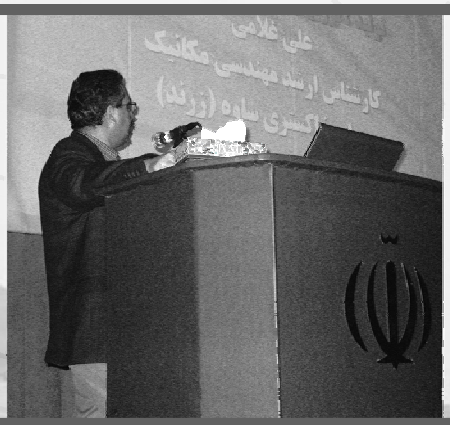
مدیریت مصرف انرژی در سیستم‌های تولید، توزیع و مصرف هوای فشرده

Energy management in performance, efficiency, distribution & reliability of compressed air

تهیه و تنظیم: مهندس علی غلامی

کارشناس ارشد مهندسی مکانیک - سیمان خاکستری ساوه (زرند)



چهل و چهارمین سمینار بهینه‌سازی و تولید

فرآیند، انرژی، تکنولوژی

چکیده:

امروزه در گوشه و کنار جهان در کشورهای صنعتی و غیرصنعتی نوعی آگاهی در حال رشد در راستای نقش مؤثر انرژی در زمینه‌های اقتصاد و توسعه ملی بوجود آمده است. لذا تولید بهینه و مصرف، دور کن اصلی توسعه اقتصادی است و هماهنگی بین این دو تنها راه تحقق اهداف توسعه اقتصادی است. انرژی به عنوان یک سازه اقتصادی در تعیین حد توسعه یافتگی و میزان مصرف آن نشانه‌ای از گرایشهای توسعه اقتصادی به محور صنعت می‌باشد. هرگاه سخن از انرژی به میان می‌آید، این سؤال مطرح است، چه نوع انرژی برای چه نوع مصرف و به چه میزان و برای چه منظور و به چه قیمتی؛ این ابتدائی‌ترین مسئله مدیریت انرژی است و به مفهوم شناخت نیاز واقعی آن به کاهش تلفات و ضایعات انرژی منتهی خواهد شد.

این مقاله به هوای فشرده که یکی از اشکال عمده از انرژی فرآیند می‌باشد، پرداخته است.

1- مقدمه

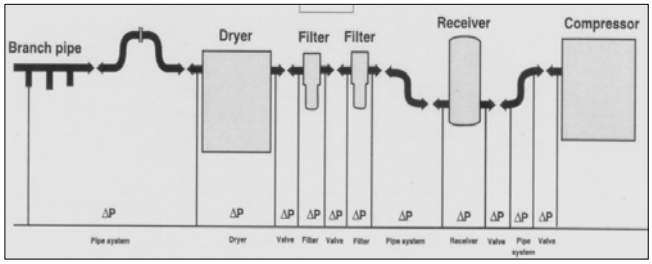
یک سیستم هوای فشرده حداقل کمپرسور، مخزن، فیلترها، درایرها، لوله‌های انتقال و دستگاههای مصرف‌کننده را شامل می‌شود (شکل 1).

کمپرسورها یا توسط موتورهای احتراقی با سوختهای فسیلی و یا توسط موتورهای الکتریکی به حرکت در می‌آیند که انرژی مورد نیاز بستگی به راندمان ماشین و توان مورد نیاز برای متراکم نمودن هوا دارد. مخازن به منظور تأمین و ذخیره هوای فشرده به کار می‌روند، ولی می‌توانند نوسانات فشار را که در شبکه پیش می‌آید، خنثی کرده و فشار را ثابت نگهدارد و به علت سطح بزرگی که دارد، می‌تواند هوا را بهتر خنک کرده و مقداری از رطوبت هوا را به صورت آب خارج می‌نماید.

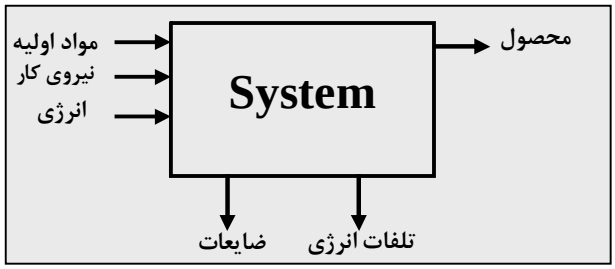
فیلترها و درایرها با جذب رطوبت، روغن و گرد و خاک و آماده‌سازی هوای فشرده برای کاراندازی ابزار و دستگاههای نیوماتیکی که نیاز به هوای تمیز و بدون رطوبت دارند. لوله‌ها که وظیفه انتقال هوای فشرده به تجهیزات مصرف‌کننده دارد.

انتخاب، طراحی، تعمیر، بهینه‌سازی هر کدام از این عناصر تأثیر بسزائی در مصرف انرژی دارند. فرصتهای مدیریت انرژی به کاهش میزان

کار متراکم نمودن، بازیافت حرارت و کاهش تلفات انرژی پتانسیل ذخیره شده در هوای فشرده ارتباط دارد. بطوریکه شناخت سیستم و بررسی وضعیت موجود و مقایسه با وضعیتهای بهینه یکی از ابزارهای مدیریت انرژی است (شکل 2).



شکل 1



شکل 2

شکل 2 مجموعه ورودی به یک سیستم را که شامل مواد اولیه، نیروی کار و انرژی است و خروجی آن پس از کسر تلفات انرژی و ضایعات به صورت محصول می‌باشد را نشان می‌دهد.

محصول = P_2

مجموعه ورودی = P_1

$$\eta = \frac{P_2}{P_1}$$

اگر تلفات و ضایعات به صفر میل کند:

P_2 = تلفات و ضایعات = P1

$P_2 \approx P_1$ = %100

که به صورت ایده آل بهترین است. عملکرد کارا در سیستم هوای فشرده از عوامل زیر تأثیر می‌پذیرد:

- انتخاب نوع و اندازه مناسب تجهیزات (چرخشی، رفت و برگشتی و غیره)
- تهیه هوای ورودی در پایین‌ترین درجه حرارت ممکن
- به حداقل رسانیدن فشار سیستم
- حذف نشتیها
- بازیافت حرارت

2- تولید هوای فشرده

2- 1- کمپرسور

خصوصیات کمپرسورهای هوای معمول در صنعت طبق جدول 1 طبقه‌بندی شده است. ماشین‌های بزرگتر نیز در دسترس می‌باشند، ولی عموماً جهت کاربردهای ویژهٔ محدودی بکار برده می‌شوند. نوع بهینه کمپرسور بستگی به ظرفیت، فشار و تناوب کارکرد آن دارد. انتخاب بهترین نوع برای کار به حدوداً 10 الی 25% بهبود راندمان منتهی می‌شود.

جدول 1: مشخصات کمپرسورهای هوا (نمونه)

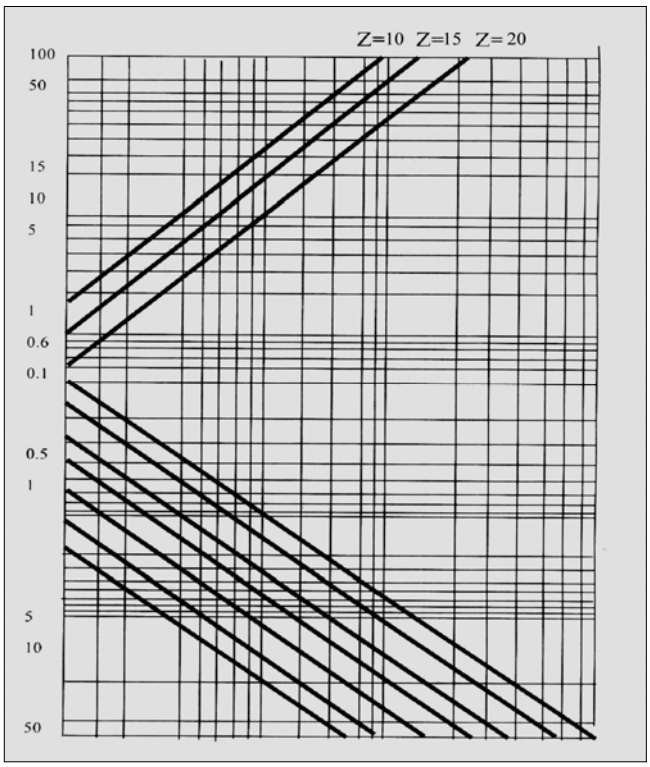
فشار		حجم		سرعت	قدرت		نوع
psig	KN/m	scfm	m^3/min	(rpm)	(hp)	(Kw)	
100	689	98	2.77	3550	25	19	چرخشی، خنک شونده با هوا
115	793	345	9.76	3550	75	56	
115	793	700	19.8	1775	150	112	
100	689	98	2.77	3550	25	19	چرخشی، خنک شونده با هوا
100	689	350	9.91	1775	75	56	
100	689	630	17.8	2500	125	93	
100	689	2070	58.6	1390	400	298	
100	489	348	9.84	450	75	56	رفت و برگشت
100	489	2245	43.5	590	400	298	

2- 2- مخزن هوای فشرده

انتخاب مخزن به عوامل زیر بستگی دارد:

- مقدار تولید کمپرسور
- مقدار مصرف
- نوع تنظیم کمپرسور
- شبکه لوله‌کشی به انضمام حجم
- حد مجاز اختلاف فشار در شبکه

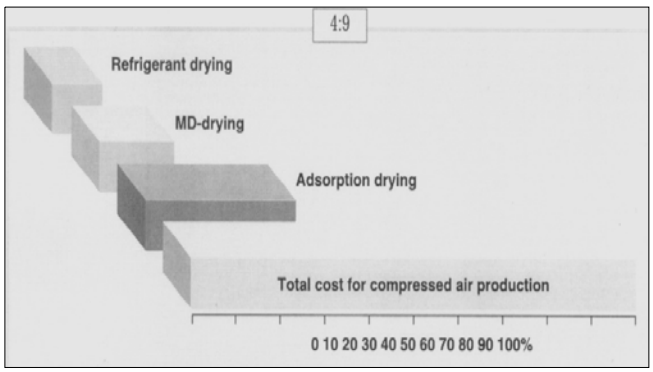
با استفاده دیاگرام شکل 3 می‌توان حجم مخزن مورد نیاز را به دست آورد.



شکل 3

2- 3- درایرهای هوای فشرده

رطوبت موجود در هوای اتمسفریک در اثر فشرده شدن تبدیل به قطرات آب می‌شود و چنانچه این قطرات آب از سیستم خارج نشوند، می‌تواند صدمات سنگینی به دستگاههای نیوماتیکی وارد نماید و آنها را از کار بیاندازند. لذا با روشهای شیمیایی (Absorbtion) و فیزیکی (Adsorption) و روش برودتی Low temperature رطوبت را جذب می‌کنند. هر کدام از این روش‌ها مزایا و معایبی دارند. ولی در میزان قیمت کل تمام شده هوای فشرده طبق شکل 4 ارتباط دارند که با توجه به حساسیت تجهیزات و اهمیت عدم وجود رطوبت در تجهیزات بایستی نسبت به انتخاب نوع درایر اقدام نمود.



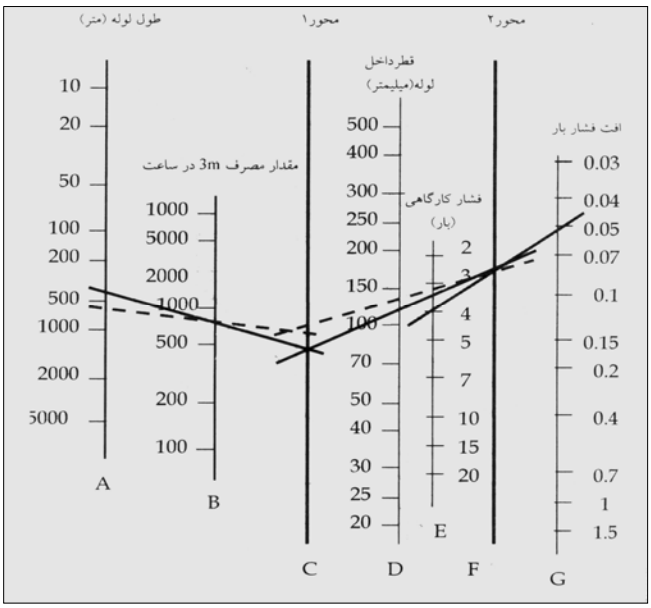
شکل 4

3- توزیع هوای فشرده

به علت توسعه دستگاهها و ماشینهای اتوماتیک، مصرف هوای فشرده در کارگاهها رو به افزایش گذاشته است. برای انتقال هوای فشرده به دستگاهها از شبکه لوله استفاده می‌کنند که طول و قطر خطوط باید متناسب با نوع سیستم و کار باشد. با توجه به نکات زیر قطر لوله‌ها انتخاب می‌شود:

- مقدار عبور حجم جریان هوا
- طول خط لوله
- افت فشار مجاز
- فشار کارگاهی
- تعداد نقاط انشعاب و تنگناهای موجود در شبکه

یکی از روشهای محاسبه قطر لوله استفاده از نموگرام شکل 5 می‌باشد که نحوهٔ استفاده از آن به این صورت است. ابتدا طول لوله را روی محور A که شخص کننده طول لوله‌کشی است مشخص نموده و به محور B که مقدار یا را قطع کند. حال روی محور E مقدار فشار کارگاهی را تعیین کرده و به محور G که مشخص کننده افت فشار است وصل کرده، آن گاه نقطه تقاطع این خط را روی محور F با نقطه تقاطع روی محور C به هم وصل نموده و قطر لوله به دست می‌آید.



شکل 5

4- فرصت‌های مدیریت انرژی

عملکرد کارا در پتانسیل ذخیره شده در ارتباط با هوای فشرده از عوامل زیر تأثیر می‌پذیرد.

4-1- تهیه هوای ورودی در پائین‌ترین درجه حرارت ممکن

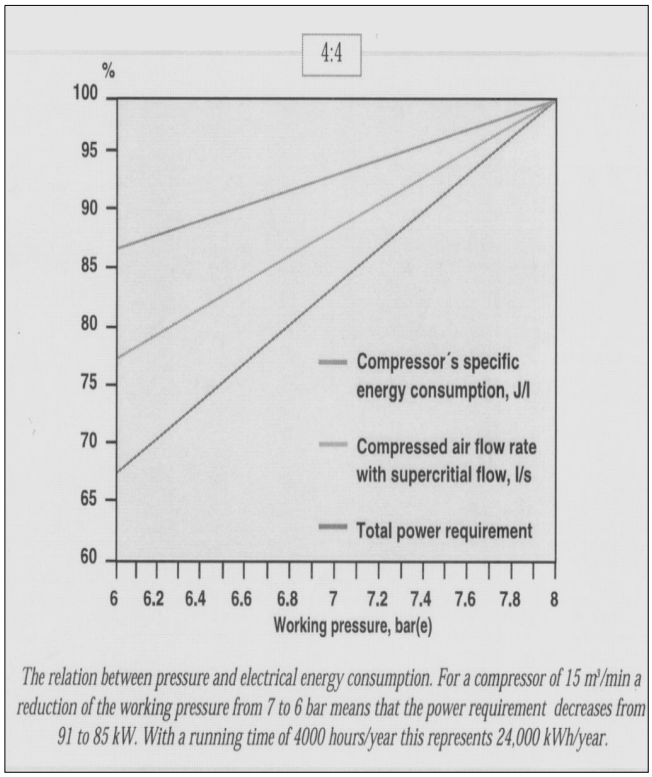
روش‌هائی را بررسی و انتخاب کنید که دمای هوای ورودی به کمپرسور را کاهش دهد. با توجه به رابطه معروف $PV = \frac{m}{\pi} RT$ در فشار جو حجم هوای فشرده شده، مستقیماً به درجه حرارت خودش ارتباط دارد. کمپرسورها برای فشرده کردن هوای گرم بایستی کار بیشتری انجام دهند. به طوریکه «به ازای هر 3°C کاهش در دمای هوای ورودی به کمپرسور، حدود 1 درصد در مصرف انرژی صرفه‌جوئی می‌شود». جدول 2 صرفه‌جویی‌های ناشی از تغییر محل هوای ورودی به کمپرسور را به جای خنک‌تر نشان می‌دهد.

جدول2

درجه حرارت هوای ورودی °C	درجه حرارت هوای ورودی °F	حجم ورودی مورد نیاز به متر مکعب برای تأمین 1000 متر مکعب هوای آزاد در 21°c (70°F)	درصد صرفه‌جویی به کیلووات با درصد افزایش متناسب با 21°c (70°F) ورودی
-1	30	925	صرفه‌جویی 7.5
5	40	943	صرفه‌جویی 5.7
20	50	962	صرفه‌جویی 3.8
16	60	981	صرفه‌جویی 1.9
21	70	1000	0
27	80	1020	افزایش 1.9
32	90	1040	افزایش 3.8
37	100	1060	افزایش 5.7
42	110	1080	افزایش 7.6
49	120	1100	افزایش 9.5

4 - 2- به حداقل رساندن فشار سیستم

فشار سیستم را تجهیزاتی که از هوای فشرده در کارکردشان استفاده می‌کنند، تعیین می‌نمایند. صرفه‌جوئی‌های قابل توجهی را می‌توان با کاهش فشار سیستم هوای فشرده بدست آورد. فشار هوای تولیدی را دقیقاً به اندازهٔ فشار مورد نیاز واحد صنعتی خود تنظیم نمائید. به ازای هر 0/5 bar کاهش فشار هوای فشرده تولیدی حدود 4% و به ازای کاهش هر 1 bar فشار هوای فشرده تولیدی 6% در مصرف انرژی صرفه‌جویی می‌شود (شکل 6).



The relation between pressure and electrical energy consumption. For a compressor of 15 m³/min a reduction of the working pressure from 7 to 6 bar means that the power requirement decreases from 91 to 85 kW. With a running time of 4000 hours/year this represents 24,000 kWh/year.

شکل 6

4 - 3- انتخاب نوع و اندازه مناسب کمپرسور

ظرفیت کمپرسورها را از نظر حجم و فشار هوای تولیدی متناسب با نیاز واحد صنعتی خود انتخاب کنید. کمپرسورهای بزرگتر به دلیل آن که در بار کامل کار نمی‌کنند، بازده انرژی کمتری دارند. طرح‌هایی را بررسی و انتخاب نمایید که در آنها کمپرسورها در کمترین فاصله ممکن از تجهیزات صنعتی هوای فشرده قرار گیرد که حداقل افت فشار را داشته باشد.

$$dp = \frac{L \times 450 \times Q^{1.85}}{d^5} \times p$$

dp = رفت فشار (حداکثر 0.1bar)

λ = طول لوله (m)

d = قطر لوله (mm)

p = فشار خروجی (bar)

Q = دبی کمپرسور (lit/Sec)

در کارخانه‌های بزرگ، انواع مختلف تجهیزات نیاز به فشارهای مختلفی خواهند داشت. روش معمول، فراهم نمودن کمپرسوری است که بتواند بالاترین فشار مورد نیاز را تأمین کند. یک روش دیگر، مجزا کردن کمپرسورهای پر فشار و کم فشار است. مثلاً بجای استفاده از کمپرسور برای بارهای کم فشار از دمنده‌ها (Blower) استفاده شود. حتی‌الامکان سعی کنید کمپرسورهای شما به موتورهای الکتریکی با بازده بالا مجهز باشند.

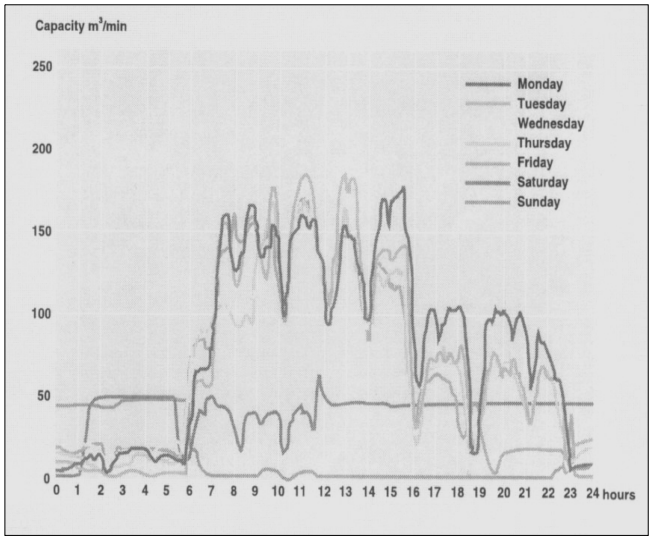
4 - 4- نشتی‌های هوای فشرده

نشتی‌ها فشار سیستم را کاهش می‌دهند و با بازرسی منظم (ماهانه) شبکه توزیع هوای فشرده، نشتی‌های احتمالی را یافته و آنها را برطرف نمائید، تا نگهداری فشار سیستم به صرف قدرت پمپاژ کمتر منجر گردد نشتی‌ها می‌توانند به راحتی تا بیش از 30 درصد انرژی را هدر دهند. در جدول 4 مثال‌هایی از هدر رفتن هوای ویژه و انرژی الکتریکی مصرفی ناشی از سوراخهایی با ابعاد مختلف درج شده است.

جدول 4

Hole diameter		Output flow at 7 bar working pressure	Power requirement for the compressor
Size	mm	l/s	kW
•	1	1.2	0.4
●	3	11.1	4.0
●	5	31	10.8
●	10	124	43

با یک آزمایش خوب توسط خاموش کردن کلیه تجهیزات مصرف‌کننده هوا فشرده در ایام تعطیلات و نصب سیستم اندازه‌گیری هوای فشرده مصرفی (Efector metris) می‌توان به نشتی هوا پی برد (شکل‌های 7 و 8).

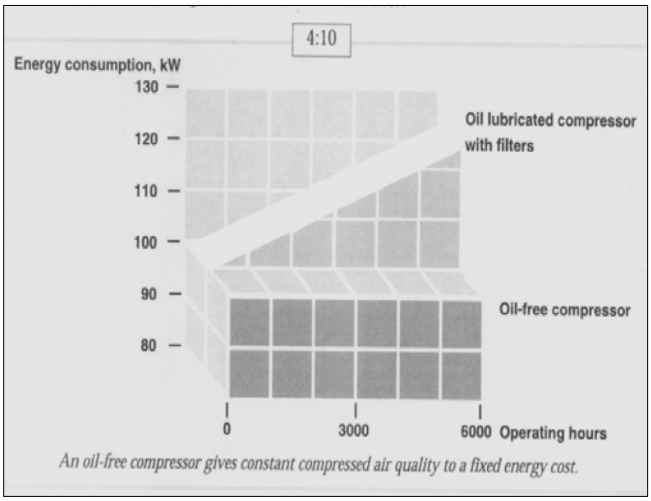


شکل 7

شکل 8

4 - 5- کیفیت هوای فشرده

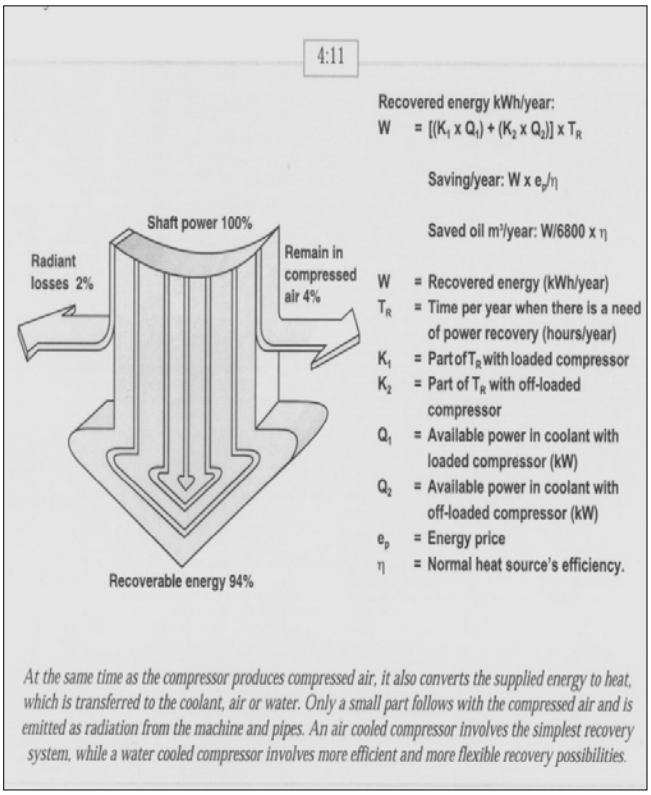
در سیستم هوای فشرده فقط هنگامی از هوای تصفیه شده و با کیفیت بالا استفاده کنید که واقعاً ضرورت دارد. فیلترها و خشک‌کن‌های سیستم‌های فشرده با کاهش فشار هوا، انرژی مصرفی را افزایش می‌دهند. در صورت نیاز به هوای فشرده کیفیت بالا از کمپرسورهای اویل فری (Oil – Free) به جای Oil – Inject استفاده شود، زیرا دارای انرژی مصرفی ثابتی هستند (شکل 9).



شکل 9

4 - 6- بازیافت حرارت

امکان دیگر در سیستمهای هوای فشرده بازیافت حرارت می‌باشد. کمپرسورها را توسط آب یا هوا خنک می‌شوند. احتمالاً بازیافت حرارت در واحدهای کوچک خنک شونده با هوا اقتصادی نباشد، ولی در واحدهای بزرگ صنعتی بایستی امکان بازیافت حرارت را بررسی نمود. بیش از 50% از توان مصرفی در کمپرسورهای هوا به حرارت تبدیل می‌شوند (شکل 10).



شکل 10

4 - 7 - تعمیرات

- موارد افت فشار در کل سیستم تولید و توزیع هوای فشرده را بررسی کرده و نسبت به رفع آنها بکوشید. بدین منظور خطوط لوله، شیرها، اتصالات، انشعابات، خم‌ها، تغییر مقاطع لوله‌ها و کانالها را بازرسی کنید.
- از عدم تقطیر رطوبت و ایجاد چگالیده در شبکه توزیع هوای فشرده اطمینان یافته و در صورت بروز چنین مشکلی، بررسی کنید که آیا چگالیده به طور کامل از شبکه توزیع هوای فشرده خارج می‌شود.
- کلیه لوله‌های توزیع هوا باید به راحتی در دسترس باشد.
- لوله‌های حامل هوا را با شیب 1% تا 2% نصب و انشعابات را از بالا به طور صحیح بگیرید (شکل 11).

5- مراجع

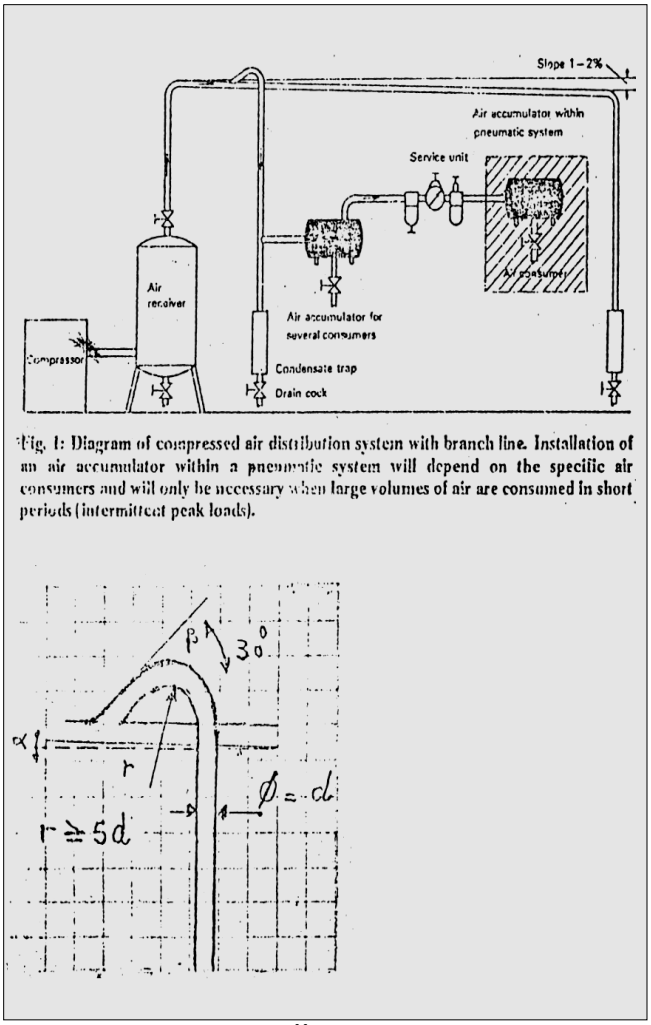
1- اصول مدیریت انرژی– تألیف: کرگ بی. اسمیت، ترجمه: سازمان بهره‌وری انرژی ایران (سابا)

2- الکترو نیوماتیک– نوشته مهندس حمیدرضا رستمی

3- نشریه‌های سازمان بهینه‌سازی مصرف انرژی (بهسامان)

4- کاتالوگهای شرکت اطلس کوپکو

5- کاتالوگهای شرکت فستو



شکل 11

شرکت ابزار پزشکی
مهرداد
احداث و تجهیز آزمایشگاههای کارخانجات سیمان
طراحی و اجراء میزبندی آزمایشگاههای سیمان
ساخت انواع هودهای شیمیایی - میزهای توزین
و میز نمونه های ساعتی سیمان
ارائه انواع دستگاههای تخصصی آزمایشگاههای سیمان
ارائه انواع دستگاههای عمومی آزمایشگاههای سیمان
شیشه آلات شات آلمان
مواد شیمیایی مرک آلمان
آدرس: فلکه دوم صادقیه- ابتدای بلوار فردوس
خیابان ولیعصر - خیابان چهارم- پلاک ۳۴ - طبقه سوم غربی
تلفن: ۴۴۰۵۹۲۶۷
۴۴۰۶۸۰۲۹