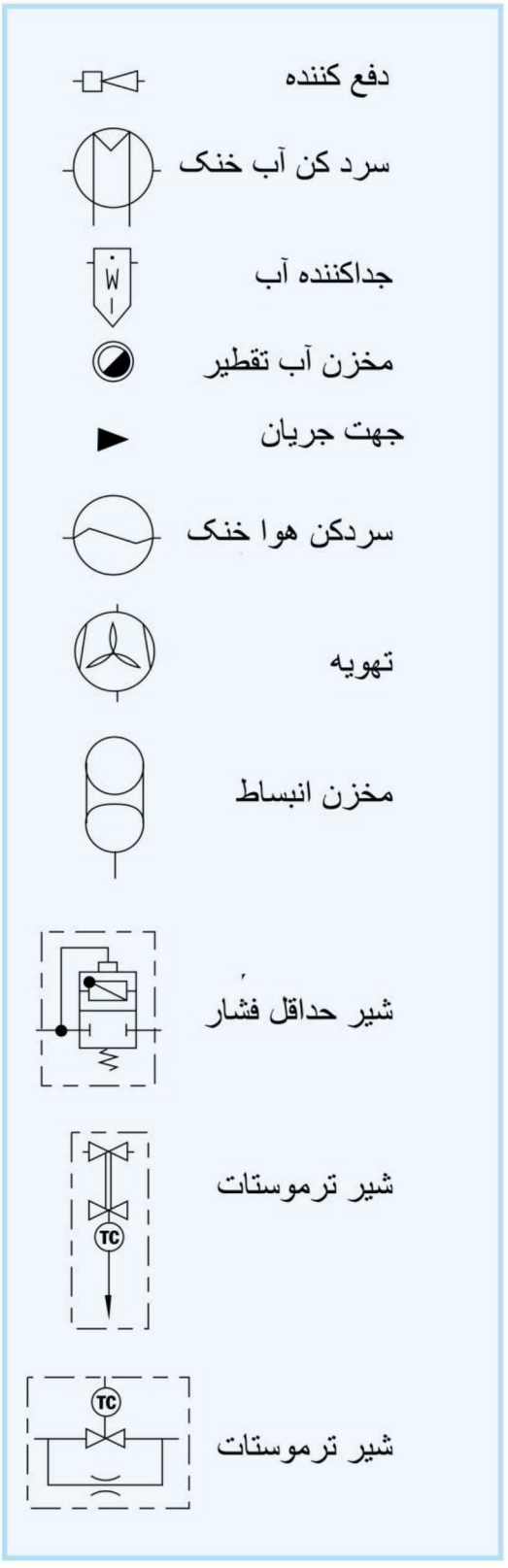
واحدهای مرکب : یک واحد مرکب توسط یک واحد SI یا یک واحد اضافی به همراه یک پیشوند تشکیل می شود ، که این پیشوند در توان ۱۰ ضرب می شود .

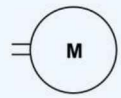
تعداد چهارده مورد از این پیشوندها که در استاندارد بین المللی پیشنهادات معرفی شده اند در جدول زیر ارائه شده است .

10^{12}	ترا	T	1	تراژول	1 TJ
10^{9}	گیگا	G	1	گیگیوات	1 GW
10^{6}	مگا	M	1	مگاوات	1 MV
10^{3}	کیلو	k	1	کیلومتر	1 km
10^{2}	هکتو	h	1	هکتوگرام	1 hg
10^{1}	دکا	da	1	دکالومن	1 dalm
10^{-1}	دسی	d	1	دسیمتر	1 dm
10^{-2}	سانتی	c	1	سانتیمتر	1 cm
10^{-3}	میلی	m	1	میلی گرم	1 mg
10^{-6}	میکرو	μ	1	میکرومتر	1 μm
10^{-9}	نانو	n	1	نانوهندی	1 nH
10^{-12}	پیکو	p	1	پیکوفاراد	1 pF
10^{-15}	فمتو	f	1	فمتومتر	1 fm
10^{-18}	آتو	a	1	آتوثانیه	1 as

Pressure					
Pa=N/m²	**bar**	**kp/cm²**	**Torr**	**m vp**	**mm vp**
1	10^{-5}	1.02×10^{-5}	7.5×10^{-3}	1.02×10^{-4}	0.102
10^{5}	1	1.02	750	10.2	1.02×10^{4}
9.81×10^{4}	0.981	1	735	10	10^{4}
133,3	1.33×10^{-3}	1.36×10^{-3}	1	1.36×10^{-2}	13,6
9.81×10^{3}	9.81×10^{-2}	0.1	73.5	1	10^{3}
9.81	9.81×10^{-5}	10^{-4}	7.35×10^{-2}	10^{-3}	1
Energy					
J	**kJ**	**kWh**	**kpm**	**kcal**	
1	10^{-3}	2.78×10^{-7}	0.102	2.39×10^{-4}	
1000	1	2.78×10^{-4}	102	0.239	
3.6×10^{6}	3.6×10^{3}	1	3.67×10^{5}	860	
9.81	9.81×10^{-3}	2.72×10^{-6}	1	2.39×10^{-3}	
4.19×10^{3}	4.19	1.16×10^{-3}	427	1	
Power					
W	**kpm/s**	**kcal/s**	**kcal/h**	**hk**	
1	0.102	0.239×10^{-3}	0.860	1.36×10^{-3}	
9.81	1	2.34×10^{-3}	8.43	1.33×10^{-2}	
4.19×10^{3}	427	1	3.6×10^{3}	5.69	
1.163	0.119	0.278×10^{-3}	1	1.58×10^{-3}	
735	75	0.176	632	1	

۲-۶ نمادها ی نقشه کشی (Drawing symbols)



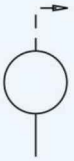


موتور الکتریکی

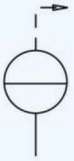
جعبه توزیع الکتریکی

رابط موتور

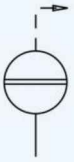
فلنج مسدود کننده



حسگر فشار، دما و غیره



حسگر فشار، دما و غیره



حسگر فشار، دما و غیره

صافی مایعات

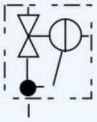
پمپ مایعات

مخزن روغن با تخلیه دستی

محدود کننده

مجرای فرعی

تنظیم کننده فشار



شیر توقف روغن

هوا

روغن

آب

تخلیه

کانال تهویه

اتصال مکانیکی

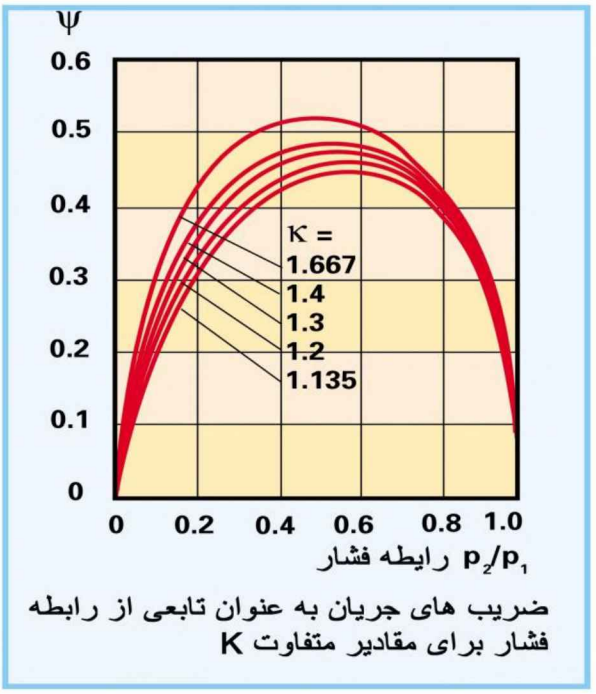
هشدار هوا

هشدار الکتریکی

خط مرزی

انرژی الکتریکی

۳-۶ نمودارها و جداول (Diagrams and tables)



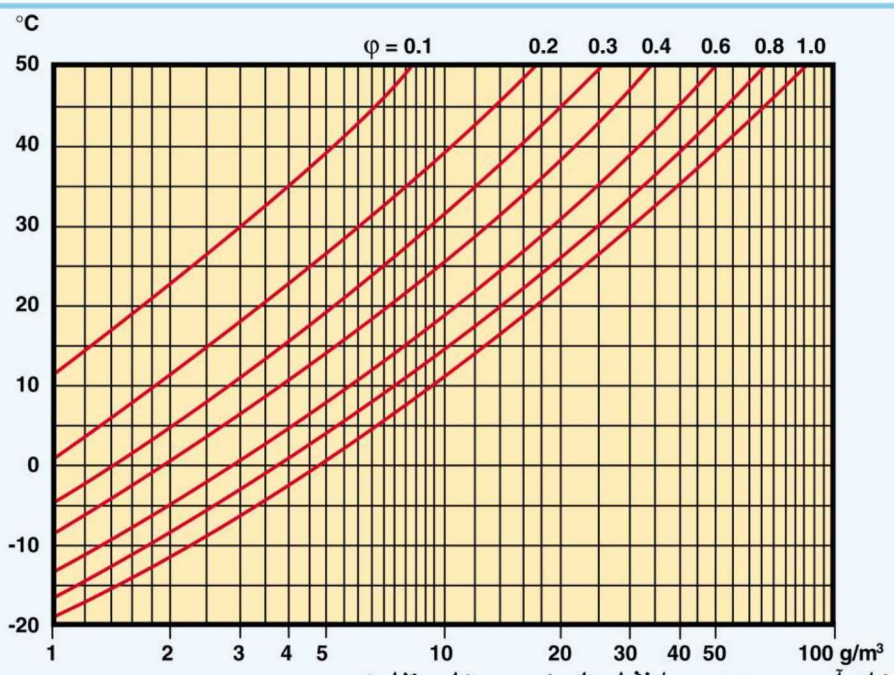
ضریب های جریان به عنوان تابعی از رابطه فشار برای مقادیر متفاوت K

مواد	J/kg x K
هوا(اتمسفر فشار)	1 004
آلومینیوم	920
مس	390
روغن	1 670-2 140
فولاد	460
آب	4 185
روی	385

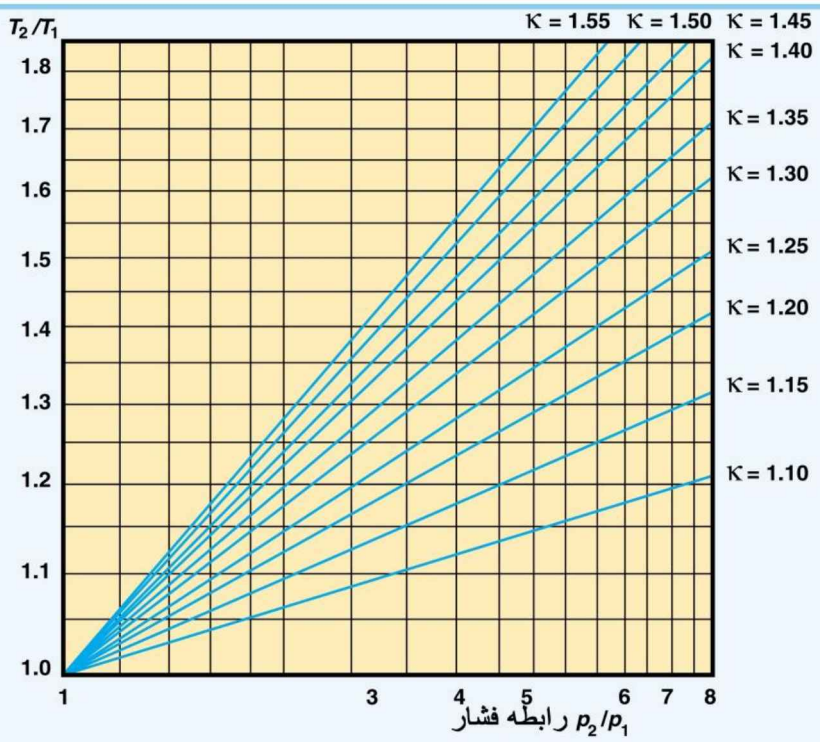
ظرفیت گرمایی برای چند ماده

نقطه جوش	78.8	K
فشار بحرانی	37.66	bar
دمای بحرانی	132.52	K
وزن بخصوص	1.225	Kg/m^3
نقطه انجماد	57.61	K
ضریب ثابت گاز	287.1	j\(kg=k)
وزن مولی	28.964	(dimensionless)
ظرفیت گرمایی		
فشار ثابت	1.004	KJ\(Kg=K)
ظریب ظرفیت بخصوص گرما	1.40	(dimensionless)
سرعت صدا	340.29	m/s
رسانای گرمایی	0.025	W(m=K)

چند ضریب ثابت فیزیکی برای هوای خشک در سطح دریا (P = 1/013 bar و t = 15 °C)



میزان آب موجود در هوا فشارهای نسبی بخار متفاوت.
حداکثر مقدار آب موجود در هوا در مقابل هر 11 کلوین افزایش دماء دو برابر می شود.



این نمودار، رابطه ی درجه حرارتT2/T1 را برای گازهای متفاوت به همراه مقادیر متفاوت K در حین تراکم isentropic نشان می دهد.

گاز	% حجم	% وزن
nitrogen N_2	78.084	75.520
oxygen O_2	20.947 6	23.142
argon Ar	0.934	1.288
carbon dioxide CO_2	0.031 4	0.047 7
neon Ne	0.001 818	0.001 267
helium He	0.000 524	0.000 072 4
krypton Kr	0.000 114	0.000 330
xenon Xe	0.000 008 7	0.000 039
hydrogen H_2	0.000 05	0.000 003
methane CH_4	0.000 2	0.000 1
nitrous oxide N_2O	0.000 05	0.000 08
ozone O_3	summer: 0 to 0.000 007	0 to 0.000 01
	winter: 0 to 0.000 002	0 to 0.000 003
sulphur dioxide SO_2	0 to 0.000 1	0 to 0.000 2
nitrogen dioxide NO_2	0 to 0.000 002	0 to 0.000 003
ammonia NH_3	Ca 0	Ca 0
carbon monoxide CO	Ca 0	Ca 0

ترکیب شیمیایی هوای تمیز و خشک در سطح دریا. این ترکیب تقریبا تا ارتفاع 25کیلومتری ثابت است.

دما °c	فشار اشباع mbar	دانسیته g/m^3	دما °c	فشار اشباع mbar	دانسیته g/m^3
-40	0.128	0.119	5	8.72	6.80
-38	0.161	0.146	6	9.35	7.26
-36	0.200	0.183	7	10.01	7.75
-34	0.249	0.225	8	10.72	8.27
-32	0.308	0.277	9	11.47	8.82
-30	0.380	0.339	10	12.27	9.40
-29	0.421	0.374	11	13.12	10.01
-28	0.467	0.413	12	14.02	10.66
-27	0.517	0.455	13	14.97	11.35
-26	0.572	0.502	14	15.98	12.07
-25	0.632	0.552	15	17.04	12.63
-24	0.689	0.608	16	18.17	13.63
-23	0.771	0.668	17	19.37	14.48
-22	0.850	0.734	18	20.63	15.37
-21	0.937	0.805	19	21.96	16.31
-20	1.03	0.884	20	23.37	17.30
-19	1.14	0.968	21	24.86	18.34
-18	1.25	1.06	22	26.43	19.43
-17	1.37	1.16	23	28.09	20.58
-16	1.51	1.27	24	29.83	21.78
-15	1.65	1.39	25	31.67	23.05
-14	1.81	1.52	26	33.61	24.38
-13	1.98	1.65	27	35.65	25.78
-12	2.17	1.80	28	37.80	27.24
-11	2.38	1.96	29	40.06	28.78
-10	2.60	2.14	30	42.43	30.38
-9	2.84	2.33	31	44.93	32.07
-8	3.10	2.53	32	47.55	33.83
-7	3.38	2.75	33	50.31	35.68
-6	3.69	2.99	34	53.20	37.61
-5	4.02	3.25	35	56.24	39.63
-4	4.37	3.52	36	59.42	41.75
-3	4.76	3.82	37	62.76	43.96
-2	5.17	4.14	38	66.28	46.26
-1	5.62	4.48	39	69.93	48.67
0	6.11	4.85	40	73.78	51.19
1	6.57	5.19	41	77.80	53.82
2	7.06	5.56	42	82.02	58.56
3	7.58	5.95	43	86.42	59.41
4	8.13	6.36	44	91.03	62.39

فشار اشباع P_S ،دما (T) و دانسیته بخارآب اشباع (P_W)

نوع و اندازه دستگاه			حداکثر هوای مورد نیاز l/s
ماشین های سوراخکاری	قطر مته	Ø(mm)	
	کوچک	Ø < 6.5	6.0
	متوسط	6.5 < Ø = < 10	7.5
	بزرگ	10 < Ø < 16	16.5
دستگاه شیار زنی			6
پیچ گوشتی	اندازه شیار	d	
	کوچک	d < M6	5.5
	متوسط	M6 < d < M8	7.5
آچار بادی	توان	e (kW)	
	کوچک	d < M10	5.0
	متوسط	M10 < d < M20	7.5
	بزرگ	d ≥ M20	22.0
دستگاه صیقل کاری			7.5
حدیده زنی/صیقل کاری	توان	e (kW)	
	کوچک	e < 0.5	8.0
	متوسط	e > 0.5	16.5
دستگاه سنگ سمباده	توان	e (kW)	
	کوچک	0.4 < e < 1.0	20.0
	متوسط	1,0 < e < 2	40.0
	بزرگ	e > 2	60.0
چکش های خرد کن	سبک		6.0
	سنگین		13.5
بالابرهای بادی	تناژ بالا بری		
	تن	t < 1	35
	تن	t > 1	45
بالا بر			5.0
افشانک تمیز کاری			6.0
دستگاه پیچ بازکن	اندازه پیچ	d	
		d ≤ M8	9
		d ≥ M10	19

چند مثال از هوای مصرفی برخی ابزار آلات و تجهیزات با توجه به تجارب موجود.این ارقام برای محاسبه ظرفیت کمپرسورمورد نیاز می باشند.

نقطه شبنم °C	دانسیته g/m³	نقطه شبنم °C	دانسیته g/m³	نقطه شبنم °C	دانسیته g/m³	نقطه شبنم °C	دانسیته g/m³
+100	588.208	+58	118.199	+16	13.531	−25	0.55
99	569.071	57	113.130	15	12.739	26	0.51
98	550.375	56	108.200	14	11.987	27	0.46
97	532.125	55	103.453	13	11.276	28	0.41
96	514.401	54	98.883	12	10.600	29	0.37
95	497.209	53	94.483	11	9.961	30	0.33
94	480.394	52	90.247	10	9.356	31	0.301
93	464.119	51	86.173	9	8.784	32	0.271
92	448.308	50	82.257	8	8.243	33	0.244
91	432.885	49	78.491	7	7.732	34	0.220
90	417.935	48	74.871	6	7.246	35	0.198
89	403.380	47	71.395	5	6.790	36	0.178
88	389.225	46	68.056	4	6.359	37	0.160
87	375.471	45	64.848	3	5.953	38	0.144
86	362.124	44	61.772	2	5.570	39	0.130
85	340.186	43	58.820	1	5.209	40	0.117
84	336.660	42	55.989	0	4.868	41	0.104
83	324.469	41	53.274			42	0.093
82	311.616	40	50.672	−1	4.487	43	0.083
81	301.186	39	48.181	2	4.135	44	0.075
80	290.017	38	45.593	3	3.889	45	0.067
79	279.278	37	43.508	4	3.513	46	0.060
78	268.806	36	41.322	5	3.238	47	0.054
77	258.827	35	39.286	6	2.984	48	0.048
76	248.840	34	37.229	7	2.751	49	0.043
75	239.351	33	35.317	8	2.537	50	0.038
74	230.142	32	33.490	9	2.339	51	0.034
73	221.212	31	31.744	10	2.156	52	0.030
72	212.648	30	30.078	11	1.96	53	0.027
71	204.286	29	28.488	12	1.80	54	0.024
70	196.213	28	26.970	13	1.65	55	0.021
69	188.429	27	25.524	14	1.51	56	0.019
68	180.855	26	24.143	15	1.38	57	0.017
67	173.575	25	22.830	16	1.27	58	0.015
66	166.507	24	21.578	17	1.15	59	0.013
65	159.654	23	20.386	18	1.05	60	0.011
64	153.103	22	19.252	19	0.96	65	0.0064
63	146.771	21	18.191	20	0.88	70	0.0033
62	140.659	20	17.148	21	0.80	75	0.0013
61	134.684	19	16.172	22	0.73	80	0.0006
60	129.020	18	15.246	23	0.66	85	0,00025
59	123.495	17	14.367	24	0.60	90	0.0001

میزان آب موجود در هوا در نقاط شبنم متفاوت

۶-۴ گردآوری استانداردها و اصطلاحات رایج

(Compilation of current standards and norms)

در اینجا ، اصطلاحات و استانداردهای رایج (۱۹۹۷) مربوط به حوزه هوای فشرده را گردآوری کرده ایم . گردآوری مربوط است به قوانین سوئدی ، اما در بیشتر موارد ، این اصطلاحات در کشورهای دیگر نیز به کار برده می شوند . به جز چند مورد, استانداردهای فهرست شده همگی اروپایی و بین المللی هستند . معمولاً برای بازار آمریکا اسناد Pneurop به همراه نشر CAGI صادر می گردند .

مهم است که همیشه با گروه منتشر کننده این استانداردها همگام باشید تا از آخرین انتشار استفاده نمایید ، مگر آنکه نیاز/ تقاضا به انتشار خاصی اشاره کند.

۶-۴-۱ قوانین و استانداردهای مربوط به ایمنی (Safety related regulation and standards)

۶-۴-۱-۱ ایمنی دستگاه (Machine safety)

دستورالعمل EU ، 89/392/ EEG ،دستورالعمل ماشین آلات : در سوئد این دستور العمل به عنوان قانون 93:10 AFS (اصلاح شده به عنوان AFS 94:48) شناخته شده است . هیئت ملی ایمنی شغلی و قوانین سلامت سوئد برای ماشین آلات

EN1012 : ـ1مقتضیات ایمنی کمپرسورها و پمپ های خلاء

Del 1 : کمپرسورها

EN1012 : ـ2مقتضیات ایمنی کمپرسورها و پمپ های خلاء

Del 2 : پمپ های خلاء

۶-۴-۱-۲ ایمنی فشار (Pressure safety)

87/404/EEG دستور العمل مخازن ساده فشار . در سوئد این دستور العمل به عنوان قانون AFS 93:41 I (اصلاح شده به عنوان 53 :94) شناخته شده است . هیئت ملی قوانین سلامت و ایمنی شغلی سوئد برای مخازن ساده فشار

76/767/EEG دستور العمل قانون مربوط به مخازن فشار و روشهای بازرسی را در بر می گیرد .

97/23/ EG دستور العمل برای تجهیزات فشار (از سال 1999ـ11ـ 29) به کار می رود.

AFS 86 : 9 (اصلاح شده به عنوان AFS 94:39) هیئت ملی ایمنی شغلی و قوانین سلامت سوئد برای مخازن فشار و تجهیزات دیگر فشار .

EN 764 تجهیزات فشار ـ اصطلاحات و نمادها ـ فشار، دما

EN 286-1 مخازن ساده فشار ضد حریق که برای نگهداری هوا یا نیتروژن طراحی شده اند .

قسمت ۱ : طراحی ، تولید و آزمایش.

EN 286-2 مخازن ساده فشار ضد حریق که برای نگهداری هوا یا نیتروژن طراحی شده اند .
قسمت ۲ : مخازن فشار سیستمهای ترمز هوایی و کمکی برای وسایل نقلیه موتوری و یدکی های آنها

EN 286-3 مخازن ساده فشار ضد حریق که برای نگهداری هوا یا نیتروژن طراحی شده اند .
قسمت ۳ : مخازن فشار فولادی که برای تجهیزات ترمز هوایی و تجهیزات بادی کمکی برای وسایل نقلیه ریلی در خط آهن طراحی شده اند .

EN286-4 مخازن ساده فشار ضد حریق که برای نگهداری هوا یا نیتروژن طراحی شده اند .
قسمت ۴ : مخازن فشار آلیاژ آلومینیوم که برای تجهیزات ترمز هوایی و تجهیزات بادی کمکی برای وسایل نقلیه ریلی در خط آهن طراحی شده اند .

۳-۱-۴-۳ محیط (Environment)

Pneurop PN8NTCI ، کد آزمایش سروصدا برای کمپرسورها ، ISO 84/536/EC .
مقتضیات سطح سروصدا برای ماشین آلات . استانداردی بخصوص برای اندازه گیری های صدای حاصل شده از ISO .
برای تخلیه گازهای خروجی از موتورهای احتراقی, تصمیمی مطابق با "مرحله EU1 "گرفته می شود .

۶-۱-۴-۴ ایمنی الکتریکی (Electrical safety)

9 : ELSAK–FS 1994 هیئت ملی قوانین ایمنی الکتریکی سوئد برای مواد الکتریکی
7: ELSAK–FS 1994 هیئت ملی قوانین ایمنی الکتریکی سوئد برای تأسیسات دارای جریان های سنگین (معادل با IEC 364)
دستورالعمل EU ، 89/336/EEG قابلیت تطابق الکترو مغناطیسی
5: ELSAK–FS 1994 هیئت ملی قوانین ایمنی الکتریکی سوئد برای قابلیت تطابق الکترومغناطیسی
EN 60204-1 دستور العمل های ایمنی الکتریکی ، ماشین آلات
EN 60439-1 جعبه کلید ولتاژ پایین و مجموعه جعبه کنترل

۶-۴-۲ اصطلاحات و استانداردهای تکنیکی (Technical related standards and norms)

۶-۴-۲-۱ استاندارد سازی (Standardization)

SS 1796 مجموعه اصطلاحات فن آوری هوای فشرده
ISO 3857-1 کمپرسورها ، ابزارها و ماشین های بادی ـ فهرست لغات ـ قسمت ۱ : بررسی کلی
ISO 3857-2 کمپرسورها ، ابزارها و ماشین های بادی ـ فهرست لغات ـ قسمت ۱ : کمپرسورها
ISO 5390 کمپرسورها ـ طبقه بندی
ISO 5941 فشارهای ترجیح داده شده در کمپرسورها ، ابزارها و ماشینها

۶-۴-۲-۲ مشخصات (Specification)

SS ISO 1217 فن آوری هوای فشرده – کمپرسورهای جابجایی ـ آزمایش های تحویل

ISO 5389 کمپرسورهای توربینی – کد آزمایش کارآیی ISO 7183 ـ 1 خشک کن های هوای فشرده
قسمت ۱ : مشخصات و آزمایش

ISO 7183-1 خشک کن های هوای فشرده
قسمت ۲ : سنجش های کارآیی

ISO 8010 کمپرسورهای صنعت فرآیند ـ مارپیچی و انواع مرتبط ـ مشخصات و برگ دادها برای طراحی و ساختار آنها

ISO 8011 کمپرسورهای صنعت فرآیند ـ نوع توربینی ـ مشخصات و برگ دادها برای طراحی و ساختار آنها

ISO 8012 کمپرسورهای صنعت فرآیند ـ نوع پیستونی ـ مشخصات و برگ دادها برای طراحی و ساختار آنها

SS ISO 8573_1 هوای فشرده برای کاربرد کلی
قسمت ۱ : آلاینده ها و طبقه بندی کیفیت . معیارهایی برای اجرای قوانین ملی کنونی سوئد به شرح زیر وجود دارند :

اصطلاحات رایج مخزن فشار 1987

اصطلاحات رایج لوله گذاری 1978

اصطلاحات رایج مخزن هوا 1991

که توسط استاندارد سازی مخزن فشار انتشار یافته

دستور العمل EG ، 73/23/EEG دستورالعمل ولتاژ پایین

۶-۴-۲-۳ مقیاسها (Measurements)

ISO 8573-2 هوای فشرده برای کاربرد کلی
قسمت ۲ : روش های آزمایش برای اندازه گیری مقدار روغن در هوا

(پیش نویس) ISO 8573-3 هوای فشرده
قسمت ۳ : اندازه گیری میزان رطوبت

(پیش نویس) ISO 8573-4 هوای فشرده
قسمت ۴ : اندازه گیری میزان ذرات جامد

Index فهرست راهنما

A

absolute pressure	فشار مطلق	۱-۲-۱
absolute zero	صفر مطلق	۱-۲-۲
absorption	جذب	۲-۴-۱
absorption dryers	خشک کن جذبی	۲-۴-۱-۴
active power	توان کنشی	۱-۶-۴
adsorption	جذب (بر آشامی)	۲-۴-۱
adsorption dryers	خشک کن های بر آشامی	۲-۴-۱-۵
after cooler	پس خشک کن	۲-۴-۱-۱
air	هوا	۱-۴
air composition	ترکیب هوا	۱-۴-۱
air consumption	مصرف هوا	۱-۱-۲و۴-۲-۳
air intake	ورودی هوا	۳-۵-۴
air receiver	مخزن ذخیره هوا	۳-۶-۱-۱
air requirement	مقتضیات هوا	۳-۱-۱-۲
air borne energy recovery	بازیافت انرژی هوابردی	۳-۴-۳-۲
alternating current	جریان متناوب	۱-۶-۱
apparent power	توان ظاهری	۱-۶-۴
assembly method	روش مونتاژ	۱-۶-۵-۶
atmospheric pressure	فشار اتمسفر	۱-۲-۱
atomic number	عدد اتمی	۱-۱-۱
axial compressors	کمپرسورهای محوری	۲-۲-۳

B

booster compressors	کمپرسورهای کمکی	۲-۳-۲
boyle's law	قانون بویل	۲-۳-۱
by pass regulation	تنظیم مسیر جنبی	۲-۲-۵-۲

C

cables	کابل ها	۳-۸-۶
capacitive measurement system	سیستم اندازه گیری خازنی	۲-۵-۵-۲
carbon filter	فیلتر کربن	۲-۴-۲و۳-۲-۵
celsius scale	مقیاس سلسیوس	۱-۲-۲

central control	کنترل مرکزی	۲-۵-۷
centralized installation	تأسیسات متمرکز	۳-۱-۲-۲
centrifugal compressors	کمپرسورهای گریز از مرکز	۲-۲-۲
changes in state	تغییرات در حالت	۱-۳-۴
charles' law	قانون چارلز	۱-۳-۲
circuit-breaker	کلید قطع مدار	۳-۸-۵
clearance volume	ضریب مجاز حجمی	۱-۵-۳
closed cooling system	سیستم خنک کاری مدار بسته	۳-۳-۱-۴
comprehensive control system	سیستم کنترل جامع	۲-۵-۶
compressed air central	هوای فشرده مرکزی	۳-۵-۱و۳-۵-۲و۳-۵-۳
compressed air distribution	توزیع هوای فشرده	۳-۶-۱
compressed air quality	کیفیت هوای فشرده	۳-۲-۲
compression in several stages	تراکم در چندین مرحله	۱-۵-۵
compressor calculation	محاسبه کمپرسور	۴-۳-۲
compressor central	کمپرسور مرکزی	۳-۱-۲و۳-۵
compressor package	مجموعه کمپرسور	۳-۵-۱
compressor's sound level	میزان صدای کمپرسور	۳-۷-۲و۳-۹-۱۰
contactor	کنتاکتور	۳-۸-۳
continuous capacity regulation	کنترل مستمر ظرفیت	۲-۵-۱
control transformer	ترانسفورماتور کنترل	۳-۸-۴
convection	جابجایی حرارتی در سیال	۱-۳-۳
cooling methods	روش های خنک کاری	۳-۳
cost division	تخصیص هزینه	۴-۱-۱-۱و۴-۳-۲
critical flow	جریان بحرانی	۱-۳-۵
critical pressure ratio	نسبت فشار بحرانی	۱-۳-۵

D

decentralized installation	تأسیسات غیر متمرکز	۳-۲-۱-۳
decibel	دسیبل	۳-۹-۱
degree of recovery	میزان بازیافت	۳-۴-۲و۴-۲-۶
degree of utilisation	میزان مصرف	۳-۱-۱-۱
delta connection	اتصال مثلث	۱-۶-۵-۷
dew point	نقطه شبنم	۱-۴-۲

diaphragm compressors	کمپرسورهای دیافراگمی	۴-۱-۲
diaphragm filter	صافی دیافراگمی	۲۸-۳
dimensioning	اندازه گذاری ، برآورد ظرفیت	۳-۱ و ۵-۱
direct start	راه اندازی مستقیم	۳-۸-۳
displacement compressors	کمپرسور های جابجائی مثبت	۲-۵-۱
double acting compressors	کمپرسور های دو طرفه	۲-۵-۱و۲-۱-۲
dynamic compressors	کمپرسورهای دینامیکی	۲-۲-۱
E		
electrical current	جریان الکتریکی	۱-۶-۱
electrical voltage	ولتاژ الکتریکی	۱-۶-۱
electromotive force, emf	نیروی الکتروموتیو	۱-۶-۲
electron scale	مقیاس الکترونی	۱-۱-۱
electrons	الکترون ها	۱-۱-۱
energy recovery	بازیافت انرژی	۳-۴
equivalent pipe length	طول لوله معادل	۳-۶-۳
exhaust emissions	تخلیه گازهای خروجی	۳-۷-۲
extra low voltage	اختلاف پتانسیل خیلی کم	۱-۶-۱
F		
filter	صافی	۲-۴-۲و۳-۲-۵
free output air rate	میزان هوای خروجی آزاد	۱-۲-۶
frequency	فرکانس	۱-۶-۱
frequency converter	مبدل فرکانس	۲-۵-۴-۳
frequency curves	منحنی های فرکانس	۳-۹-۷
fuses	فیوزها	۳-۷-۵
G		
gas constant	ضریب ثابت گاز	۱-۳-۲
gases' general state	حالت کلی گازها	۱-۳-۲
generators	ژنراتورها ، مولدها	۳-۷-۳
glycol mixture	ترکیب گلیکول	۳-۳-۱-۴
gradual start	راه اندازی تدریجی	۳-۸-۳
H		
heat transfer	انتقال حرارت	۱-۳-۳

heat transfer number	عدد انتقال حرارت	۱-۳-۳
high pressure compressor	کمپرسور پر فشار	۳-۶-۱-۱
high voltage	ولتاژ بالا	۱-۶-۱
I		
idling time	زمان هرزگردی	۲-۴-۵-۲
impedance	مقاومت ظاهری	۲-۶-۱
individual gas constant	ضریب ثابت مخصوص گاز	۲-۳-۱
installation's overall economy	اقتصاد کلی تأسیسات	۴-۱-۱-۱
insulation class	طبقه بندی عایق	۱-۶-۵-۳
intake air	هوای ورودی	۳-۵-۴
intake pressure variation	تغییرات فشار ورودی	۳-۱-۳-۲
isentropic process	فرایند هم دمائی	۱-۳-۴-۴
isobaric process	فرایند هم فشاری	۱-۳-۴-۲
isochoric process	فرایند هم حجمی	۱-۳-۴-۱
isothermic process	فرایند هم دمائی	۱-۳-۴-۳
J		
Joule-thomson effect	اثر ژول توماسن	۱-۳-۷
K		
Kelvin scale	مقیاس کلوین	۱-۲-۲
L		
labyrinth seal compressors	کمپرسورهای آب بندی شده با رینگ فلزی ضد زنگ	۲-۱-۲
laminar flow	جریان لایه ای	۱-۳-۶
leakage	نشتی	۳-۱-۱-۳و۳-۲-۴
life cycle analysis, LCA	بررسی چرخه کارائی	۳-۳-۴
life cycle cost, LCC	بررسی چرخه هزینه	۳-۳-۴
liquid injected screw compressors	کمپرسور های مارپیچ تزریقی	۲-۵-۱-۲
liquid ring compressors	کمپرسورهای غلاف مایع حلقوی	۹-۱-۲
loading	باردهی	۱-۵-۲
logarithmic mean temperature differ ence	تفاوت دمای میانگین لگاریتمی	۱-۳-۳
low voltage	ولتاژ پایین	۱-۶-۱
M		

main voltage	ولتاژ اصلی	۱-۶-۳
maintenance costs	هزینه های نگهداری	۴-۲-۷
maintenance planning	برنامه ریزی نگهداری	۴-۲-۷-۱
md dryer	خشک کن MD	۲-۴-۱-۵
metal resistor	مقاومت فلزی	۲-۵-۵-۱
microorganisms	میکرو ارگانیسم ها	۳-۲-۴
modulation	متعادل سازی	۲-۵-۳-۴
moist air	هوای مرطوب	۱-۴-۲
molecular movement	حرکت مولکولی	۱-۱-۲
molecules	مولکولها	۱-۱-۱
monitoring	فرابینی	۲-۵-۵-۳و۲-۵-۸
multi-stage off-loading	بی بار سازی چند مرحله ای	۲-۵-۲-۸

N

neutrons	نترون ها	۱-۱-۱
new investment	سرمایه گذاری جدید	۱-۱-۱-۴
normal litre	لیتر نرمال	۱-۲-۶
norms and standards	اصطلاحات و استانداردها	۳-۹و۶-۴
nozzle	افشانک ، مجرا	۱-۳-۵

O

off loading / loading	بی بار سازی / بار دهی	۲-۵-۱
ohm's law	قانون اهم	۱-۶-۲
oil filter	صافی روغن	۳-۲-۵
oil free compressors	کمپرسور های روغنکاری نشونده	۲-۱-۳و۲-۱-۵-۱
oil free screw compressors	کمپرسور های مارپیچی روغنکاری نشونده	۲-۱-۵-۱
oil / water emulsion	امولسیون روغن / آب	۳-۲-۸
open cooling system	سیستم خنک کاری مدار باز	۳-۳-۱-۲و۳-۳-۱-۳
operating analysis	تجزیه و تحلیل عملیاتی	۳-۱-۱-۳
operating costs	هزینه های عملیاتی	۴-۱-۱-۱و۴-۱-۱-۲
optimised compressor operations	بهینه سازی عملکرد های کمپرسور	۴-۱-۱-۱
over compression	فوق تراکم	۲-۴-۱-۳
overall cost	هزینه های کلی	۴-۳-۲
overload protection	محافظت اضافه بار	۳-۸-۶

P

part flow measurement	اندازه گیری جریان موضعی	۳-۶-۴
particle filter	صافی ذره ای	۳-۴-۲
phase compensation	متعادل سازی در فاز	۳-۸-۷
phase displacement	جابجایی فاز	۱-۶-۲
phase voltage	ولتاژ فاز	۱-۶-۳
pipe resonance	تشدید صدا در لوله	۳-۵-۴
pipes	لوله ها	۱-۳-۳
piston compressors	کمپرسورهای پیستونی	۱-۵-۱و۱-۵-۲و۲-۱-۲
plasma	پلاسما	۱-۱-۲
polytropic process	فرایند چندسانی	۱-۳-۴-۵
portable compressors	کمپرسور های قابل حمل	۳-۷
portable generator	ژنراتورهای قابل حمل	۳-۷-۳
power	توان	۱-۲-۵
prefilter	پیش فیلتر کردن	۳-۵-۴
pressure	فشار	۱-۲-۱
pressure amplifier	تشدید کننده فشار	۲-۳-۳
pressure band	تسلسل فشار	۲-۵-۴-۲
pressure dew point	نقطه شبنم فشار	۲-۴-۱
pressure drop	افت فشار	۱-۳-۶و۴-۲-۲
pressure measurement	اندازه گیری فشار	۱-۲-۱و۲-۵-۵-۲
pressure ratio	نسبت فشار	۱-۵-۲
pressure relief	فشار شکن	۲-۵-۲-۱و۲-۵-۳-۴
pressure relief with throttled intake	فشار شکن با کنترل ورودی	۲-۵-۲-۴
pressure switch	کلید فشار	۲-۵-۴-۲
protection classes	طبقه بندی های محافظت	۱-۶-۵-۴
protons	پرتون ها	۱-۱-۱

Q

quality class in accordance with iso	طبقه بندی کیفیت بر طبق ISO	۳-۲-۲
quantity of ventilation air	میزان تهویه هوا	۳-۵-۵

R

radial compressors	کمپرسور های شعاعی	۲-۲-۱و۲-۲-۲
radiation	تشعشع	۱-۱-۱
reactance	مقاومت خازنی	۱-۶-۲
reactive power	توان واکنشی	۱-۶-۴
recovery potential	پتانسیل بازیافت	۳-۴-۲و۴-۲-۶
refrigerant dryer	خشک کن تبریدی	۲-۴-۱-۲
regulation	تنظیم ، کنترل	۲-۵-۱
regulation system	سیستم تنظیم ، سیستم کنترل	۲-۵-۱
resistance	مقاومت	۱-۶-۲
resistance thermometer	حرارت سنج مقاومتی	۲-۵-۵-۱
resistive measurement system	سیستم اندازه گیری مقاومتی	۲-۵-۵-۲
reverberation	طنین انعکاس	۳-۹-۵
reynolds' number	عدد رینولد	۱-۳-۶
ring piping	شبکه لوله کشی حلقوی	۳-۶-۲
room constant	ضریب ثابت اتاق	۳-۹-۴

S

saving possibilities	امکانات صرفه جویی	۴-۲
screw compressors	کمپرسور های مارپیچی	۲-۱-۵
scroll compressors	کمپرسورهای فرفره ای	۲-۱-۷
separation efficiency	راندمان جداسازی	۲-۴-۲
sequence control	کنترل توالی	۲-۵-۶-۱
short circuit induction motor	موتور القایی مدار اتصال کوتاه	۱-۶-۵
short circuit protection	حفاظت مدار اتصال کوتاه	۳-۸-۵
single acting compressor	کمپرسور یک طرفه	۱-۵-۲و۲-۱-۲
sound absorption	جذب صدا	۳-۹-۹
sound dampening	صدا خفه کن	۳-۹-۹
sound measurement	اندازه گیری صدا	۳-۹-۷
sound power level	میزان توان صدا	۳-۹-۱
sound pressure level	میزان فشار صدا	۳-۹-۲
speed regulation	تنظیم سرعت	۲-۵-۴-۳
start connection	اتصال ستاره ای	۱-۶-۳
start / delta start	راه اندازی ستاره / مثلث	۳-۸-۵

start sequence selector	انتخابگر توالی راه اندازی	۲-۵-۶-۱
start / stop regulation	تنظیم روشن / خاموش	۲-۵-۲-۵
starter	راه انداز	۳-۸-۳و۳-۸-۵
sterile filters	صافی های استریل	۳-۲-۵
stroke volume	حجم کورس کامل	۱-۵-۳
synchronous speed	سرعت همزمان	۱-۶-۵-۱
T		
Temperature	دما	۱-۲-۲
Temperature measurement	اندازه گیری دما	۲-۵-۵-۱
Thermal capacity	ظرفیت حرارتی	۱-۲-۳
Thermal conductivity number	عدد رسانای حرارتی	۱-۳-۳
thermistor	مقاومت حرارتی	۲-۵-۵-۱
Thermodynamics	ترمودینامیک	۱-۳
Three phase mains	منبع نیروی سه فاز	۱-۶-۳
Throttling	کنترل کردن	۱-۳-۷
Throttling the intake	کنترل ورودی	۲-۵-۲-۳و۲-۵-۳-۱
Tooth compressor	کمپرسور دندانه ای	۲-۱-۶
Turbo compressors	کمپرسورهای توربینی	۲-۲-۱
Turbulent flow	جریان آشفته	۱-۳-۶
V		
Vacuum pumps	پمپ های خلاء	۲-۳-۱
Valve off-loading	شیر بی بار ساز	۲-۵-۲-۸
Vane compressors	کمپرسور های پره ای	۲-۱-۸
Vane regulation	تنظیم پره	۲-۵-۳-۲و۲-۵-۳-۳
Variable discharge port	مجرای تخلیه متغیر	۲-۵-۲-۷
Ventilation fan	هواکش تهویه	۳-۵-۵
W		
Water content in compressed air	آب موجود در هوای فشرده	۲-۴-۱و۳-۲-۲
Water cooled compressor	کمپرسور آب خنک	۳-۳-۱
Water separator	دستگاه جدا کننده آب	۲-۱-۴-۱
Water vapour	بخار آب	۳-۲-۲
Water-borne energy recovery	بازیافت انرژی با جابجایی آب	۳-۳-۴-۳

۱-۲-۴	کار	Work
۳-۱-۱-۱	فشار کاری	Working pressure

مولف : اطلس کوپکو (سوئد)

مترجم : مهندس میثم چشمارو