جمهوری اسلامی ایران

معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رییس جمهور

دستورالعمل توزیع هوای فشرده در معادن

نشریه شماره ۵۳۱

معاونت نظارت راهبردی

دفتر نظام فنی اجرایی

http://tec.mporg.ir

وزارت صنایع و معادن

معاونت امور معادن و صنایع معدنی

دفتر نظارت و بهره‌برداری معادن

http://www.mim.gov.ir

۱۳۸۹

omoorepeyman.ir

omoorepeyman.ir

بسمه تعالی

ریاست جمهوری

معاون برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رئیس‌جمهور

بخشنامه به دستگاه‌های اجرایی، مهندسان مشاور و پیمانکاران	شماره: ۱۰۰/۶۲۳۵۵
	تاریخ: ۱۳۸۹/۸/۱۵

موضوع: دستورالعمل توزیع هوای فشرده در معادن

به استناد ماده (۲۳) قانون برنامه و بودجه و ماده (۶) آیین‌نامه استانداردهای اجرایی طرح‌های عمرانی- مصوب سال ۱۳۵۲ و در چارچوب نظام فنی و اجرایی کشور (موضوع تصویبنامه شماره ٤۲۳۳۹/ت۳۳٤۹۷هـ مورخ ۱۳۸۵/٤/۲۰ هیأت محترم وزیران)، به پیوست نشریه شماره ۵۳۱ دفتر نظام فنی اجرایی، با عنوان «**دستورالعمل توزیع هوای فشرده در معادن**» از نوع گروه سوم ابلاغ می‌شود.

دستگاه‌های اجرایی، مهندسان مشاور، پیمانکاران و عوامل دیگر می‌توانند از این نشریه به عنوان راهنما استفاده کنند و در صورتی که روش‌ها، دستورالعمل‌ها و راهنمای بهتری در اختیار داشته باشند، با ارسال نسخه‌ای از آن به دفتر نظام فنی اجرایی رعایت مفاد این بخشنامه الزامی نیست.

ابراهیم عزیزی

omoorepeyman.ir

omoorepeyman.ir

اصلاح مدارک فنی

خواننده گرامی

دفتر نظام فنی اجرایی معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رییس جمهور، با استفاده از نظر کارشناسان برجسته مبادرت به تهیه این نشریه کرده و آن را برای استفاده به جامعه مهندسی کشور عرضه نموده است. با وجود تلاش فراوان، این اثر مصون از ایرادهایی نظیر غلطهای مفهومی، فنی، ابهام، ایهام و اشکالات موضوعی نیست.

از این‌رو، ***از شما خواننده گرامی صمیمانه تقاضا دارد در صورت مشاهده هرگونه ایراد و اشکال فنی مراتب را به صورت زیر گزارش فرمایید:***

۱- ***شماره بند و صفحه موضوع مورد نظر را مشخص کنید.***

۲- ***ایراد مورد نظر را به صورت خلاصه بیان دارید.***

۳- ***در صورت امکان متن اصلاح شده را برای جایگزینی ارسال نمایید.***

۴- ***نشانی خود را برای تماس احتمالی ذکر فرمایید.***

کارشناسان این دفتر نظرهای دریافتی را به دقت مطالعه نموده و اقدام مقتضی را معمول خواهند داشت.

پیشاپیش از همکاری و دقت نظر جنابعالی قدردانی می‌شود.

نشانی برای مکاتبه: تهران، میدان بهارستان، خیابان صفی‌علی‌شاه، مرکز تلفن ۳۳۲۷۱، دفتر نظام فنی اجرایی

Email: tsb.dta@mporg.ir **web: http://tec.mporg.ir/**

omoorepeyman.ir

omoorepeyman.ir

بسمه تعالی

پیشگفتار

نظام فنی و اجرایی کشور (مصوبه شماره ۴۲۳۳۹/ ت ۳۳۴۹۷ هـ ، مورخ ۱۳۸۵/۴/۲۰ هیات محترم وزیران) به کارگیری معیارها، استانداردها و ضوابط فنی در مراحل تهیه و اجرای طرح و نیز توجه لازم به هزینه‌های نگهداری و بهره‌برداری در قیمت تمام شده طرح‌ها را مورد تاکید جدی قرار داده است.

با توجه به اهمیت استفاده از هوای فشرده از نقطه نظر رعایت مسایل فنی و ایمنی در معادن ، شبکه‌ی توزیع هوای فشرده باید به گونه‌ای در نظر گرفته شود که هوای فشرده‌ی توزیعی از نظر شدت جریان و فشار در حد مجاز باشد و این امر مستلزم طراحی مناسب شبکه‌ی توزیع هوای فشرده است.

تولید هوای فشرده در مقایسه با سایر منابع تولید انرژی نظیر برق و موتورهای درون‌سوز هزینه‌ی بالاتری دارد و راندمان ماشین‌آلات هوای فشرده در مقایسه با سایر ماشین‌ها کم‌تر است، اما به علت رعایت مسایل فنی و ایمنی، استفاده از هوای فشرده تقریبا در تمام معادن اجتناب‌ناپذیر است.

در راستای اهداف وزارت صنایع و معادن و در چارچوب برنامه‌ی تدوین ضوابط و معیارهای معدن نشریه‌ی «**دستورالعمل توزیع هوای فشرده در معادن**» به منظور ارایه‌ی دستورالعمل فنی و یکسان برای طراحی شبکه‌ی تامین و توزیع هوای فشرده در معادن تهیه شده است.

در این نشریه دستورالعمل‌های محاسبه‌ی میزان هوای فشرده لازم برای بخش‌های مختلف معدن، انتخاب لوله‌های مناسب برای شبکه‌ی توزیع، محاسبه‌ی افت و نشت هوا ارایه شده‌اند. طراحی شبکه‌ی توزیع هوای فشرده، تجهیزات لازم و دستورالعمل‌ها و مقررات ایمنی شبکه‌ی توزیع نیز از دیگر موارد ذکر شده در این نشریه است.

با همه‌ی تلاش انجام‌شده قطعا هنوز کاستی‌هایی در متن موجود است که إن‌شاءا... کاربرد عملی و در سطح وسیع این نشریه توسط مهندسان موجبات شناسایی و برطرف نمودن آن‌ها را فراهم خواهد نمود.

در پایان، از تلاش و جدیت سرکار خانم مهندس بهناز پورسید و کارشناسان دفتر نظام فنی اجرایی همچنین جناب آقای مهندس وجیها... جعفری مجری محترم طرح تهیه ضوابط و معیارهای فنی بخش معدن کشور در وزارت صنایع و معادن، کارشناسان دفتر نظارت و بهره‌برداری معادن و متخصصان همکار در امر تهیه و نهایی نمودن این نشریه، تشکر و قدردانی می نماید. امید است شاهد توفیق روزافزون همه‌ی این بزرگواران در خدمت به مردم شریف ایران اسلامی باشیم.

معاون نظارت راهبردی

۱۳۸۹

omoorepeyman.ir

مجری طرح:

آقای وجیه‌ا... جعفری	مدیر کل دفتر نظارت و بهره‌برداری- وزارت صنایع و معادن

اعضای شورای عالی به ترتیب حروف الفبا:

آقای بهروز برنا	کارشناس ارشد مهندسی معدن- سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور
آقای وجیه‌ا... جعفری	کارشناس مهندسی معدن- وزارت صنایع و معادن
آقای عبدالعلی حقیقی	کارشناس ارشد زمین‌شناسی- معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی ریاست جمهوری
آقای عبدالرسول زارعی	کارشناس ارشد زمین‌شناسی- وزارت صنایع و معادن
آقای ناصر عابدیان	کارشناس ارشد مهندسی معدن- سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور
آقای حسن مدنی	کارشناس ارشد مهندسی معدن- دانشگاه صنعتی امیرکبیر
آقای هرمز ناصرنیا	کارشناس ارشد مهندسی معدن- سازمان نظام مهندسی معدن

اعضای کارگروه استخراج به ترتیب حروف الفبا:

آقای مصطفی شریف‌زاده	دکترای مهندسی مکانیک سنگ- دانشگاه صنعتی امیرکبیر
آقای کورش شهریار	دکترای مهندسی معدن- دانشگاه صنعتی امیرکبیر
آقای حسن مدنی	کارشناس ارشد مهندسی معدن- دانشگاه صنعتی امیرکبیر
آقای علی مرتضوی	دکترای مهندسی انفجار- دانشگاه صنعتی امیرکبیر

اعضای کارگروه تنظیم و تدوین به ترتیب حروف الفبا:

آقای مهدی ایران‌نژاد	دکترای مهندسی فرآوری مواد معدنی- دانشگاه صنعتی امیرکبیر
آقای عبدالرسول زارعی	کارشناس ارشد زمین‌شناسی- وزارت صنایع و معادن
آقای مصطفی شریف‌زاده	دکترای مهندسی مکانیک سنگ- دانشگاه صنعتی امیرکبیر
آقای حسن مدنی	کارشناس ارشد مهندسی معدن- دانشگاه صنعتی امیرکبیر
آقای بهزاد مهرابی	دکترای زمین‌شناسی اقتصادی- دانشگاه تربیت معلم

گروه مدیریت وراهبری پروژه:

فرزانه آقارمضانعلی	کارشناس ارشد مهندسی صنایع- دفتر نظام فنی اجرایی
علیرضا فلسفی	کارشناس مهندسی عمران- دفتر نظام فنی اجرایی

omoorepeyman.ir

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فصل اول- ویژگی‌های اساسی هوای فشرده، تعاریف و مفاهیم

۱-۱- آشنایی..... ۳
۱-۲- فشار هوا..... ۳
۱-۲-۱- فشار نسبی..... ۳
۱-۲-۲- فشار مطلق..... ۳
۱-۲-۳- خلا..... ۴
۱-۲-۴- شرایط استاندارد (متعارفی)..... ۴
۱-۳- دمای هوا..... ۴
۱-۴- شدت جریان هوای فشرده..... ۴
۱-۵- رطوبت هوای فشرده..... ۵
۱-۵-۱- رطوبت مطلق..... ۵
۱-۵-۲- رطوبت نسبی..... ۵
۱-۶- تحولات ترمودینامیکی به هنگام تراکم هوا..... ۷
۱-۶-۱- تحول هم‌دما یا تک‌دما..... ۷
۱-۶-۲- تحول آدیاباتیک (بی‌دررو)..... ۷
۱-۷- ناخالصی‌های موجود در هوای فشرده..... ۷
۱-۸- تعاریف و مفاهیم مربوط به هوای فشرده..... ۸

فصل دوم- محاسبه‌ی میزان هوای فشرده‌ی لازم

۲-۱- آشنایی..... ۱۳
۲-۲- چکش‌های مکانیکی (پیکور)..... ۱۳
۲-۳- چکش‌های خردکن..... ۱۳
۲-۴- چالزن‌های دستی..... ۱۴
۲-۵- چالزن‌های پایه تلسکوپی..... ۱۴
۲-۶- چالزن‌های پایه گیردار..... ۱۴
۲-۷- چالزن‌های ضربه‌زن در ته چال..... ۱۴
۲-۸- چالزن‌های سنگی..... ۱۴
۲-۹- ماشین‌های حفار..... ۱۴
۲-۱۰- ارابه‌های چالزنی..... ۱۵
۲-۱۱- تلمبه‌های هوای فشرده..... ۱۵
۲-۱۲- بادبزن‌های هوای فشرده..... ۱۵
۲-۱۳- چراغ‌های توربینی..... ۱۵
۲-۱۴- بارکننده‌ها..... ۱۵

فصل سوم-ضرایب تصحیحی برای شدت جریان هوای فشرده

۳-۱- آشنایی..... ۱۹
۳-۲- ضریب ارتفاع..... ۱۹

omoorepeyman.ir

۳-۳- ضریب نشت.....۱۹
۳-۴- ضریب هم‌زمانی.....۲۰

فصل چهارم- انتخاب لوله‌های مناسب برای شبکه‌ی توزیع هوای فشرده

۴-۱-آشنایی.....۲۵
۴-۲- انتخاب قطر اولیه بر اساس سرعت مجاز.....۲۵
۴-۲-۱- خطوط اصلی توزیع.....۲۵
۴-۲-۲- خطوط فرعی توزیع.....۲۶
۴-۳- انتخاب قطر اولیه بر اساس مسایل فنی و اقتصادی.....۲۶

فصل پنجم – محاسبه‌ی افت فشار در لوله‌ها

۵-۱-آشنایی.....۳۳
۵-۲- فرمول‌ها.....۳۳
۵-۲-۱- فرمول هاریس در سیستم متریک.....۳۳
۵-۲-۲- رابطه اطلس کوپکو.....۳۴
۵-۳- جدول‌ها.....۳۴
۵-۳-۱- جدول عمومی.....۳۴
۵-۳-۲- جدول ویژه مربوط به فشار نسبی ۷ بار.....۳۴
۵-۴- نمودارها.....۴۰
۵-۴-۱- نمودار اطلس کوپکو.....۴۰
۵-۴-۲- نمودار پوریفوی.....۴۱
۵-۵- محاسبه افت فشار در شیلنگ‌ها.....۴۱

فصل ششم – محاسبه‌ی افت‌های موضعی

۶-۱- آشنایی.....۴۷
۶-۲- استفاده از فرمول.....۴۷
۶-۳- استفاده ازجدول‌ها.....۴۷
۶-۴- استفاده از نمودار.....۴۹

فصل هفتم- محاسبه‌ی نشت هوا در شبکه‌ی توزیع

۷-۱- آشنایی.....۵۳
۷-۲- حد مجاز نشت هوا در شبکه توزیع.....۵۳
۷-۳- نحوه تشخیص نشت هوا.....۵۳
۷-۳-۱- بازرسی چشمی.....۵۳
۷-۳-۲- تشخیص به وسیله دستگاه.....۵۴
۷-۴- نحوه محاسبه میزان نشت هوا.....۵۴
۷-۴-۱- نحوه محاسبه نشت هوا در بخشی از شبکه توزیع.....۵۴
۷-۴-۲- نحوه محاسبه نشت هوا در کل شبکه توزیع.....۵۴
۷-۵- هزینه نشت هوا.....۵۵

فصل هشتم- مراحل طراحی شبکه‌ی توزیع هوای فشرده

۸-۱- آشنایی.....۵۹

omoorepeyman.ir

۸-۲- مراحل طراحی شبکه توزیع..... ۵۹
۸-۲-۱- تهیه نقشه شبکه استخراجی معدن..... ۵۹
۸-۲-۲- تهیه کروکی شبکه توزیع هوای فشرده..... ۵۹
۸-۲-۳- محاسبه شدت جریان هوای فشرده در محل مصرف‌کننده‌ها..... ۶۰
۸-۲-۴- محاسبه شدت جریان هوای فشرده در شاخه‌های شبکه..... ۶۰
۸-۲-۵- تعیین قطر شاخه‌های مختلف شبکه..... ۶۰
۸-۲-۶- محاسبه افت فشار در شاخه‌های شبکه..... ۶۰
۸-۲-۷- محاسبه افت فشار در محل مصرف‌کننده‌ها..... ۶۰
۸-۳- نحوه محاسبه هزینه شبکه توزیع هوای فشرده..... ۶۱
۸-۳-۱- هزینه‌های تولید هوای فشرده..... ۶۱
۸-۳-۲- هزینه شبکه توزیع..... ۶۱
۸-۴- نرم‌افزارهای محاسبات شبکه توزیع هوای فشرده با استفاده از کامپیوتر..... ۶۲

فصل نهم- انتخاب تجهیزات لازم

۹-۱- آشنایی..... ۶۵
۹-۲- سردکننده انتهایی..... ۶۵
۹-۳- مخزن هوا..... ۶۵
۹-۴- تجهیزات خشک کردن هوا..... ۶۸
۹-۵- خط لوله اصلی..... ۶۸
۹-۶- آبگیرها..... ۶۹
۹-۷- وسایل جلوگیری از یخ زدن آب..... ۷۰
۹-۸- شیلنگ..... ۷۱
۹-۹- وسایل روغن‌کاری..... ۷۲
۹-۱۰- وسایل اندازه‌گیری..... ۷۲

فصل دهم- دستورالعمل‌ها و مقررات ایمنی در مورد شبکه‌ی توزیع هوای فشرده

۱۰-۱- دستورالعمل نحوه کار و شرح وظایف کمپرسورچی..... ۷۵
۱۰-۲- دستورالعمل راه‌اندازی کمپرسور..... ۷۶
۱۰-۳- دستورالعمل کنترل کمپرسورهای در حال کار..... ۷۷
۱۰-۴- وظایف متصدی دستگاه کمپرسور به هنگام بهره‌برداری..... ۷۸
۱۰-۵- دستورالعمل بازدید و برنامه‌کاری تعمیرات کمپرسورها..... ۷۹
۱۰-۶- دستورالعمل سرویس و استفاده از مخزن هوا..... ۸۱
۱۰-۷- دستورالعمل توزیع و استفاده از هوای فشرده..... ۸۳

پیوست۱- معرفی نرم‌افزارهای موجود برای محاسبات شبکه‌ی توزیع هوای فشرده

omoorepeyman.ir

omoorepeyman.ir

فصل ۱

ویژگی‌های اساسی هوای فشرده، تعاریف و مفاهیم

omoorepeyman.ir

omoorepeyman.ir

۱-۱- آشنایی

ویژگی‌های اصلی هوای فشرده شامل فشار، دما، رطوبت، شدت جریان و تحولات ترمودینامیکی تراکم هواست که در این فصل مورد بررسی قرار گرفته و علاوه بر آن بعضی تعاریف و مفاهیم مصطلح در صنعت هوای فشرده نیز آمده است.

۱-۲- فشار هوا

فشار هوای فشرده از جمله مهم‌ترین ویژگی‌های آن است. در این بحث، مقصود از فشار هوا، فشار استاتیکی آن یعنی نیرویی است که هوای فشرده بر واحد سطح اعمال می‌کند و به دو صورت مطلق و نسبی بیان می‌شود.

۱-۲-۱- فشار نسبی[1]

تفاوت فشار هوا نسبت به فشار آتمسفر محل، بدین نام خوانده می‌شود. فشار نسبی معمولا بر حسب کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع و ارتفاع نظیر آن بر حسب سانتی‌متر جیوه یا میلی‌متر آب بیان و به وسیله‌ی فشارسنج‌های نسبی یا جیوه‌ای اندازه‌گیری می‌شود.

۱-۲-۲- فشار مطلق[2]

فشار کلی هوا که نسبت به خلا مطلق اندازه‌گیری و بیان می‌شود، به نام فشار مطلق موسوم است. فشار مطلق، حاصل جمع فشار نسبی اندازه‌گیری شده و فشار آتمسفر است. در کاربرد فرمول‌های توزیع هوای فشرده از این فشار استفاده می‌شود. رابطه‌ی بین فشار نسبی و مطلق به شکل زیر است:

$$P_{abs} = P_{gag} + P_{atm} \qquad (۱-۱)$$

که در آن:

P_{abs} = فشار مطلق

P_{gag} = فشار نسبی

P_{atm} = فشار آتمسفر

در جدول ۱-۱، واحدهای مختلف فشار و رابطه‌ی تبدیل آن‌ها درج شده است.

جدول ۱-۱- تبدیل واحدهای مختلف فشار به هم

پاسکال Pa	بار bar	کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع kg/cm^2	آتمسفر atm	پوند بر اینچ مربع PSi
۱	$۱۰^{-۵}$	$۱/۰۱۹۷۲\times ۱۰^{-۵}$	$۰/۹۸۶۹۲\times ۱۰^{-۵}$	$۰/۱۴۵۰۳\times ۱۰^{-۳}$
۱۰۰،۰۰۰	۱	۱/۰۱۹۷۲	۰/۹۸۶۹	۱۴/۵۰۳۸
۹۸۰۶۶/۵	۰/۹۸۰۶۶۵	۱	۰/۹۶۷۸۳۸	۱۴/۲۲۳۳
۱۰۱۳۲۵	۱/۰۱۳۲۵	۱/۰۳۳۲۳	۱	۱۴/۶۹۵۹
۶۸۹۴/۷۶	۰/۰۶۸۹۴۷۶	۰/۰۷۰۳۰۷	۰/۰۶۸۰۴	۱

1 - Gage pressure
2 - Absolute pressure

omoorepeyman.ir

۱-۲-۳- خلا

اگر فشار مطلق هوا کم‌تر از فشار آتمسفر باشد، به آن خلا می‌گویند، به عنوان مثال خلا ۰/۴ آتمسفر معادل فشار مطلق ۰/۶ آتمسفر است.

۱-۲-٤- شرایط استاندارد (متعارفی)

از آنجا که حجم هوا با تغییر فشار و دما تغییر می‌کند، بنابراین همواره باید حجم آن را در شرایط ثابت و معینی موسوم به شرایط استاندارد یا متعارفی بیان کرد. مقصود از شرایط متعارفی، فشار یک آتمسفر و دمای ۱۵ درجه‌ی سانتی‌گراد است.

۱-۳- دمای هوا

برای بیان دما از دو سیستم سانتی‌گراد و فارنهایت استفاده می‌شود. در سیستم دماسنجی سانتی‌گراد یا سلسیوس، دمای ذوب و جوش آب خالص در فشار متعارفی به ترتیب صفر و ۱۰۰ درجه است و این دماسنج‌ها از صفر تا ۱۰۰ مدرج شده‌اند.

در سیستم دماسنجی فارنهایت، دمای ذوب و جوش در شرایط یاد شده به ترتیب ۳۲ و ۲۱۲ درجه است و دماسنج به ۱۸۰ درجه تقسیم شده است.

برای تبدیل این دو سیستم، از روابط زیر استفاده می‌کنند:

$$t_f = 32 + 1.8\,t_c \qquad (۲-۱)$$

که در آن t_f دمای فارنهایت و t_c دمای سانتی‌گراد است.

$$t_c = 0.555\,t_F - 17.777 \qquad (۳-۱)$$

اگر دمای هوا نسبت به صفر مطلق سنجیده شود، دمای حاصله را دمای مطلق[1] می‌خوانند. برای تبدیل دمای سانتی‌گراد و فارنهایت به دمای مطلق از روابط زیر استفاده می‌کنند:

$$T_c = t_c + 273 \qquad (۴-۱)$$

$$T_F = t_F + 459.6 \approx t_F + 460 \qquad (۵-۱)$$

در این روابط T_C دمای مطلق سانتی‌گراد و T_F دمای مطلق فارنهایت است.

۱-٤- شدت جریان هوای فشرده

شدت جریان هوای فشرده‌ای را که از یک لوله عبور می‌کند، یا شدت جریان هوای فشرده‌ای را که به وسیله‌ی کمپرسور تولید و یا به وسیله‌ی مصرف‌کننده‌ها مصرف می‌شود، بر حسب حجم معادل آن در شرایط متعارفی (موسوم به هوای آزاد) می‌سنجند. علت این امر آن است که چون حجم هوا در فشار و دمای مختلف متفاوت است، لذا برای آن که بتوان دو حجم را با هم مقایسه کرد، آن‌ها را در شرایط متعارفی قرار می‌دهند. بدین ترتیب وقتی که گفته می‌شود ظرفیت کمپرسور ۱۷ متر مکعب در دقیقه است، مقصود آن است که کمپرسور در هر دقیقه ۱۷ متر مکعب هوای با فشار یک آتمسفر را تا فشار مورد نظر (مثلا ۷ آتمسفر) فشرده می‌کند. این مطلب درباره‌ی مصرف دستگاه‌هایی که با هوای فشرده کار می‌کنند، نیز صادق است.

omoorepeyman.ir

1 - Absolute tempreture

۱-۵- رطوبت هوای فشرده

یکی از مشخصه‌های مهم هوای فشرده، رطوبت آن است که به دو صورت مطلق و نسبی بیان می‌شود.

۱-۵-۱- رطوبت مطلق

جرم بخار آب موجود در واحد حجم هوا را رطوبت مطلق آن می‌نامند و آن را با h_{abs} نشان می‌دهند. در جدول ۱-۲ رطوبت مطلق هوای اشباع در دماهای مختلف درج شده است. مادام که هوا اشباع نباشد، رطوبت مطلق آن از مقادیر مندرج در جداول ۱-۲ کم‌تر است.

۱-۵-۲- رطوبت نسبی

کیفیت هوا از نقطه نظر محتوای رطوبت را با رطوبت نسبی بیان می‌کنند. اگر m جرم بخار آب موجود در واحد حجم هوا و M جرم بخار آب موجود در واحد حجم هوای اشباع در همان دما باشد، طبق تعریف، رطوبت نسبی از رابطه‌ی زیر به دست می‌آید:

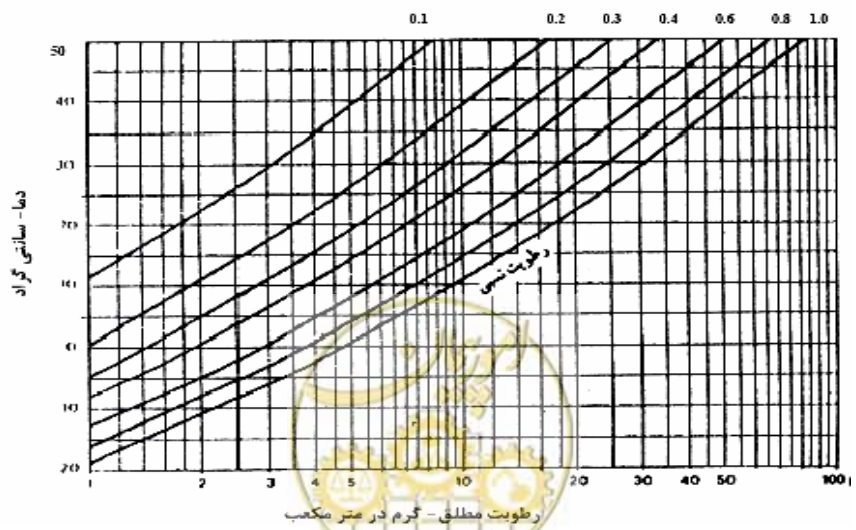
$$h_r = \frac{m}{M} \times 100 \qquad (۱-۶)$$

رطوبت نسبی به گونه‌ی دیگری نیز تعریف می شود. بدین معنی که اگر p فشار جزیی بخار آب در هوا و P فشار جزیی بخار آب اشباع در همان دما باشد، رطوبت نسبی آن از رابطه‌ی زیر به دست می‌آید:

$$h_r = \frac{P}{P} \times 100 \qquad (۱-۷)$$

در مورد هوای فشرده، نقطه‌ی شبنم عبارت از دمایی است که در آن، بخار آب موجود در هوای فشرده به مایع تبدیل می‌شود. بدیهی است نقطه‌ی شبنم هوای فشرده و هوای معمولی با هم تفاوت دارند، زیرا رطوبت مطلق هوای فشرده زیادتر از هوای معمولی است.

برای تعیین رطوبت نسبی می‌توان از شکل ۱-۱ استفاده کرد. بدین منظور رطوبت مطلق هوا را در محور افقی و دمای آن را در محور قائم نقل می‌کنند و با توجه به نقطه‌ی محل برخورد این دو خط و استفاده از منحنی‌هایی که درصد رطوبت نسبی در آن‌ها قید شده است، رطوبت نسبی هوا را به دست می‌آورند.



شکل ۱-۱- تعیین رطوبت نسبی هوا

omoorepeyman.ir

جدول ۱-۲- فشار و جرم بخار آب اشباع در دماهای مختلف

دما C°	فشار جزیی mbar	رطوبت مطلق g/m^3	دما C°	فشار جزیی mbar	رطوبت مطلق g/m^3
-۴۰	۰/۱۲۸	۰/۱۱۹	۵	۸/۷۲	۶/۸۰
-۳۸	۰/۱۶۱	۰/۱۴۸	۶	۹/۳۵	۷/۲۶
-۳۶	۰/۲۰۰	۰/۱۸۳	۷	۱۰/۰۱	۷/۷۵
-۳۴	۰/۲۴۹	۰/۲۲۵	۸	۱۰/۷۲	۸/۲۷
-۳۲	۰/۳۰۸	۰/۲۷۷	۹	۱۱/۴۷	۸/۸۲
-۳۰	۰/۳۸۰	۰/۳۳۹	۱۰	۱۲/۲۷	۹/۴۰
-۲۹	۰/۴۲۱	۰/۳۷۴	۱۱	۱۳/۱۲	۱۰/۰۱
-۲۸	۰/۴۶۷	۰/۴۱۳	۱۲	۱۴/۰۲	۱۰/۶۶
-۲۷	۰/۵۱۷	۰/۴۵۵	۱۳	۱۴/۹۷	۱۱/۳۵
-۲۶	۰/۵۷۲	۰/۵۰۲	۱۴	۱۵/۹۸	۱۲/۰۷
-۲۵	۰/۶۱۲	۰/۵۵۲	۱۵	۱۷/۰۴	۱۲/۸۳
-۲۴	۰/۶۹۳	۰/۶۶۸	۱۶	۱۸/۱۷	۱۳/۶۳
-۲۳	۰/۷۷۱	۰/۶۶۸	۱۷	۱۹/۳۷	۱۴/۴۸
-۲۲	۰/۸۵۰	۰/۷۳۴	۱۸	۲۰/۶۳	۱۵/۳۷
-۲۱	۰/۹۳۷	۰/۸۰۵	۱۹	۲۱/۹۶	۱۶/۳۱
-۲۰	۱/۰۳	۰/۸۸۴	۲۰	۲۳/۳۷	۱۷/۳۰
-۱۹	۱/۴۴	۰/۹۶۸	۲۱	۲۴/۸۶	۱۸/۳۴
-۱۸	۱/۲۵	۱/۰۶	۲۲	۲۶/۴۳	۱۹/۴۳
-۱۷	۱/۳۷	۱/۱۶	۲۳	۲۸/۰۹	۲۰/۵۹
-۱۶	۱/۵۱	۱/۲۷	۲۴	۲۹/۸۳	۲۱/۷۸
-۱۵	۱/۶۵	۱/۳۹	۲۵	۳۱/۶۷	۲۳/۰۵
-۱۴	۱/۸۱	۱/۵۲	۲۶	۳۳/۶۱	۲۴/۰۵
-۱۳	۱/۹۸	۱/۶۵	۲۷	۳۵/۶۵	۲۵/۷۸
-۱۲	۲/۱۷	۱/۸۰	۲۸	۳۷/۸۰	۲۷/۲۴
-۱۱	۲/۳۵	۱/۹۶	۲۹	۴۰/۰۶	۲۸/۷۸
-۱۰	۲/۶۰	۲/۱۴	۳۰	۴۲/۴۳	۳۰/۳۶
-۹	۲/۸۴	۲/۳۳	۳۱	۴۴/۹۳	۳۲/۰۷
-۸	۳/۱۰	۲/۵۳	۳۲	۴۷/۵۵	۳۳/۸۳
-۷	۳/۳۸	۲/۷۵	۳۳	۵۰/۳۱	۳۵/۶۹
-۶	۳/۶۹	۲/۹۹	۳۴	۵۳/۲۰	۳۷/۶۱
-۵	۴/۰۲	۳/۲۳	۳۵	۵۶/۲۴	۳۹/۶۳
-۴	۴/۳۷	۳/۵۲	۳۶	۵۹/۴۲	۴۱/۷۶
-۳	۴/۷۶	۳/۸۲	۳۷	۶۲/۷۶	۴۳/۹۶
-۲	۵/۱۷	۴/۱۴	۳۸	۶۶/۷۶	۴۶/۲۶
-۱	۵/۶۲	۴/۴۰	۳۹	۶۹/۹۳	۴۸/۶۷
۰	۶/۱۱	۴/۸۵	۴۰	۷۳/۷۸	۶۱/۱۹
۱	۶/۵۷	۵/۱۹	۴۱	۷۷/۸۰	۵۳/۶۲
۲	۷/۰۶	۵/۵۶	۴۲	۸۲/۰۲	۵۶/۵۶
۳	۷/۵۰	۵/۹۵	۴۳	۸۶/۴۲	۵۹/۴۱
۴	۸/۱۳	۶/۳۶	۴۴	۹۱/۰۳	۶۲/۳۹

omoorepeyman.ir

۱-٦- تحولات ترمودینامیکی به هنگام تراکم هوا

به هنگام تراکم هوا در کمپرسور، فرآیندهای ترمودینامیکی مختلفی را می‌توان در نظر گرفت که هر یک ویژگی‌های خود را دارند.

۱-٦-۱- تحول هم‌دما[1] یا تک‌دما

هنگامی که حجم هوا، بدون تغییر دمای آن تغییر کند، فرآیند حاصله را تراکم یا انبساط هم‌دما یا تک‌دما می‌گویند. در مورد این تحول، بین حجم گاز (V) و فشار آن (P) در دو حالت اولیه و ثانویه رابطه‌ی زیر وجود دارد:

$$P_1V_1 = P_2V_2 = k \qquad (۸-۱)$$

که در آن:

P_1 = فشار مطلق اولیه‌ی گاز

V_1 = حجم اولیه‌ی گاز

P_2 = فشار مطلق نهایی گاز

V_2 = حجم نهایی گاز

K = ضریب ثابت

۱-٦-۲- تحول آدیاباتیک[2] (بی‌دررو)

اگر حجم هوا به گونه‌ای تغییر کند که طی آن تبادل حرارتی با خارج وجود نداشته باشد، فرآیند حاصله را تراکم یا انبساط آدیاباتیک می‌خوانند. در این تحول رابطه بین فشار و حجم گاز در دو حالت به شکل زیر است:

$$P_1V_1^{\,n} = P_2V_2^{\,n} \qquad (۹-۱)$$

که در آن n موسوم به ضریب اتمیسیته و عبارت از خارج تقسیم گرمای ویژه گاز در فشار ثابت (c_p) بر گرمای ویژه آن در حجم ثابت (c_V) است:

$$n = \frac{c_p}{c_v} \qquad (۱۰-۱)$$

اگر چه تراکم هوا در کمپرسورها دقیقا بر هیچ کدام از دو تحول یاد شده منطبق نیست اما در عمل، می‌توان فرآیند تراکم هوا در کمپرسور را از نوع آدیاباتیک در نظر گرفت و بر این اساس، شدت جریان هوای فشرده را با استفاده از رابطه‌ی ۱-۹ محاسبه کرد.

۱-۷- ناخالصی‌های موجود در هوای فشرده

معمولا هوای فشرده‌ای که به وسیله‌ی کمپرسور تولید می‌شود، حاوی ذرات گرد و غبار، دوده، ذرات روغن و نیز بعضی گازهای

1 - Isothermal
2 - Adiabatic

omoorepeyman.ir

دیگر است. این ناخالصی‌ها ممکن است در هوای ورودی به کمپرسور وجود داشته باشد و یا این که در داخل کمپرسور به آن اضافه شود. بعضی از این ناخالصی‌ها (از قبیل گازهای گوگردی) باعث خوردگی خط لوله و موتورهای بادی می‌شوند و بعضی از گازها نیز سمی هستند و یا ممکن است سبب انفجار شوند. با قرار دادن صافی‌های مناسب در هوای ورودی به کمپرسور، می‌توان ذراتی را که ابعادشان ۵ تا ۱۰ میکرون است، جذب کرد و مانع ورود آن‌ها به کمپرسور و در نتیجه به داخل هوای فشرده شد. در پاره‌ای موارد نیز صافی‌هایی در مسیر خط لوله تعبیه می‌کنند. از سوی دیگر، در بسیاری موارد روغن کمپرسور عامل مهمی در آلوده کردن هوای فشرده به شمار می‌آید. اگر چه بخش عمده‌ای از ذرات روغن در نتیجه‌ی سرد کردن هوای فشرده در بخش سردکننده‌ی انتهایی[1] از آن جدا می‌شود، ولی آن قسمت از روغن که به صورت گاز درآمده است، در داخل هوای فشرده باقی می‌ماند.

در پاره‌ای موارد انفجارهایی در داخل کمپرسور، مخزن هوا و ابتدای خط لوله رخ داده که در این مورد نیز برای وقوع انفجار، دو عامل اصلی یعنی گاز یا ماده‌ی قابل اشتعال و دمای بالا، لازم بوده است. با توجه به آن که دمای لازم معمولا در نتیجه‌ی تراکم هوا حاصل می شود، بنابراین باید نهایت دقت را درباره‌ی مواد قابل انفجار به کار برد. به عنوان مثال دماهای حدود ۲۰۰ درجه‌ی سانتی-گراد و حتی بالاتر در داخل کمپرسورها، یک دمای معمولی به شمار می‌آید. بدین ترتیب، باید از روغن‌هایی برای روغن‌کاری کمپرسور استفاده کرد که در این دماها پایدار باشند و به گازهای خطرناک متان و مونواکسید کربن تجزیه نشوند، زیرا تجزیه‌ی ۲۰ گرم روغن کافی است که یک متر مکعب هوا را به یک مخلوط قابل انفجار خطرناک تبدیل سازد.

ذرات ریز روغن نیز از نقطه نظر قابلیت انفجار خطرناکند. یعنی حتی اگر به گازهای یاد شده هم تجزیه نشوند، اگر دمای اشتعال آن‌ها پایین باشد، ممکن است باعث انفجار شوند. دمای اشتعال بعضی از روغن‌های معمولی که برای روغن‌کاری ماشین‌آلات به کار می‌رود، فقط ۱۲۰ درجه‌ی سانتی‌گراد است.

در مواردی که خطر تجزیه‌ی روغن و ایجاد گازهای سمی و قابل انفجار وجود دارد، می‌توان صافی‌های ویژه‌ای در خط لوله نصب کرد. گرچه وجود این صافی‌ها سبب افت فشار قابل توجهی می‌شود، ولی در عوض ایمنی محیط کار را بالا می‌برد.

۱-۸- تعاریف و مفاهیم مربوط به هوای فشرده

بعضی از اصطلاحات متداول در مورد تولید و توزیع هوای فشرده در زیر آمده است:

الف- ظرفیت واقعی[2] : میزان هوایی است که عملا فشرده شده و با سرعت مشخص و تحت شرایط معین، به سیستم توزیع، تخلیه می‌شود. این اصطلاح مترادف با شدت جریان هوای آزاد است.

ب- سردکننده‌ی انتهایی : یک سیستم مبادله‌ی حرارت برای سرد کردن هوایی است که از کمپرسور خارج می‌شود. در اثر این فرآیند، بخشی از بخار آب همراه با هوای فشرده به صورت مایع در می‌آید که می‌توان آن را به وسیله‌ی جداکننده‌ی رطوبت، جدا کرد.

پ- ظرفیت‌سنج[3]: دستگاهی که شدت جریان هوای خروجی از کمپرسور را اندازه می‌گیرد.

ت- نسبت تراکم[1]: نسبت فشار مطلق خروجی از کمپرسور بر فشار مطلق ورودی به آن.

1 - After cooler
2 - Actual capacity
3 - Capacity gage

omoorepeyman.ir

ث- دمای بحرانی: حداکثر دمایی که طی آن می‌توان گاز را تحت تاثیر فشار به تنهایی، به مایع تبدیل کرد.

ج- شدن جریان هوای آزاد واقعی[۲]: شدت جریان هوای فشرده (برحسب هوای آزاد) در یک نقطه، تحت شرایط ویژه‌ی آن نقطه.

چ- شدت جریان هوای آزاد استاندارد[۳]: شدت جریان هوای آزاد که نسبت به شرایط متعارفی (دمای ۱۵ درجه‌ی سانتی‌گراد و فشار یک آتمسفر و رطوبت نسبی صفر) تصحیح شده است.

ح- فشار قطع ورودی و خروجی[٤]: حداقل و حداکثر فشار هوای فشرده‌ی خروجی از کمپرسور که طی آن کمپرسور از حالت بدون بار به حالت تحت بار و یا برعکس آن تغییر وضعیت می‌دهد.

خ- چرخه‌ی کمپرسور[٥]: سری مراحلی که کمپرسور طی آن‌ها به وضعیت‌های بدون بار، بار کامل، تنظیم شده و بدون بار در می‌آید.

د- درجه‌ی میان‌سردکنندگی[٦]: اختلاف دمای هوای ورودی به کمپرسور و خروجی از میان‌سردکننده.

ذ- خشک‌کننده[۷]: جسمی که سطح خارجی منافذ آن زیاد و قادر است بخار آب موجود در هوای فشرده را جذب و از آن جدا کند.

ر- نقطه‌ی شبنم[۸]: دمایی که طی آن، در اثر سرد شدن هوا تحت فشار ثابت، رطوبت موجود در آن به مایع تبدیل می‌شود. در این نقطه، رطوبت نسبی صد درصد است.

ز- تقاضا[۹] (دبی لازم): شدت جریان هوای لازم که تحت شرایط ویژه در هر نقطه، لازم است.

ژ- فشار تخلیه[۱۰]: فشار هوا در یک نقطه‌ی خاص از سیستم، طی شرایط ویژه.

س- دمای تخلیه[۱۰]: دمای هوای فشرده در نقطه‌ی خروج از کمپرسور.

ش- سقوط[۱۱]: سقوط فشار هوای فشرده در خروجی تنظیم‌کننده‌ی فشار کمپرسور در اثر مصرف هوای فشرده.

ص- کمپرسور نوع دینامیک[۱۲]: گروهی از کمپرسورها که در آن‌ها هوا در اثر گردش چرخ دوار فشرده می‌شود و انواع محوری و گریز از مرکز را در بر می‌گیرد.

ض- بار کامل[۱۳]: شرایطی که طی آن، کمپرسور در حالی که مجرای خروجی هوای آن به طور کامل باز است، با حداکثر سرعت کار کرده و حداکثر هوای فشرده را تولید می‌کند.

ط- میان‌سردکننده[۱٤]: دستگاهی که در بین طبقات کمپرسورهای چند طبقه نصب می‌شود تا دمای هوای خروجی از هر طبقه را کاهش دهد.

ظ- ضریب بار[۱٥]: حاصل تقسیم بار متوسط کمپرسور بر حداکثر بار آن طی یک بازه‌ی زمانی معین.

ع- کمپرسور چند طبقه[۱٦]: کمپرسوری که دو یا چند طبقه دارد که به حالت سری با هم کار می‌کنند.

---

4 - Compression ratio
1- Actual cfm
2 - Standard cfm
3- Cut-in/cut-out pressure
4 - Cycle
5- Degree of intercooling
6 - Desiccant
7- Dew point
8 - Demand
9- Discharge pressure
10 - Discharge temperature
11- Droop
12 – Dynamic type compressor
13- Full load
14 - Intercooler
15- Load factor
16 – Multi stage Compressor
17- Pneumatic tools

omoorepeyman.ir

غ- ابزار بادی[۱۷]: ابزاری که با انرژی هوای فشرده کار می‌کنند.

ف- بازه‌ی فشار: اختلاف بین حداکثر و حداقل فشار در یک کمپرسور.

ق- مخزن هوا[۱] : مخزنی که هوای خروجی از کمپرسور در آن ذخیره شده و از طریق آن به شبکه‌ی توزیع هوای فشرده هدایت می‌شود.

ک- کمپرسور رفت و برگشتی[۲]: کمپرسوری که در آن، هوا در اثر حرکت رفت و برگشتی پیستون در داخل استوانه، فشرده می‌شود.

omoorepeyman.ir

1- Air receiver
2- Reciprocating Compressor

فصل ۲

محاسبه‌ی میزان هوای فشرده‌ی لازم

omoorepeyman.ir

omoorepeyman.ir

۲-۱- آشنایی

برای تعیین میزان هوای فشرده‌ی لازم ابتدا باید مصرف خام دستگاه‌های بادی مختلفی را که در معدن به کار مشغولند، محاسبه کرد و آن‌گاه بر اساس ضرایب تصحیحی که در فصل سوم آمده است، شدت جریان نهایی را مشخص ساخت.

مهم‌ترین دستگاه‌های بادی متداول در معادن عبارتند از:

الف- چکش‌های مکانیکی؛

ب- چالزن‌های دستی؛

پ- ارابه‌های چالزنی؛

ت- بارکننده‌های بادی؛

ث- بادبزن‌های هوای فشرده؛

ج- چراغ‌های توربینی؛

چ- سایر موارد.

مقدار مصرف اولیه‌ی این دستگاه‌ها در مباحث زیر ارایه شده است.

۲-۲- چکش‌های مکانیکی[1] (پیکور[2])

در کارگاه‌های استخراج معدن زغال‌سنگ ایران، حفر زغال عمدتا به وسیله‌ی چکش‌های مکانیکی (پیکور) انجام می‌گیرد. در بعضی از معادن غیر زغالی نیز برای استخراج از این وسیله استفاده می‌شود. علاوه بر کارگاه‌ها، در پیشروی‌ها نیز برای لق‌گیری و ترمیم حفریات، چکش مکانیکی به کار می‌رود.

مصرف هوای فشرده‌ی چکش‌های مکانیکی که به وسیله‌ی کارخانه‌های مختلف ساخته می‌شود، متفاوت است، ولی معمولا مصرف این دستگاه‌ها بین ۰/۸ تا ۱/۴ متر مکعب در دقیقه تغییر می‌کند.

مصرف چکش‌های مکانیکی ساخت شرکت‌های مختلف را باید از کاتالوگ آن‌ها به دست آورد. در صورتی که به هنگام طراحی سیستم توزیع هوای فشرده، اطلاعات دقیقی از مدل چکش مکانیکی در دست نباشد، توصیه می‌شود که به ازای هر چکش، ۱/۲ متر مکعب در دقیقه منظور شود.

۲-۳- چکش‌های خردکن[3]

این چکش‌ها که برای خردکردن و حفر سنگ‌ها به کار می‌روند، مشابه چکش‌های مکانیکی معمولی هستند، ولی مصرف آن‌ها کمی بیش‌تر است. مصرف هوای خردکن‌های ساخت کارخانه‌های مختلف را می‌توان از کاتالوگ آن‌ها به دست آورد.

در مواردی که به هنگام طراحی سیستم توزیع هوای فشرده‌ی معدن، اطلاع دقیقی از مدل چکش خردکن در دست نباشد، توصیه

1- Hammer
2- Pickor
3- Breaker

omoorepeyman.ir

می‌شود که به ازای هر چکش ۱/۴ متر مکعب در دقیقه منظور شود.

۲-٤- چالزن‌های دستی[1]

مصرف چالزن‌های دستی در مقیاس وسیعی متغیر است. به عنوان مثال مصرف هوای فشرده‌ی چالزن‌های دستی روسی ۱/۳ تا ۲/۶ متر مکعب در دقیقه تغییر می‌کند که در هر مورد باید مقدار آن را ازکاتالوگ شرکت سازنده به دست آورد. اگر اطلاع دقیقی از نوع چالزن‌های دستی در دست نباشد، توصیه می‌شود که برای هر چالزن دستی ۲/۵ متر مکعب در دقیقه منظور شود.

۲-٥- چالزن‌های پایه تلسکوپی[2]

مصرف این چالزن‌ها متفاوت است و به شرکت سازنده بستگی دارد. اگر نوع چالزن مشخص نباشد، توصیه می‌شود که به ازای هر چالزن از این نوع، ۴ متر مکعب در دقیقه منظور شود.

۲-٦- چالزن‌های پایه گیردار[3]

مصرف این چالزن‌ها در مقیاس وسیعی متغیر است و مصرف انواع مختلف آن‌ها از ۹ تا ۲۶ متر مکعب در دقیقه تغییر می‌کند.

اگر مشخصات دقیق این چالزن‌ها در زمان طراحی در دست نباشد، توصیه می‌شود که به ازای هر یک از آن‌ها، ۱۵ متر مکعب در دقیقه منظور شود.

۲-۷- چالزن‌های ضربه‌زن در ته چال[4] (DTH)

مصرف این نوع چالزن‌ها از ۲ تا ۱۲ متر مکعب در دقیقه متغیر است و به علت تغییرات شدید مصرف این چالزن‌ها، توصیه می‌شود که به هنگام طراحی، حتما مدل و کارخانه‌ی سازنده در نظر گرفته شود.

۲-۸- چالزن‌های سنگی[5]

این چالزن‌ها بسیار متنوعند و مصرف آن‌ها در مقیاس وسیعی از ۶ تا ۲۰ متر مکعب در دقیقه تغییر می‌کند و باید مصرف آن‌ها را از کاتالوگ شرکت سازنده به دست آورد.

۲-۹- ماشین‌های حفار[6]

مشخصات و مصرف هوای فشرده‌ی این ماشین‌ها از ۶ تا ۳۵ متر مکعب در دقیقه متفاوت است که در هر مورد باید آن را از اطلاعات شرکت سازنده به دست آورد.

1- Jack hammer
2- Stopper
3- Drifter
4- Down the hole drill
5- Rock drill
6- Perforator

omoorepeyman.ir

۲-۱۰- ارابه‌های چال‌زنی[1]

بسته به تعداد چکش‌های این چالزن‌ها، مصرف آن‌ها بین ۶ تا ۳۰ متر مکعب در دقیقه متفاوت است.

۲-۱۱- تلمبه‌های هوای فشرده

در مواردی که برای آبکشی‌های موضعی از تلمبه‌های هوای فشرده استفاده می‌شود، باید مصرف آن‌ها را در شبکه‌ی توزیع هوای فشرده‌ی معدن منظور کرد. توصیه می‌شود که به ازای هر تلمبه، ۳ متر مکعب در دقیقه منظور شود.

۲-۱۲- بادبزن‌های هوای فشرده

مصرف هوای فشرده بادبزن‌ها را باید از کاتالوگ کارخانه‌ی سازنده به دست آورد. مصرف هوای انواع بادبزن‌های هوای فشرده‌ی روسی که در معادن زغال ایران متداول است، ۱/۵ تا ۴/۶۵ متر مکعب در دقیقه است. اگر مشخصات دقیق بادبزن هوای فشرده در دست نباشد، توصیه می‌شود که به هنگام طراحی به ازای هر بادبزن ۳ متر مکعب در دقیقه منظور شود.

۲-۱۳- چراغ‌های توربینی

معمولا مصرف هوای فشرده‌ی این دستگاه‌ها زیاد نیست و در حد ۰/۲ تا ۰/۲۵ متر مکعب در دقیقه است.

۲-۱۴- بارکننده‌ها

مصرف هوای فشرده بارکننده‌هایی که با هوای فشرده کار می‌کنند، در حد وسیعی متغیر و تابع ظرفیت آن‌ها است. اگر اطلاع دقیقی از مدل بارکننده در دست نباشد، توصیه می‌شود که به ازای هر دستگاه، ۱۰ متر مکعب در دقیقه منظور شود.

omoorepeyman.ir

1- Wagon drill

omoorepeyman.ir

فصل ۳

ضرایب تصحیحی برای شدت جریان هوای فشرده

omoorepeyman.ir

omoorepeyman.ir

۳-۱- آشنایی

مصرف خام دستگاه‌های مختلف بادی که در فصل دوم مورد بحث قرار گرفت، باید از جنبه‌های مختلف و از طریق اعمال ضرایب متفاوت تصحیح شود و شدت جریان تصحیح شده، مبنای انتخاب کمپرسور و شبکه‌ی توزیع هوای فشرده قرار گیرد.

مهم‌ترین ضرایب تصحیحی که در این مورد به کار می‌رود، عبارتند از:

- ضریب ارتفاع؛
- ضریب نشت؛
- ضریب هم‌زمانی.

نحوه‌ی انتخاب این ضرایب در زیر آمده است.

۳-۲- ضریب ارتفاع

مصرف دستگاه‌های بادی بر حسب شدت جریان هوای آزاد بیان می‌شود. از آنجا که فشار هوای ورودی در ارتفاعات مختلف متفاوت است و این امر بر شدت جریان مفید کمپرسور تاثیر می‌گذارد، لذا با توجه به ارتفاع محل، مصرف اولیه‌ی دستگاه‌های بادی را باید در ضریب تصحیحی موسوم به ضریب ارتفاع ضرب کرد تا شدت جریان مصرفی از این نظر تصحیح شود. بسته به ارتفاع محل، ضریب ارتفاع را می‌توان از جدول ۳-۱ به دست آورد.

جدول ۳-۱- ضریب تصحیح ارتفاع برای مصرف هوای فشرده

ارتفاع محل (متر)	۰	۳۰۰	۶۰۰	۹۰۰	۱۲۰۰	۱۵۰۰	۱۸۰۰	۲۱۰۰	۲۴۰۰	۲۷۰۰	۳۰۰۰	۳۶۰۰	۴۵۰۰
ضریب ارتفاع	۱	۱/۰۳	۱/۰۷	۱/۱	۱/۱۴	۱/۱۷	۱/۲۰	۱/۲۳	۱/۲۶	۱/۲۹	۱/۳۲	۱/۳۷	۱/۴۳

در صورتی که ارتفاع محل دقیقا مساوی یکی از اعداد مندرج در جدول ۳-۱ نباشد، ضریب تصحیح را باید از طریق درون‌یابی به دست آورد.

۳-۳- ضریب نشت

میزان مصرف هوایی که کارخانه‌ی سازنده برای دستگاه‌های بادی تعیین کرده است، باید در محل کار دستگاه به مصرف آن برسد. از آنجا که هوای فشرده از محل مصرف تا محل تولید از خط لوله و اتصالات آن عبور می‌کند، لذا بسته به نوع اتصالات و خط لوله، مقداری نشت هوای فشرده وجود خواهد داشت.

با در دست داشتن ضریب نشت، شدت جریان هوای محاسبه شده را باید در این ضریب (که بزرگ‌تر از واحد است) ضرب کرد تا شدت جریان هوایی که باید در ابتدای خط لوله به جریان افتد، به دست آید.

بسته به تعداد و نوع اتصالات، ضریب نشت هوا را ۱/۱ تا ۱/۱۵ منظور می‌کنند. اگر به هنگام طراحی اطلاع دقیقی از جزییات خط لوله در دست نباشد، توصیه می‌شود که این ضریب ۱/۱۵ در نظر گرفته شود.

omoorepeyman.ir

۳-٤- ضریب هم‌زمانی

از آنجا که تمام مصرف‌کننده‌های هوای فشرده هم‌زمان با هم کار نمی‌کنند، لذا بسته به محل مصرف، باید ضریب هم‌زمانی برای آن‌ها در نظر گرفت. به عنوان مثال اگر ۲۰ چکش برای یک کارگاه استخراج زغال‌سنگ پیش‌بینی شده باشد، احتمالا ۶۰ تا ۷۰ درصد آن‌ها هم‌زمان با هم در حال کار خواهند بود. اما اگر دو بادبزن هوای فشرده برای تهویه‌ی جبهه‌ی کار پیشروی در نظر گرفته شده باشد، احتمال آن‌که هر دو بادبزن با هم کار کنند، بسیار زیاد است و ضریب هم‌زمانی آن‌ها را باید واحد در نظر گرفت.

از سوی دیگر، اگر برای یک جبهه‌ی کار پیشروی یک دستگاه بارکننده و یک دستگاه ارابه‌ی چالزنی پیش‌بینی شده باشد، از آنجا که در یک زمان ارابه‌ی چالزنی و یا بارکننده در جبهه‌ی کار مشغولند، لذا مصرف هر کدام که بیش‌تر باشد، به عنوان مصرف جبهه‌ی کار در نظر گرفته می‌شود. بسته به تعداد چکش مکانیکی یا چالزن، می‌توان ضریب هم‌زمانی را از جدول ۳-۲ به دست آورد.

در جدول ۳-۳ نیز ترکیب دو ضریب هم‌زمانی و ارتفاع به ازای تعداد دستگاه‌های بادی مختلف و در ارتفاعات متفاوت آمده است.

جدول ۳-۲- ضریب هم‌زمانی چکش‌های مکانیکی و چالزن‌ها با توجه به تعداد آن‌ها

ردیف	تعداد چالزن یا چکش مکانیکی	ضریب هم‌زمان
۱	۱	۱
۲	۲	۰/۹۰
۳	۳	۰/۸۷
۴	۴	۰/۸۵
۵	۵	۰/۸۲
۶	۶	۰/۸۰
۷	۷	۰/۷۷
۸	۸	۰/۷۵
۹	۹	۰/۷۴
۱۰	۱۰	۰/۷۱
۱۱	۱۲	۰/۶۷
۱۲	۱۵	۰/۶۳
۱۳	۲۰	۰/۵۸
۱۴	۲۵	۰/۵۵
۱۵	۳۰	۰/۵۳
۱۶	۴۰	۰/۵۲
۱۷	۵۰	۰/۵۱
۱۸	۶۰	۰/۴۹
۱۹	۷۰	۰/۴۷

omoorepeyman.ir

جدول ۳-۳- حاصل‌ضرب ضریب‌های هم‌زمانی، ارتفاع و تعداد چالزن یا چکش مکانیکی

ارتفاع بر حسب متر	تعداد چالزن																		
	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۲	۱۵	۲۰	۲۵	۳۰	۴۰	۵۰	۶۰	۷۰
	ضریب تصحیح																		
۰	۱	۱/۸	۲/۷	۳/۴	۴/۱	۴/۸	۵/۴	۶/۰	۶/۵	۷/۱	۸/۱	۹/۵	۱۱/۷	۱۳/۷	۱۵/۸	۲۱/۴	۲۵/۵	۲۹/۴	۳۳/۲
۳۰۰	۱/۰۳	۱/۸۵	۲/۷۸	۳/۵	۴/۲۲	۴/۹۴	۵/۵۶	۶/۱۸	۶/۶۹	۷/۳	۸/۳۴	۹/۷۸	۱۲/۰۵	۱۴/۱	۱۶/۳	۲۲/۰	۲۶/۲۶	۳۰/۳	۳۴/۲
۶۰۰	۱/۰۷	۱/۹۲	۲/۸۹	۳/۶۴	۴/۳۹	۵/۱۴	۵/۷۸	۶/۴۲	۶/۹۵	۷/۶۰	۸/۶۷	۱۰/۱۷	۱۲/۵۲	۱۴/۶۶	۱۶/۹	۲۲/۹	۲۷/۲۸	۳۱/۴۶	۳۵/۵۲
۹۰۰	۱/۱۰	۱/۹۸	۲/۹۷	۳/۷۴	۴/۵۱	۵/۲۸	۵/۹۴	۶/۶	۷/۱۵	۷/۸۱	۸/۹۱	۱۰/۴۵	۱۲/۸۷	۱۵/۰۷	۱۷/۳۸	۲۳/۵۴	۲۸/۰۵	۳۲/۳۴	۳۶/۵۲
۱۲۰۰	۱/۱۴	۲/۰۵	۳/۰۸	۳/۸۸	۴/۶۷	۵/۴۷	۶/۱۵	۶/۸۴	۷/۴۱	۸/۰۹	۹/۲۳	۱۰/۸۳	۱۳/۳۴	۱۵/۶۲	۱۸/۰۱	۲۴/۴	۲۹/۰۷	۳۳/۵۲	۳۷/۸
۱۵۰۰	۱/۱۷	۲/۱۰	۳/۱۶	۳/۹۸	۴/۸	۵/۶۲	۶/۳۲	۷/۰۲	۷/۶۱	۸/۳۱	۹/۴۸	۱۱/۱۲	۱۳/۶۹	۱۶/۰۳	۱۸/۴۹	۲۵/۰۴	۲۹/۸۴	۳۴/۴	۳۸/۸۴
۱۸۰۰	۱/۲۰	۲/۱۶	۳/۲۴	۴/۰۸	۴/۹	۵/۷۶	۶/۴۸	۷/۲	۷/۸	۸/۵۲	۹/۷۲	۱۱/۴	۱۴/۰۴	۱۶/۴۴	۱۸/۹۶	۲۵/۶۸	۳۰/۶	۳۵/۴	۳۹/۴۸
۲۱۰۰	۱/۲۳	۲/۲۱	۳/۳۲	۴/۱۸	۵/۰۴	۵/۹	۶/۶۴	۷/۳۸	۷/۹۹	۸/۷۳	۹/۹۶	۱۱/۶۸	۱۴/۳۹	۱۶/۸۵	۱۹/۴۳	۲۶/۳۲	۳۱/۳۶	۳۶/۱۶	۴۰/۸۴
۲۷۰۰	۱/۲۹	۲/۳۲	۳/۴۸	۴/۳۹	۵/۲۹	۶/۱۹	۶/۹۶	۷/۷۴	۸/۳۸	۹/۱۶	۱۰/۴۵	۱۲/۲۶	۱۵/۰۹	۱۷/۶۷	۲۰/۳۸	۲۷/۶	۳۲/۹	۳۷/۹۲	۴۲/۸۳
۳۰۰۰	۱/۳۲	۲/۳۸	۳/۵۶	۴/۴۹	۵/۴۱	۶/۳۴	۷/۱۳	۷/۹۲	۸/۵۸	۹/۳۷	۱۰/۶۹	۱۲/۵۴	۱۵/۴۴	۱۸/۰۸	۲۰/۸۶	۲۸/۲۵	۳۳/۶۶	۳۸/۸	۴۳/۸۲
۳۶۰۰	۱/۳۷	۲/۴۷	۳/۷۰	۴/۶۶	۵/۶۲	۶/۵۷	۷/۴	۸/۲۲	۸/۹	۹/۷۳	۱۱/۱	۱۳/۰۲	۱۶/۰۳	۱۸/۷۷	۲۱/۶۴	۲۹/۳۲	۳۴/۹۴	۴۰/۲۸	۴۵/۴۸
۴۵۰۰	۱/۴۳	۲/۵۷	۳/۸۶	۴/۸۶	۵/۸۶	۶/۸۶	۷/۷۲	۸/۵۸	۹/۳	۱۰/۱۵	۱۲/۵۸	۱۳/۵۸	۱۶/۷۳	۱۹/۵۹	۲۲/۵۹	۳۰/۶	۳۶/۴۶	۴۲/۰۴	۴۷/۴۷

omoorepeyman.ir

omoorepeyman.ir

فصل ۴

انتخاب لوله‌های مناسب برای شبکه‌ی توزیع هوای فشرده

omoorepeyman.ir

omoorepeyman.ir

٤-١- آشنایی

افت فشار حاصل از اصطکاک در ضمن حرکت هوا، از جمله عوامل اصلی در انتخاب قطر لوله یا شیلنگ انتقال هوای فشرده است. اگر قطر لوله یا شیلنگ به درستی انتخاب نشود، ممکن است فشار در انتهای خط لوله به قدری کم شود که نتواند به نحو رضایت‌بخشی دستگاه‌های بادی را تغذیه کند.

راندمان بسیاری از دستگاه‌های بادی، با کاهش فشار به شدت کاهش می‌یابد که این امر منجر به افزایش مصرف انرژی می‌شود. هنگامی که هزینه‌ی این افزایش انرژی، بیش از هزینه‌ی انتخاب لوله‌های بزرگ‌تر باشد، استفاده از لوله‌ی بزرگ‌تر توصیه می‌شود.

کارخانه‌های سازنده‌ی لوازم بادی حداقل فشار مناسب برای کارکرد رضایت‌بخش دستگاه را مشخص می‌سازند، بنابراین قطر لوله‌های توزیع هوای فشرده باید به گونه‌ای انتخاب شود که افت فشار حاصله در طول آن از حد مجاز تجاوز نکند. بدین منظور، ابتدا قطر اولیه بر اساس معیارهایی که در زیر آمده است، انتخاب شده و سپس افت فشار در طول خط لوله محاسبه می‌شود. اگر افت فشار در حد مجاز باشد، قطر انتخابی مناسب خواهد بود.

٤-٢- انتخاب قطر اولیه بر اساس سرعت مجاز

بر اساس تجارب موجود، اگر قطر لوله انتقال هوای فشرده در حد اعداد زیر باشد، لوله انتخابی از نظر افت فشار مناسب خواهد بود.

٤-٢-١- خطوط اصلی توزیع

قطر خط لوله اصلی باید به گونه‌ای انتخاب شود که سرعت هوای فشرده در آن ۶ تا ۷/۵ متر در ثانیه باشد. برای انتخاب قطر لوله بر این اساس، ابتدا باید شدت جریان هوای فشرده عبوری از خط لوله را از رابطه‌ی زیر به دست آورد:

$$P_1 Q_1^{1.4} = P_2 Q_2^{1.4} \qquad (۱-۴)$$

که در آن:

P_1 = فشار مطلق هوای آتمسفر محل

P_2 = فشار مطلق هوای فشرده داخل لوله که از حاصل جمع فشار P_1 و فشار نسبی هوای فشرده به دست می‌آید.

Q_1 = شدت جریان هوای آزاد پیش‌بینی شده در داخل لوله

Q_2 = شدت جریان هوای فشرده داخل لوله

با معلوم شدن Q_2، قطر لوله از رابطه‌ی زیر به دست می‌آید:

$$Q_2 = (\frac{\pi}{4} d^2) \times V \qquad (۲-۴)$$

$$d = \sqrt{\frac{4Q_2}{\pi V}}$$

که در آن:

omoorepeyman.ir

V = سرعت حرکت هوای فشرده در داخل لوله

d = قطر لوله

از آنجا که سرعت پیشنهادی ۶ تا ۷/۵ متر در ثانیه است، لذا در رابطه‌ی ۴-۲، یک بار به ازای سرعت ۶ و یک بار هم به ازای سرعت ۷/۵ متر در ثانیه، قطر محاسبه می‌شود. در حالت کلی قطر محاسبه شده ممکن است عددی باشد که با هیچ یک از قطرهای استاندارد لوله‌ها مطابقت نداشته باشد. بنابراین، با توجه به قطر محاسبه شده، باید نزدیک‌ترین قطرهای استاندارد موجود را انتخاب کرد و بر اساس آن افت فشار خط لوله را به دست آورد. توصیه می‌شود کوچک‌ترین قطر استانداردی که افت فشار آن در حد مجاز باشد، انتخاب شود.

٤-۲-۲- خطوط فرعی توزیع

خطوط فرعی توزیع، لوله‌هایی هستند که از لوله‌ی اصلی منشعب می‌شوند. در مورد این لوله‌ها قطر انتخابی باید به گونه‌ای باشد که سرعت حرکت هوای فشرده در خط لوله از ۱۲ تا ۱۵ متر در ثانیه تجاوز نکند. مراحل انتخاب در این مورد نیز همانند لوله‌های اصلی است.

٤-۳- انتخاب قطر اولیه بر اساس مسایل فنی و اقتصادی

علاوه بر افت فشار مجاز در انتخاب قطر لوله، موارد دیگری به شرح زیر باید مورد توجه قرار گیرد:

موجود بودن لوله در بازار و محدودیت فضای داخل حفریه‌ی معدنی، از دیگر عوامل تعیین قطر لوله است. پس از انتخاب قطر لوله، باید افت فشار حاصله در آن محاسبه (فصل پنجم) و با حد مجاز مقایسه شود. اگر افت فشار از حد مجاز تجاوز نکند، لوله‌ی مناسب است. با در دست داشتن افت فشار مجاز، می‌توان قطر لوله‌ی لازم را به کمک فرمول‌ها یا نمودارها (فصل پنجم) تعیین کرد.

در محاسبه‌ی قطر لوله، حداقل دو عامل تامین هوای فشرده با فشار لازم و دیگری تامین انرژی، با کم‌ترین هزینه‌ی ممکن با در نظر گرفتن هزینه‌ی لوله و اتصالات باید در نظر گرفته شود. با در نظر گرفتن عامل اول، می‌توان برای مسیرهای کوتاه نسبت به مسیرهای طولانی، از لوله‌های کوچک‌تر استفاده کرد، ولی ممکن است این امر اقتصادی نباشد. توجه به عامل دوم این مطلب را توصیه می‌کند که استفاده از لوله‌های بزرگ‌تر از کوچک‌ترین قطر محاسبه شده، اقتصادی‌تر است. هزینه‌ی احداث خط لوله‌های بزرگ در مورد تاسیساتی که برای مدت طولانی بهره‌برداری می‌شوند، به مراتب معقول‌تر از مواردی است که مدت زمان استفاده از خط لوله، کوتاه است.

از آنجا که نمی‌توان یک روش ثابت برای تعیین قطر بهینه‌ی لوله در تمام موارد ارایه داد لذا، در هر مورد، باید با بررسی و تحلیل مهندسی، مناسب‌ترین قطر لوله را با توجه به تمام موارد، محاسبه و انتخاب کرد. در جدول ۴-۱ قطر مناسب پیشنهادی برای توزیع هوای فشرده در موارد مختلف با توجه به مسایل فنی و اقتصادی درج شده است.

omoorepeyman.ir

جدول ٤-١- راهنمای انتخاب قطر لوله‌ی مناسب برای توزیع هوای فشرده در حالت‌های مختلف.

شدت جریان هوای آزاد (متر مکعب در دقیقه)	طول لوله، متر				
	۱۵ تا ۶۱	۶۱ تا ۱۵۲	۱۵۲ تا ۳۰۵	۳۰۵ تا ۷۶۰	۷۶۰ تا ۱۲۰۰
	قطر لوله، اینچ				
۰/۸۵ تا ۱/۷	۱	۱	$۱\frac{۱}{٤}$	$۱\frac{۱}{۲}$	$۱\frac{۱}{۲}$
۱/۷ تا ۲/۸۳	۱	$۱\frac{۱}{٤}$	$۱\frac{۱}{٤}$	۲	۲
۲/۸۳ تا ۵/۶۶	$۱\frac{۱}{۲}$	$۱\frac{۱}{۲}$	۲	$۲\frac{۱}{۲}$	$۲\frac{۱}{۲}$
۵/۶۶تا۱۴/۲	۲	$۲\frac{۱}{۲}$	۳	$۳\frac{۱}{۲}$	$۳\frac{۱}{۲}$
۱۴/۲ تا ۲۸/۳	$۲\frac{۱}{۲}$	۳	$۳\frac{۱}{۲}$	۴	$٤\frac{۱}{۲}$
۲۸/۳ تا ۵۶/۶۳	$۲\frac{۱}{۲}$	۴	$٤\frac{۱}{۲}$	۵	۶
۵۶/۶۳ تا ۱۱۳/۲۶	$۳\frac{۱}{۲}$	۵	۶	۸	۸
۱۱۳/۲۶ تا ۲۲۶/۵	۶	۸	۸	۱۰	۱۰

در بسیاری از موارد، تغذیه‌ی وسایل بادی به وسیله شیلنگ قابل انعطافی که از خط لوله‌ی اصلی منشعب می شود، انجام می‌گیرد. از آنجا که افت فشار در شیلنگ‌ها نسبتا زیاد است لذا، برای جلوگیری از کاهش فشار باید طول شیلنگ فقط در حدی که مورد نیاز است، انتخاب شود.

در جدول ۴-۲ قطر مناسب پیشنهادی شیلنگ برای توزیع هوای فشرده در موارد مختلف و در انواع وسایل بادی متداول در صنعت درج شده است.

در جداول ۴-۳ و ۴-۴ نیز راهنمای انتخاب قطر اولیه‌ی لوله با توجه به شدت جریان عبوری، افت فشار مجاز و فشار کار دستگاه‌ها درج شده است.

جدول ٤-٢- راهنمای انتخاب قطر مناسب شیلنگ برای توزیع هوای فشرده در فشارهای نسبی ۵/۵ تا ۸/٦ بار بر حسب اینچ

شدت جریان هوای آزاد (متر مکعب در دقیقه)	نوع وسیله‌ی بادی	طول شیلنگ بر حسب متر		
		۰ تا ۷/۵	۷/۵ تا ۱۵	۱۵ تا ۶۰
۰ تا ۰/۴۲	مته $\frac{۱}{٤}$ اینچ چکش‌های سبک	$\frac{۵}{۱٦}$	$\frac{۳}{۸}$	$\frac{۱}{۲}$
۰/۴۳ تا ۰/۸۵	مته $\frac{۵}{۱٦}$ تا $\frac{۱}{۲}$ اینچ ضربه‌زن $\frac{۵}{۸}$ اینچ چکش تکه‌برداری چالزن ۷ کیلوگرمی	$\frac{۳}{۸}$	$\frac{۱}{۲}$	$\frac{۱}{۲}$

omoorepeyman.ir

ادامه جدول ٤-۲- راهنمای انتخاب قطر مناسب شیلنگ برای توزیع هوای فشرده در فشارهای نسبی ۵/۵ تا ۸/٦ بار بر حسب اینچ

۰/۸۶ تا ۱/۷	مته $\frac{۵}{۸}$ تا ۱ اینچ ضربه‌زن $\frac{۳}{٤}$ اینچ ساینده‌های سبک چکش‌های پرچ‌کن پرکننده‌ی پشت قاب‌ها لرزاننده‌ی کوچک بتن وسایل تخریب سنگ متوسط چالزن ۱۱/۵ کیلوگرمی	$\frac{۱}{۲}$	$\frac{۱}{٤}$	$\frac{۳}{٤}$
۱/۸ تا ۲/۸	مته ۱ تا ۲ اینچ ضربه‌زن $۱\frac{۱}{٤}$ تا $۱\frac{۳}{٤}$ اینچ ساینده‌ی سنگین لرزاننده‌ی بزرگ بتن تلمبه‌ی آب چالزن ۱۱/۵ تا ۲۵ کیلوگرمی وسایل تخریب سنگین	$\frac{۳}{٤}$	$\frac{۳}{٤}$	۱
۲/۹ تا ۵/۶	جرثقیل و وینچ ماشین جمع کردن مواد ارابه‌ی چالزنی چالزن ۳۴ کیلوگرمی	۱	۱	$۱\frac{۱}{٤}$

جدول ٤-۳- راهنمای انتخاب قطر اولیه‌ی لوله‌های توزیع هوای فشرده با توجه به شدت جریان عبوری در مواردی که افت فشار مجاز ۱۰ درصد فشار ابتدای لوله در نظر گرفته شود.

قطر لوله	فشار عملکرد بر حسب بار		
(اینچ)	۵/۵	۷	۱۰
	حداکثر شدت جریان عبوری مجاز- (متر مکعب در دقیقه)		
$\frac{۱}{۸}$	۰/۱۳۳	۰/۱۶۵	۰/۲۴۴
$\frac{۱}{٤}$	۰/۲۹۷	۰/۳۶۸	۰/۵۶۷
$\frac{۳}{۸}$	۰/۶۵۴	۰/۸۲۲	۱/۱۶۴
$\frac{۱}{۲}$	۱/۲۵	۱/۵۳	۲/۲۷

omoorepeyman.ir

جدول ٤-٤- راهنمای انتخاب قطر اولیه‌ی لوله‌های توزیع هوای فشرده با توجه به شدت جریان عبوری در مواردی که افت فشار مجاز ۵ درصد فشار ابتدای لوله در نظر گرفته شود.

قطر لوله	فشار عملکرد بر حسب بار		
(اینچ)	۵/۵	۷	۱۰
	حداکثر شدت جریان عبوری مجاز – (متر مکعب در دقیقه)		
$\frac{۳}{٤}$	۱/۸۴۲	۲/۲۷	۳/۲۶
۱	۳/۳۹	۴/۲۵	۶/۲۴
$۱\frac{۱}{٤}$	۷/۲	۸/۹۴	۱۳/۰۲
$۱\frac{۱}{۲}$	۱۰/۸	۱۳/۳۲	۱۹/۲۶
۲	۲۰/۴	۲۵/۵	۳۸/۲۲
$۲\frac{۱}{۲}$	۳۳/۹۶	۴۱/۱	۶۲/۴
۳	۵۹/۵۲	۷۳/۸	۱۱۰/۴۰

omoorepeyman.ir

omoorepeyman.ir

فصل ۵

محاسبه‌ی افت فشار در لوله‌ها

omoorepeyman.ir

omoorepeyman.ir

۵-۱- آشنایی

برای محاسبه‌ی افت فشار در لوله‌ها، فرمول‌ها، جدول‌ها و نمودارهای مختلفی وجود دارد که همگی تجربی هستند و نتایج حاصل از محاسبه با آن‌ها تا حدی با هم متفاوت است. پس از انتخاب قطر اولیه، افت فشار حاصله در خط لوله محاسبه می‌شود و در صورتی که این افت فشار در حد مجاز باشد، قطر انتخابی را به عنوان قطر نهایی در نظر می‌گیرند. در غیر این صورت با انتخاب لوله با قطر بزرگ‌تر محاسبات باید تکرار شوند.

۵-۲- فرمول‌ها

بسیاری از فرمول‌ها که برای محاسبه‌ی افت فشار در لوله‌ها وجود دارد، در سیستم انگلیسی ارایه شده است. از آن‌جا که استاندارد ایران سیستم متریک است، لذا دو رابطه‌ی زیر بدین منظور ارایه می‌شود، توصیه می‌شود که افت فشار با هر دو فرمول محاسبه شده و میانگین آن‌ها به عنوان افت فشار واقعی در نظر گرفته شود.

۵-۲-۱- فرمول هاریس[1] در سیستم متریک

این رابطه به شکل زیر است:

$$\Delta p = \frac{800 L Q^2}{r d^{5.3}} \qquad (۱-۵)$$

که در آن:

ΔP = افت فشار در طول خط لوله بر حسب بار

L = طول لوله بر حسب متر

r = نسبت تراکم هوا یعنی نسبت فشار مطلق هوای فشرده در داخل لوله بر فشار مطلق هوای آتمسفر محل

Q = شدت جریان هوای آزاد بر حسب لیتر در ثانیه

d = قطر داخلی لوله بر حسب میلی‌متر

این رابطه را به شکل معکوس نیز می‌توان به کار برد و با در دست داشتن افت فشار مجاز، قطر مناسب را به دست آورد:

$$d = \left(\frac{800 L Q^2}{\Delta P . r}\right)^{\frac{1}{5.3}} \qquad (۲-۵)$$

در این رابطه، ΔP افت فشار مجاز است که آن را ۵ تا ۱۰ درصد فشار در ابتدای خط لوله در نظر می‌گیرند. توصیه می‌شود که در طراحی خط لوله‌ی توزیع هوای فشرده، این عدد ده درصد در نظر گرفته شود.

omoorepeyman.ir

1-Harris

۵-۲-۲- رابطه‌ی اطلس کوپکو

این رابطه که به وسیله‌ی شرکت اطلس کوپکو ارایه شده، به شرح زیر است:

$$\Delta P = \frac{fLQ^{1.85}}{P_1 d^5} \qquad (۳-۵)$$

که در آن:

ΔP = افت فشار بر حسب بار

Q = شدت جریان هوای آزاد بر حسب متر مکعب در ثانیه

L = طول لوله بر حسب متر

d = قطر داخلی لوله بر حسب میلی‌متر

P_1 = فشار مطلق هوا در ابتدای لوله بر حسب بار

f = ضریب اصطکاک که مقدار آن برای لوله‌های معمولی $۱/۶ \times ۱۰^{۸}$ در نظر گرفته می‌شود.

این فرمول را نیز می توان به صورت معکوس برای تعیین قطر مناسب به کار برد:

$$d = \left(\frac{fLQ^{1.85}}{P_1 \Delta P}\right)^{\frac{1}{5}} \qquad (۴-۵)$$

۵-۳- جدول‌ها

برای محاسبه‌ی افت فشار در خط لوله جدول‌هایی وجود دارد که عمدتا در سیستم انگلیسی تنظیم شده‌اند.

۵-۳-۱- جدول عمومی

برای استفاده از این جدول که در تمام موارد می‌توان از آن استفاده کرد (جدول ۵-۱)، ابتدا شدت جریان هوای آزاد (بر حسب فوت مکعب در دقیقه) در ستون اول مشخص شده و از محل تلاقی ردیف مربوط به آن با ستون مربوط به قطر لوله، افت فشار اولیه بر حسب پوند بر اینچ مربع به دست می‌آید. از تقسیم این عدد بر نسبت تراکم یعنی حاصل تقسیم فشار مطلق هوای فشرده در خط لوله بر فشار مطلق هوای آتمسفر محل، افت فشار واقعی ۱۰۰۰ فوت از لوله بر حسب پوند بر اینچ مربع حاصل می‌شود. از آنجا که این جدول بر اساس ۱۰۰۰ فوت از خط لوله تنظیم شده است، لذا برای تعیین افت فشار مربوط به هر لوله، باید آن را به نسبت طول لوله مورد نظر تصحیح کرد.

۵-۳-۲- جدول ویژه‌ی مربوط به فشار نسبی ۷ بار

از آنجا که فشار نسبی هوای خروجی از کمپرسور در معادن ایران معمولا ۷ بار است، بنابراین استفاده از جدول ۵-۲ توصیه می‌شود. در این جدول، از محل تلاقی ردیف مربوط به شدت جریان هوای آزاد (بر حسب فوت مکعب در دقیقه) و ستون مربوط به قطر لوله‌ی (بر حسب اینچ) افت فشار بر حسب پاسکال به دست می‌آید. از آنجا که این جدول برای طول ۱۰۰۰ فوت (معادل ۳۰۴/۸ متر) تنظیم شده است، لذا عدد حاصل از جدول را باید متناسب با طول لوله، اصلاح کرد.

omoorepeyman.ir

جدول ۵-۱- افت فشار در طول ۱۰۰۰ فوت خط لوله بر حسب پوند بر اینچ مربع در حالت کلی

(عددی را که از جدول به دست می‌آید، باید بر نسبت تراکم هوا تقسیم کرد)

قطرلوله- اینچ / شدت جریان (ft^3/min)	$\frac{1}{2}$	$\frac{3}{4}$	۱	$1\frac{1}{3}$	$1\frac{1}{2}$	$1\frac{3}{4}$	۲	$2\frac{1}{2}$	۳
۵	۱۲/۷	۱/۲	–	–	–	–	–	–	–
۱۰	۵۰/۷	۷/۸	۲/۲	–	–	–	–	–	–
۱۵	۱۱۴/۱	۱۷/۶	۴/۹	–	–	–	–	–	–
۲۰		۳۰/۴	۸/۷	۲/۰	–	–	–	–	–
۲۵		۵۰/۰	۱۳/۶	۳/۲	–	–	–	–	–
۳۰		۷۰/۴	۱۹/۶	۴/۵	–	–	–	–	–
۳۵		۹۵/۹	۲۶/۶	۶/۲	۲/۷	–	–	–	–
۴۰		۱۲۵/۳	۳۴/۸	۸/۱	۳/۶	۱/۹	–	–	–
۴۵			۴۴/۰	۱۰/۲	۴/۵	۲/۴	–	–	–
۵۰			۵۴/۴	۱۲/۶	۵/۶	۲/۹	–	–	–
۶۰			۷۸/۳	۱۸/۲	۸/۰	۴/۲	۲/۲	–	–
۷۰			۱۰۶/۶	۲۴/۷	۱۰/۹	۵/۷	۲/۹	–	–
۸۰			۱۳۹/۲	۳۲/۳	۱۴/۳	۷/۵	۳/۸	–	–
۹۰				۴۰/۹	۱۸/۱	۹/۵	۴/۸	–	–
۱۰۰				۵۰/۵	۲۲/۳	۱۱/۷	۶/۰	–	–
۱۱۰				۶۱/۱	۲۷/۰	۱۴/۱	۷/۲	۲/۸	–
۱۲۰				۷۲/۷	۳۲/۲	۱۶/۸	۸/۶	۳/۳	–
۱۳۰				۸۵/۳	۳۷/۸	۱۹/۷	۱۰/۱	۳/۹	–
۱۴۰				۹۸/۹	۴۳/۸	۲۲/۹	۱۱/۷	۴/۶	–
۱۵۰				۱۱۳/۶	۵۰/۳	۲۶/۳	۱۳/۴	۵/۲	–
۱۶۰				۱۲۹/۳	۵۷/۲	۲۹/۹	۱۵/۳	۵/۹	–
۱۷۰					۶۴/۶	۳۳/۷	۱۷/۶	۶/۷	–
۱۸۰					۷۲/۶	۳۷/۹	۱۹/۴	۷/۵	–
۱۹۰					۸۰/۷	۴۲/۲	۲۱/۵	۸/۴	۲/۱
۲۰۰					۸۹/۴	۴۶/۷	۲۳/۹	۹/۳	۲/۹
۲۲۰					۱۰۸/۲	۵۶/۵	۲۸/۹	۱۱/۳	۳/۵
۲۴۰					۱۲۸/۷	۶۷/۳	۳۴/۴	۱۳/۴	۴/۲
۲۶۰						۷۹/۰	۴۰/۳	۱۵/۷	۴/۹
۲۸۰						۹۱/۶	۴۶/۸	۱۸/۲	۵/۷
۳۰۰						۱۰۵/۱	۵۳/۷	۲۰/۹	۶/۶

omoorepeyman.ir

ادامه‌ی جدول ۵-۱- افت فشار در طول ۱۰۰۰ فوت خط لوله بر حسب پوند بر اینچ مربع در حالت کلی.

قطرلوله- اینچ / شدت جریان (ft^3/min)	$\frac{1}{2}$	$\frac{3}{4}$	۱	$1\frac{1}{3}$	$1\frac{1}{2}$	$1\frac{3}{4}$	۲	$2\frac{1}{2}$	۳
۳۲۰	۶۱/۱	۲۳/۸	۷/۵	۳/۵	–	–	–	–	–
۳۴۰	۶۹/۰	۲۶/۸	۸/۴	۳/۹	–	–	–	–	–
۳۶۰	۷۷/۳	۳۰/۱	۹/۵	۴/۴	–	–	–	–	–
۳۸۰	۸۶/۱	۳۳/۵	۱۰/۵	۴/۹	–	–	–	–	–
۴۰۰	۹۴/۷	۳۷/۱	۱۱/۷	۵/۴	۲/۷	–	–	–	–
۴۲۰	۱۰۵/۲	۴۰/۹	۱۲/۹	۶/۰	۳/۱	–	–	–	–
۴۴۰	۱۱۵/۵	۴۴/۹	۱۴/۱	۶/۶	۳/۴	–	–	–	–
۴۶۰	۱۲۵/۶	۴۸/۸	۱۵/۴	۷/۱	۳/۷	–	–	–	–
۴۸۰	۱۳۷/۶	۵۳/۴	۱۶/۸	۷/۸	۴/۰	–	–	–	–
۵۰۰	۱۵۰/۰	۵۸/۰	۱۸/۳	۸/۵	۴/۳	–	–	–	–
۵۲۵	۱۶۵/۰	۶۴/۲	۲۰/۲	۹/۴	۴/۸	۲/۶	–	–	–
۵۵۰	۱۸۱/۵	۷۰/۲	۲۲/۱	۱۰/۲	۵/۲	۲/۹	–	–	–
۵۷۵	۱۹۷/۰	۷۶/۷	۲۴/۲	۱۱/۲	۵/۷	۳/۱	–	–	–
۶۰۰	۲۱۵/۰	۸۳/۵	۲۶/۳	۱۲/۲	۶/۲	۳/۴	–	–	–
۶۲۵	۲۳۳/۰	۹۲/۷	۲۸/۵	۱۳/۲	۶/۸	۳/۷	–	–	–
۶۵۰	۲۵۳/۰	۹۸/۰	۳۰/۹	۱۴/۳	۷/۰	۴/۰	–	–	–
۶۷۵	۲۷۲/۰	۱۰۵/۷	۳۳/۳	۱۵/۴	۷/۹	۴ /۳	–	–	–
۷۰۰	۲۹۴/۰	۱۱۳/۷	۳۵/۸	۱۶/۶	۸/۵	۴/۶	–	–	–
۷۵۰	۳۳۷/۰	۱۳۰/۵	۴۱/۱	۱۹/۰	۹/۷	۵/۳	۲/۹	–	–
۸۰۰	۳۸۲/۰	۱۴۸/۴	۴۶/۷	۲۱/۷	۱۱/۱	۶/۱	۳/۳	–	–
۸۵۰	۴۳۳/۰	۱۶۵/۰	۵۲/۸	۲۴/۴	۱۲/۵	۶/۸	۳/۸	–	–
۹۰۰	۴۸۶/۰	۱۸۵/۰	۵۹/۱	۲۷/۴	۱۴/۰	۷/۷	۴/۲	–	–
۹۵۰	۵۴۱/۰	۲۰۹/۴	۵۹/۹	۳۰/۵	۱۵/۷	۸/۶	۴/۷	–	–
۱۰۰۰	۶۰۰/۰	۲۳۲/۰	۷۳/۰	۳۳/۸	۱۷/۳	۹/۵	۵/۲	–	–
۱۰۵۰		۲۵۶/۰	۸۰/۵	۳۷/۳	۱۹/۱	۱۰/۴	۵/۸	–	–
۱۱۰۰		۲۸۰/۶	۸۸/۴	۴۰/۹	۲۱/۰	۱۱/۵	۶/۳	۲/۴	–
۱۱۵۰		۳۰۶/۸	۹۶/۶	۴۴/۷	۲۲/۹	۱۲/۵	۶/۹	۲/۶	–
۱۲۰۰		۳۴۴/۰	۱۰۵/۲	۴۸/۸	۲۵/۰	۱۳/۷	۷/۵	۲/۸	–
۱۳۰۰		۳۹۲/۰	۱۲۳/۴	۵۷/۲	۲۹/۳	۱۶/۰	۸/۸	۳/۳	–

omoorepeyman.ir

ادامه‌ی جدول ۵-۱- افت فشار در طول ۱۰۰۰ فوت خط لوله بر حسب پوند بر اینچ مربع در حالت کلی.

قطرلوله- اینچ / شدت جریان (ft^3/min)	۳ ۱/۲	۴	٤ ۱/۲	۵	۶	۸	۱۰	۱۲
۱۴۰۰	۶۶/۳	۳۳/۹	۱۸/۶	۱۰/۲	۳/۸	–	–	–
۱۵۰۰	۷۶/۱	۳۹/۰	۲۱/۳	۱۱/۸	۴/۴	–	–	–
۱۶۰۰	۸۶/۶	۴۴/۳	۲۴/۲	۱۳/۴	۵/۱	–	–	–
۱۷۰۰	۹۷/۸	۵۰/۱	۲۷/۴	۱۵/۱	۵/۷	–	–	–
۱۸۰۰	۱۱۰/۰	۵۶/۱	۳۰/۷	۱۶/۹	۶/۴	–	–	–
۱۹۰۰	–	۶۲/۷	۳۴/۲	۱۸/۹	۷/۱	–	–	–
۲۰۰۰	–	۶۹/۳	۳۷/۹	۲۱/۳	۷/۸	–	–	–
۲۱۰۰	–	۷۶/۴	۴۰/۸	۲۳/۰	۸/۷	۲/۰	–	–
۲۲۰۰	–	۸۳/۶	۴۵/۸	۲۵/۳	۹/۵	۲/۲	–	–
۲۳۰۰	–	۹۱/۶	۵۰/۱	۲۷/۶	۱۰/۴	۲/۴	–	–
۲۴۰۰	–	۹۹/۶	۵۴/۶	۳۰/۱	۱۱/۳	۲/۶	–	–
۲۵۰۰	–	۱۰۳/۳	۵۹/۲	۳۲/۶	۱۲/۳	۲/۹	–	–
۲۶۰۰	–	۱۱۷/۲	۶۴/۰	۳۵/۳	۱۳/۳	۳/۱	–	–
۲۷۰۰	–	–	۶۹/۱	۳۸/۱	۱۴/۳	۳/۳	–	–
۲۸۰۰	–	–	۷۴/۳	۴۱/۰	۱۴/۵	۳/۶	–	–
۲۹۰۰	–	–	۷۹/۶	۴۳/۰	۱۶/۵	۳/۹	–	–
۳۰۰۰	–	–	۸۵/۲	۴۷/۰	۱۷/۷	۴/۱	–	–
۳۲۰۰	–	–	۹۷/۱	۵۳/۵	۲۰/۱	۴/۷	–	–
۳۴۰۰	–	–	۱۰۹/۵	۶۰/۴	۲۲/۷	۵/۳	–	–
۳۶۰۰	–	–	۱۲۲/۸	۶۷/۷	۲۵/۴	۵/۶	–	–
۳۸۰۰	–	–	–	۷۵/۵	۲۸/۴	۶/۶	–	–
۴۰۰۰	–	–	–	۸۳/۶	۳۱/۴	۷/۳	–	–
۴۲۰۰	–	–	–	۹۲/۱	۳۴/۶	۸/۱	–	–
۴۴۰۰	–	–	–	۱۰۱/۲	۳۸/۱	۸/۹	–	–
۴۶۰۰	–	–	–	۱۱۰/۵	۴۱/۵	۹/۷	۲/۹	–
۴۸۰۰	–	–	–	۱۲۰/۴	۴۵/۲	۱۰/۵	۳/۲	–
۵۰۰۰	–	–	–	–	۴۹/۱	۱۱/۵۵	۳/۴	–
۵۲۵۰	–	–	–	–	۵۴/۱	۱۲/۶	۳/۸	–
۵۵۰۰	–	–	–	–	۵۹/۴	۱۳/۹	۴/۲	–
۵۷۵۰	–	–	–	–	۶۴/۹	۱۵/۲	۴/۶	–
۶۰۰۰	–	–	–	–	۷۰/۷	۱۶/۵	۵/۰	–
۶۵۰۰	–	–	–	–	۸۲/۹	۱۹/۸	۵/۹	۲/۳
۷۰۰۰	–	–	–	–	۹۶/۲	۲۲/۵	۶/۸	۲/۵
۷۵۰۰	–	–	–	–	۱۱۰/۵	۲۵/۸	۷/۸	۳/۰
۸۰۰۰	–	–	–	–	۱۲۵/۷	۲۹/۴	۸/۸	۳/۶
۹۰۰۰	–	–	–	–	–	۳۷/۲	۱۱/۲	۴/۴
۱۰۰۰۰	–	–	–	–	–	۴۵/۹	۱۳/۸	۵/۴
۱۱۰۰۰	–	–	–	–	–	۵۵/۵	۱۶/۷	۶/۵
۱۲۰۰۰	–	–	–	–	–	۶۶/۱	۱۹/۸	۷/۷
۱۳۰۰۰	–	–	–	–	–	۷۷/۵	۲۳/۳	۹/۰
۱۴۰۰۰	–	–	–	–	–	۸۹/۹	۲۷/۰	۱۰/۵
۱۵۰۰۰	–	–	–	–	–	۱۰۳/۲	۳۱/۰	۱۲/۲
۱۶۰۰۰	–	–	–	–	–	۱۱۷/۷	۳۵/۳	۱۳/۷
۱۸۰۰۰	–	–	–	–	–	۱۴۸/۷	۴۴/۶	۱۷/۴
۲۰۰۰۰	–	–	–	–	–	–	۵۵/۰	۲۱/۴
۲۲۰۰۰	–	–	–	–	–	–	۶۶/۹	۲۶/۰
۲۴۰۰۰	–	–	–	–	–	–	۷۹/۳	۳۰/۱
۲۶۰۰۰	–	–	–	–	–	–	۹۳/۳	۳۶/۳
۲۸۰۰۰	–	–	–	–	–	–	۱۰۸/۰	۴۲/۱
۳۰۰۰۰	–	–	–	–	–	–	۱۲۳/۹	۴۸/۲

omoorepeyman.ir

جدول ۵-۲- افت فشار حاصله در طول ۱۰۰۰ فوت (۳۰۴/۸ متر) از لوله در صورتی که فشار نسبی در ابتدای لوله ۷ بار (۱۰۰ *psi*) باشد.

بر حسب کیلو پاسکال

شدت جریان m^3/min	$\frac{1}{2}$	$\frac{3}{4}$	۱	$1\frac{1}{4}$	$1\frac{1}{2}$	۲
./۳	۳۸	۶/۹	۲/۱	۰/۷	–	–
۰/۶	۱۷۸	۲۷	۷/۶	۲/۱	۰/۷	–
۰/۸	۴۰۳	۶۲	۱۷	۴/۱	۲/۱	–
۱/۱		۱۱۱	۳۱	۶/۹	۳/۴	–
۱/۴		۱۷۳	۴۸	۱۱	۴/۸	۱/۴
۱/۷		۲۵۰	۶۹	۱۶	۶/۹	۲/۱
۲/۰		۳۴۱	۹۴	۲۲	۹/۷	۲/۸
۲/۳		۴۴۵	۱۲۳	۲۸	۱۲	۳/۴
۲/۵			۱۵۹	۳۶	۱۶	۴/۱
۲/۸			۱۹۲	۴۵	۲۰	۵/۵
۳/۵			۳۳۵	۷۰	۳۱	۸/۳
۴/۲			۴۳۳	۱۰۱	۴۴	۱۲
۵/۰				۱۳۷	۶۰	۱۷
۵/۷				۱۷۹	۷۹	۲۱
۷/۱				۲۷۹	۱۲۳	۳۳
۸/۵				۴۰۱	۱۷۸	۴۸
۹/۹					۲۴۲	۶۴
۱۱/۳					۳۱۶	۸۳
۱۲/۷					۴۰۰	۱۰۶
۱۴/۲						۱۳۲
۱۷/۰						۱۹۷
۱۹/۸						۲۶۰
۲۲/۶						۳۳۸
۲۵/۵						۴۱۴
۲۸/۶۳						
۴۲/۵						
۵۶/۶						
۷۰/۸						
۸۴/۹						
۱۱۳						
۱۴۱						
۲۸۳						
۴۲۵						
۵۶۶						
۸۴۹						

omoorepeyman.ir

ادامه‌ی جدول ۵-۲- افت فشار حاصله در طول ۳۰۴/۸ متر (۱۰۰۰ فوت) از لوله در صورتی که فشار نسبی در ابتدای لوله ۷ بار (۱۰۰ psi) باشد. بر حسب کیلو پاسکال

شدت جریان m^3/min	$2\frac{1}{2}$	۳	۴	۵	۶	۸	۱۰	۱۲
۰/۳								
۰/۶								
۰/۸								
۱/۱								
۱/۴								
۱/۷								
۲/۰	۰/۷							
۲/۳	۱/۴							
۲/۵	۱/۴							
۲/۸	۲/۱							
۳/۵	۳/۴							
۴/۲	۴/۸	۱/۴						
۵/۰	۶/۲	۲/۱						
۵/۷	۸/۳	۲/۸						
۷/۱	۱۲	۴/۱						
۸/۵	۱۸	۵/۵						
۹/۹	۲۴	۷/۶	۲/۱					
۱۱/۳	۳۳	۱۰/۳	۲/۸					
۱۲/۷	۴۱	۱۳	۳/۴					
۱۴/۲	۵۱	۱۶	۴/۱					
۱۷/۰	۷۴	۲۳	۵/۵					
۱۹/۸	۱۰۱	۳۲	۷/۶	۲/۱				
۲۲/۶	۱۳۱	۴۱	۹/۶	۲/۸				
۲۵/۵	۱۶۶	۵۲	۱۲	۳/۴				
۲۸/۳	۲۰۵	۶۵	۱۵	۴/۸	۱/۴			
۴۲/۵	۴۶۲	۱۴۵	۳۴	۱۰	۴/۱			
۵۶/۶		۲۵۸	۶۱	۱۹	۶/۹	۱/۴		
۷۰/۸		۴۰۳	۹۶	۲۹	۱۱	۲/۸		
۸۴/۹			۱۳۸	۴۱	۱۶	۳/۴		
۱۱۳			۲۴۵	۷۴	۲۸	۶/۲	۲/۱	
۱۴۱			۳۸۳	۱۱۶	۴۳	۱۰	۲/۸	
۲۸۳				۴۶۳	۱۷۳	۴۱	۱۲	۴/۸
۴۲۵					۳۹۱	۹۱	۲۸	۱۰
۵۶۶						۱۶۳	۴۹	۱۹
۸۴۹						۳۵۹	۱۱۰	۴۳

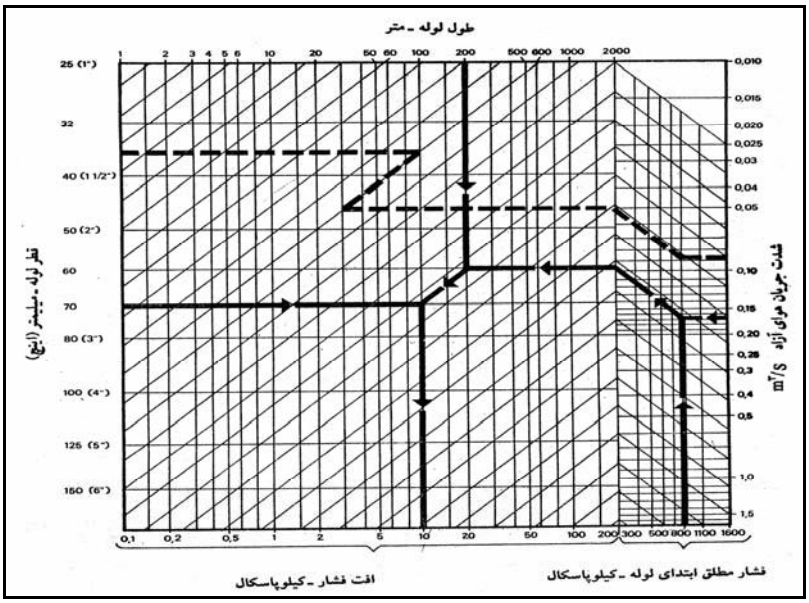
omoorepeyman.ir

۵-۴- نمودارها

برای محاسبه‌ی افت فشار در لوله‌ها، نمودارهایی نیز ارایه شده است. این نمودارها دقت فرمول‌ها و جدول‌ها را ندارند و تنها در محاسبات مقدماتی مورد استفاده قرار می‌گیرد. توصیه می‌شود که افت فشار ابتدا از طریق این نمودارها به طور تقریبی به دست آید و با حد مجاز مقایسه شود. اگر در تقریب اول از حد مجاز خارج بود، با سعی و خطا قطر مناسب انتخاب و میزان دقیق افت فشار به کمک فرمول‌ها و جدول‌ها محاسبه شود.

۵-۴-۱- نمودار اطلس کوپکو

این نمودار در شکل ۵-۱ نشان داده شده است و برای استفاده از آن، ابتدا شدت جریان در روی محور قائم سمت راست نمودار نقل و یک خط افقی از آن رسم شود. سپس فشار در ابتدای خط لوله در بخش دست راست محور افقی پایین مشخص شده و از نقطه‌ی نظیر آن یک خط قائم رسم شود تا خط افقی نظیر شدت جریان را در نقطه‌ای قطع کند. از این نقطه به موازات محورهای مورب موجود در این قسمت، خطی رسم شود تا خط قائم حاشیه این قسمت را قطع کند. از این نقطه باید یک خط افقی رسم کرد تا خط قائم نظیر طول لوله را قطع کند. از این نقطه خطی به موازات خطوط مورب موجود رسم شود تا با خط افقی مربوط به قطر داخلی لوله برخورد کند. اگر از نقطه‌ی برخورد خط قائمی به سمت پایین رسم شود، افت فشار در طول لوله به دست خواهد آمد.



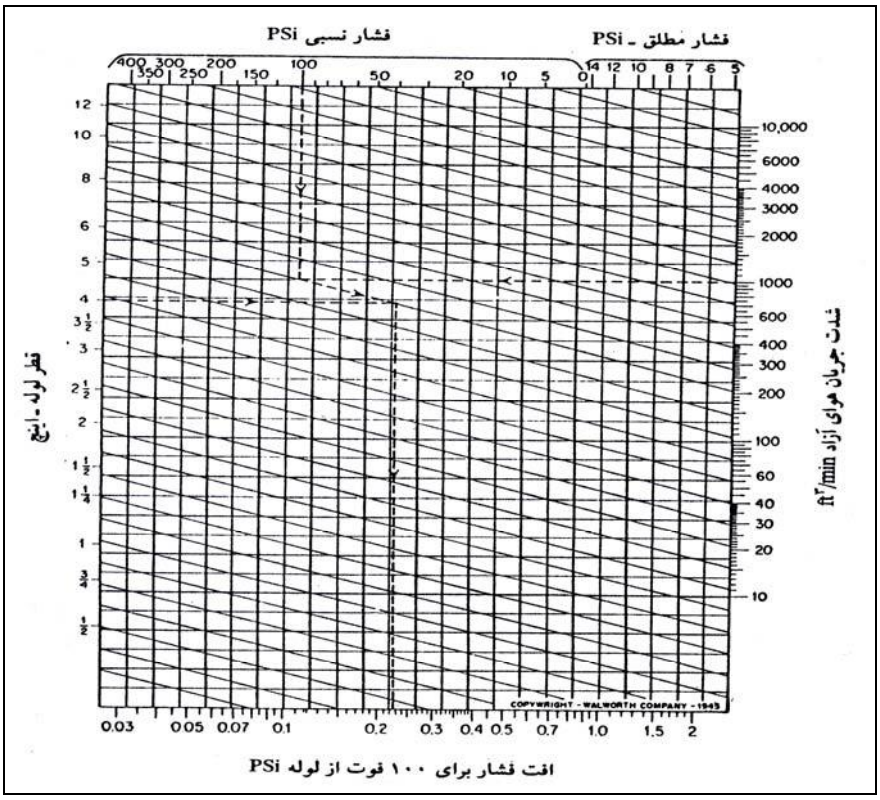
شکل ۵-۱- نمودار اطلس کوپکو برای محاسبه‌ی افت فشار در خط لوله.

اگر مقصود محاسبه‌ی قطر مناسب به ازای افت فشار معین باشد، در مرحله‌ی آخر یاد شده، از نقطه‌ی نظیر افت فشار مجاز در محور افقی پایین، خط قائمی رسم شود تا خط مورب یاد شده را قطع کند. از محل برخورد خط افقی که از این نقطه رسم شود، با محور قائم سمت چپ، قطر مناسب به دست می‌آید.

omoorepeyman.ir

٥-٤-٢- نمودار پوریفوی

برای استفاده از این نمودار (شکل ٥-٢) ابتدا نقطه‌ی نظیر فشار نسبی در محور افقی بالای نمودار، مشخص شده و از این نقطه خط قائمی رسم می‌شود تا خط افقی نظیر شدت جریان را که از محور قائم سمت راست رسم می‌شود، قطع کند.



شکل ٥-٢- نمودار پوریفوی برای محاسبه‌ی افت فشار

از محل تلاقی این دو خط، خط موربی به موازات خطوط مورب موجود رسم می‌شود تا خط افقی نظیر قطر لوله را قطع کند. اگر از نقطه‌ی اخیر خط قائمی به سمت پایین رسم شود، محور افت فشار را در نقطه‌ای که نشانگر افت فشار حاصله است، قطع می‌کند و بدین ترتیب افت فشار تعیین می‌شود.

٥-٥- محاسبه‌ی افت فشار در شیلنگ‌ها

از آنجا که تغذیه‌ی دستگاه‌هایی نظیر چکش‌های بادی، چالزن‌ها، بارکننده‌ها، بادبزن‌های فرعی، چراغ‌های توربینی و دیگر وسایلی که با هوای فشرده کار می‌کنند، به وسیله‌ی شیلنگ‌هایی انجام می‌گیرد که از خط لوله اصلی انتقال هوای فشرده منشعب می‌شوند، بنابراین برای محاسبه‌ی افت نهایی، افت حاصله در طول این قطعه شیلنگ‌ها را نیز باید محاسبه و منظور کرد. اگر چه افت حاصله در شیلنگ‌ها، تابع زبری سطح داخلی آن‌ها است و بنابراین مقدار آن در مورد محصولات کارخانه‌های مختلف تفاوت دارد، ولی

omoorepeyman.ir

میزان متوسط مربوط به انواع معمولی با سطح داخلی صاف را می‌توان از جداول ۵-۳ و ۵-۴ که به ترتیب در سیستم SI و سیستم BS هستند، به دست آورد.

جدول ۵-۳- افت فشار حاصله در طول ۱۵/۳ متر (۵۰ فوت) از شیلنگ‌های معمولی در فشار نسبی ۷ بار بر حسب کیلو پاسکال.

قطر لوله- اینچ / شدت جریان هوای آزاد m^3 / min	$\frac{1}{2}$	$\frac{3}{4}$	۱	$1\frac{1}{4}$	$1\frac{1}{2}$
۰/۶	۱۲				
۰/۸	۲۸				
۱/۱	۴۷	۶/۹			
۱/۴	۷۲	۹/۷			
۱/۷		۱۴			
۲/۳		۲۴			
۲/۸		۳۶	۸/۳		
۳/۴		۵۱	۱۲		
۴/۰		۶۸	۱۷		
۴/۵		۸۸	۲۱		
۵/۱			۲۶		
۵/۷			۳۲	۱۱	
۶/۲			۳۸	۱۳	
۶/۸			۴۵	۱۵	
۷/۱			۴۸	۱۷	
۸/۵			۶۸	۲۳	۹/۷
۹/۹			۹۲	۳۱	۱۳
۱۱/۳				۴۰	۱۷
۱۲/۷				۵۰	۲۱
۱۴/۲				۶۱	۲۶
۱۵/۶				۷۴	۳۰
۱۷/۰				۸۷	۳۶

omoorepeyman.ir

جدول ٥-٤- افت فشار حاصله در طول ١٥/٣ متر (٥٠ فوت) از شیلنگ‌های معمولی با سطح داخلی صاف بر حسب psi [افت طول‌های کم‌تر یا بیش‌تر از ٥٠ فوت را می‌توان از طریق تناسب به دست آورد].

قطر شیلنگ- اینچ	فشار نسبی- psi	شدت جریان هوای آزاد ft^3 / min												
		٢٠	٣٠	٤٠	٥٠	٦٠	٧٠	٨٠	٩٠	١٠٠	١١٠	١٢٠	١٣٠	١٤٠	١٥٠
		افت فشار در ٥٠ فوت شیلنگ - psi													
١/٢ اینچ	٥٠	١/٨	٥/٠	١٠/١	١٨/١	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	٦٠	١/٣	٤/٠	٨/٤	١٤/٨	٢٣/٤	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	٧٠	١/٠	٣/٤	٧/٠	١٢/٤	٢٠/٠	٢٨/٤	–	–	–	–	–	–	–	–
	٨٠	٩	٢/٨	٦/٠	١٠/٨	١٧/٤	٢٥/٢	٣٤/٦	–	–	–	–	–	–	–
	٩٠	٨	٢/٤	٥/٤	٩/٥	١٤/٨	٢٢/٠	٣٠/٥	٤١/٠	–	–	–	–	–	–
	١٠٠	٧	٢/٣	٤/٨	٨/٤	١٣/٣	١٩/٣	٢٧/٢	٣٦/٦	–	–	–	–	–	–
	١١٠	٦	٢/٠	٤/٣	٧/٦	١٢/٠	١٧/٦	٢٤/٦	٣٣/٣	٤٤/٥	–	–	–	–	–
٣/٤ اینچ	٥٠	٠/٤	٠/٨	١/٥	٢/٤	٣/٥	٤/٤	٦/٥	٨/٥	١١/٤	١٤/٢	–	–	–	–
	٦٠	٠/٣	٠/٦	١/٢	١/٩	٢/٨	٣/٨	٥/٢	٦/٨	٨/٦	١١/٢	–	–	–	–
	٧٠	٠/٢	٠/٥	٠/٩	١/٥	٢/٣	٣/٢	٤/٢	٥/٥	٧/٠	٨/٨	١١/٠	–	–	–
	٨٠	٠/٢	٠/٥	٠/٨	١/٣	١/٩	٢/٨	٣/٦	٤/٧	٥/٨	٧/٢	٨/٨	١٠/٦	–	–
	٩٠	٠/٢	٠/٤	٠/٧	١/١	١/٦	٢/٣	٣/١	٤/٠	٥/٠	٦/٢	٧/٥	٩/٠	–	–
	١٠٠	٠/٢	٠/٤	٠/٦	١/٠	١/٤	٢/٠	٢/٧	٣/٥	٤/٤	٥/٤	٦/٦	٧/٩	٩/٤	١١/١
	١١٠	٠/١	٠/٣	٠/٥	٠/٩	١/٣	١/٨	٢/٤	٣/١	٣/٩	٤/٩	٥/٩	٧/١	٨/٤	٩/٩
١ اینچ	٥٠	٠/١	٠/٢	٠/٣	٠/٥	٠/٨	١/١	١/٥	٢/٠	٢/٦	٣/٥	٤/٨	٧/٠	–	–
	٦٠	٠/١	٠/٢	٠/٣	٠/٤	٠/٦	٠/٨	١/٢	١/٥	٢/٠	٢/٦	٣/٣	٤/٢	٥/٥	٧/٢
	٧٠	–	٠/١	٠/٢	٠/٤	٠/٥	٠/٧	١/٠	١/٣	١/٦	٢/٠	٢/٥	٣/١	٣/٨	٤/٧
	٨٠	–	٠/١	٠/٢	٠/٣	٠/٥	٠/٧	٠/٨	١/١	١/٤	١/٧	٢/٠	٢/٤	٢/٧	٣/٥
	٩٠	–	٠/١	٠/٢	٠/٣	٠/٤	٠/٦	٠/٧	٠/٩	١/٢	١/٤	١/٧	٢/٠	٢/٤	٢/٨
	١٠٠	–	٠/١	٠/٢	٠/٢	٠/٤	٠/٥	٠/٦	٠/٨	١/٠	١/٢	١/٥	١/٨	٢/١	٢/٤
	١١٠	–	٠/١	٠/٢	٠/٢	٠/٣	٠/٤	٠/٦	٠/٧	٠/٩	١/١	١/٣	١/٥	١/٨	٢/١
١ ١/٤ اینچ	٥٠	–	–	٠/١	٠/٢	٠/٢	٠/٣	٠/٤	٠/٥	٠/٧	١/١	–	–	–	–
	٦٠	–	–	–	٠/١	٠/٢	٠/٣	٠/٣	٠/٥	٠/٦	٠/٨	١/٠	١/٢	١/٥	–
	٧٠	–	–	–	٠/١	٠/٢	٠/٢	٠/٣	٠/٤	٠/٤	٠/٥	١/٠	٠/٨	١/٠	١/٣
	٨٠	–	–	–	–	٠/١	٠/٢	٠/٢	٠/٣	٠/٤	٠/٥	٠/٦	٠/٧	٠/٨	١/٠
	٩٠	–	–	–	–	٠/١	٠/٢	٠/٢	٠/٣	٠/٣	٠/٤	٠/٥	٠/٦	٠/٧	٠/٨
	١٠٠	–	–	–	–	–	٠/١	٠/٢	٠/٢	٠/٣	٠/٤	٠/٤	٠/٥	٠/٦	٠/٧
	١١٠	–	–	–	–	–	٠/١	٠/٢	٠/٢	٠/٣	٠/٣	٠/٤	٠/٥	٠/٥	٠/٦
١ ١/٢ اینچ	٥٠	–	–	–	–	–	٠/١	٠/٢	٠/٢	٠/٢	٠/٣	٠/٣	٠/٤	٠/٥	٠/٦
	٦٠	–	–	–	–	–	–	٠/١	٠/٢	٠/٢	٠/٢	٠/٣	٠/٣	٠/٤	٠/٥
	٧٠	–	–	–	–	–	–	–	٠/١	٠/٢	٠/٢	٠/٢	٠/٣	٠/٣	٠/٤
	٨٠	–	–	–	–	–	–	–	–	٠/١	٠/٢	٠/٢	٠/٢	٠/٣	٠/٤
	٩٠	–	–	–	–	–	–	–	–	–	٠/١	٠/٢	٠/٢	٠/٢	٠/٣
	١٠٠	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	٠/١	٠/٢	٠/٢	٠/٢
	١١٠	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	٠/١	٠/٢	٠/٢	٠/٢

omoorepeyman.ir

omoorepeyman.ir

فصل ۶

محاسبه‌ی افت‌های موضعی

omoorepeyman.ir

omoorepeyman.ir

۶-۱- آشنایی

با توجه به پدیده‌های موضعی مختلفی که در شبکه‌ی توزیع هوای فشرده وجود دارد، افت ناشی از آن‌ها را نیز باید محاسبه و به افت‌های کلی اضافه کرد تا افت فشار واقعی به دست آید.

تاثیر حاصل از وجود پدیده‌های موضعی را معمولا معادل طول معینی از خط لوله در نظر می‌گیرند. پس از محاسبه‌ی طول معادل پدیده‌ی موضعی، آن را با طول لوله جمع کرده و در محاسبات، طول کلی یعنی مجموع طول واقعی و طول‌های معادل را منظور می‌کنند.

برای محاسبه‌ی طول معادل پدیده‌های موضعی توصیه می‌شود که از فرمول، جدول‌ها و نمودارهایی که در این فصل آمده است، استفاده شود. توصیه می‌شود که در مورد هر پدیده‌ی موضعی، با استفاده از هر سه روش، طول معادل محاسبه و میانگین آن‌ها به عنوان طول معادل در نظر گرفته شود.

٦-۲- استفاده از فرمول

برای محاسبه‌ی طول پدیده‌های مختلف، فرمول زیر توصیه می‌شود:

$$L = 13.32r\left(\frac{d}{12}\right)^{1.2} \qquad (۱-۶)$$

که در آن:

L= طول معادل پدیده‌های موضعی بر حسب متر

d= قطر لوله‌ای که پدیده‌ی موضعی در آن وجود دارد بر حسب اینچ

r= ضریبی که مقدار آن در مورد هر پدیده‌ی موضعی از جدول ۶-۱ به دست می‌آید.

جدول ٦-۱- ضریب r در رابطه ٦-۱ برای محاسبه‌ی طول معادل پدیده های موضعی.

قطر اسمی بر حسب اینچ	شیرفلکه کشویی	زانویی با انحنای زیاد یا سه‌راهی استاندارد	زانویی با شعاع متوسط یا سه‌راهی با کاهش ۲۵٪	زانویی استاندارد یا سه‌راهی با کاهش ۱۵٪	شیر گونیا	زانویی برگشتی	سه‌راهی	شیر ساچمه‌ای
ضریب پدیده موضعی (r)	۰/۲۵	۰/۳۳	۰/۴۲	۰/۶۷	۰/۹۰	۱/۰۰	۱/۳۳	۲/۰۰

٦-۳- استفاده از جدول‌ها

برای محاسبه‌ی طول معادل افت‌های موضعی می‌توان از جداول ۶-۲ و ۶-۳ که به ترتیب در سیستم‌های متریک و انگلیسی تنظیم شده‌اند، استفاده کرد.

omoorepeyman.ir

جدول ٦-٢- محاسبه‌ی طول معادل افت‌های موضعی در سیستم متریک.

پدیده‌ی موضعی	طول معادل بر حسب متر									
	قطر داخلی لوله بر حسب میلی‌متر									
	۲۵	۴۰	۵۰	۸۰	۱۰۰	۱۲۵	۱۵۰	۲۰۰	۲۵۰	۳۰۰	۴۰۰
شیر فلکه‌ی کشویی کاملا باز	۰/۳	۰/۵	۰/۶	۱/۰	۱/۳	۱/۶	۱/۹	۲/۶	۳/۲	۳/۹	۵/۲
شیر فلکه‌ی نیمه‌باز	۵	۸	۱۰	۱۶	۲۰	۲۵	۳۰	۴۰	۵۰	۶۰	۸۰
شیر فلکه دیافراگمی – کاملا باز	۱/۵	۲/۶	۳/۰	۴/۵	۶	۸	۱۰	–	–	–	–
شیر گونیا- کاملا باز	۴	۶	۷	۱۲	۱۵	۱۸	۲۲	۳۰	۳۶	–	–
شیر ساچمه‌ای کاملا باز	۷/۵	۱۲	۱۵	۲۴	۳۰	۳۸	۴۵	۶۰	–	–	–
شیر چرخشی کاملا باز	۲/۰	۳/۲	۴/۰	۶/۴	۸/۰	۱۰	۱۲	۱۶	۲۰	۲۴	۳۲
زانویی R=۲d	۰/۳	۰/۵	۰/۶	۱/۰	۱/۲	۱/۵	۱/۸	۲/۴	۳/۰	۳/۶	۴/۸
زانویی R=d	۰/۴	۰/۶	۰/۸	۱/۳	۱/۶	۲/۰	۲/۴	۳/۲	۴/۰	۴/۸	۶/۴
زانویی ۹۰ درجه	۱/۵	۲/۴	۳/۰	۴/۸	۶/۰	۷/۵	۹	۱۲	۱۵	۱۸	۲۴
سه راهی بدون تغییر جهت	۰/۵	۰/۸	۱/۰	۱/۶	۲/۰	۲/۵	۳	۴	۵	۶	۸
سه راهی با تغییر جهت	۱/۵	۲/۴	۳/۰	۴/۸	۶/۰	۷/۵	۹	۱۲	۱۵	۱۸	۲۴
تبدیلی	۰/۵	۰/۷	۱/۰	۲/۰	۲/۵	۳/۱	۳/۶	۴/۸	۶/۰	۷/۲	۹/۶

جدول ٦-٣- طول معادل پدیده‌های موضعی در سیستم انگلیسی بر حسب فوت.

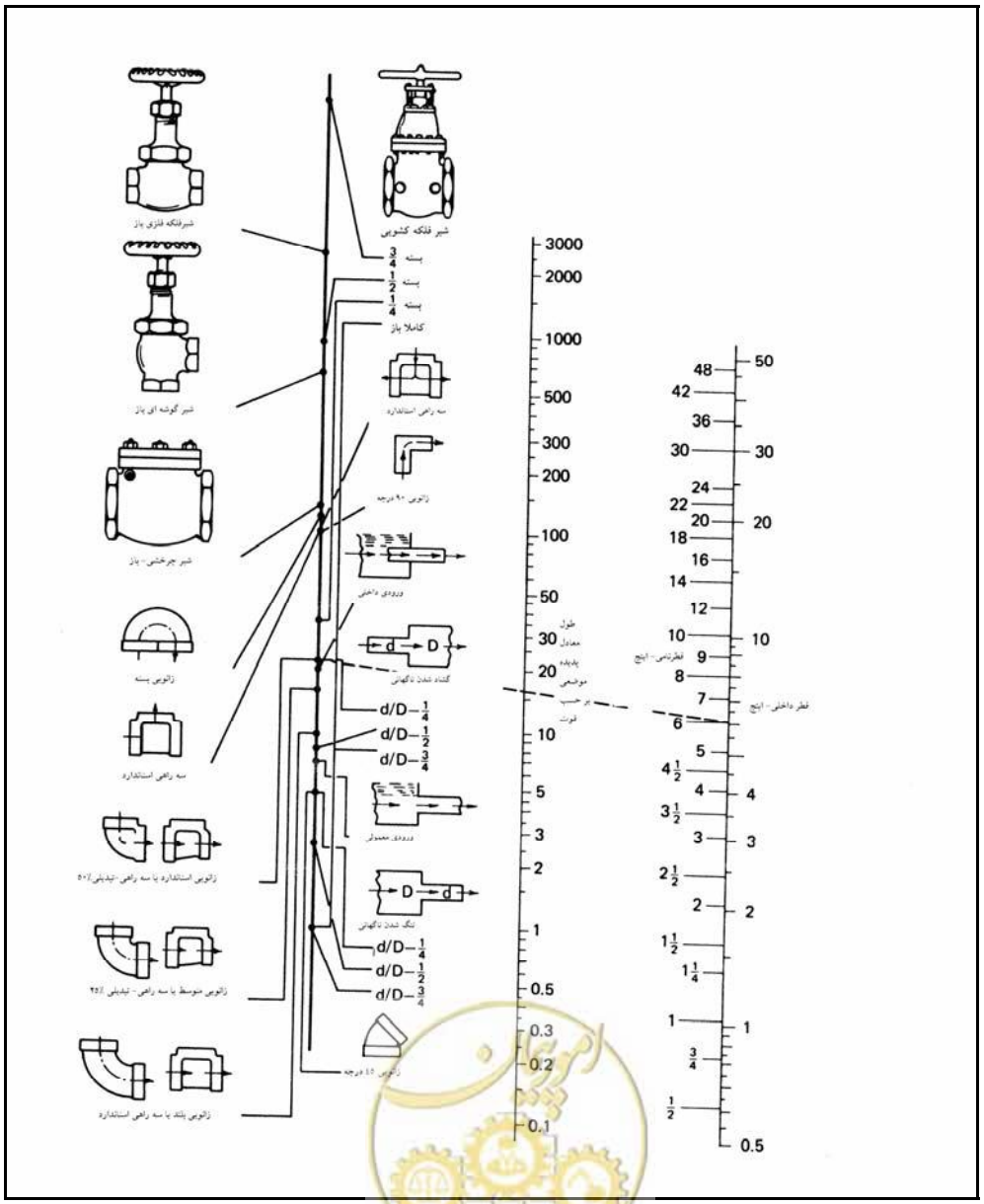
قطر لوله اینچ	شیر فلکه‌ی کشویی	شیر فلکه‌ی کروی	شیر فلکه‌ی گونیا	زانویی با انحنای زیاد یا سه‌راهی استاندارد	زانویی استاندارد با سه‌راهی معمولی	سه‌راهی با خروجی از پهلو
$\frac{۱}{۲}$	۰/۴	۱۷/۳	۸/۶	۰/۶	۱/۶	۳/۱
$\frac{۳}{۴}$	۰/۵	۲۲/۹	۱۱/۴	۰/۸	۲/۱	۱/۴
۱	۰/۶	۲۹/۱	۱۴/۶	۱/۱	۲/۶	۵/۲
$۱\frac{۱}{۴}$	۰/۸	۳۸/۳	۱۹/۱	۱/۴	۳/۵	۶/۹
$۱\frac{۱}{۲}$	۰/۹	۴۴/۷	۲۲/۴	۱/۶	۴/۰	۸/۰
۲	۱/۲	۵۷/۴	۲۸/۷	۲/۱	۵/۲	۱۰/۳
$۲\frac{۱}{۲}$	۱/۴	۶۸/۵	۳۴/۳	۲/۵	۶/۲	۱۲/۳
۳	۱/۸	۸۵/۲	۴۲/۶	۳/۱	۶/۲	۱۵/۳
۴	۲/۴	۱۱۲/۰	۵۶/۰	۴/۰	۷/۷	۲۰/۲
۵	۲/۹	۱۴۰/۰	۷۰/۰	۵/۰	۱۰/۱	۲۵/۲
۶	۳/۵	۱۶۸/۰	۸۴/۱	۶/۱	۱۵/۴	۳۰/۴
۸	۴/۷	۲۲۲/۰	۱۱۱/۰	۸/۰	۲۰/۰	۴۰/۰
۱۰	۵/۹	۲۷۸/۰	۱۳۹/۰	۱۰/۰	۲۵/۰	۵۰/۰
۱۲	۷/۰	۳۳۲/۰	۱۶۶/۰	۱۱/۰	۲۹/۸	۵۹/۶

omoorepeyman.ir

٦-٤- استفاده از نمودار

نمودار ۶-۱ نیز برای محاسبه‌ی طول معادل پدیده‌های موضعی به کار می‌رود. برای استفاده از این نمودار، ابتدا نقطه نظیر پدیده موضعی مورد نظر را در محور قائم سمت چپ مشخص کرده و این نقطه را به نقطه نظیر قطر لوله در محور سمت راست به وسیله‌ی خط مستقیمی وصل می‌کنند تا محور قائم وسط را در نقطه‌ای قطع کند و به کمک نقطه‌ی اخیر، طول نظیر پدیده‌ی موضعی قرائت می‌شود.

به عنوان مثال، مراحل تعیین طول معادل یک زانویی استاندارد به قطر ۶ اینچ در شکل نشان داده شده است که طول معادل آن برابر ۱۶ فوت به دست می‌آید.



شکل ٦-١- نمودار محاسبه‌ی طول معادل پدیده‌های موضعی.

omoorepeyman.ir

omoorepeyman.ir

فصل ۷

محاسبه‌ی نشت هوا در شبکه‌ی توزیع

omoorepeyman.ir

omoorepeyman.ir

۷-۱- آشنایی

نشت هوای فشرده در طول خطوط لوله‌ی انتقال، که میزان آن در پاره‌ای موارد به حدود ۳۰ درصد نیز می‌رسد، سبب اتلاف مقدار قابل توجهی انرژی می‌شود. اگر اتصالات به خوبی انجام گیرد، میزان نشت را می‌توان به حدود ۵ الی ۱۰ درصد کاهش داد. با توجه به آن که تولید هوای فشرده بسیار گران تمام می‌شود، لذا از نظر اقتصادی به صرفه آن است که با صرف هزینه‌ی اولیه، میزان نشت را به حداقل ممکن کاهش داد، زیرا هزینه‌های مربوط، حتی هزینه‌ی ترمیم تاسیسات قدیمی انتقال هوای فشرده، در زمان کوتاهی مستهلک می‌شود.

میزان نشت هوا به قطر منافذ اتصالات بستگی دارد، بدین ترتیب که هر چقدر قطر منفذ زیادتر باشد، میزان نشت هم زیادتر خواهد بود. در جدول ۷-۱ میزان نشت هوا به ازای منافذ مختلف و مصرف انرژی از این بابت، درج شده است.

جدول ۷-۱- میزان نشت هوا به ازای قطرهای مختلف منفذ

قطر منفذ (میلی‌متر)	نشت هوا در فشار نسبی ۵ بار (لیتر در ثانیه)	توان لازم برای جبران نشت هوا (کیلووات)
۱	۱	۰/۳
۳	۱۰	۳/۱
۵	۲۷	۸/۳
۱۰	۱۰۵	۳۳

نکته‌ای که باید به آن توجه کرد آن است که دستگاه‌های معمولی که با هوای فشرده کار می‌کنند، به طور متوسط ۴۰ تا ۵۰ درصد از زمان را در حال کارند، در صورتی که هوا، از محل‌های نشت دایما به هدر می‌رود و بدین ترتیب، مصرف انرژی یک نشت تقریبا دو برابر مصرف ابزار بادی هم‌مصرف با آن است.

۷-۲- حد مجاز نشت هوا در شبکه‌ی توزیع

با توجه به هزینه بالایی که نشت هوا بر شبکه توزیع تحمیل می‌کند، تا آنجا که ممکن است باید با انتخاب لوله‌ها و اتصالات مناسب، نشت را به حداقل ممکن کاهش داد. از آنجا که هیچ‌گاه نمی‌توان نشت را به صفر رسانید، لذا در طراحی شبکه توزیع حداکثر میزان نشت را باید به میزان ۱۰ درصد در نظر گرفت و شبکه را بر این اساس طراحی کرد.

۷-۳- نحوه‌ی تشخیص نشت هوا

برای تشخیص نشت هوا، استفاده از روش‌های زیر توصیه می‌شود.

۷-۳-۱- بازرسی چشمی

این روش، مشابه شیوه‌ی متداول تشخیص نشت در لوله‌های توزیع گاز در منازل است. بدین منظور توصیه می‌شود که در محل اتصالات، با استفاده از کف صابون، نشت هوا از محل اتصالی را مشخص ساخت و نسبت به رفع آن اقدام کرد.

omoorepeyman.ir

۷-۳-۲- تشخیص به وسیله‌ی دستگاه

در این روش، از دستگاه‌های ویژه‌ی تشخیص نشت استفاده می‌شود که به همین منظور ساخته شده‌اند. این دستگاه‌ها، نسبت به صدای صوت آلتراسونیک حاصل از عبور هوا از منافذ حساسند و واکنش نشان می‌دهند.

۷-٤- نحوه‌ی محاسبه‌ی میزان نشت هوا

بسته به این که هدف، تعیین میزان نشت در بخشی از شبکه‌ی توزیع و یا در کل آن باشد، به روش‌های زیر عمل می‌شود.

۷-٤-۱- نحوه‌ی محاسبه‌ی نشت هوا در بخشی از شبکه‌ی توزیع

برای محاسبه‌ی میزان نشت هوا در طول بخش مورد نظر از خط لوله، ابتدا یک فشارسنج در این قطعه نصب کرده و آن‌گاه آن را با هوای فشرده تحت فشار پر می‌کنند و شیرهای دو سر این بخش از خط لوله را می‌بندند و آن قدر صبر می‌کنند تا فشار در داخل لوله به حد فشار معمولی آتمسفر سقوط کند. میزان نشت هوا از رابطه‌ی زیر به دست می‌آید:

$$Q = \frac{5V}{2T} \qquad (۱-۷)$$

که در آن:

Q= شدت جریان نشت هوا در لحظه بستن شیرها بر حسب متر مکعب در دقیقه (هوای آزاد)

V= حجم هوای داخل لوله بر حسب متر مکعب

T= زمان لازم برای سقوط فشار در داخل لوله به حد فشار اتمسفر بر حسب دقیقه

۷-٤-۲- نحوه‌ی محاسبه‌ی نشت هوا در کل شبکه‌ی توزیع

این روش، در صورتی قابل اجرا است که بلافاصله پس از مخزن هوا، یک فشارسنج نصب شده باشد. بدین منظور، حجم شبکه‌ی توزیع شامل خط لوله‌ی اصلی و انشعابات پس از مخزن را محاسبه کرده و فشار کاری عادی سیستم توزیع (P_1) را در آن اعمال می‌کنند. سپس مدت زمانی را که طول می‌کشد تا فشار به حد (P_2) برسد (که این فشار معمولا نصف فشار (P_1) انتخاب می‌شود) اندازه می‌گیرند. اگر T زمان یاد شده بر حسب دقیقه باشد، میزان نشت شبکه از رابطه‌ی زیر به دست می‌آید:

$$Q = \frac{V\,(P_1 - P_2)}{T} \qquad (۲-۷)$$

که در آن:

V= حجم کلی شبکه‌ی توزیع بر حسب متر مکعب

T= زمان مورد نظر برای کاهش فشار از P_1 به P_2 بر حسب دقیقه

Q= شدت جریان نشت هوا بر حسب متر مکعب در دقیقه

omoorepeyman.ir

۷-۵- هزینه‌ی نشت هوا

با توجه به این که انرژی هوای فشرده جز گران‌ترین انرژی‌ها در مقایسه با انرژی برق و انرژی حاصل از موتورهای درون‌سوز محسوب می‌شود، لذا وجود نشت، هزینه‌ی قابل توجهی را بر سیستم توزیع هوای فشرده تحمیل می‌کند.

در جدول ۷-۲ میزان اتلاف انرژی از بابت نشت در موارد مختلف درج شده است که با توجه به قیمت انرژی، از آن می‌توان به عنوان راهنمایی برای محاسبه‌ی هزینه‌ی نشت، استفاده کرد.

جدول ۷-۲- میزان اتلاف انرژی از بابت نشت در موارد مختلف.

قطر منفذ میلی‌متر	میزان نشت لیتر در ثانیه	میزان اتلاف انرژی سالیانه کیلووات ساعت
۰/۴	۰/۲	۱۳۳
۰/۸	۰/۸	۵۳۲
۱/۶	۳/۲	۲۱۲۸
۳/۲	۱۲/۸	۸۵۱۲
۶/۴	۵۱/۲	۳۴۰۴۰
۱۲/۸	۲۰۴/۸	۱۳۶۱۹۲

omoorepeyman.ir

omoorepeyman.ir

فصل ۸

مراحل طراحی شبکه‌ی توزیع هوای فشرده

omoorepeyman.ir

omoorepeyman.ir

۸-۱- آشنایی

در حالت کلی، شبکه‌ی توزیع هوای فشرده از شاخه‌های مختلفی تشکیل شده است که وضعیت آن‌ها را باید در ارتباط با هم بررسی کرد.

۸-۲- مراحل طراحی شبکه‌ی توزیع

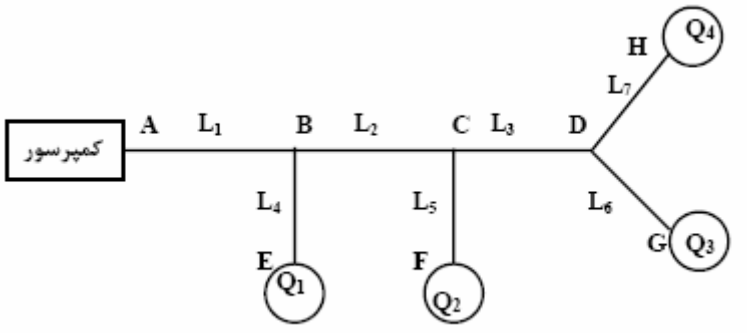
طراحی شبکه‌ی توزیع هوای فشرده باید طی مراحل زیر انجام گیرد.

۸-۲-۱- تهیه‌ی نقشه‌ی شبکه‌ی استخراجی معدن

در اولین قدم، باید نقشه‌ی شبکه‌ی معدن به صورت نمودار ساده‌ای تهیه شود. در این نقشه ورودی اصلی معدن اعم از چاه یا تونل و انشعابات آن‌ها در طبقات مختلف معدن مشخص شده و قسمت‌هایی از معدن که باید با شبکه‌ی توزیع هوای فشرده تغذیه شود، مشخص می‌شود.

۸-۲-۲- تهیه‌ی کروکی شبکه‌ی توزیع هوای فشرده

در این مرحله، با توجه به نقشه‌ی شبکه‌ی استخراجی معدن، شبکه‌ی ساده‌ای مرکب از خطوط مختلف برای نمایش شبکه‌ی توزیع، تهیه می‌شود. در شکل ۸-۱، نمونه‌ای از نقشه‌ی شبکه‌ی توزیع نشان داده شده است.



شکل ۸-۱ شبکه‌ی توزیع هوای فشرده، L نشانگر طول و Q نشانگر شدت جریان و A , B و نظایر آن نقاط انشعاب و مصرف است.

در تهیه‌ی کروکی شبکه‌ی توزیع، باید نهایت سادگی به کار گرفته شود. به عنوان مثال، اگر خط لوله‌ی اصلی که از کمپرسور منشعب می‌شود، از چاه یا تونل عبور کند، مادام که قطر و یا جنس لوله تغییری نکرده است، به صورت خطی مستقیم نشان داده می‌شود. مثلا خط AB در شکل ۸-۱ ممکن است نشانگر مسیر کمپرسور تا دهانه‌ی چاه، طول چاه و تونل اصلی منشعب از چاه باشد که در نقطه‌ی B از آن اولین انشعاب گرفته شده است. در کروکی شبکه‌ی توزیع باید مشخصات انشعاب‌ها از قبیل طول، قطر و جنس لوله درج شود.

omoorepeyman.ir

۸-۲-۳- محاسبه‌ی شدت جریان هوای فشرده در محل مصرف کننده‌ها

در تمام نقاطی که باید هوای فشرده تامین شود، شدت جریان هوای لازم به ترتیبی که در فصل‌های دوم و سوم آمده است، محاسبه می‌شود. این شدت جریان به صورت شدت جریان هوای آزاد و با توجه به ضرایب تصحیحی محاسبه شده و در محل مصرف بر روی نمودار شبکه‌ی توزیع درج می‌شود. به عنوان مثال شدت جریان‌های Q_1، Q_2، Q_3 و Q_4 در شکل ۸-۱، نشانگر شدت جریان مورد نیاز در نقاط مصرف E، F، G و H است.

۸-۲-٤- محاسبه‌ی شدت جریان هوای فشرده در شاخه‌های شبکه

بر اساس شدت جریان هوای لازم در محل مصرف‌کننده‌ها، شدت جریانی که باید از شاخه‌های مختلف شبکه عبور کند، محاسبه و بر روی نمودار شبکه نوشته می‌شود. به عنوان مثال، شدت جریان شاخه‌های مختلف شبکه شکل ۸-۱ به شرح زیر محاسبه می‌شود:

$$Q_{AB} = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 \quad (۱-۸)$$

$$Q_{BC} = Q_2 + Q_3 + Q_4 \quad (۲-۸)$$

$$Q_{CD} = Q_3 + Q_4 \quad (۳-۸)$$

۸-۲-۵- تعیین قطر شاخه‌های مختلف شبکه

قطر اولیه‌ی مناسب برای هر یک از شاخه‌های شبکه، بر اساس آنچه که در فصل چهارم آمده است، محاسبه شده و در روی نمودار نوشته می‌شود.

۸-۲-٦- محاسبه‌ی افت فشار در شاخه‌های شبکه

افت فشار کلی شاخه‌های مختلف شبکه بر اساس آنچه که در فصل‌های پنجم و ششم آمده است، محاسبه می‌شود. بدین منظور ابتدا افت فشار شاخه‌ی اصلی (شاخه‌ی AB در شکل ۸-۱) محاسبه شده و به کمک آن فشار در انتهای شاخه از رابطه‌ی زیر محاسبه می‌شود:

$$P_B = P_A - \Delta P_{AB} \quad (۴-۸)$$

که در آن P_A فشار در نقطه‌ی A، P_B فشار در نقطه‌ی B و ΔP_{AB} افت فشار در شاخه‌ی AB است.

۸-۲-۷- محاسبه‌ی فشار در محل مصرف‌کننده‌ها

با توجه به افت فشار محاسبه شده برای شاخه‌ها و میزان فشار در نقاط گره شبکه، فشار هوا در محل مصرف‌کننده‌ها محاسبه می‌شود. به عنوان مثال، فشار در نقطه‌ی E در شبکه شکل ۸-۱ به شرح زیر محاسبه می‌شود:

$$P_E = P_A - (\Delta P_{AB} + \Delta P_{BE}) \quad (۵-۸)$$

اگر فشار در تمام نقاط شبکه در حد مجاز باشد، نشانه آن است که طراحی شبکه به خوبی انجام گرفته است و در غیر این صورت باید با تغییر قطر تمام یا بعضی از شاخه‌های شبکه، محاسبات را تکرار کرد. این عمل مادامی که فشار در تمام نقاط مصرف به حد مجاز نرسد، باید ادامه یابد.

omoorepeyman.ir

۸-۳- نحوه‌ی محاسبه‌ی هزینه‌ی شبکه‌ی توزیع هوای فشرده

هزینه‌ی تامین هوای فشرده ممکن است در محل کمپرسور و یا در محل مصرف محاسبه شود. در حالت اول فقط هزینه تولید هوای فشرده در نظر گرفته می‌شود، در صورتی که در حالت دوم، هزینه‌ی انتقال آن و از آن جمله نشت هوا در خط لوله نیز منظور می‌شود.

به هنگام محاسبه‌ی هزینه‌ی تولید هوای فشرده باید هزینه‌ی کمپرسور، بیمه، مالیات‌ها، بهره، نگهداری، تعمیرات، سوخت، روغن‌کاری و دستمزدها را در نظر گرفت. معمولا هزینه‌ها را بر اساس تولید ۳۰ متر مکعب در دقیقه هوای آزاد محاسبه می‌کنند.

۸-۳-۱- هزینه‌های تولید هوای فشرده

مهم‌ترین مواردی که باید برای تولید هوای فشرده در نظر گرفته شود، عبارتند از:

الف- قیمت کمپرسور یا کمپرسورها و هزینه‌ی سرمایه‌گذاری با توجه به نرخ بازگشت سرمایه؛

ب- زمان پیش‌بینی شده برای استهلاک کمپرسور؛

پ- مصرف سوخت کمپرسور؛

ت- مصرف روغن کمپرسور؛

ث- هزینه‌ی تعمیرات؛

ج- هزینه‌ی دستمزد متصدی کمپرسور.

۸-۳-۲- هزینه‌ی شبکه‌ی توزیع

اقلام مهم هزینه‌ی توزیع عبارتند از:

الف- مخزن هوا؛

ب- لوله‌ی اصلی انتقال و متعلقات آن؛

پ- شاخه‌های فرعی و متعلقات آن؛

ت- سردکننده‌ی انتهایی؛

ث- سیستم خشک کردن هوای فشرده؛

ج- آبگیرها؛

چ- وسایل روغن‌کاری؛

ح- هزینه‌ی نگهداری و تعمیرات؛

خ- هزینه‌ی نشت.

با توجه به قیمت اقلام یاد شده، از جمع آن‌ها می‌توان هزینه‌ی کلی تولید و توزیع هوای فشرده را محاسبه کرد.

omoorepeyman.ir

۸-٤- نرم‌افزارهای محاسبات شبکه‌ی توزیع هوای فشرده با استفاده از کامپیوتر

نرم‌افزارهای محاسبات هوای فشرده را می‌توان از جنبه‌های مختلف تقسیم‌بندی کرد. در حالت کلی نرم‌افزارهای مربوط را بـه دو گروه تقسیم‌بندی می‌کنند:

الف- نرم‌افزارهایی که برای طراحی یک شاخه لوله‌ی انتقال هوای فشرده به کار می‌روند؛

ب- نرم‌افزارهایی که به منظور طراحی شبکه‌ی هوای فشرده مورد استفاده قرار می‌گیرند.

در گروه اول نرم‌افزارها، جنبه‌های تخصصی محاسبه‌ی افت فشار و یا سایر طراحی‌ها مورد نظر است و در آن‌هـا عمـدتا موضـوع انتخاب فرمول مناسب مورد توجه قرار می‌گیرند. در صورتی که در گروه دوم، معمولا محاسبه‌ی افت فشار با یک فرمول انجام مـی-گیرد، ولی در مورد محاسبه‌ی شبکه توجه زیادی معطوف می‌شود.

نرم‌افزارهای محاسبات هوای فشرده را نسبت به محل اجرای نرم‌افزار نیز به شرح زیر تقسیم می‌کنند:

الف- نرم‌افزارهایی که از طریق وب سایت قابل استفاده‌اند؛

ب- نرم‌افزارهایی که بر روی یک رایانه نصب و اجرا می‌شوند؛

پ- نرم‌افزارهایی که تحت شبکه‌های محلی قابل استفاده‌اند.

در پیوست یک ویژگی‌های نرم‌افزارهای موجود در این زمینه معرفی شده است.

omoorepeyman.ir

فصل ۹

انتخاب تجهیزات لازم

omoorepeyman.ir

omoorepeyman.ir

۹-۱- آشنایی

برای این که هوای فشرده‌ی لازم به نحو مناسبی در شبکه‌ی توزیع جریان یابد و دستگاه‌های بادی را تغذیه کند، باید تجهیزاتی در شبکه نصب شود. در شکل ۹-۱، تجهیزات اصلی برای شبکه‌ی توزیع هوای فشرده نشان داده شده است. این تجهیزات عبارتند از:

الف- سردکننده‌ی انتهایی؛

ب- مخزن هوا؛

پ- تجهیزات خشک کردن هوا؛

ت- خط لوله‌ی اصلی؛

ث- آبگیرها؛

ج- وسایل جلوگیری از یخ زدن آب؛

چ- شیلنگ‌ها؛

ح- وسایل روغن‌کاری؛

خ- وسایل اندازه‌گیری.

نحوه‌ی انتخاب این تجهیزات در زیر تشریح شده است.

۹-۲- سردکننده‌ی انتهایی[1]

سردکننده‌ی انتهایی برای میعان بخار آب و بخار روغن همراه با هوای فشرده و جدا کردن آن‌ها به کار می‌رود و باید آن را بین کمپرسور و مخزن هوا و در مجاورت کمپرسور نصب کرد. با کاهش دمای هوای فشرده‌ی خروجی از کمپرسور، بخش قابل توجهی از بخار آب موجود در آن به مایع تبدیل می‌شود که می‌توان آن را جدا کرد. مسیر عبور هوای فشرده باید مطابق شکل ۹-۲ باشد و طی آن محلول سردکننده از یک پیچک[2] عبور کند و هنگامی که هوای فشرده در تماس با این پیچک قرار گیرد، گرمای خود را از دست می‌دهد. دمای محلول سردکننده نباید خیلی پایین باشد که سبب یخ زدن آب شود. بنابراین نقطه‌ی شبنم سیستم باید به حد ۰/۶ تا ۳ درجه‌ی سانتی‌گراد محدود شود. برای افزایش راندمان، سیستم باید به نحوی طراحی شود که لوله‌ی هوای خروجی از سردکننده‌ی انتهایی، در تماس با لوله‌ی هوای ورودی قرار گیرد تا بخشی از گرمای آن را جذب کند.

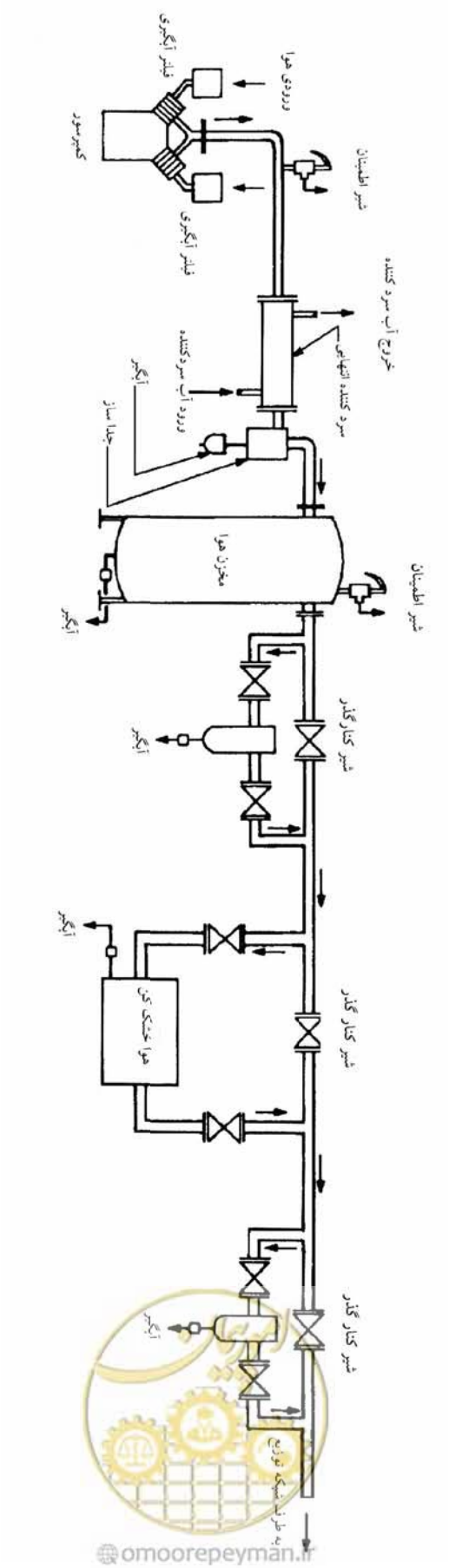
به عنوان یک قانون کلی باید اختلاف بین دمای آب ورودی به سردکننده‌ی انتهایی و هوای فشرده‌ی خروجی از آن در حد ۹/۵ درجه‌ی سانتی‌گراد باشد و نیز سردکننده‌ی انتهایی بتواند دمای هوای فشرده را ۱۰ تا ۱۵ درجه‌ی سانتی‌گراد کاهش دهد.

۹-۳- مخزن هوا

هوای خروجی از کمپرسور، مستقیما به طرف خط لوله‌ی انتقال نمی‌رود، بلکه ابتدا در مخزن هوا ذخیره می‌شود و خط لوله، از این مخزن تغذیه می‌کند. حجم مخزن هوا باید متناسب با ظرفیت کمپرسور انتخاب شود.

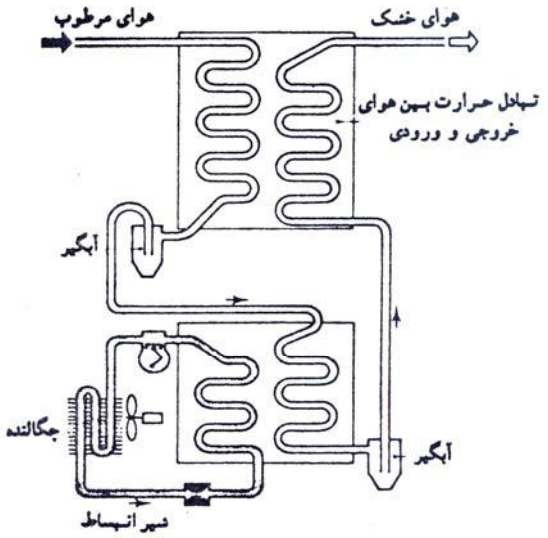
omoorepeyman.ir

1 - After cooler
2 - Coil



شکل۹-۱ شبکه‌ی توزیع هوای فشرده

omoorepeyman.ir



شکل ۹-۲- نحوه‌ی حرکت هوای فشرده در سردکننده‌ی انتهایی.

در مورد کمپرسورهای با ظرفیت معمولی و فشار تا ۹ بار، ظرفیت عددی مخزن هوا باید $\frac{۱}{۶}$ تا $\frac{۱}{۱۰}$ حجم هوای آزاد مصرفی کمپرسور در یک دقیقه انتخاب شود. در مواقعی که کارکرد موتور کمپرسور الکتریکی خودکار باشد، حجم مخزن هوا را باید بزرگ‌تر در نظر گرفت. در چنین مواردی توصیه می‌شود که ابعاد مندرج در جدول ۹-۱ مورد استفاده قرار گیرد.

جدول ۹-۱- ابعاد مخزن هوای کمپرسور در حالت‌های مختلف.

ظرفیت کمپرسور		قطر مخزن هوا	طول مخزن هوا	حجم مخزن هوا
متر مکعب در دقیقه	(*cfm*)	سانتی‌متر	متر	متر مکعب
۱/۲۷	(۴۵)	۳۶	۱/۲۲	۰/۱۱۳
۳/۱۲	(۱۱۰)	۴۶	۱/۸۲	۰/۳۱
۵/۳۸	(۱۹۰)	۶۱	۱/۸۲	۰/۵۴
۹/۶۳	(۳۴۰)	۷۶	۲/۱۳	۰/۹۶
۱۶/۱۴	(۵۷۰)	۹۱	۲/۴۴	۱/۶۱
۲۷/۱۹	(۹۶۰)	۱۰۷	۳/۰۵	۲/۷۲
۵۹/۸۹	(۲۱۱۵)	۱۲۲	۳/۶۶	۴/۲۸
۸۸/۳۵	۳۱۲۰	۱۳۷	۴/۲۷	۶/۳۲
۱۲۴/۶	۴۴۰۰	۱۵۲	۴/۸۸	۸/۸۹
۱۷۰	۶۰۰۰	۱۶۸	۵/۴۸	۱۲/۱۲

از جمله مشخصات مخزن هوا آن است که چون در آن قطرات آب و روغن جمع می‌شود، لذا باید در کف، دارای دریچه‌ای باشد که به طور خودکار یا دستی بتوان این مواد را تخلیه کرد.

omoorepeyman.ir

۹-٤- تجهیزات خشک کردن هوا

اگر چه در دستگاه سردکننده‌ی انتهایی، بخشی از رطوبت هوای فشرده به مایع تبدیل و از آن جدا می‌شود، ولی هوای عبوری از این دستگاه که وارد مخزن هوا می‌شود، مقداری رطوبت با خود دارد که باید از آن جدا شود. علت آن است که هوا در دمای بالا قادر است این رطوبت را در خود حفظ کند ولی به مرور و در طول حرکت در خط لوله، سرد می‌شود و بنابراین قابلیت جذب بخار آب آن کاهش می‌یابد.

وجود آب در داخل لوله اشکالاتی را سبب می‌شود. یکی این که در قسمت‌های سرد خط لوله، آب درون آن یخ می‌زند و فضای مفید آن را کاهش می‌دهد و حتی ممکن است به کلی جریان هوا را قطع کند. دیگر آن که، وجود آب همراه با هوای فشرده، سبب خوردگی لوازم می‌شود که با هوای فشرده کار می‌کنند. حجم آبی که در اثر سرد شدن هوای فشرده حاصل می‌شود، معمولا زیاد است. هوا خشک‌کن‌ها بر اساس یکی از مکانیسم‌های زیر کار می‌کنند:

الف- سرد کردن هوا که طرز کار آن‌ها تا حدی مشابه سردکننده‌ی انتهایی است؛

ب- جذب کلی[1] (درآشامی) که طی آن هوای فشرده را از درون اجسامی که جاذب رطوبت هستند عبور می‌دهند که در نتیجه، هوای خروجی از آن‌ها رطوبت خود را از دست می‌دهد؛

پ- جذب سطحی[2] (برآشامی) که در آن‌ها از خاصیت جذب رطوبت همراه با هوای فشرده به وسیله‌ی اجسامی که قدرت جذب سطحی دارند، استفاده می‌شود. توصیه می‌شود که برای معادن ایران از سیستم جذب سطحی استفاده شود. در جدول ۹-۲ مشخصات موادی که بدین منظور به کار می‌روند، درج شده است.

جدول ۹-۲- مشخصات بعضی از موادی که در سیستم جذب سطحی به کار می‌روند.

ماده	نقطه شبنم تقریبی (درجه سانتی‌گراد)	حداکثر دمای هوای ورودی (درجه سانتی‌گراد)	دمای معمولی فرآوری- دوباره (درجه سانتی‌گراد)	سطح مخصوص m^2 / gr
ژل سیلیس (SiO_2)	-۵۰	+۵۰	۱۲۰-۱۸۰	۵۰۰-۸۰۰ ۲۰۰-۳۰۰
آلومینای فعال شده (Al_2O_3)	-۶۰	+۴۰	۱۷۵-۳۱۵	۲۳-۳۶۰
Na ، Al_2 ،SiO_2 الک شده ریز	-۹۰	+۱۴۰	۲۰۰-۳۵۰	۷۵۰-۱۱۰۰

۹-۵- خط لوله‌ی اصلی

خط لوله‌ی اصلی که از مخزن هوا منشعب می‌شود، باید از نوع فولادی سیاه یا فولادی گالوانیزه باشد. در جدول ۹-۳، مشخصات لوله‌هایی که به عنوان خط لوله‌ی اصلی به کار می‌روند، درج شده است.

omoorepeyman.ir

1 - Absorption
2 - Adsorption

جدول ۱۱-۳- مشخصات لوله‌های هوای فشرده.

قطر داخلی لوله اینچ	قطر خارجی لوله اینچ	وزن هر متر لوله کیلوگرم
۲	۲/۳۷	۵/۳۶
$۲\frac{۱}{۲}$	۲/۸۷	۸/۵۳
۳	۳/۵۰	۱۱/۲۰
$۳\frac{۱}{۲}$	۴/۰۰	۱۳/۳۷
۴	۴/۵۰	۱۵/۸۴
$٤\frac{۱}{۲}$	۵/۰۰	۱۸/۳۳
۵	۵/۵۶	۲۱/۵۴
۶	۶/۶۲	۲۷/۸۷
۷	۷/۶۲	۳۴/۵۷
۸	۸/۶۲	۴۱/۸۷
۹	۹/۶۸	۵۰/۰۷
۱۰	۱۰/۷۵	۷۹/۵۲
۱۲	۱۲/۷۵	۷۲/۸۰

لوله‌های اصلی باید از نظر تحمل فشار کنترل شوند. بدین منظور از رابطه‌ی زیر استفاده می‌کنند:

$$\sigma_t = \frac{p.r}{\delta} \le [\sigma] \qquad (۱-۹)$$

که در آن:

σ_t = تنش کششی حاصله در جدار لوله بر حسب پاسکال

p = فشار هوای داخل لوله بر حسب پاسکال

r = شعاع لوله بر حسب سانتی‌متر

δ = ضخامت جدار لوله بر حسب سانتی‌متر

$[\sigma]$ = تنش کششی مجاز فولادی که لوله از آن ساخته شده است.

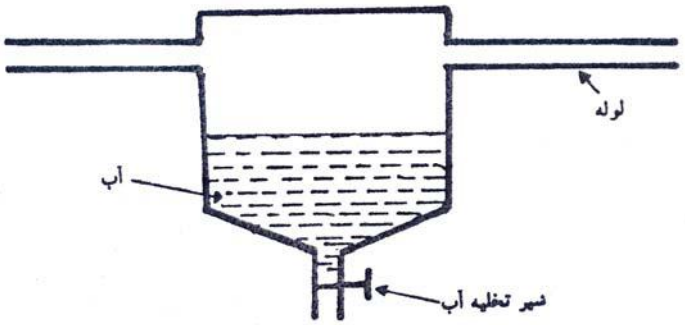
۹-۶- آبگیرها[1]

در مواردی که برای تامین هوای فشرده از کمپرسورهای سیار استفاده می‌شود، معمولا وسایل خشک کردن هوا را به کار نمی‌برند و بدین ترتیب بخار آب در خط لوله به مایع تبدیل می‌شود و باید آن را به وسیله‌ی آبگیرها از مسیر خط لوله خارج کرد. آبگیر را باید در نقطه‌ای از خط لوله که پایین‌ترین دما را دارد، نصب کرد.

ساختمان آبگیرهایی که در معادن ایران به کار می‌رود، از یک قسمت استوانه‌ای که به دنبال آن یک قسمت مخروطی تعبیه شده، تشکیل شده است (شکل ۹-۳). در انتهای این قسمت باید شیری قرار داد که به طور دستی یا به طریقه‌ی خودکار، آبی را که در این قسمت جمع می‌شود، تخلیه کند.

1-Water separator

omoorepeyman.ir



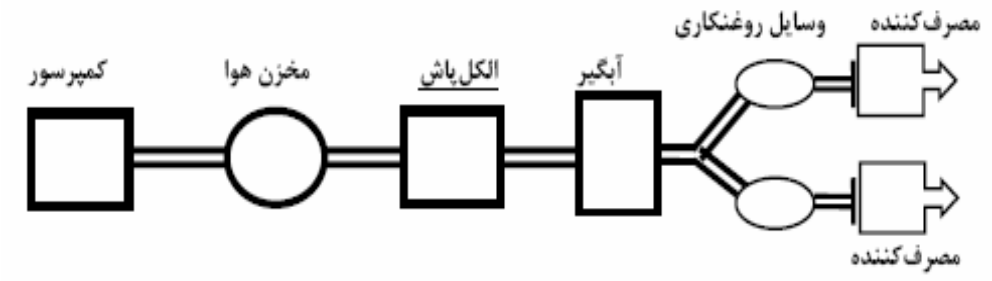
شکل ۹-۳- آبگیر

۹-۷- وسایل جلوگیری از یخ زدن آب

اگر دمای خط لوله از صفر درجه کم‌تر باشد، آب قبل از رسیدن به آبگیر، در طول خط لوله و یا در داخل آن منجمد می‌شود و بنابراین باید تمهیداتی برای جلوگیری از این عمل به کار برد.

اگر فاصله‌ی آبگیر تا مصرف‌کننده زیاد نباشد، می‌توان با اضافه کردن مقداری ضد یخ به روغنی که برای روغن‌کاری وسایل به کار می‌رود، از یخ زدن آب جلوگیری کرد. اما در مواردی که مصرف‌کننده‌ها در فاصله‌ی نسبتا زیادی واقع باشند، باید تمهیدات دیگری را به کار گرفت.

یکی از روش‌های متداول در این زمینه، نصب وسیله‌ای بعد از آبگیر، در خط لوله است که به میزان معینی الکل وارد خط لوله می‌کند و بدین ترتیب نقطه‌ی انجماد آب پایین می‌رود و از یخ زدن آن جلوگیری می‌شود (شکل ۹-۴).



شکل ۱۱-٤- محل نصب دستگاه الکل پاش

میزان الکل (یا هر ماده‌ی ضد یخ دیگر) که به هوا اضافه می‌شود، باید حداقل مقدار لازم باشد زیرا زیاد آن، سبب شسته شدن روغن و کم شدن اثر روغن‌کاری آن در ابزار هوای فشرده می‌شود. معمولا ۴ تا ۸ قطره (۰/۰۱ تا ۰/۰۲ سانتی‌متر مکعب) الکل برای هر متر مکعب هوای آزاد کافی است.

دستگاه الکل‌پاش را باید بلافاصله بعد از مخزن هوا یعنی جایی که هنوز هوای فشرده نسبتا گرم است، قرار داد. البته دمای هوای فشرده نباید از ۴۰ درجه‌ی سانتی‌گراد بیش‌تر باشد. در این حالت الکل به داخل هوا پاشیده شده و در مراحل بعدی با آب حاصل از

omoorepeyman.ir

میعان بخار آب مخلوط می‌شود و از یخ زدن آن جلوگیری می‌کند.

۹-۸- شیلنگ[1]

تغذیه‌ی وسایلی که با هوای فشرده کار می‌کنند، به وسیله‌ی شیلنگ‌هایی که از خط لوله‌ی اصلی منشعب می‌شود، انجام می‌گیرد.

شیلنگ‌ها باید واجد شرایط زیر باشند:

الف- قابلیت ارتجاعی خوب؛

ب- مقاومت در برابر ضربه؛

پ- صاف بودن سطح مقطع داخلی؛

ت- مقاومت در برابر خورندگی ناشی از روغن.

شیلنگ باید این ویژگی‌ها را در دماهای مختلف از۴۰- تا۹۰+ درجه‌ی سانتی‌گراد حفظ کند. در جدول ۹-۴، مشخصات شیلنگ‌های مورد استفاده در معادن، درج شده است.

جدول ۹-٤- مشخصات شیلنگ‌های هوای فشرده ویژه‌ی معادن.

قطر داخلی		قطر خارجی	ضخامت جدار	حداکثر تحمل فشار	وزن هر متر (کیلوگرم)
میلی‌متر	اینچ	میلی‌متر	میلی‌متر	بار	
۶/۳	$\frac{۱}{٤}$	۱۲/۷	۳/۲	۱۰	۰/۱۵
۱۰	$\frac{۳}{۸}$	۱۶/۴	۳/۲	۱۰	۰/۱۹
۱۲/۵	$\frac{۱}{۲}$	۲۲/۵	۵	۱۰	۰/۳۵
۱۶	$\frac{۵}{۸}$	۲۶	۵	۱۰	۰/۴۳
۲۰	$\frac{۳}{٤}$	۳۰	۵	۱۰	۰/۵۴
۲۵	۱	۳۵	۵	۱۰	۰/۷۸
۳۱/۵	$۱\frac{۱}{٤}$	۴۳/۵	۶	۱۰	۰/۹۵
۴۰	$۱\frac{۱}{۲}$	۵۲	۶	۱۰	۱/۱۵
۵۰	۲	۶۶	۸	۱۰	۱/۸۰
۶۳	$۲\frac{۱}{۲}$	۷۹	۸	۱۰	۲/۲۰
۸۰	۳	۹۶	۸	۱۰	۲/۵۰
۱۰۰	۴	۱۱۶	۸	۱۰	۴/۲۰

omoorepeyman.ir

1- hose

۹-۹- وسایل روغن‌کاری

چکش‌ها و چالزن‌های هوای فشرده را باید ضمن کار، روغن‌کاری کرد و این خواسته با نصب وسایل مخصوص در خط لوله انجام می‌گیرد. دستگاه روغن‌کاری، وسیله‌ای است که هوای فشرده‌ی مصرفی دستگاه از داخل آن عبور می‌کند و طی آن، روغن به صورت ذرات ریز به داخل هوا پاشیده می‌شود. وسیله‌ی روغن‌کاری را باید در فاصله‌ی ۱ تا ۳ متری چالزن یا چکش به شیلنگ تغذیه‌کننده‌ی آن مرتبط کرد. معمولا در سطح وسیله‌ی روغن‌کاری، فلشی(→) رسم شده است که جهت مجاز عبور هوای فشرده را نشان می‌دهد. مخزن روغن باید هر هفته یک بار کنترل شود.

۹-۱۰- وسایل اندازه‌گیری

برای اندازه‌گیری مشخصات هوای فشرده، باید ابزارهایی نظیر دماسنج و فشارسنج‌های ویژه را در خط لوله نصب کرد. از جمله مسایل مهم هوای فشرده، تعیین شدت جریان هوایی است که از خط لوله می‌گذرد. وسایل اندازه‌گیری شدت جریان، همان‌هایی است که در مورد اندازه‌گیری سایر سیالات به کار می‌رود، که از جمله می‌توان وانتوری‌ها و شیپوره‌ها را نام برد. در بعضی موارد نیز جریان‌سنج‌هایی را به کار می‌برند که مستقیما شدت جریان هوا را نشان می‌دهد.

omoorepeyman.ir

فصل ۱۰

دستورالعمل‌ها و مقررات ایمنی در مـــورد شـــبکه‌ی توزیع هوای فشرده

omoorepeyman.ir

omoorepeyman.ir

۱۰-۱- دستورالعمل نحوه‌ی کار و شرح وظایف کمپرسورچی

۱- برای کار و سرویس‌کاری دستگاه‌های کمپرسور، افرادی مجازند که آموزش لازم را مطابق برنامه گذرانده و گواهی کار برای سرویس دستگاه‌های کمپرسور را داشته باشند.

۲- زمانی که کمپرسور کار می‌کند، باید افراد ناظر مخصوص سرویس‌کاری حضور داشته باشند.

۳- ورود افراد متفرقه به کمپرسورخانه ممنوع است.

۴- نگهداری نفت، بنزین و سایر مواد قابل اشتعال در ساختمان محل استقرار کمپرسور ممنوع است.

۵- قبل از راه‌اندازی هر کمپرسور، متصدی موظف است که دستگاه کمپرسور را مورد بازدید و بررسی قرار دهد و مطمئن شود که تمام قسمت‌های آن سالم است و همچنین سیستم روغن‌کاری و سردکننده‌ی آن را کنترل کند و سپس راه‌اندازی را مطابق دستورالعمل انجام دهد.

۶- در هر شیفت لازم است که مصرف روغن، برای روغن‌کاری سیلندرها و کاسه نمدهای کمپرسور مورد کنترل قرار گیرد. مصرف روغن در هر نقطه‌ی روغن‌کاری نباید از مقداری که در دستورالعمل کارخانه ذکر شده است، زیادتر شود.

۷- یادداشت‌های مربوط به هر شیفت باید در دفترچه‌ی مصرف روغن برای روغن‌کاری درج شود.

۸- تمام سوپاپ‌های اطمینان دستگاه کمپرسور را باید هر شبانه‌روز از طریق باز گذاشتن اجباری سوپاپ‌ها و تحت فشار قرار دادن، کنترل و بررسی کرد. پس از بستن سوپاپ‌ها باید از کیپ بودن آن‌ها مطمئن شد.

۹- به کمک دمش اتوماتیکی یا دستی می‌توان دمیدن دستگاه جداکننده‌ی روغن و رطوبت را حداقل یک مرتبه در هر ساعت کار کمپرسور، انجام داد.

۱۰- در شرایط زیر باید به سرعت کمپرسور را متوقف کرد:

الف- هنگامی که فشارسنج‌ها در هر مرحله از فعالیت کمپرسور و یا در خطوط توزیع هوای فشرده، فشار بیش از حد مجاز را نشان دهند؛

ب- در صورتی که فشارسنج سیستم روغن‌کاری، فشار را کم‌تر از حد مجاز نشان دهد؛

پ- به هنگام قطع ناگهانی ورود آب سرد و یا سایر نواقص سیستم سردکننده؛

ت- در صورت شنیده شدن ضربه و صدایی در کمپرسور یا در موتور و یا مشاهده‌ی نواقصی که باعث سوانح می‌شوند؛

ث- هنگامی که دمای هوای فشرده بیش از حد مجازی باشد که در دستورالعمل کارخانه‌ی سازنده تعیین شده است؛

ج- به هنگام آتش‌سوزی؛

چ- به هنگام احساس بوی سوختگی یا دود از کمپرسور و یا موتور الکتریکی؛

ح- به هنگام افزایش ارتعاش کمپرسور یا موتور الکتریکی.

۱۱- پس از توقف اضطراری کمپرسور، باید با اجازه‌ی افراد مسوول و بدون آن که خطری دستگاه کمپرسور را تهدید کند، دستگاه را راه‌اندازی کرد.

omoorepeyman.ir

۱۲- به هنگام کار دستگاه کمپرسور باید موارد زیر را کنترل کرد:

الف- فشار و دمای هوای فشرده، پس از هر مرحله فشار؛

ب- دمای هوای فشرده پس از سردکننده‌ها؛

پ- ورود منظم هوای سرد به کمپرسور و سردکننده؛

ت- دمای آب سرد، ورود و خروج از سیستم سردکننده در نقاط لازم؛

ث- فشار و دمای روغن در سیستم سردکننده؛

ج- جریان استاتور؛

چ- درست بودن کار تلمبه‌ی روغن‌کاری و کافی بودن سطح روغن در آن‌ها.

۱۳- علایم دستگاه‌ها در هر ساعت کار کمپرسور باید در دفترچه‌ی گزارش کار کمپرسور درج شود.

۱۴- در دفترچه باید زمان راه اندازی و توقف کمپرسور، علل توقف، نواقص مشاهده شده، کنترل تناوبی سوپاپ‌های اطمینان و فشارسنج‌ها، راه‌اندازی روغن از دستگاه جداکننده‌ی روغن و رطوبت، مخازن هوا و سایر مخازن و همچنین تمیز کردن فیلترهای روغن را درج کرد.

۱۵- دفترچه‌ی کار همواره باید کنترل شود و در هر شبانه‌روز، یادداشت‌های لازم توسط افراد مسوول در آن ثبت شود.

۱۶- بازدید خارجی از دستگاه کمپرسور باید به طور هفتگی انجام شود و سطح خارجی کمپرسور را باید از گرد و خاک و آلودگی‌ها تمیز کرد. نشت روغن و آب، به خصوص ریختن روغن در روی فونداسیون مجاز نیست.

۱۷- به هنگام مشاهده‌ی نشت باید آن را فورا برطرف کرد.

۱۸- تعمیر و تمیزکاری لوله‌ی آب و تجهیزاتی که تحت فشار قرار دارند، مطلقا ممنوع است.

۱۹- به هنگامی که در ساختمان کمپرسورخانه دما کم‌تر از ۲ درجه‌ی سانتی‌گراد باشد، باید آب سرد را از سیستم سردکننده‌ی کمپرسوری که کار نمی‌کند تخلیه و حفره‌های هوایی را به دقت از هوای فشرده خالی کرد.

۱۰-۲- دستورالعمل راه‌اندازی کمپرسور

مراحل راه‌اندازی کمپرسور به شرح زیر است:

۱- باز کردن شیر لوله‌هایی که آب سرد را کنترل می‌کنند، کنترل مقدار آب جاری در تمام نقاط و تنظیم آب.

۲- روشن کردن الکتروموتورهای سیستم روغن‌کاری، کنترل جریان روغن به طرف سیلندرها و کاسه نمدها و کنترل فشار روغن قطعات متحرک کمپرسورها. در صورت لزوم تنظیم فشار روغن به کمک سوپاپ روی پمپ روغن در حدود ۳ تا ۴ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع.

۳- باز کردن شیر خروج به فضای بیرون.

۴- بازدید کلیه‌ی ابزار سنجش کمپرسور و حصول اطمینان از آماده بودن کمپرسور برای روشن کردن.

omoorepeyman.ir

۵- با به کار انداختن الکتروموتور اصلی در مدت ۵ تا۱۰ دقیقه و روشن کردن کلیدهای سوپاپ، بار کمپرسور باید از صفر به ۱۰۰ برسد.

۶- در صورت لزوم می‌توان پنکه‌های برج خنک‌کننده را به کار انداخت.

۱۰-۳- دستورالعمل کنترل کمپرسورهای در حال کار

۱- کمپرسورها هنگامی به صورت طبیعی و بدون نقص کار می‌کنند که هیچ صدای اضافی از قطعات گرداننده‌ی آن‌ها شنیده نشود و روی تابلوی فرمان نیز، علایم افزایش و موارد دیگر به چشم نیاید. مسوول کمپرسور موظف است با دقت به تابلو نگاه کرده و نقاط کنترل روی کمپرسورها را به خوبی بازرسی کند.

۲- کتابچه‌ی مخصوص ثبت وقایع باید همیشه به موقع نوشته شده و ساعات کار کمپرسور و وضعیت ابزار دقیق و دلایل توقف کمپرسور و نواقص و تصمیمات اتخاذ شده برای رفع نواقص در این دفتر ثبت شود. این دفتر باید به وسیله‌ی مسوول پست تحویل‌دهنده و گیرنده، امضا شود.

۳- هنگامی که کمپرسور به طور طبیعی کار می‌کند، بر روی تابلو، لامپ سبز روشن است و معنی آن این است که:

الف- تابلو روشن است؛

ب- الکتروموتورهای سیستم روغن‌کاری روشن هستند؛

پ- شیر فلکه‌ی آب باز است؛

ت- شیر هوای خروجی بسته است.

۴- در تابلوی کنترل فرمان کمپرسورها باید نوشته‌های زیر روشن باشند:

الف- موتور روشن است؛

ب- فواصل زمانی کنترل سطح روغن داخل باک؛

پ- کنترل روزانه سوپاپ‌های اطمینان.

۵- در صورت مشاهده‌ی موارد زیر، بلافاصله باید کمپرسور را خاموش کرد:

الف- اگر بعضی از قطعات کمپرسور بیش از اندازه گرم شود و دما بالا برود؛

ب- در صورتی که فشارسنج، فشاری پایین‌تر از اندازه‌ی طبیعی را نشان دهد؛

پ- در صورت شنیده شدن ضربه و یا صدای غیر طبیعی از کمپرسور و یا الکتروموتور و یا یافتن نقصی در آن‌ها که باعث حادثه شود؛

ت- در صورتی که ابزار دقیق مستقر بر روی تابلو، نشان‌دهنده‌ی افزایش بار الکتروموتور باشد؛

ث- در صورت خراب شدن دستگاه‌های اندازه‌گیری روی کمپرسورها.

omoorepeyman.ir

۶- موارد زیر ممنوع است:

الف- محکم کردن پیچ‌های فونداسیون و کشش فلانچ‌های اتصالی هنگامی که تحت فشارند؛

ب- استفاده از گریس و روغن غیر استاندارد؛

پ- استفاده از روغن کثیف؛

ت- رعایت نکردن مقررات ایمنی.

۱۰-٤- وظایف متصدی دستگاه کمپرسور به هنگام بهره‌برداری

۱- در کمپرسورخانه‌ها باید دستورالعمل بهره‌برداری و مراقبت از دستگاه کمپرسور در محلی که وظایف متصدی کمپرسور در مورد سرویس‌کاری بدون خطر و بهره‌برداری از کمپرسور، ذکر شده است، نصب شود.

۲- در کمپرسورخانه باید دفتر ویژه‌ای وجود داشته باشد تا متصدی بتواند تعداد ساعات کار کمپرسور و علایم تمام دستگاه‌ها را در هر ساعت کار کمپرسور در آن یادداشت کند.

۳- نکات زیر از جمله وظایف متصدی کمپرسور است:

الف- تحویل گرفتن ماشین از شیفت قبلی؛

ب- به کار انداختن کمپرسور طی یکی از رژیم‌های کاری؛

پ- خاموش کردن کمپرسور و احضار متصدی در صورتی که تکان و ضربه‌ای شنیده شود و یا این که آمپرمتر، جریان بیش‌تری را نشان دهد؛

ت- متوقف ساختن فوری کمپرسور و احضار متصدی در صورت قطع شدن آب و یا گرم شدن بیش از حد آن؛

ث- مراقبت از روغن‌کاری؛

ج- کنترل بر گردش آب به طور مداوم.

۴- قبل از شروع هر شیفت باید مراقب کار عادی سوپاپ‌های اطمینان بود و پس از به کار افتادن، آن‌ها را مورد بررسی و کنترل قرار داد.

۵- فیلترها باید حداقل یک بار در هر ماه تمیز شوند.

۶- دفترچه‌ی کار دستگاه کمپرسور باید به طور مداوم بررسی شده و علایم دستگاه‌ها در آن قید شود.

۷- کمپرسورخانه و دستگاه کمپرسور همیشه باید تمیز نگه داشته شود.

۸- ورود اشخاص متفرقه به کمپرسورخانه ممنوع است.

۹- دمای آب به هنگام ورود به کمپرسور نباید از ۱۸ تا ۲۵ درجه‌ی سانتی‌گراد تجاوز کند و به هنگام خروج از آن نباید از ۳۰ درجه بیش‌تر باشد.

۱۰- درجه‌ی سختی آب نباید بیش از ۱۰ درجه باشد و در ضمن اسیدی هم نباشد.

omoorepeyman.ir

۱۱- سطح سردکننده‌ی کمپرسور را باید حداقل دو مرتبه در سال تمیز کرد.

۱۲- رسوبات سردکننده و پوشش‌ها را باید به طریقه‌ی مکانیکی جدا کرد. تمیز کردن رسوبات به کمک محلول‌های شیمیایی (محلول ۵ درصد کربنات سدیم و آب) امکان‌پذیر است.

۱۳- تمیز کردن سردکننده از طریق حرارت دادن مجاز نیست.

۱۴- دمای هوای فشرده نباید از ۱۴۰ درجه‌ی سانتی‌گراد تجاوز کند.

۱۵- برای روغن‌کاری کمپرسور باید از روغن‌هایی استفاده شود که در دفترچه‌ی مشخصات کمپرسور قید شده است.

۱۶- روغن باید به خوبی تحمل تکان‌های سطح را داشته باشد و خواص خود را به هنگام بالا رفتن دما تغییر ندهد و ضمنا اسید، مواد سخت و آب همراه نداشته باشد.

۱۷- برای روغن‌کاری سیلندرهای کمپرسور به هنگامی که فشار هوا ۷ تا ۸ اتمسفر است، باید از روغن کمپرسور استفاده کرد. در ضمن دمای اشتعال روغن نباید کم‌تر از ۲۰۰ درجه‌ی سانتی‌گراد باشد.

۱۸- برای روغن‌کاری مکانیزم‌های حرکت کمپرسورهای رفت و برگشتی باید از روغن توربین، ماشین و روغن موتور استفاده کرد. دمای اشتعال چنین روغن‌هایی ۱۶۵ تا ۲۱۰ درجه‌ی سانتی‌گراد است. مصرف روغن کمپرسور باید با دستورالعمل کارخانه مطابقت داشته باشد.

۱۹- به هنگام کثیف شدن روغن یاتاقان‌ها می‌توان آن‌ها را با نفت شستشو داد و سپس آن‌ها را با روغن تازه پر کرد. ضمنا منافذ خروجی را باید تا زمانی که روغن بدون مخلوط نفت از آن‌ها چکه می‌کند، باز گذاشت.

۲۰- طی بازدیدهای روزانه و در شروع و پایان هر شیفت، متصدی دستگاه کمپرسور باید وضعیت فیلترهای روغن را کنترل کند.

۲۱- اگر فیلتر روغن کثیف شده باشد، در نتیجه فشار سیستم روغن افزایش می‌یابد و انتقال روغن به نقاط روغن‌کاری با اشکال مواجه می‌شود. بنابراین لازم است که فیلترهای روغن را تمیز کرد و آن‌ها را با نفت شستشو داد. پس از شستشو با نفت، باید فیلترها را از نفت تمیز کرد و سپس آن‌ها را در جای خود قرار داد.

۲۲- به هنگام بازدید باید لوله‌های روغن را به دقت مورد بررسی قرار داد. ضمنا باید مراقب بود که روغن در محل اتصال چکه نکند و در صورت مشاهده‌ی چنین وضعیتی، باید واشر یا کاسه نمد را تعویض کرد.

۲۳- ریختن روغن بر روی فونداسیون کمپرسور، در کف و همچنین در کابل‌های حامل جریان، ممنوع است.

۲۴- دستگاه کمپرسور را باید همیشه تمیز نگه داشت، گرد و خاک آن را پاک کرد و مراقب بود که زنگ‌خوردگی در قطعات خارجی کمپرسور و لوله‌ی آن ایجاد نشود. قطعات خارجی کمپرسور و همچنین لوله‌های آن را باید با ضد زنگ پوشش داد.

۱۰-۵- دستورالعمل بازدید و برنامه‌ی کاری تعمیرات کمپرسورها

۱- بازدید دستگاه‌های کمپرسور باید به طور روزانه، هفتگی، سه ماهه و شش ماهه انجام شود. در این بازدید باید وضعیت قطعات بررسی شده و قطعات لازم برای تعمیرات مشخص شود.

omoorepeyman.ir

۲- به هنگام بازدید مقدار فرسودگی قطعات، شکاف و خوردگی سطح قطعه را باید در نظر گرفت. پس از تعیین میزان فرسودگی، استفاده‌ی مجدد از این قطعات پس از انجام تعمیرات مجاز است.

۳- به هنگام بازدید نقاط اتصال، باید فاصله‌ی آن‌ها را با معیارهای تعیین شده دقیقا مورد بررسی قرار داد. همچنین قطعات متحرک و یا ثابت را باید از نظر محکم بودن و سالم بودن به طور کامل کنترل کرد.

۴- در بازدید کمپرسور باید توجه خاص نسبت به وضعیت قسمت‌های زیر مبذول داشت:

میل‌لنگ، بلبرینگ‌های اصلی، قسمت‌های کشویی و شاسی، سوپاپ‌ها، دستگاه تنظیم‌کننده‌ی فشار، پمپ روغن، سیلندرها، فاصله‌ی بین بالشتک کشویی و قسمت موازی فوقانی شاسی، فاصله‌ی بین سر محور و بوش بلبرینگ اصلی، فاصله‌ی بین استاتور و روتور.

۵- به هنگام بازدید قسمت‌های ثابت، وضعیت استحکام شاسی کمپرسور بر روی پایه و همچنین موقعیت موتور الکتریکی بر روی شاسی باید مورد توجه قرار گیرد.

۶- محل جوش سیلندر به شاسی و همچنین محکم بودن چرخ دنده بر روی محور موتور و اتصال روتور با محور کمپرسور باید دقیقا مورد بررسی قرار گیرد.

۷- برای بررسی و آزمون اتصال‌هایی که به وسیله‌ی گوه (خار) و رینگ‌های کششی محکم شده‌اند، می‌توان از روش ضربه زدن استفاده کرد. اگر صدای ضربه خفه بود، دال بر شل بودن و یا گسستگی است و اگر صدا تند و بلند بود، نشانه‌ی محکم بودن این اتصالات است.

۸- به هنگام بازدید باید سطح قطعات را دقیقا بررسی و وجود شکاف بر سطح آن‌ها را کنترل کرد.

۹- قسمت‌هایی که دارای بار الکتریکی هستند و یا به طور شدید در حال حرکتند، باید دقیقا و مرتبا مورد بازدید و کنترل قرار گیرند.

۱۰- به هنگام نصب کمپرسور بر روی پایه‌ی بتنی، باید یک خط شاخص بر روی بدنه‌ی کمپرسور و در امتداد آن یک خط بر روی پایه‌ی بتنی مشخص کرد. به هنگام بازدید، این دو خط را باید مورد کنترل قرار داد. در صورتی که کمپرسور از جای اولیه‌ی خود تغییر کرده باشد، این دو خط که در امتداد هم قرار گرفته بودند، وضعیتشان به هم می‌خورد. در این هنگام باید کمپرسور را در جای اولیه‌ی خود محکم کرد.

۱۱- باز کردن قطعات کمپرسور فقط در صورتی مجاز است که به هنگام کار کردن، عیوب و نواقصی در آن‌ها مشاهده شود و یا صداهای غیر معمولی از آن‌ها به گوش برسد.

۱۲- به هنگام بازدید تجهیزات، باید تعمیرات جاری به وسیله‌ی گروه تعمیرکار انجام شده و تعمیرات انجام شده به وسیله‌ی مکانیک و یا استاد کار کنترل شود.

۱۳- به هنگام تعمیرات جاری کمپرسور، ابتدا باید نحوه‌ی کار آن را به وسیله‌ی دستگاه‌ها و همچنین از طریق گوشی مورد کنترل قرار داد. سپس باید پیچ‌های اتصال کمپرسور به پایه‌ی بتنی و همچنین گوه‌ی (خار) اتصال سیلندرها به شاسی و پمپ روغن

omoorepeyman.ir

را نیز آزمایش کرد. در مرحله‌ی بعد وضعیت شاسی موازی و کشویی، بلبرینگ‌های اصلی، تجهیزات مربوط به خنک‌کننده، فیلترهای مکشی و لوله‌های هوا را باید مورد بررسی قرار داد.

۱۴- در تعمیرات جاری اگر پوشش‌های بلبرینگ، آب‌بندها، رینگ‌های پیستون، سوپاپ‌ها، سوپاپ‌های آب‌بندی، سوپاپ‌های یک طرفه و سیستم روغن عیوبی داشته باشند، باید تعویض شوند.

۱۵- در صورت لزوم، باید فشارسنج، شیرها، سوپاپ‌های حفاظتی و واشرهای اتصالات فلانچی را تعویض کرد.

۱۶ به هنگام بازدید و کنترل پانل راه‌اندازی اتوماتیکی موتور به غیر از موارد یاد شده، تحریک‌کننده‌ی موتور آسنکرون و بوبین موتور را نیز باید مورد بازدید قرار داد.

۱۷- باز کردن قطعات کمپرسور باید با دقت و با نظم و ترتیب انجام گیرد.

۱۸- پس از باز کردن قطعات، باید آن‌ها را با نفت و یا بنزین شست و سپس در محل اولیه‌ی خود قرار داد.

۱۹- قطعات بزرگ کمپرسور را پس از جدا کردن باید به طور منظم روی میز مخصوص قرار داد تا در مرحله‌ی بستن، مشکلی پیش نیاید.

۲۰- قطعات را باید با نفت و یا محلول پاک‌کننده‌ی دیگر کاملا تمیز کرد. به هنگام تمیز کردن قطعات نباید نقاطی را که سوخته شده است، به وسیله‌ی کاغذ سمباده و یا برس‌های فلزی تمیز کرد، بلکه باید محلول‌های مخصوص را به کار گرفت. برای این که قسمت‌های باز شده‌ی کمپرسور (سیلندرها، لوله‌های روغن، لوله‌های هوا و نظایر آن) کثیف نشوند، باید آن‌ها را به وسیله‌ی برزنت و یا پارچه‌ی دیگری که در دسترس باشد، پوشاند.

۲۱- پس از باز کردن بوش‌های بلبرینگ‌ها باید آن‌ها را علامت‌گذاری کرد تا در موقع بستن، اشتباه بسته نشوند.

۲۲- همه‌ی بوش‌ها، واشرها و بلبرینگ‌ها را پس از باز کردن باید جداگانه در یک کاغذ پیچید و بوش‌های هر بلبرینگ را مشخص کرد تا به هنگام بستن اشتباه نشود.

۱۰-٦- دستورالعمل سرویس و استفاده از مخزن هوا

۱- قبل از سرویس کلکتور و مخزن هوا، باید کمپرسور را خاموش کرد و آن‌گاه عملیات سرویس کلکتور را انجام داد. به هنگام انجام کار، اشخاص غیر مسوول نباید در محل کار حضور داشته باشند و یا دستگاه را به کار بیندازند.

۲- قبل از بررسی باید هوای فشرده‌ی موجود در داخل کمپرسور و مخزن هوا را خالی کرد و به وسیله‌ی دستگاه‌ها، نبود هوا در قسمت‌های مختلف کمپرسور و مخزن هوا را مورد بازرسی قرار داد. به هنگام انجام سرویس باید به مقررات ایمنی ضد آتش‌سوزی توجه کرد. اگر مخزن هوا باز باشد، شعله و یا آتش نباید به آن دستگاه نزدیک شود.

۳- به هنگام کار با محلول‌های شیمیایی باید از لباس کار، کفش و دستکش مخصوص استفاده کرد و ماسک ضد گاز و عینک حفاظتی را به کار برد.

۴- با رعایت تمام مقررات ایمنی باید دریچه‌ی پهلویی را باز کرد و سرپوش فوقانی مخزن هوا را درآورد.

omoorepeyman.ir

۵- جدار مخزن هوا را باید به وسیله‌ی محلول شیمیایی و بنزین تمیز کرد.

۶- بعد از تمیز کردن مخزن، باید آن را با آب تمیز شستشو داد و سپس خشک کرد.

۷- بدنه‌ی مخزن هوا باید مقاوم باشد.

۸- اگر هوای فشرده نشت کند، باید شکاف بدنه‌ی مخزن هوا را هوابندی کرد.

۹- به هنگام سرویس مخزن هوا باید کار سوپاپ اطمینان را کنترل کرد.

۱۰- طرز کار و حالت فنرها، ساقه و سوپاپ را نیز باید آزمایش کرد.

۱۱- اجزای سوپاپ را باید از نظر زنگ‌زدگی بازرسی کرد و در صورت وجود عیب، باید آن را برطرف ساخت. تمام قطعات سوپاپ را باید به وسیله‌ی نفت سفید شست و سپس آن را با قشر نازکی از روغن، روغن‌کاری کرد.

۱۲- به هنگام سرویس مخزن هوا، قبلا باید دستگاه‌های اندازه‌گیری مورد استفاده، آزمایش شده باشند.

۱۳- قسمت داخلی مخزن هوا را باید از زنگ‌زدگی تمیز کرد و در صورت لزوم آن را به وسیله‌ی ضد زنگ، رنگ کرد.

۱۴- هر مخزن هوای فشرده باید دارای پلاک مشخصات فنی حاوی اطلاعات زیر باشد:

الف- نام سازنده یا تهیه‌کننده؛

ب- شماره‌ی سریال؛

پ- سال ساخت؛

ت- ماکزیمم فشار کار مجاز؛

ث- ظرفیت مخزن.

۱۵- هر مخزن هوای فشرده باید به فشارسنج مناسبی مجهز شود تا فشار واقعی را نشان دهد.

۱۶- ماکزیمم فشار کار مجاز باید به طور واضح و مشخصی بر روی فشارسنج ثبت شده باشد.

۱۷- ارتباط فشارسنج با مخزن تحت فشار هیچ‌گاه نباید قطع شود.

۱۸- مخزن هوای فشرده باید مجهز به وسایل زیر باشد:

الف- یک سوپاپ اطمینان با ابعاد مناسب که به گونه‌ای نصب شده باشد که هر گونه فشار اضافی و خطرناک را خارج سازد؛

ب- یک شیر تخلیه در پایین‌ترین نقطه‌ی مخزن تعبیه شود تا آب جمع شده در داخل مخزن را تخلیه کند. وجود چنین شیری برای سرویس و نگهداری مخزن ضروری است.

۱۹- مخازن باید طوری طراحی و نصب شوند که احتمال خرابی و از رده خارج شدن آن‌ها وجود نداشته باشد و به هنگام کار، ایجاد خطر نکنند. همچنین نباید امکان ایزوله کردن آن‌ها وجود داشته باشد.

۲۰- در صورت امکان باید بر روی لوله‌ی تغذیه و در نزدیکی مخزن هوای فشرده، یک شیر قطع جریان نصب شود.

۲۱- پس از انجام آزمایش در هر یک از مراحل زیر باید نتایج، ثبت و در محل نصب مخازن نگهداری شود:

الف- بعد از نصب و قبل از اولین بهره‌برداری؛

omoorepeyman.ir

ب- بعد از بازسازی در مکانی دیگر یا بعد از تعمیر و قبل از به کارگیری مجدد آن‌ها؛

پ- در فواصل منظم.

۲۲- کار با مخازن هوای فشرده و تعمیر و نگهداری آن‌ها فقط باید به افرادی واگذار شود که آموزش‌های لازم را فرا گرفته باشند.

۲۳- قبل از شروع کار، اپراتورها باید مطمئن شوند که شیرهای قطع و وصل و وسایل ایمنی نصب شده بر روی مخازن سالم و آماده‌ی کار باشند.

۲۴- اگر در حین کار موقعیت خطرناکی پیش آید، مخزن هوای فشرده باید بلافاصله از مدار خارج شود.

۲۵- مخازن هوای فشرده باید در فواصل زمانی مناسب تمیز شوند. تمیزکاری و سرویس فقط باید در مورد مخازنی که تحت فشار نیستند، انجام شود.

۲۶- مخازن هوای فشرده فقط باید مواقعی باز شوند که مخزن تحت فشار نباشد.

۱۰-۷- دستورالعمل توزیع و استفاده از هوای فشرده

۱- لوله‌های توزیع هوای فشرده و اتصالات باید از موادی ساخته شود که بتوانند حداکثر فشار را تحمل کنند.

۲- فشار سیستم هوای فشرده باید با تجهیزات و وسایل متصل به سیستم مطابقت داشته باشد.

۳- در مواردی که هوا با فشارهای مختلف مصرف می‌شود، شیرهای کاهنده‌ی فشار و سوپاپ‌های ایمنی که برای کار در پایین-ترین فشار تنظیم شده‌اند، باید در موقعیت مناسبی نصب شوند.

۴- لوله‌های توزیع هوای فشرده باید در نزدیک‌ترین نقطه‌ی اتصال به کمپرسور یا مخزن هوا به شیر قطع و وصل مجهز شوند.

۵- خطوط توزیع هوای فشرده باید مجهز به آبگیر برای تخلیه‌ی آب جمع شده در درون آن‌ها باشند.

۶- خطوط توزیع باید به طور واضح علامت‌گذاری شوند و فشار مجاز کار بر روی آن‌ها درج شود.

۷- کوپلینگ و اتصالات شیلنگ‌ها باید به طور ایمن در محل‌های مربوط نصب شوند.

۸- نقاط اتصال و کوپلینگ‌ها باید تمیز و بدون نشتی باشد.

۹- قبل از حصول اطمینان از تخلیه‌ی فشار درون لوله‌ها، نباید هیچ گونه عملیاتی بر روی خطوط توزیع انجام گیرد.

۱۰- خطوط و نقاط توزیع باید توسط افراد ذی‌صلاح و در فواصل زمانی مناسب از نظر سالم بودن و نبود نشتی بازرسی شوند.

۱۱- تحت هیچ شرایطی نباید از هوای فشرده برای منظورهای دیگری جز مصارف تعیین شده استفاده کرد.

۱۲- هیچ‌گاه نباید جریان هوای فشرده را به طرف افراد گرفت و هرگز نباید از آن برای کارهایی چون تمیز کردن یا خشک کردن لباس، کفش، دست‌ها و غیره استفاده کرد.

۱۳- تحت هیچ شرایطی نباید قبل از قطع جریان هوا توسط شیر یا سایر وسایل مناسب دیگر، تجهیزاتی را به مخزن هوای فشرده وصل و یا از آن جدا کرد.

omoorepeyman.ir

omoorepeyman.ir

پیوست ۱

معرفی نرم‌افزارهای موجود برای محاسبات شبکه‌ی توزیع هوای فشرده

omoorepeyman.ir

omoorepeyman.ir

۱- نرم‌افزار اسدی -۱

در این نرم‌افزار به جای استفاده از چند فرمول و ارایه‌ی یک فرمول برای محاسبه‌ی افت فشار، از چهارده فرمول برای محاسبه‌ی افت فشار استفاده شده است، اما در هر مرحله فقط از فرمول‌هایی استفاده می‌شود که برای شرایط مورد بحث مناسب هستند. همچنین با استفاده از تکنیک‌های آماری، بر روی نتایج به دست آمده تجزیه و تحلیل خطاها انجام می‌گیرد و تمامی جواب‌هایی که با احتمال ۹۰٪ با یکدیگر سازگاری نداشته باشند، حذف می‌شوند.

۲- نرم‌افزار Compressed Air Pipeline Design (CAPD)

این نرم‌افزار در قالب طرح پژوهشی در سال ۱۳۸۶ توسط اسدی تهیه شده و برای طراحی یک خط لوله‌ی هوای فشرده، قابل استفاده است. مبنای کار این نرم‌افزار Microsoft ®Excel است و برای انجام محاسبات افت فشار لوله‌های انتقال هوای فشرده، از توابع این نرم‌افزار استفاده شده است.

استفاده از یک محیط ساده برای کار با نرم‌افزار و همچنین امکان تعریف آنالیز برگشتی از جمله خصوصیات ویژه‌ی این نرم‌افزار به حساب می‌آید. ویژگی‌های دیگر این نرم‌افزار عبارتند از:

الف- امکان استفاده از فرمول اطلس کوپکو و فرمول هاریس و مقایسه‌ی آن‌ها؛

ب- انجام محاسبات انتخاب قطر لوله با دو روش و امکان انتخاب روش توسط کاربر؛

پ- امکان تعریف لوله‌ی اصلی و فرعی توسط کاربر؛

ت- وجود ابزار تبدیل واحد متریک و اینچی در نرم‌افزار.

در این نرم‌افزار داده‌ها به سه گروه تقسیم شده‌اند:

الف- داده‌های ورودی (که در نرم‌افزار با رنگ زرد مشخص می‌شوند)؛

ب- داده‌های محاسبه شده‌ی میانی (که در نرم‌افزار با رنگ آبی کم‌رنگ مشخص می‌شوند)؛

پ- داده‌های خروجی (که در نرم‌افزار با رنگ آبی پررنگ مشخص می‌شوند).

۳- نرم‌افزار گرمسیری

این نرم‌افزار توسط گرمسیری و در قالب پایان‌نامه‌ی کارشناسی تهیه شده و به گونه‌ای طراحی شده است که بتواند شبکه‌ای شامل ۱۰ کارگاه استخراج را محاسبه کند.

برای استفاده از این نرم‌افزار باید اطلاعات کارگاه‌های استخراج معدن را به ترتیبی وارد کرد که ابتدا اطلاعات خط لوله‌ی دورترین کارگاه نسبت به کمپرسور وارد شود. سپس اطلاعات سایر خط لوله‌ها وارد می‌شود، به گونه‌ای که ترتیب ورود اطلاعات مربوط به خط لوله‌ها، از دورترین کارگاه به سمت کمپرسور باشد.

omoorepeyman.ir

مراحلی که برای برنامه در نظر گرفته شده به گونه‌ای است که تمام نیازهای کاربر را در بر می‌گیرد تا بتواند به راحتی شبکه‌ی مورد نظر خود را طراحی و تحلیل کند.

به کمک این نرم‌افزار می‌توان به سادگی شبکه‌ای با حداکثر ۱۰ کارگاه را بدون در نظر گرفتن محل قرارگیری کارگاه‌ها در شبکه طراحی و تحلیل کرد. علاوه بر آن قابلیت محاسبه‌ی شدت جریان مورد نیاز هر کارگاه، محاسبه‌ی قطر مناسب برای هر خط لوله، محاسبه‌ی افت فشار در هر خط لوله با ۶ رابطه و امکان چاپ و ذخیره‌ی نتایج از خصوصیات این نرم‌افزار است.

٤- نرم‌افزار Pipe Flow Expert

این نرم‌افزار که برای محاسبه‌ی شبکه‌های توزیع هوای فشرده طراحی شده، توسط شرکت انگلیسی Daxesoft Ltd ارایه شده است.

استفاده از این نرم‌افزار محدود به طراحی شبکه‌های هوای فشرده نیست و برای انجام محاسبات شبکه در بسیاری حالات قابل استفاده است. به طور کلی این نرم‌افزار را می‌توان برای تمامی شرایطی که یک سیال با افت فشار مواجه است، به کار برد. به کمک این نرم‌افزار می‌توان شبکه‌های پیچیده‌ای از توزیع سیال را رسم و تحت شرایط مختلفی تجزیه و تحلیل کرد. بعضی از داده‌هایی که از این نرم‌افزار دریافت می‌شود، عبارتند از:

الف- شدت جریان هر شاخه از شبکه؛

ب- سرعت حرکت سیال در هر یک از شاخه‌های شبکه؛

پ- اعداد رینولدز هر شاخه؛

ت- ضرایب اصطکاک هر شاخه؛

ث- افت فشار از بابت اصطکاک؛

ج- افت فشار از بابت اتصالات؛

چ- افت‌های مربوط به اجزای شبکه؛

ح- فشار سیال در هر یک گره‌ها؛

خ- مقادیر تراز هیدرولیکی؛

د- نقطه‌ی عملکرد کمپرسور و یا تلمبه.

تمامی مقادیر ورودی و خروجی در شبکه‌ی گرافیکی نشان داده می‌شوند. این اطلاعات را در جدول نیز می‌توان مشاهده و مقایسه کرد. انتقال تصاویر گرافیکی به سایر نرم‌افزارها، استفاده از واحدهای متریک و اینچی (برای هر یک از مقادیر)، امکان محاسبه‌ی شبکه‌های پیچیده در کنار سادگی، از دیگر خصوصیات این نرم‌افزار است.

از جمله توانایی‌های این نرم‌افزار می‌توان به امکان طراحی یک خط لوله‌ی ساده تا شبکه‌های بسیار پیچیده و دارای شاخه‌های متعدد، شبکه‌های افقی، قائم و مایل اشاره کرد.

omoorepeyman.ir

اطلاعات ورودی مورد نیاز این نرم‌افزار عبارتند از:

الف- قطر داخلی لوله، طول و زبری آن؛

ب- اختلاف ارتفاع هر دو گره در شبکه؛

پ- در صورت نیاز میزان ورود و خروج هوا در هر شاخه؛

ت- ارتفاع و فشار در محل تراکم هوا؛

ث- اطلاعات مربوط به عملکرد کمپرسور و یا تلمبه.

در هر مرحله از طراحی، این اطلاعات به سادگی قابل اصلاح و تغییر است.

در هر مرحله از طراحی امکان تجزیه، تحلیل و انجام محاسبات برگشتی برای بسیاری از پارامترها وجود دارد. در مواردی که مقادیر اولیه برای تحلیل شبکه وجود ندارد، از مقادیر اولیه‌ی فرضی استفاده شده و از روش تکرار نیوتن برای تسریع در رسیدن به فشار تعادلی در بخشی از شبکه یا تمام آن استفاده می‌شود.

به منظور ارسال خروجی در صفحه‌ی گسترده (که برای تبادل با بسیاری نرم‌افزارها لازم است) باید Microsoft ® Excel نیز بر روی رایانه مورد نظر نصب شده باشد.

۵- نرم‌افزار AIRMaster+: Compressed Air System Assessment

این نرم‌افزار که از جمله نرم‌افزارهای تحت Windows است، برای تحلیل شبکه‌های توزیع هوای فشرده به کار می‌رود و قادر است عملیات فعلی و نیز برنامه‌های توسعه‌ی آینده‌ی شبکه را مدل‌سازی کند. در این نرم‌افزار نیز داده‌های لازم به برنامه داده شده و پاسخ‌های لازم دریافت می‌شود.

٦- نرم‌افزار Compressed Air Analysis Tool (CAAT)

این نرم‌افزار برای تحلیل‌های مربوط به صرفه‌جویی انرژی در سیستم‌های توزیع هوای فشرده به کار می‌رود و به کمک آن می‌توان میزان صرفه‌جویی حاصل در اثر اصلاح سیستم را برآورد کرد. علاوه بر این، نرم‌افزار، مجموعه‌ی کاملی از اطلاعات مربوط به شرکت‌های سازنده‌ی کمپرسور و تجهیزات توزیع هوای فشرده را دربر دارد.

omoorepeyman.ir

omoorepeyman.ir

کتاب‌نگاری

[۱] پوریفری، رابرت
تولید و توزیع هوای فشرده
مترجم: حسن مدنی (۱۳۷۰)
انتشارات صنعت فولاد

[۲]- Atlas Copco Manual(1978)
Atlas copco AB.Stockholm, Sweden.

[3]- Lewis,Roberts.(1964)
Elements of Mining.
John Wiley and Sons,Inc.

[4]- Skochinsky A.Komarov.V. (1989)
Mine Ventilation
Mir Publishers-Moscow

[5]- Compressed Air Challenge (2003)
Improving Compressed Air System Performance
U.S. Department of Energy

[۶]- مدنی، حسن (۱۳۸۶)
خدمات فنی در معادن (چاپ چهارم)
انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر

[۷]- کاتالوگ شرکت‌های مختلف (۲۰۰۷)

[8]-Peal,Robert (1945)
Mining Engineering Handbook
John Wily and Sons, Inc.

[9]-Kentish, D.N.W (2004)
Industrial Pipe Work
McGraw-Hill Book Co.

[۱۰]- مدنی، حسن (۱۳۷۱)
بررسی سیستم‌های توزیع هوای فشرده در معادن

omoorepeyman.ir

[11]-Nunn ally, S.W.(2000)
Construction Methods and Management
Prentice- Hall Inc.

[12]-Unified Facilities Criteria (2007)
Comp red Air
U.S. Department of Defense

[13]-Paciffic Gas and Electric Company (2007)
Efficiency Improvement in Industrial Compressed Air system

[14]-Efficient Compressed Air System (2008)
Compressed Air Association of Australia

[15]- Nunnally S.W. (1990)
Construction Methods and Management
Prentice - Hall Inc.

[۱۶]- اسدی، احمد (۱۳۷۱)
مدلی جدید برای محاسبه افت فشار هوا در لوله‌ها
پایان‌نامه کارشناسی ارشد- دانشگاه آزاد اسلامی- واحد جنوب تهران

[۱۷]- اسدی، احمد (۱۳۸۶)
نرم‌افزار طراحی خط لوله‌های فشرده
طرح پژوهشی- دانشگاه آزاد اسلامی – واحد جنوب تهران

[۱۸]- گرمسیری، رضا (۱۳۸۶)
نرم‌افزاری برای طراحی و تعدیل شبکه‌های هوای فشرده
پایان‌نامه کارشناسی - دانشگاه صنعتی امیرکبیر

[۱۹]- شرکت پیشگامان صنعت فولاد ایران (۱۳۸۲)
طرح جامع ایمنی، نجات و بهداشت در معادن
انتشارات شرکت تهیه و تولید مواد معدنی ایران

omoorepeyman.ir

خواننده گرامی

دفتر نظام فنی اجرایی معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رییس جمهور، با گذشت بیش از سی سال فعالیت تحقیقاتی و مطالعاتی خود، افزون بر چهارصد عنوان نشریه تخصصی–فنی، در قالب آیین‌نامه، ضابطه، معیار، دستورالعمل، مشخصات فنی عمومی و مقاله، به صورت تالیف و ترجمه، تهیه و ابلاغ کرده است. نشریه پیوست در راستای موارد یاد شده تهیه شده، تا در راه نیل به توسعه و گسترش علوم در کشور و بهبود فعالیت‌های عمرانی به کار برده شود. فهرست نشریات منتشر شده در سال‌های اخیر در سایت اینترنتی **http://tec.mporg.ir** قابل دستیابی می‌باشد.

دفتر نظام فنی اجرایی

omoorepeyman.ir

Islamic Republic of Iran
Vice Presidency for Strategic Planning and Supervision

Technical Instructions for Distribution of Compressed Air in Mines

No.531

Office of Deputy for Strategic Supervision

Bureau of Technical Execution System

http://tec.mporg.ir

Ministry of Industries and Mines

Deputy office of Mining Affairs and Mineral Industries

Office for Mining Exploitation and Supervision

http://www.mim.gov.ir

2010

omoorepeyman.ir

این نشریه:

اطلاعـات لازم بـرای طراحـی شـبکه‌ی توزیـع هـوای فشرده و محاسـبه‌ی میـزان هـوای فـشرده لازم بـرای تجهیزات مـورد اسـتفاده در معـادن را بیـان مـی‌کنـد. دستورالعمل‌های محاسبه‌ی افـت فـشار و نـشت هـوا و مقررات ایمنی شبکه‌ی توزیع از دیگر موارد ذکر شده در این نشریه است.

omoorepeyman.ir