



BUSİAD

BURSA SANAYİCİLERİ ve
İŞADAMLARI DERNEĞİ

BASINÇLI HAVA SİSTEMLERİNDE **ENERJİ** VERİMLİLİĞİ EL KİTABI



BUSİAD
Enerji Uzmanlık
Grubu



BUSİAD
Enerji Yönetimi Ödülü



BUSİAD
BURSA SANAYİCİLERİ ve
İŞADAMLARI DERNEĞİ

BASINÇLI HAVA
SİSTEMLERİNDE
ENERJİ
VERİMLİLİĞİ
EL KİTABI



BUSİAD
Enerji Uzmanlık
Grubu



BUSİAD
Enerji Yönetimi Ödülü

BUSİAD
Bursa Sanayicileri ve İşadamları Derneği
Enerji Uzmanlık Grubu
adına,

Hazırlayanlar:

Nizamettin AYPAK
(Grp. Bşk.)
Adnan GÜLBAL
Prof. Dr. Akın Burak ETEMOĞLU
Canpolat ÇAKAL
Ercan AYDEMİR
Zeki GÜMÜŞ

Grafik / Baskı

Rotaoffset®

Rota Barışçı Matbaacılık ve Tanıtım Hizmetleri A.Ş.

Fethiye Mah. Sanayi Cad. No: 317 16140 Nilüfer, BURSA

Tel: 0224 242 72 00

Bu kitap Bursa Sanayicileri ve İşadamları Derneği
tarafından yayınlanmıştır.

Her hakkı BUSİAD'a aittir.
Kaynak gösterilerek alıntı yapılabilir.

BUSİAD Yayınları 2016, Bursa

İÇİNDEKİLER

BÖLÜM 1: BASINÇLI HAVA ve ÖZELLİKLERİ	3-10
1.1. Giriş.....	3
1.2. Hava.....	3
1.3. Nemli Hava.....	5
1.4. Yoğunluk, Özgül Ağırlık, Sıkıştırılabilir-Sıkıştırılamaz Akış.....	6
1.5. Basınç.....	6
1.6. Sıcaklık.....	7
1.7. İdeal (Mükemmel) Gaz Denklemi.....	7
BÖLÜM 2: KOMPRESÖR TİPLERİ ve SEÇİMİ	11-17
2.1. Bir Tesisin Hava Sarfiyatının Bulunması.....	11
2.2. Kompresör Tipleri.....	11
2.3. Kompresör Seçimi İçin Diğer Etkenler.....	13
2.4. Kompresörler İçin Kullanılan Kontrol Metotları.....	14
2.5. Doğru Kompresör Seçimi İçin Belirlenmesi Gereken Parametreler.....	15
2.6. Maliyet Hesabı.....	16
2.7. Kompresörlerin Kontrol Sistemleri.....	16
BÖLÜM 3: BASINÇLI HAVA ŞARTLANDIRMA	18-21
3.1. Soğutucu Gazlı Kurutucular.....	18
3.2. Kimyasal Kurutucular.....	19
3.3. Yağ ve Su Ayırıcı.....	19
3.4. Filtreler.....	20
BÖLÜM 4 : KOMPRESÖR DAİRESİ TASARIMI	22-25
4.1. Kompresör Tesisi Konumu.....	22



4.2. Kompresör Binası Zemin ve Temel.....	22
4.3. Havalandırma.....	23
4.4. Diğer Teknik Konular.....	23
BÖLÜM 5 : BASINÇLI HAVA DAĞITIMI	26-33
5.1 Tesisat Tasarımı.....	26
5.2 Basınçlı Hava Hattı Dizaynı.....	28
5.4 Kondens Tahliyesi.....	29
5.5 Hat Ekipmanları.....	30
BÖLÜM 6 : VERİMLİ HAVA KULLANIMI	34-39
6.1. Isı Geri Kazanımı.....	34
6.2. Hava kaçaklarının önlenmesi.....	37
BÖLÜM 7 : BASINÇLI HAVA SİSTEMLERİNDE ENERJİ VERİMLİLİĞİ SEMPOZYUM SUNUŞLARI	40-70
7.1. ATLAS COPCO	
• Doğru kompresör seçimi (Ömür maliyet eğrisi).....	40
• Kontrol sistemleri ve otomasyon	
• Kompresör dairesi yerleşimi ve tesisatlama	
• Basınçlı hava şartlandırma	
• Basınçlı hava sistemlerinde bakım.	
7.2. KAESER-TOPKAPI.....	49
• Enerji geri kazanım sistemleri	
• Değişken devir uygulamaları (vsd-sfc)	
• Kayıp kaçak oranları/maliyetleri, düşürme	
7.3. TOFAŞ TÜRK OTOMOBİL FABRİKASI AŞ.....	62
• Hava kaçaklarının önlenmesi projesi	

BÖLÜM 1 : BASINÇLI HAVA ve ÖZELLİKLERİ

1.1. Giriş

Basınçlı hava, insanoğlunun fiziksel gücü arttırmak için kullandığı bilinen, en eski teknik uygulamalardan birisidir. Hava aracılığıyla enerjinin aktarılabilmesinin fark edilmesi çok eskilere dayanmaktadır. Nitekim el sanatları ve küçük endüstriyel işlemlerde basınçlı havanın kullanılması MÖ 3. yüzyıl öncesinden başlamaktadır. Bu dönemlerde insanlar maden eritme işlemlerinde arzu edilen sıcaklığa ulaşmak için basınçlı havayı kullanmışlardır. Bunun için ilk mekanik kompresörler olarak değerlendirilebilecek olan hayvan derilerinden yapılmış ve elle çalıştırılan körukleri hayata geçirmişlerdir. Bu gelişmeleri takiben, basınçlı hava konusunda yazılı ilk metinler MÖ 200 yıllarında Bizantion'lu Filyon tarafından sunulmuştur.

Basınçlı havanın sistematik olarak güç uygulamalarında kullanılmaya başlaması 19. yüzyılın ortalarına dayanır. Bu dönemlerde özellikle basınçlı hava ile çalışan el aletleri, lokomotif ve benzeri güç sistemleri pnömatiğin gelişmesini ve yaygınlaşmasını sağlamıştır. Günümüzde hemen hemen tüm endüstriyel uygulamalarda, modern kontrol sistemleriyle entegre olarak, çok fazla kuvvet gerektirmeyen taşıma, döndürme, indirme-kaldırma gibi işlemlerin yerine getirilmesi için basınçlı hava sistemleri kullanılmaktadır.

1.2. Hava

Atmosferik hava, çok sayıda gaz ve su buharının karışımından oluşur. Hacimsel olarak kuru havanın yaklaşık olarak, %78.08 azot, %20.95 oksijen, %0.93 argon, %0.03 karbondioksit, %0.0018 neon, %0.00052 helyum, %0.0005 hidrojen, %0.0002 metan, %0-0.0001 kükürt dioksit ve toplam %0.0002 kripton, ksenon, ozon gazlarından oluştuğu kabul edilir. Havanın temel özellikleri, sağladığı avantaj ve getirdiği kısıtlamalar şöyle sıralanabilir:

- Miktarca sınırsız bir kaynak olarak atmosferik şartlarda çevremizde bulunur.
- Basınçlı hava uzak mesafelere kolaylıkla iletilebilir.
- Basınçlı hava sıkıştırılmış olarak depo edilebilir ve gerektiğinde kullanılabilir.
- Havanın karakteristik özellikleri bilinmektedir. Bu bilgi, güvenli kullanım şartlarının tespitinde önemli bir unsurdur. Tablo 1'de havaya ait genel

özellikler verilmiştir.

- Hava, yanıcı ve patlayıcı değildir. Bu konuda tedbirler almaya ihtiyaç duyulmaz.
- Hava zehirli değildir. İletim hatları ve/veya devre elemanlarında oluşabilecek sızıntılar çevreyi kirletmez. Ancak basınçlı havanın yağlanması gerekli olduğu durumlarda, tahliye havasının toplanarak yağdan arındırılmasına ihtiyaç duyulur.
- Basınçlı hava sistem elemanlarının iç yapıları genellikle basittir. Bu nedenle nispeten ucuzdurlar.
- Hava ile yüksek hızlarda çalışmak mümkündür.
- Basınç ve hız ayarları kolaylıkla yapılabilir.
- Basınçlı hava sistem elemanları aşırı yük halinde durur ve yük kalktığında tekrar çalışarak güvenli bir çalışma şekli sağlarlar.
- Basınçlı hava içinde toz ve nem barındırır. Bu içerik, basınçlı hava sistem elemanlarının tıkanmasına ve/veya paslanmasına neden olabilir. Bu nedenle, havanın ön şartlandırılmasının yapılması gereklidir.
- Sıkıştırılabilirlik özelliklerine ve kuvvet sınırlamalarına dikkat edilmelidir.
- Basınçlı havanın üretilmesi için gereken birim enerji maliyeti yüksektir.

Tablo 1. Havanın atmosfer basıncında bazı özellikleri

T (K)	ρ (kg/m ³)	C_p (kJ/kg · K)	$\mu \cdot 10^7$ (N · s/m ²)	$\nu \cdot 10^6$ (m ² /s)	$k \cdot 10^3$ (W/m · K)	$\alpha \cdot 10^6$ (m ² /s)	Pr (-)
100	3.5562	1.032	71.1	2.00	9.34	2.54	0.786
150	2.3364	1.012	103.4	4.426	13.8	5.84	0.758
200	1.7458	1.007	132.5	7.590	18.1	10.3	0.737
250	1.3947	1.006	159.6	11.44	22.3	15.9	0.720
300	1.1614	1.007	184.6	15.89	26.3	22.5	0.707
350	0.9950	1.009	208.2	20.92	30.0	29.9	0.700
400	0.8711	1.014	230.1	26.41	33.8	38.3	0.690
450	0.7740	1.021	250.7	32.39	37.3	47.2	0.686
500	0.6964	1.030	270.1	38.79	40.7	56.7	0.684
550	0.6329	1.040	288.4	45.57	43.9	66.7	0.683
600	0.5804	1.051	305.8	52.69	46.9	76.9	0.685
650	0.5356	1.063	322.5	60.21	49.7	87.3	0.690
700	0.4975	1.075	338.8	68.10	52.4	98.0	0.695
750	0.4643	1.087	354.6	76.37	54.9	109	0.702
800	0.4354	1.099	369.8	84.93	57.3	120	0.709

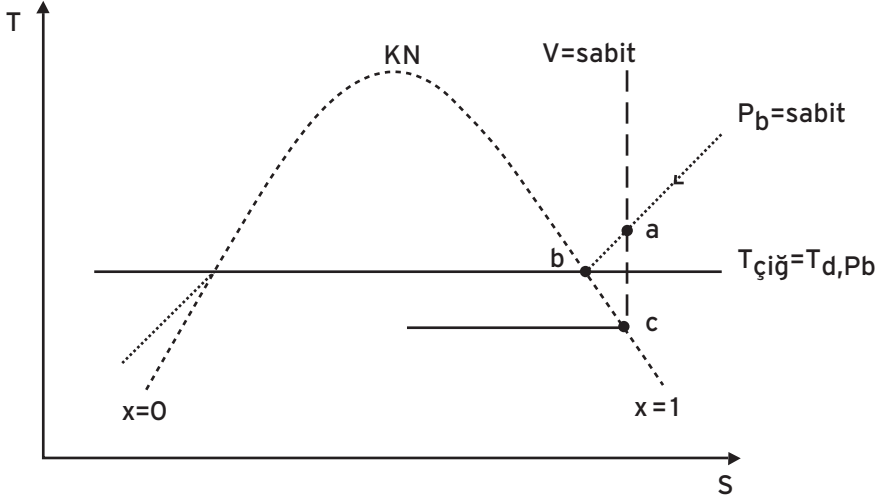
850	0.4097	1.110	384.3	93.80	59.6	131	0.716
900	0.3868	1.121	398.1	102.9	62.0	143	0.720
950	0.3666	1.131	411.3	112.2	64.3	155	0.723
1000	0.3482	1.141	424.4	121.9	66.7	168	0.726
1100	0.3166	1.159	449.0	141.8	71.5	195	0.728
1200	0.2902	1.175	473.0	162.9	76.3	224	0.728
1300	0.2679	1.189	496.0	185.1	82	257	0.719
1400	0.2488	1.207	530	213	91	303	0.703
1500	0.2322	1.230	557	240	100	350	0.685
1600	0.2177	1.248	584	268	106	390	0.688
1700	0.2049	1.267	611	298	113	435	0.685
1800	0.1935	1.286	637	329	120	482	0.683
1900	0.1833	1.307	663	362	128	534	0.677
2000	0.1741	1.337	689	396	137	589	0.672
2100	0.1658	1.372	715	431	147	646	0.667
2200	0.1582	1.417	740	468	160	714	0.655
2300	0.1513	1.478	766	506	175	783	0.647
2400	0.1448	1.558	792	547	196	869	0.630
2500	0.1389	1.665	818	589	222	960	0.613
3000	0.1135	2.726	955	841	486	1570	0.536

1.3. Nemli Hava

Nemli havanın, kuru hava ile su buharının karışımı olarak iki bileşenden meydana geldiği kabul edilir. Temel kavramlar şöyledir:

- **Doymuş Hava:** Nemli hava içindeki su buharı, doyma basıncı ve doyma sıcaklığında bulunuyorsa, böyle havaya doymuş hava denir. Diğer bir deyişle, doymuş hava bulunduğu şartlarda içine alabileceği en yüksek miktarda su buharını almış daha fazla o şartlar içinde su buharı alamayan hava demektir.
- **Kuru Termometre Sıcaklığı:** Nem ve güneş radyasyonu etkisi olmaksızın herhangi bir sıcaklık ölçme elemanı ile ölçülen sıcaklıktır.
- **Yaş Termometre Sıcaklığı:** Termometre haznesi etrafına ıslak pamuk veya keçe sarılmak suretiyle ölçülen sıcaklıktır.
- **Çiğ Noktası Sıcaklığı:** Nemli hava sabit basınçta soğutulduğunda, içindeki su buharının yoğuşmaya başladığı andaki sıcaklıktır.

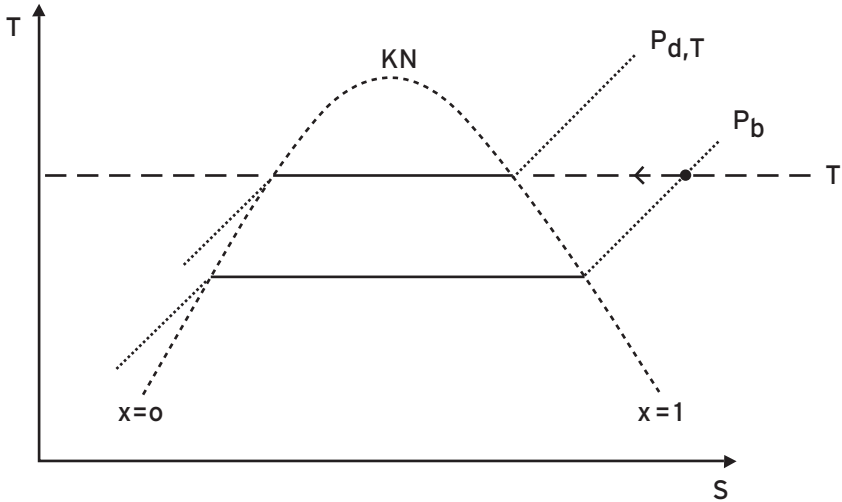
Şekil 1. Çiğ noktası sıcaklığının ($T_{\text{çiğ}}$) T-s diyagramında gösterilişi



- **İzafi (Bağıl) Nem (ϕ):** İzafi nem, havanın içerisindeki su buharı kütlesinin, havanın aynı sıcaklıkta alacağı maksimum su buharı kütlesine oranıdır. Doyma durumundan uzaklığı tanımlar.

$$\phi = \frac{m_b}{m_{b,d}} = \frac{P_b}{P_{d,T}}$$

Buna göre; $\phi = 0$ ise kuru hava (içinde hiç su buharı olmayan hava)
 $0 < \phi < 1$ ise doymamış hava
 $\phi = 1$ ise doymuş hava olarak ifade edilir.



Şekil 2. İzafi nem tarifi

- **Özgül Nem:** Hava içindeki su buharı kütlesinin kuru hava kütlesine oranına denir.

$$\omega = \frac{m_b}{m_h} = 0.622 \frac{P_b}{P_h} = 0.622 \frac{\phi P_{dT}}{P - \phi P_{dT}}$$

1.4. Yoğunluk (ρ), Özgül Ağırlık (n), Sıkıştırılabilir-Sıkıştırılmaz Akış

Yoğunluk, birim hacmin kütlesi olarak tanımlıdır.

$$\rho = \frac{m}{V}$$

Özgül hacim ise yoğunluğun tersidir. Yani birim kütlenin hacmi olarak ifade edilir.

$$v = \frac{V}{m} = \frac{1}{\rho}$$

Yoğunluğun değişimine göre akışlar, sıkıştırılabilir veya sıkıştırılamaz olarak sınıflandırılabilir. Sıkıştırılamaz ifadesi aslında bir yaklaşımdır ve akış esnasında yoğunluk yaklaşık olarak sabit kalıyorsa akışın sıkıştırılamaz olduğu kabul edilir. Sıvıların yoğunluğu yaklaşık olarak sabittir ve bu yüzden sıvı akışları genellikle sıkıştırılamaz kabul edilir. Buna karşılık gazların sıkıştırılabilirliği oldukça fazladır. 0.01 atm'lik basınç farkı, atmosferik şartlardaki havanın yoğunluğunda yaklaşık %1'lik değişime neden olur.

1.5. Basınç

Basınç, bir akışkanın birim alana uyguladığı normal kuvvettir.

$$P = \frac{F}{A}$$

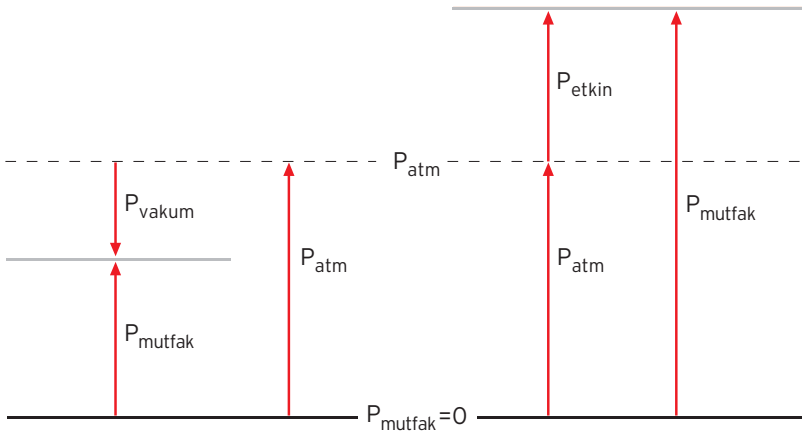
Uygulamada karşılaşılan birimler şunlardır:

$$1 \text{ Pa} = 1 \text{ N/m}^2$$

$$1 \text{ bar} = 10^5 \text{ Pa} = 0.1 \text{ MPa} = 100 \text{ kPa}$$

$$1 \text{ atm} = 101325 \text{ Pa} = 101.325 \text{ kPa} = 1.01325 \text{ bar}$$

$$1 \text{ kgf/cm}^2 = 9.807 \text{ N/cm}^2 = 9.807 \times 10^4 \text{ Pa} = 0.9807 \text{ bar} = 0.9679 \text{ atm}$$



1.6. Sıcaklık

“Isı” ve “sıcaklık” kavramları sıklıkla karıştırılmaktadır. Isı; yönü, doğrultusu ve şiddeti olan vektörel bir büyüklüktür. Buna karşılık sıcaklık ise skalerdir ve moleküllerin kinetik enerjilerinin ölçüsü olarak tanımlanmaktadır. Yani sıcaklık, herhangi bir cihazla ölçülebilen bağıl bir değerdir. Isı, sıcaklık farkı sonucu bir sistemden diğerine aktarılabilen bir enerji türüdür. Dolayısıyla, ısı transferinin gerçekleşebilmesi için, sıcaklık farkı olmalıdır.

Sıcaklık değerleri; literatürde, Celsius (°C), Kelvin (K), Fahrenheit (°F), Rankine (°R) birimleriyle görülebilmektedir. Birim dönüşümleri aşağıdaki ifadelerle yapılmaktadır.

$$^{\circ}\text{C} = \text{K} - 273.15$$

$$^{\circ}\text{C} = \frac{5}{9} (^{\circ}\text{F} - 32)$$

$$^{\circ}\text{R} = \frac{5}{9} \text{K}$$

1.7. İdeal (Mükemmel) Gaz Denklemi

Belirli bir m kütlesindeki ideal gaz için ideal gaz denklemi $P.V = m.R.T$ şeklinde ifade edilir.

Burada;

P : basınç (kPa)

V : toplam hacim (m^3)

m : gazın kütlesi (kg)

R : gaz sabiti (kJ/kgK)

T : gaz sıcaklığı (K)

İdeal (Mükemmel) Gazlarda Hal Değişimleri: Sistemin içinde bulunduğu şartlara “hal” denir. Sistemin özelliklerinden en az biri değişirse sistem hal değiştirmiş olur. Aşağıda temel hal değişimleri ve ideal gazlardaki ifadeleri verilmiştir. Bu ifadelerle ideal gaz olan havanın özelliklerini belirlemek mümkündür.

V= Sabit Tersinir Hal Değişimi

$$V_2=V_1 \Rightarrow \frac{T_2}{T_1} = \frac{P_2}{P_1}$$

P= Sabit Tersinir Hal Değişimi

$$P_2=P_1 \Rightarrow \frac{T_2}{T_1} = \frac{V_2}{V_1}$$

PV= Sabit (T= Sabit) Tersinir Hal Değişimi

$$P_1 V_1 = P_2 V_2$$

PVⁿ= Sabit Tersinir Politropik Hal Değişimi

$$P_1 V_1^n = P_2 V_2^n$$

PV^k= Sabit Tersinir Adyabatik Hal Değişimi

$$P_1 V_1^k = P_2 V_2^k$$

$$\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\left(\frac{k-1}{k} \right)} = \left(\frac{V_1}{V_2} \right)^{k-1}$$

Örnek 1.

Her ne kadar standartlaşmamış da olsa, gazların hacimlerini belirlemek için bazı referans P ve T değerleri kabul edilmiştir. Literatürde genellikle karşılaşılan referans tanımlar şöyledir:

Standart metreküp (Sm³) : 15°C sıcaklık ve 1.01325 bar mutlak basınçta ölçülen hacim değeri.

Normal metreküp (Nm³) : 0°C sıcaklık ve 1.01325 bar mutlak basınçta ölçülen hacim değeri.

Havanın gaz sabiti R=0.287 kJ/kgK olup kütleyle 1 kg alarak, Sm³ ve Nm³ değerlerini hesaplayalım.

$$P_{Sm^3} V_{Sm^3} = m R T_{Sm^3} \Rightarrow 101.325 \times V_{Sm^3} = 1 \times 0.287 \times (15 + 273.15) \Rightarrow V_{Sm^3} = 0.8162 \text{ m}^3$$

$$P_{Nm^3} V_{Nm^3} = m R T_{Nm^3} \Rightarrow 101.325 \times V_{Nm^3} = 1 \times 0.287 \times (0 + 273.15) \Rightarrow V_{Nm^3} = 0.7737 \text{ m}^3$$

Bu durumda 1 kg hava için Sm^3 ve Nm^3 hacimleri arasındaki oran

$$\frac{V_{\text{Sm}^3}}{V_{\text{Nm}^3}} = \frac{(15 + 327.15)}{(0 + 327.15)} = \frac{288.15}{273.15} = 1.055$$

olarak bulunur.

Örnek 2.

Havanın bir kompresörde tersinir adyabatik olarak sıkıştırıldığı bir işlemi düşünelim. Hava, kompresöre 100 kPa basınç, 30°C sıcaklık ve 1 kg/s debi ile girmekte ve 1000 kPa basınca kadar sıkıştırılmaktadır. Kompresörün günde 8 saat, yılda 300 gün çalıştığı ve elektrik birim fiyatının $\text{EBF} = 0.28912$ TL/kWh olduğu kabul edilsin;

- a) Kompresörde harcanan enerjiyi ve mali eşdeğerini bulunuz.
b) Eğer kompresöre 3°C daha soğuk hava girmiş olsaydı diğer şartlar aynı kalmak kaydıyla harcanan enerji ve mali eşdeğeri ne olurdu?

Havaya ait özellikler : $k=1.4$, $c_p=1.0035$ kJ/kgK, $c_v=0.7165$ kJ/kgK, $R=0.287$ kJ/kgK

$$T_{2,K} = 585,3[\text{K}] \Leftarrow T_{2,C} = 312,1[\text{C}]$$

$$P_2 = 1000[\text{kPa}]$$

ÇIKIŞ ŞARTLARI



HAVA ÖZELLİKLERİ

$k = 1.4$
 $c_p = 1.0035$ kJ/kgK
 $c_v = 0.7165$ kJ/kgK
 $R = 0.287$ kJ/kgK

$$m = 1[\text{kg/s}]$$

$$P_1 = 100[\text{kPa}]$$

$$T_{1,C} = 30[\text{C}] \Rightarrow T_{1,K} = 303,2[\text{K}]$$

GİRİŞ ŞARTLARI

$$T_{2,K} = 579,5 [K] \leftarrow T_{2,C} = 306,3 [C]$$

$$P_2 = 1000 [kPa]$$

ÇIKIŞ ŞARTLARI

2



$$W_{K,12} = -280,3 [kW]$$

$$\text{Maliyet} = 194515 [TL]$$

HAVA ÖZELLİKLERİ

$$k = 1.4$$

$$c_p = 1.0035 \text{ kJ/kgK}$$

$$c_v = 0.7165 \text{ kJ/kgK}$$

$$R = 0.287 \text{ kJ/kgK}$$

$$m = 1 [kg/s]$$

1

$$P_1 = 100 [kPa]$$

$$T_{1,C} = 27 [C] \Rightarrow T_{1,K} = 300,2 [K]$$

GİRİŞ ŞARTLARI

a) Tersinir adyabatik ($Q_{12}=0$) hal değişimi bilgisinden hareketle kompresör çıkış sıcaklığı

$$\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{k-1}{k}} \Rightarrow \frac{T_2}{303.15} = \left(\frac{1000}{100} \right)^{\frac{1.4-1}{1.4}} \Rightarrow T_2 = 585.3 \text{ K}$$

olarak bulunur. Termodinamiğin birinci kanunu kompresöre uygulanarak sisteme verilmesi gereken iş enerjisi miktarı;

$$Q_{12} - W_{K12} = \dot{m} c_p (T_2 - T_1) \Rightarrow -W_{K12} = 1 \times 1.0035 \times (585.3 - 303.15)$$

$$W_{K12} \cong -283.1 \text{ kW elde edilir.}$$

Çalışma süresi $\dot{C}S = 8 \times 300 = 2400 \text{ h/yıl}$ olup, sisteme verilmesi gereken enerjinin maliyeti:

$$\text{Maliyet}_A = W_{K12} \times \dot{C}S \times \text{EBF} = 283.1 \times 2400 \times 0.28912 = 196459 \text{ TL.}$$

b) Aynı işlemler giriş sıcaklığı 27°C olarak değiştirilip tekrar edildiğinde Maliyet_B $\cong 194515 \text{ TL}$ olarak bulunur.

$$\text{Oran} = \frac{\text{Maliyet}_B}{\text{Maliyet}_A} = \frac{194515}{196459} = 0.99$$

Sonuç kompresör giriş sıcaklığının yaklaşık 3°C daha düşük olması işletme maliyetlerini yaklaşık %1 azaltır.

BÖLÜM 2: KOMPRESÖR TİPLERİ VE SEÇİMİ

2.1. Bir tesisin hava sarfiyatının bulunması

Bir kompresör tesisinin yapılmasında ana düşünce yeterli miktarda basınçlı havayı en düşük maliyetle ve güvenilir olarak sağlayabilmektedir. Basınçlı hava tesisi işletme ve bakım giderlerini de kapsayan sermaye yatırımı gerektirir. Dolayısıyla, tesisin büyüklüğünün ve özelliklerinin mümkün olduğunca doğru hesaplanması gerekir.

Basınçlı hava tesisi kurulurken dikkate alınması gereken önemli faktörler:

- **Çalışma Basıncı:** Basınçlı hava donanımları genelde 6 bar (Efektif) basıncında hava ile çalışırlar. İletim kayıplarını karşılayabilmek için kompresör çıkışında 7 bar olması istenir.

Herhangi bir cihazın kontrolü için, (Hava şebekesinde mevcut hava basıncından) daha düşük basınç gerekirse, basınç regülatörü kullanılarak istenen basınç değeri elde edilir.

Sisteme bağlanmış tüm donanımın dizayn basıncı kompresörün maksimum çıkış basıncından yüksek olmalıdır ya da donanıma etkiyen hava basıncının donanımın dizayn basıncını aşmaması için tedbir alınmalıdır. Genel olarak, kullanılan hava basıncından daha yüksek yada daha düşük basınçlı hava ihtiyacı fazla ise, ayrı bir kompresör kullanmak daha ekonomiktir.

- **Maksimum ve Ortalama Yükseklik:** İdeal toplam kapasite donanımın ya da ihtiyaçlarının tam olarak bilinmesine bağlıdır. Hava sarfiyatı düşük tahmin edilerek kompresör tesisi kurulursa, sistemde istenen basınç sağlanamaz. Hava sarfiyatı aşırı yüksek tahmin edilirse, yatırım maliyeti gerektiğinden fazla olur ve kompresör tesisinin boşta çalışma sırasında harcayacağı enerji dolayısıyla, gereksiz enerji sarfiyatı olur. Bununla birlikte, kapasite olması gerekenden biraz yüksek tahmin edilirse, ileride ortaya çıkabilecek kapasite artışı karşılanabilecektir.

- **Kullanım Faktörü:** Gerekli kompresör kapasitesini saptamak için basınçlı hava sisteminden hava kullanacak makina ve aletlerin hava sarfiyatlarını

hesaplamak gerekir. Bunun için çeşitli tiplerde pnömatik makina ya da aletlerin hava sarfiyatları ile kullanım faktörleri bilinmelidir. Bazı durumlarda, benzeri bir tesisten elde edilen tecrübelerle dayanarak, daha doğru bir analiz yapmak mümkündür.

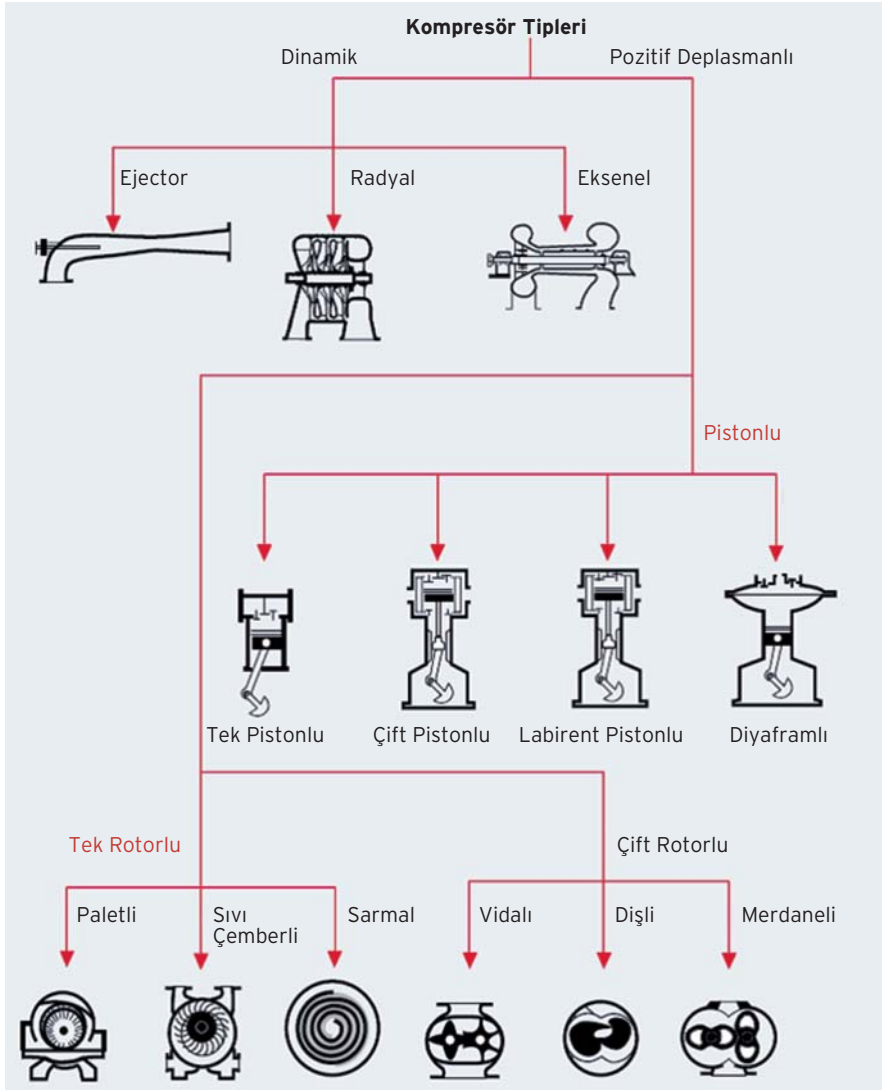
- **İleride Olabilecek Sarfiyat Artışı:** Yeni bir tesis kurulurken, ileride olabilecek sarfiyat artışının dikkate alınması gerekir. Kompresör kapasitesinin ileriye yönelik olarak belirlenmesi, tesise yapılacak eklemelerin (Basınçlı hava sistemi açısından) problemsiz gerçekleşmesini sağlar.

- **Hava Kaçakları için Eklemeler:** Tecrübeler göstermiştir ki, başlangıçta hesaplanan toplam kompresör kapasitesi hava kaçaklarını da kapsmalıdır. Borulardaki kaçaklar, tesisatın yapısına/yapısına bağlı olarak önlenabilir. Buna rağmen; hortum, nipel (rakor) ve valflerden dikkate alınması gereken miktarda hava kaçağı olabilmektedir.

Kaçakların düzenli bir şekilde izlenmesi ve giderilmesi koşuluyla, minimum %5 oranında kaçak eklemesi yeterli olur. Önemli bir miktarda hava harcayan alet ya da aygıt aralıklı olarak çalıştığı halde, küçük bir delikten (sürekli olarak) kaçan hava miktarı, söz konusu alet ya da aygıtın harcadığından daha çok hava kaybına neden olabilir.

2.2. Kompresör Tipleri

Kompresörler gaz basıncını arttırma yöntemine göre pozitif deplasmanlı ve dinamik kompresörler olmak üzere iki ana gruba ayrılır. Kompresör tipleri ve bu tiplere ait temel karakteristikler aşağıda açıklanmıştır (Şekil 1).



Şekil 1. Kompresör tiplerinin sınıflandırılması

2.2.1. Pozitif Yer Değiştirmeli Kompresörler: Pozitif yer değiştirmeli kompresörlerde, sınırlanmış (kapalı) bir hacme art arda yığılan havanın basıncı artar ve böylece basınçlı hava elde edilmiş olur.

Pozitif yer değiştirmeli kompresörlerin kapasitesi çalışma basıncından önemli oranda etkilenmez.

- **İleri Geri Hareketli (Pistonlu) Kompresörler:** Bu tip kompresörlerin sıkıştırma ve yer değiştirme elemanı olan piston ya da diyafram ileri geri hareket eder. Pistonlu kompresörler yağlı ya da yağsız çalışan tip olabilir.

- **Vidalı Kompresörler:** Biri loblu diğeri yivli olmak üzere, iç içe geçmiş iki helisel rotoru olan kompresörlerdir. Bu tip kompresörlerde, hava iki rotor ile rotorları çevreleyen gövde arasında helisel olarak ötelenir ve böylece sıkıştırılır.

Hava çıkışı dalgasızdır (vurmasızdır). Vidalı kompresörlerin yağlı ve yağsız tipleri vardır. Rotorların dönme hızı yüksektir.

- **Kayar Kanatlı Kompresörler:** Silindik gövde içerisinde eksantrik olarak yerleştirilmiş kanatlı rotorun dönmesi sonucunda havayı sıkıştıran kompresör tipidir. Yağlı ve yağsız tipleri tipleri vardır. Hava çıkışı dalgasızdır.

- **İki Rotorlu Düz Loblu Kompresörler ve Blowerler:** Bu tip kompresörlerde, iki adet iç içe geçmiş olarak ama birbirine değmeden dönen düz (helisel olmayan) yivli ve loblu rotorun kıştırdığı hava emişten çıkışa taşınır.

Yağsız çalışırlar. Hava çıkışı dalgasızdır. Rotorların dönme hızı yüksektir.

2.2.2. Dinamik Kompresörler: Dinamik kompresörler, hızla dönen elemanın havaya hız kazandırması ve bu hızın çıkışta basınca dönüşmesi prensibine göre çalışan sürekli akışlı makinalardır. Basınç artışı kısmen dönen eleman içinde, kısmen de sabit difüzör ya da kanatlarda gerçekleşir.

Dinamik kompresörlerin kapasitesi çalışma basıncından önemli oranda etkilenir.

• **Santrifüj Kompresörler:** Bu tip kompresörlerde, havayı gerektiği kadar hızlandırabilmek için bir ya da birden çok rotor (Radyal tip turbo rotor) çok yüksek bir devir sayısı ile döndürülür. Hava çıkışı dalgasızdır. Santrifüj kompresörler yağsız çalışır.

• **Eksenel Kompresörler:** Eksenel kompresörlerde, üzerinde kanatlar olan rotor eksenini doğrultusunda emdiği havayı, eksenini doğrultusunda basar. Hava rotor kanatlarının etkisiyle hızlanır ve bu hız rotor çıkışında basınca dönüşür.

Rotorun kanatları rotor çapı kadar akış kanalı oluşturacak şekilde çevrelenir. Eksenel kompresörler yağsız çalışır. Rotor çok yüksek bir devir sayısı ile döner. Hava debisi yüksektir.

2.3. KOMPRESÖR SEÇİMİ İÇİN DİĞER ETKENLER

Kompresör seçimi yapılırken aşağıda belirtilen etkenlerde dikkate alınmalıdır.

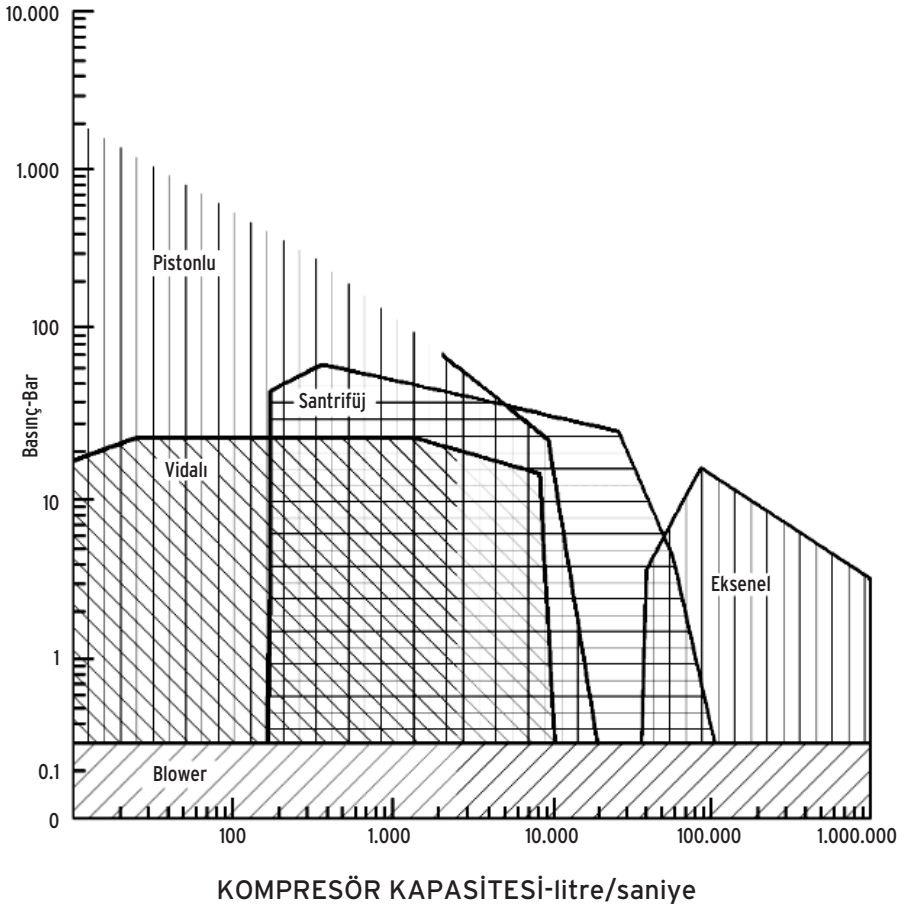
2.3.1. Kompresör Kapasite ve Basınç Limitleri: Her bir kompresör tipi için yaklaşık kapasite ve basınç limitleri Şekil-2’de gösterilmiştir.

Birden fazla kompresöre ait alanlara karşılık gelen kapasite ve basınçlar için kullanım koşullarına dikkat ederek kompresör seçimi yapılabilir. Kompresör üreticisinin tavsiyeleri dikkate alınmalıdır.

2.3.2. Kompresör Stand-by Kapasitesi: Birçok tesis kurulurken, kompresör ünitelerinin sayısı ve kapasitesi bir ünitenin bakıma alınmak üzere stop ettirilmesine olanak verecek şekilde belirlenir.

Bu tip tesislerde, bir kompresör stand-by (Çalışmaya hazır) durumunda bekler. Sürekli ve sabit bir miktarda hava kullanılması gereken yerlerde (Bir kompresörün devre dışı kalması tesisin çalışmasını engelleyecekse), stand-by kompresör bulundurulmalıdır.

2.3.3. Yük Paylaşdırma: Tüm tesislerde düşük yükleme ya da bakım yapabilmek için, en az iki kompresör kullanılmalıdır. Böylece, bir kompresör bakıma alınabilir ve diğer kompresör ile düşük kapasiteli çalışma yapılabilir.



2.3.4. Kapalı Çevrim Sistemleri: Yukarıdaki açıklamalara paralel olarak, düşük kapasiteli çalışmada, iki seviyeli / kademeli kapalı çevrim sistemleri tercih edilebilir. Kapalı çevrim sisteminde kompresörün giriş gücü (enerji sarfiyatı) azaltılmış olur.

Kapalı çevrim sistemine alternatif olarak, düşük yüklerde bu tip kompresörler yerine, ihtiyacı karşılayacak kadar hava basabilen küçük bir kompresör kullanılabilir.

2.3.5. Çıkış Kontrolü: Kompresörün bastığı hava miktarı (çıkışı) talebe göre değişebilmelidir. Bu maksatla, her kompresör ünitesinin istenen düzeyde basınç regülasyonu yapılabilmesini sağlamak için düzenlenmiş bir kontrol sistemi vardır. Kontrol metodu kompresör tipine ve modeline göre değişik olabilir. Genel olarak; kompresörler pnömatik, hidro-pnömatik ve elektronik esaslı olarak kontrol edilebilir.

2.4. Kompresörler İçin Kullanılan Kontrol Metotları

2.4.1. İleri Geri Hareketli (Pistonlu) Kompresörler

- Otomatik stop/start mekanizması kullanarak, aralıklı çalışma.
- Emiş valfini kapatarak, emişi kısarak, harici by-pass kullanarak, emiş
- Değişken hız.
- Yukarıdakilerin kombinasyonu.

2.4.2. Kayar Kanatlı Kompresörler

- Otomatik stop/start mekanizması kullanarak, aralıklı çalışma.
- Emiş valfini kapatarak, emiş kısarak veya harici by-pass kullanarak, sabit hızlı çalışma.
- Değişken hız; minimum dönme hızı kanatların stator ile tam temas etmesine yetecek kadar yüksek olmalıdır.

2.4.3. Vidalı Kompresörler

- Harici by-pass ya da emişi kısıp atmosfere boşaltma yaparak, sabit hızla çalışma.
- Değişken hız.

2.4.4. Dinamik kompresörler

- Emişi kısip atmosfere boşaltma yaparak, sabit hızlı çalışma.
- Değişken hız.

2.5. Doğru Kompresör Seçimi İçin Belirlenmesi Gereken Parametreler

2.5.1. Kompresör Çıkış Yolları

- Gelecekteki (muhtemel) artışı da kapsayan Serbest Hava Debisi (litre/saniye)
- Minimum çıkış basıncı; kullanım noktasında ihtiyaç duyulan çalışma basıncının kabul edilebilir değerin altına düşmemesi için, kompresörün çıkışında olması gereken minimum basınç.
- Hava kalitesi; Havanın istenen temizlik derecesi. (PNEUROP 66110)
- Havanın kullanılma amacı.
- Hava talebinin biçimi; aralıklı ya da sürekli hava talebi olup olmadığı.
- Bir haftadaki çalışma günü.
- Kontrol tipi.
- Hava deposu ihtiyacı.
- Kompresörün uyması gereken herhangi bir özel koşul ya da koşullar.
- Su pompaları, valfler, boru bağlantıları, titreşim takozları, nihai soğutucular (Hava soğutucuları), kurutucular, emiş filtreleri ve susturucular gibi yardımcı donanım ihtiyaçları.

2.5.2. Yer Koşulları

- Sabit, taşınabilir ya da seyyar ünite gerekip gerekmediği.
- Soğutucu akışkan olarak hava kullanılacaksa, havanın sıcaklık derecesi.
- Soğutucu akışkan olarak su kullanılacaksa, suyun sıcaklığı, basıncı ve gereken su miktarı.
- Soğutma suyu kullanılacaksa, soğutma suyunun tipi ve kirlilik derecesi. (Su analizi için gerekli)
- Sürücü makinanın tipi ve enerji besleme koşulları. (Tüm karakteristiklerin, özelliklerin ve çizimlerin hazır olması gerekir)
- Planlanan yerin tüm ayrıntısı. (Coğrafik konum ve zemin durumu ile ilgili ayrıntılar)
- Kompresörü üreticisinin yerleştirip yerleştirmeyeceği.
- Boşta (yüksüz) çalışma durumu olup olmayacağı, kullanılan donanımın kapasitesi.

- Gürültü ile ilgili lokal sınırlamalar, izin verilen en yüksek gürültü seviyesi.
- Kompresörün yerleşimini etkileyebilecek titreşim kaynakları.

2.5.3. Kompresör Emiş Koşulları

- Emiş basıncı, atmosferik basınç ya da belirli bir basınç değeri.
- Emiş sıcaklığı.
- Ortam koşullarında, beklenen en yüksek bağıl nem.
- Deniz seviyesinden yükseklik. (Motor güç ihtiyacını ve verimi etkiler.)
- Mevcut emiş havasının kirlilik derecesi.

2.6. Maliyet hesabı: Büyüklük olarak, kompresörleri üç gruba ayırabiliriz

- Küçük : Kapasitesi 40L/s'ye kadar olanlar.
- Orta : Kapasitesi 40L/s ile 300L/s arasında olanlar.
- Büyük : Kapasite 300L/s'den fazla olanlar.

Hangi kompresör tipinin maliyetçe daha uygun olduğunu saptamak için, kompresörün tesis, çalıştırma ve bakım maliyetleri hesaplanmalıdır. Bu hesap ile ilgili faktörler:

- Verim. En yüksek verim ile en düşük özgül enerji sarfiyatı (joule/litre=kW.s/m³.)
- Elektrik ya da yakıt maliyeti.
- Emniyet.
- Bakım maliyeti.
- Soğutma maliyeti.
- Kontrol (idare, nezaret) maliyeti.
- Boşluk gereksinimi. Bakım yapabilmek için, kompresör etrafında bırakılması gereken boşluklar.
- Tesis kolaylığı. Kaldırma ve taşıma donanımı ile ilgili olanaklar.
- Servis olanakları. (Servis kuruluşlarının durumu.)
- Elektrik donanımı. Verimli motor ve kumanda donanımı tercih edilir.
- Yedek parça durumu ve servis (bakım/onarım) kolaylıkları.

2.7. Kompresörlerin Kontrol Sistemleri

Kompresörlerin büyük bir çoğunluğu, ömürleri (Kullanımda oldukları süre)

boyunca tam yükün/kapasitenin altında çalışırlar. Tüm kompresör kullanma basıncını/hava şebekesinde istenen basıncı koruyabilmek amacıyla, hava talebine göre basılan miktarını değiştirmeyi sağlayan kontrol sistemine sahiptir. Enerji tasarrufu açısından bakıldığında, her bir uygulama içi doğru bir kontrol sisteminin kullanılması önemlidir.

Elektrik motoru ile sürülen kompresörlerde uzun çalışma süreleri dikkate alınırsa, kompresör kısmen ya da tamamen boşa (yüksüz çalışmaya) geçmiş olsa bile, güç sarfiyatı tam yükün/kapasitenin %75'i kadar olabilmektedir. Kısmen yükte hatta boşta çalıştığı halde, kompresörün tam yüke kıyasla pek düşük olmayan bir enerji harcaması, düşük yük faktöründen, elektrik motorunun tam yükün altında daha düşük verimle çalışmasından (Sürtünme kayıpları, yağ dolaşımına harcanan güç gibi yüke bağlı olmayan asgari enerji sarfiyatından) kaynaklanır.

2.7.1 Modülasyon (Uyarlama) ve Boşa Geçirme: Hava kompresörlerinin büyük bir çoğunluğu modülasyon (Uyarlama) ya da boş geçirme yöntemine göre çalışan kontrol sistemine sahiptir. Bazı kompresörlerde modülasyon ve boş geçirme yöntemlerinin ikisi birden kullanılır ve bir seçici switch (Anahtar) vasıtasıyla bu iki yöntemden biri seçilebilir. Boşa geçirme (Yüksüz çalıştırma) yönteminde, (Boşa geçirme yapıldıktan sonra, yeniden yüke geçirilinceye kadar) kompresör hava basmadan çalışır.

Her iki yöntemde de, bir kelebek valf ya da başka bir tip emiş kısma valfi (klape) kullanılır. Modülasyon yönteminde, valfin açıklığı (kısılması), çıkış basıncını sabit tutacak şekilde, hava talebine göre kontrol (modüle) edilir. Boşa geçirme yönteminde, emiş valfi ya tam açık (Tam yük konumu) ya da tam kapalı (Boşta çalışma konumu) olup; hava şebekesindeki basıncın dengeli / sabit tutulabilmesi için, hava deposu ya da büyük depolama kapasitesi olan boru şebekesi kullanılması gerekir.

2.7.2. Stop/Start (Durdurma/Çalıştırma): Basınç durdurma üst sınır değerine yükseldiği zaman kompresörün çalışması otomatik olarak durdurulur. Hava şebekesinden (Basınçlı hava sisteminden) hava çekildikçe, basınç düşer ve çalıştırma alt sınır değerine düştüğü anda, kompresör yeniden çalıştırılır. Start/Stop (Durdurma/Çalıştırma) yönteminde, kompresörün sık sık start/stop yapmasını önlemek için, hava deposu kullanmak gerekir.

2.7.3. Otomatik İkili (Oto Dual) Kontrol: Bu kontrol sistemi stop/start (Durdurma/çalıştırma) esasına dayanır. Kompresör 10 dakika kadar boşta çalışırsa, boşta çalışma süresini tutan bir zaman rölesi vasıtasıyla stop ettirilir.

Elektrik motoru üreticilerinin çoğu tarafından 1 saatte 6'dan çok start (Yol verme) yapılmasını tavsiye edildiği için, boşta çalışma süresi elektrik motoruna 1 saatte 6'dan çok start yaptırmama koşuluna göre belirlenir. Sistemdeki basınç (Hava sarfiyatı dolayısıyla) ayarlanan bir alt sınır değerine düşünce, kompresör otomatik olarak/yeniden çalışır.

2.7.4. Değişken Hız: Pozitif yer değişmeli kompresörler için hız/devir sayısı değiştirmek en ideal kontrol yöntemidir. Değişken hızlı elektrik motorları pahalıdır ancak günümüzde kompakt (küçültülmüş) ve düşük maliyetli değişken hız kontrol sistemleri vardır ve değişken hız kontrollü zamanla hava kompresörlerinin standart kontrol yöntemi haline gelebilir.

Yeni geliştirilen değişken hız kontrol sistemleri 'Soft start' (Yumuşak kalkış) özelliğine sahiptir ve bu özellik dolayısıyla, kompresör 1 saat içerisinde birçok kez start yaptırılabilir.

2.7.5. Çok Kontrol (Çok Üniteli Kontrol): Özellikle hava talebinin aşırı ve düzensiz değiştiği tesislerde, tek bir büyük kompresör yerine birden çok küçük kompresörü tek merkezden kontrol edilecek şekilde (Ana kontrol sistemine bağlı olarak) kullanmak daha uygundur.

Bu düzende çalışan ünitelerden/veya grumlardan biri stop ettirildiği zaman, hiç elektrik harcamayacağı gibi, fazla çalışarak aşınması ve yıpranması önlenmiş olur. Örneğin; iki üniteden biri çalışırken enerji sarfiyatı en az %50 düşer.

Çoklu kontrolün pnömatik ya da elektriksel esaslı olanlarından mikro işlemcili olanlarına kadar, değişik biçimleri vardır. Çoklu kontrolde esas olan enerji (güç) sarfiyatını en aza indirmek ve bunun yanı sıra ünitelerin (Kompresör gruplarının) çalışma saatlerini vs dengelemektir.

BÖLÜM: 3 BASINÇLI HAVA ŞARTLANDIRMA

Hava şartlandırma çözümleri havayı kuru, temiz ve bazı durumlarda yağdan arındırılmış hale getiren basınçlı hava işlemlerinin kombinasyonudur. Basınçlı havanın kalitesi çoğunlukla kompresör tarafından emilen havaya bağlı olarak değişkenlik gösterir. Sıkıştırma işlemi sırasında su ve kir partikülleri kompresörde kullanılan yağ ile birleşir ve bu da sıkıştırılmış havanın kirliliği ile sonuçlanır.

Tüm bu kirlilikler ekipmanlarda aşınmaya veya paslanmaya sebep olabilir, üretimde olası masraflara ve ekipmanın verimliliği ve servis ömründe azalmaya neden olabilir.

Başlıca Faydalar

- Yüksek hava kalitesi
- Artan makina ömrü ve verimlilik
- Temiz ve saf hava

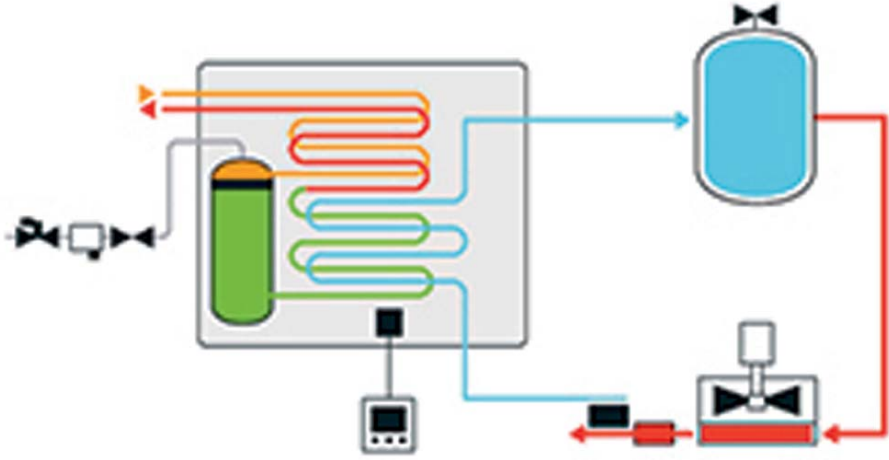
Yüksek hava kalitesinin ve verimliliğinin önemli olduğu durumlarda hava şartlandırma işlemi gereklidir. Hava şartlandırma basınçlı hava tekniğinin gerekli ve oldukça önerilen bir şeklidir.

3.1. Soğutucu Gazlı Kurutucular

Atmosferik hava ortam koşullarına bağlı olarak farklı hacimlerde su buharı içerir. Bir soğutucu gazlı hava kurutucusu basınçlı havanın soğutulması için kullanılır, bu da büyük miktarda suyun yoğurmasına ve ayrılmasına imkân verir.

Sıkıştırma sırasında bu su hava ile birlikte çekilir. Sıkıştırmadan sonra, hava ve su dağıtım kanalına boşaltılır, basınçlı havanın içeriğindeki suyun bir kısmı da normal olarak son soğutucu tarafından giderilir ve boşaltılır. Ancak, su buharı içeriğinin büyük kısmı basınçlı hava içinde kalarak, hava tüketilirken hava kanalında hareket eder.

Gazlı kurutucular, belli soğutucu gazların soğutma özellikleri kullanılarak basınçlı havanın sıcaklığını azaltır, su buharının yoğuşmasına ve herhangi bir dağıtım sistemine girmeden atılmasını sağlar.

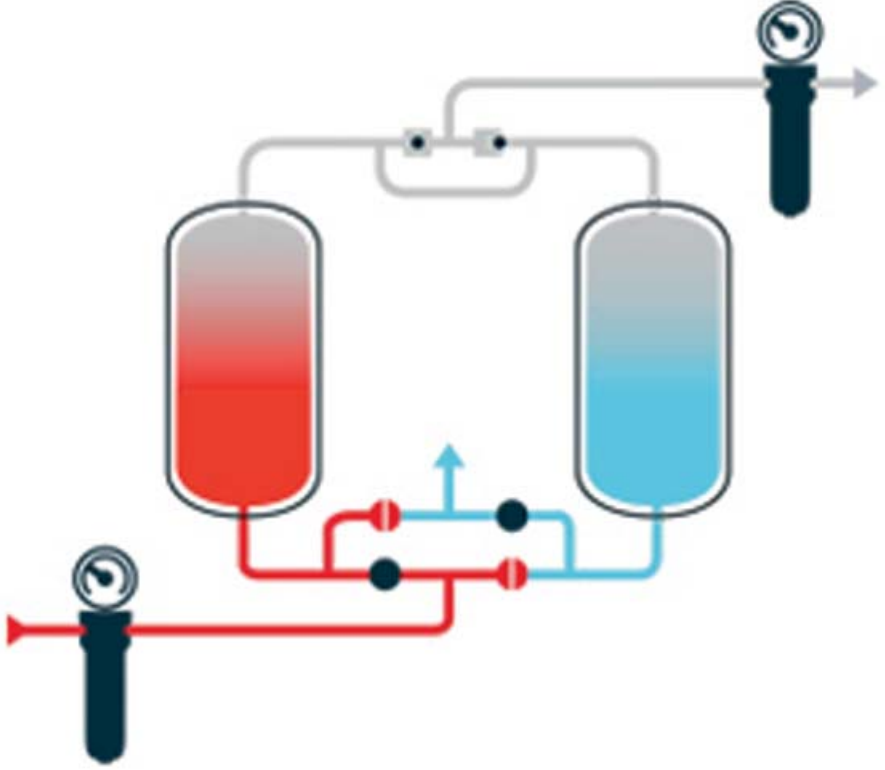


- Ekipmanın daha uzun kullanım ömrü ve üstün üretim kalitesi için kuru hava ve gelişmiş kayganlaştırma.
- Sıkıştırma işlemi sırasında su buharının giderilmesiyle ekipmanın paslanması önlenir, buzlanma olmaz.
- Uzun kullanım ömrü, düşük bakım maliyeti ve gelişmiş üretim işlemi için yüksek verimli cihaz; akıllı otomatik boşaltma ile enerji tasarrufu.
- Tüm parçalara hızlı erişim ile kolay bakım.

3.2. Kimyasal Kurutucular

Kimyasal kurutucu, her ikisinde de bir kurutucu madde bulunan iki basınç tanktan oluşur; bu kurutucu maddeler genellikle alüminyum oksit, silikon jel veya bunların karışımı olmaktadır. Sıkıştırılmış hava bir bölmeden geçer ve kurutucu ile temas sonucu -25°C 'lik çığ noktasına veya daha düşük bir sıcaklığa getirilerek kurutulur.

Kuru basınçlı havanın çoğu bunun ardından doğrudan basınçlı hava sistemine geçer. Kalan %3-15'lik kısım atmosfere atılmak üzere ikinci tanka yönlendirilir. Atmosfere atılacak olan bu kuru hava, bu tankın içerisindeki kurutucu maddenin nemini emer ve ardından nem ile birlikte atmosfere bırakılır. Belli bir süre sonra, tanklar işlev değiştirirler ve böylece sürekli bir kurutma işlemi elde edilir.



3.3. Yağ ve Su Ayırıcı

Atmosferik hava büyük miktarlarda su buharı ve toz parçacıkları içerir. Bu safsızlıklar sıkıştırma işlemi sırasında sıcak yağ ile karışarak asitli, aşındırıcı bir çıkış kirleticisi oluşturur. Sıkıştırma işlemini takiben hava soğutularak büyük miktarlarda kirli yoğuşmanın oluşmasına sebep olur. Mevcut çevre yasalarına uymak için bu kirli yoğuşmanın atılmadan önce işlem görmesi gereklidir.

Yağ su ayırıcısı kullanılarak, bu kirliliğin ayrılması ve giderilmesi ve kalan suyun kolayca kanalizasyona boşaltılması mümkün hale gelir. Amaç kurulumu kolay, minimum çalıştırma maliyetine sahip bir yoğuşma işleme sistemi

kullanarak “sıkıştırılmış hava atık” işleme maliyetlerini en aza indirmektir.

- Sıkıştırma işleminin sonunda, hava soğutulduğunda, kirlenmiş yoğuşma oluşur.
- Yoğuşma sıkıştırılmış havadan giderildikten sonra, yerel çevre düzenlemelerine uygun olmak için hala temizlenmesi gereklidir.
- Yağ-Su Ayırıcılar her iki maddeyi de (su & yağ) ayırarak arıtılmış suyun kolayca atılmasına imkân verir.
- Kısıtlı miktarda yağın özel atım merkezine boşaltılması gereklidir.

3.4. Filtreler

Filtreler, bir kompresörün üretim çevriminin düzenli çalışmasına zarar verebilecek kirletici maddeleri tutabilir ve giderebilir. Beş farklı tipte filtre bulunur.



3.4.1 Ön Filtre

Parçacık filtresi olarak da adlandırılır. Ön filtre, sıkıştırılmış havada sıvı ve toz kirliliği bulunması durumunda, aşağı akış aksesuarlarını bulunduran hat için ideal bir filtredir. Genellikle sıkıştırılmış havanın genel kullanımları için önerilir. Katı partiküller filtrasyon ortamlarının akrilik fiberler ve polyester örgüsüz kumaştan oluşan birkaç katmanı ile giderilir.

3.4.2. Toz Filtresi:

Toz filtresi, daha yüksek miktarda ince toz içeren bir sistemde kullanılan bir filtredir, örneğin kurutucu maddeli bir kurutucunun çıkışında. Normalde ön filtreden (parçacık filtresi) sonra ek filtrasyon olarak veya yüksek verimli birleşim filtresi için ön filtre olarak kullanılır.

3.4.3. Genel Amaçlı Hat Filtresi

Hat filtresi, katı partikülleri ve yağ buharını yakalayan olefobik cam mikrofiberlerden yapılmış, birkaç katman filtrasyon ortamından oluşur. Küçük yağ damlaları birleşerek yerçekimi etkisi ile filtrenin altına doğru ilerleyen daha büyük damlaları oluşturur ve burada atık su borusundan atılabilirler.

Hat filtresi özellikle soğutucu gazlı kurutucular için ön filtre ve yüzey işlemleri ve diğer uygulamalardaki boruların yırtılmasını önlemek için yağ giderici cihaz filtresi olarak kullanılır.

3.4.4. Yüksek Verimli Hat Filtresi

Yüksek verimli hat filtresi, yağ ve hidrokarbon buharlarının giderilmesini garantilemek için ultra yüksek verimliliğe sahip bir filtreleme sağlar. Özellikle soğutucu gazlı kurutucular için son filtre olarak, aktif karbon filtre ve kimyasal kurutucular, pnömatik taşıyıcılar, boyama tesisleri, kontrol sistemler, lazerli kesim ve diğer uygulamalar için ön filtre olarak kullanılır.

3.4.5. Aktif karbon filtre

Aktif karbon filtre, aktif karbonlu cam geçirilmiş mikrofiberlerden yapılmış olan filtre kartuşu içerir ve sadece yağ buharını değil aynı zamanda hidrokarbon kokularını da yakalar. Aktif karbon filtre ecza ve kimya endüstrisinde, gıda endüstrisinde, fotoğraf laboratuvarlarında, paketleme endüstrisinde, galvaniz işlemlerde, kalite boyama ve diğer uygulamalarda kullanılır.

- Bugün, ekipmanlar çok daha gelişmiştir ve bu yüzden sıkıştırılmış havanın her türlü kirlilikten arındırılmış olmasını gerektirirler.
- Atmosferdeki hava kendinden pek çok kirlilik içerir ve sıkıştırıldığında (ve yağ enjeksiyonlu kompresörlerin kullanımında yağ ile birleştiğinde) dağıtım hatlarını, pnömatik cihazları ve ürünün kendisini aşındırıcı ve paslandırıcı emülsiyonlar oluşturabilir.
- Sıkıştırılmış havayı temizleyen altı farklı tipte filtre bulunur.
- Hat Filtreleri sayesinde, üretim, kalite ve güvenilirlik artar, dağıtım ağının aşınması azaltılır ve arızalar tamir edilmek yerine önlenir.

BÖLÜM 4: KOMPRESÖR DAİRESİ TASARIMI

4.1. Kompresör Tesisi Konumu

Kompresör tesisi kurulurken ilk düşünülmesi gereken konu, merkezi bir sistem mi, yoksa kullanım yerine yakın ayrı ayrı noktalarda mı olduğudur. Merkezi Sistem Faydaları:

- Toplamda daha küçük kapasite ve muhtemelen daha düşük maliyet
- Daha yüksek verim ve düşük enerji maliyeti
- Daha düşük işletme maliyeti

Merkezi Olmayan Sistem Faydaları:

- Debi ve/veya basınç farklılıklarına ihtiyaç varsa, uygun çözüm
- Boru çapları ve uzunlukları düşer, kuruluş maliyeti düşer,
- Kayıp/kaçak hava azalır,
- İhtiyaca göre, istenen yer çalıştırılır veya kapatılır,
- Bakım ihtiyacı olduğunda sadece o bölge etkilenir.

Kompresör dairesi bakım ve işletme kolaylığı sağlaması açısından diğer üretim ekipmanlarında ayrılarak farklı bir yerde kurulmalıdır.

Kompresör dairesinin konumlandırılacağı yerin ısıtıcı kaynaklarından uzak, atık ısının kullanılabileceği alanlara yakın ve gürültünün problem yaratmayacağı şekilde olması gerekmektedir.

4.2. Kompresör Binası, Zemin ve Temel

Kompresör zemini, ana binadan titreşimi önlemek için izole edilmesi gerekebilir. Böylece, hem binadan gelecek, hem de kompresörden gelecek titreşimlerin birbirini etkilemesi, kuvvetlendirmesi önlenir. Arızaların azalmasına etkisi vardır.

Titreşimin çok olmadığı yerlerde, kompresörlerin elastik takozlar üzerinde olması yeterli olabilir. Üretici firmanın tavsiyelerine bakılmalı. Kompresör kaideleri üretici firmanın kataloglarında belirttiği şekilde yapılmalı özellikle kaidede %0 eğim sağlanmalıdır.

Kompresör yerleşiminde üretici firma kataloglarında belirtilen ölçülere

uyulmaya çalışılmalıdır. Eğer uyulamıyorsa kompresör üzerindeki büyük parçaların (motor, vida grubu, eşanjör vs.) kolaylıkla sökülebileceği boşluklar bırakılmalıdır.

Bakım kolaylığı açısından eğer mümkünse kompresör üzerlerinde caraskal vb. kaldırma ekipmanı yerleştirilmelidir.

Kompresör dairesi dışarıya kolay açılabilir olmalıdır.

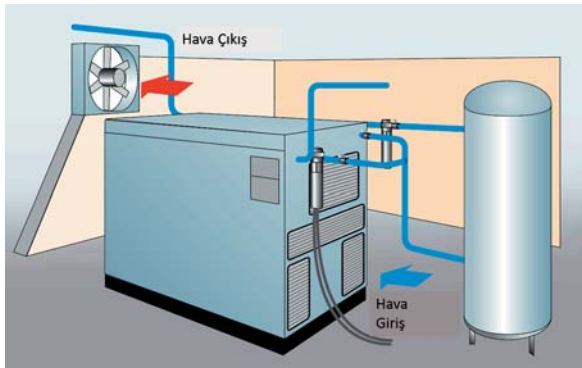
İleride yaşanabilecek kapasite artışları göz önünde bulundurularak kompresör dairesinde yedek kompresör alanı bırakılmalıdır.

Kompresör dairesinin konumlandırılacağı yerin ısıtıcı kaynaklarından uzak, atık ısının kullanılabileceği alanlara yakın ve gürültünün problem yaratmayacağı şekilde olması gerekmektedir.

4.3.Havalandırma

Kompresör dairesi havalandırması “çok” önemlidir.

Oda vakuma girmeyecek şekilde tasarlanmalı, emiş menfezleri altta, deşarj menfezleri üstte (çatıda) konumlandırılmalıdır. Taze hava emişi daha soğuk hava girişi sağlayabilmek amacıyla mümkün mertebe kuzey cepheden gerçekleştirilmelidir.



Kompresör dairesinin olması gereken hacim hesabında kompresör elektrik güçleri dikkate alınarak 1 kW a karşılık 1,35 m3 olacak şekilde tasarım yapılmalıdır.

Oda menfezleri içinde benzer şekilde 1 kW için 0,016 m2 alan tasarlanmalıdır. Ayrıca hesaplara çıkan menfez alanı 2 ile çarpılarak deşarj menfezleri de hesaba katılmalıdır.

Oda cephelerindeki menfezlere poliüretan veya elyaf filtreler monte edilerek havanın filtre edildikten sonra oda içerisine girmesi sağlanmalıdır. Kompresör dairesi giriş havasının temiz (Partiküllerden arındırılmış), kuru ve serin (Kompresör emişlerindeki havanın sıcaklığının 40 derece üzerinde olması istenmez) olması sağlanmalıdır.

Kompresör hava emişindeki her 5 derecelik düşüş veriminde %2 lik artışa sebep olacağı unutulmamalıdır. Bu amaçla kompresör dairesi cebri olarak havalandırılmalıdır.

4.4. Diğer Teknik Konular

Kompresör dairesi ekipman dizilimi aşağıdaki sıralama ile olmalıdır;
Kompresör→Basınçlı hava tankı→Hava kurutucu→Kollektör→Tüketim noktası

Hava hatlarında talep edilen hız 6-9 m/s olduğu hesaba katılarak kompresör dairesi içerisinde uygun boru ölçüleri seçilmelidir.

Kompresör dairesi borulamasında galvaniz veya paslanmaz boru ve fittings tercih edilmelidir.

Oda içerisinde mümkün olan en uzun düz boru mesafeleri bırakılırsa debi ölçümünde kolaylık sağlayacaktır.

Debi ölçümünde minimum basınç kaybı yaratacak tipte ürünler seçilmelidir. (Termal veya vorteks tip.) Orifis tip sayaçlar basınç kaybını arttıracaktır. Oda dizaynında kompresör ve kurutucuda oluşacak kondensi rahatlıkla tahliye edebilecek şekilde uygun gider yerleşimi yapılmalıdır. Kullanacak kondensstoplar pilot havalı şamandıralı veya ultrasonik tahliyeli tipte olmalı ve direkt kondensin tahliye edileceği noktaya monte edilmelidir.

Ara uzatma boruları kullanılarak kondestop uzak bir bölgeye taşınmamalıdır. Kondestoplar by-pass'lı olarak monte edilmeli ve öncelerinde mutlaka filtre bulunmalıdır.

Kompresörler ve kollektörler üzerinde minimum basınç kaybına sebep olacak tipte vanalar (Küresel veya kelebek tip) seçilmelidir.

Su soğutmalı kompresörler için;

- Soğutma suyu girişlerinde aktuatörlü vana uygulaması yapılarak kompresör stop pozisyondayken su geçişi engellenerek enerji tasarrufu sağlanabilir.
- Soğutma pompalarında invertör uygulaması yapılarak pompaların basınca göre çalışması sağlanabilir.
- Kule fanlarında invertör uygulaması yapılarak kule fanlarının su sıcaklığına göre çalışması sağlanabilir.
- Kule performansının arttırılmasına yönelik evaporatif soğutma yapılabilir.
- Kule besleme suyu yumuşak su olmalıdır. Böylece kompresör eşanjörlerindeki kirlilikler minimize edilerek performans kaybının önüne geçilir.
- Kule suyunun kendi içinde filtre edilebilmelidir. (100 mikron filtrasyon yeterli) böylece yukarıdaki madde olduğu gibi eşanjör kirliliklerinin önüne geçilerek verim artışı sağlanır.
- Kule suyu uygun kimyasallar kullanılarak düzenli olarak şartlandırılmalıdır.
- Kule otomatik blöf sistemi olmalıdır.
- Kule yerleşimi yapılırken mümkün mertebe kirlilik ve toz kaynaklarından uzak bir nokta tercih edilmelidir.

Hava soğutmalı kompresörler kullanılacaksa kompresörden çıkan hava uygun kanal tasarımlarıyla kompresör dairesi dışına deşarj edilmelidir. Bu sıcak hava (atık ısı) uygun bir mahallin ısıtmasında da kullanılabilir. Kompresörün fazla sayıda boş-yük yapmasını engellemek için basınçlı hava tankı kullanılmalıdır. Tankın dizaynında kapasite hesabı yapılırken 10-15 sn'lik peak çekişteki debi kadar hacim belirlenmelidir.

Kompresör kapasiteleri hesaplanırken sistemde oluşabilecek debi dalgalanmalarına en iyi cevap verecek kapasite aralığı tanımlanmalı ve kompresörler buna göre boyutlandırılmalıdır. Invertör uygulamaları gerek kompresörler gerekse de kurutucularda enerji tasarrufu açısından öncelikli olarak tercih edilmelidir.

Kurutucu seçiminde ISO 8573-1 standardına göre talep edilen hava kalitesi belirlenmeli ve bu doğrultuda cihaz seçilmelidir.

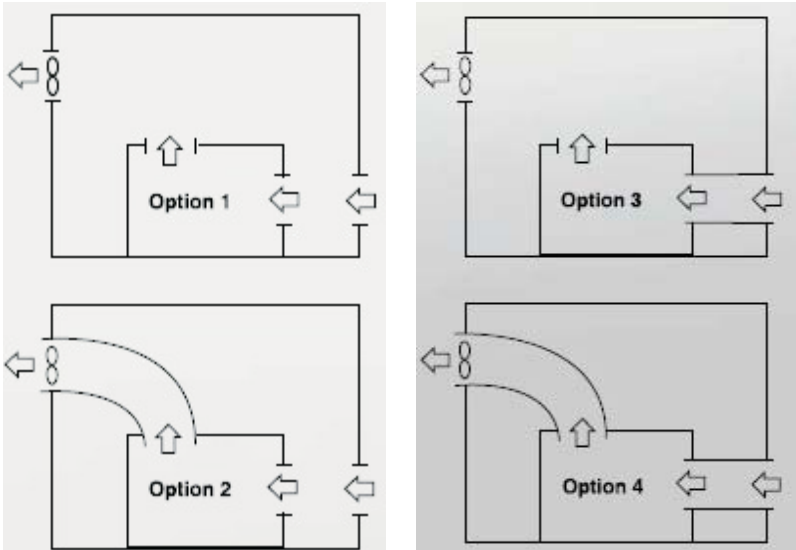
Kompresörlere entegre tip yerine harici kurutucu seçimi bakım ve işletme kolaylığı sağlayacağı unutulmamalıdır.

Kompresör dairesi işletilmesinde uygun otomasyon sistemleri kullanılarak ekipmanlarda eş yaşlandırma sağlanabilir ve basınç dalgalanmalarının önüne geçilebilir.

Kompresörlerin beslendiği elektrik alt yapısında homojen bir dağılım sağlanmalıdır.

Eğer merkezi kompanzasyon yapılmıyorsa lokal kompanzasyon yapılmalıdır. Kompresör dairesi ile ilgili basınç değerleri, tüketim verileri, sıcaklıklar, soğutma sistemi verileri bir scada ile izlenmeli ve alarm sistemi tanımlanmalıdır.

Kompresör dairesinde yangın algılama ve ihbar sistemleri kurulmalıdır.



BÖLÜM 5: BASINÇLI HAVA DAĞITIMI

5.1 Tesisat Tasarımı

Bir basınçlı hava dağıtım sisteminin doğru ve verimli dizaynı için: son tüketim noktası ve kompresör arasında minimum basınç düşümü, minimum hava kaçağı, yoğunlaşma suyu alan drenaj sistemi önem kazanmaktadır.

İlk başta büyük seçilen boru ve bağlantı elemanlarının maliyeti, işletme büyüyünce yeniden kurulacak hava hattına nazaran daha ucuz olacaktır.

Müşade edilecek olan basınç düşümü belirlenirken kullanılan pnömatik cihazların performansının kullanılan mutlak basıncın, çıkış mutlak basıncına bölümünün karesiyle yaklaşık olarak orantılı olduğu hesaba katılmalıdır.

Eğer hatta 6 bar basınç görmek istiyorsak, 0.5 bar'lık basınç düşümü bize verim kaybı olarak; $1 - (6.5/7)^2 = 0.137,7$ veya 13.8% bir orana neden olacaktır. Her 0.1 bar'lık basınç düşümüne karşılık, alet performansları 2.5% düşmektedir.

Tüketicinin en uzak noktası ile kompresör arasındaki mesafede borularda ki basınç düşümü en fazla 0.1 bar olacak şekilde hava hattı dizayn edilmeli ve ölçülendirilmelidir. Bununla beraber 0.1 bar basınç düşümü 5 bar'lık hatta 7 bar'lık hatta nazaran daha fazla enerji kaybına neden olmaktadır. Dolayısıyla müsaade edilen basınç düşümünü çalışma basıncının 1.5%'inden az olacak şekilde belirlenmesi daha gerçekçi olacaktır. Ayrıca boru hatlarında ki basınç düşümlerini aşağıda tutmak için basınçlı hava geçiş hızı 6-10 m/sn arasında olmalıdır.

Basınç düşümlerini hesaplarken çabuk seçim tablolarından da faydalanabiliriz. Bunlardan bir tanesi aşağıda ki gibi bize hatlarda kullanılan bazı bağlantı elemanlarının karşılık geldiği boru uzunluğunu gösteren tablodur;

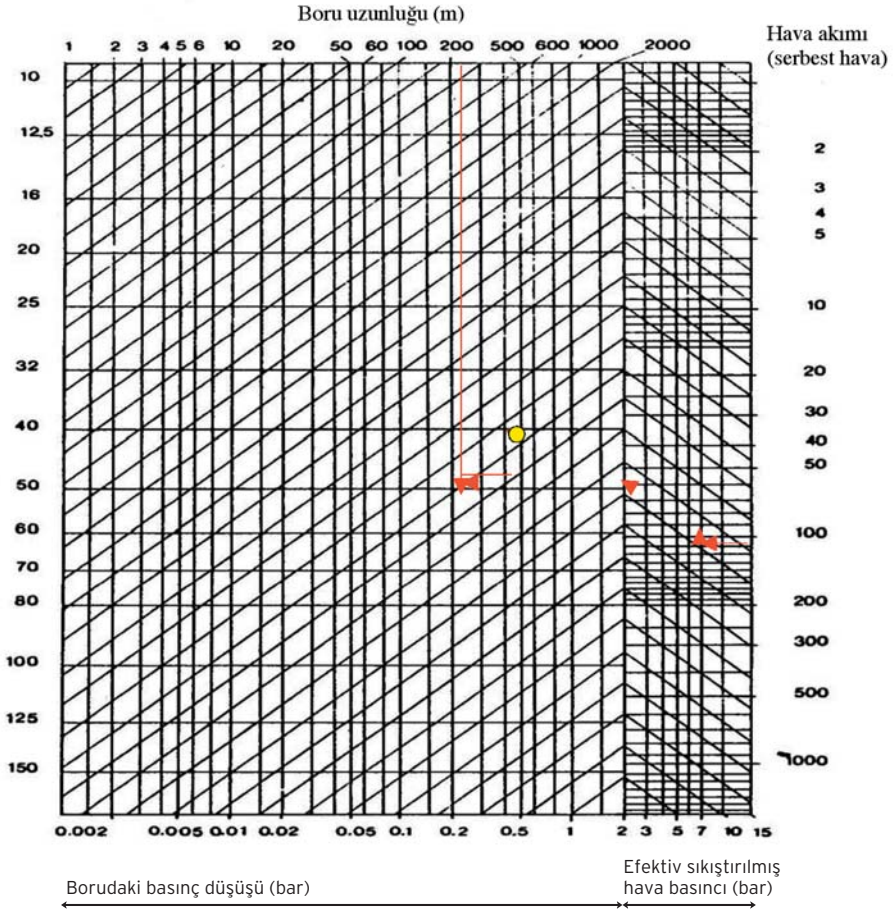
Elemanlar	Karşılık gelen boru uzunluğu (m)						
	Boru iç çapı (d=mm)						
	25	40	50	80	100	125	150
Küresel vana	5	8	10	16	20	25	28
Diyagram vana	1.2	2	3	4.5	6	8	10
90° dirsek	1.5	2.5	3.5	5	7	10	15
R=2d dirsek	0.15	0.25	0.3	0.5	0.8	1	1.5
R=d dirsek	0.3	0.5	0.6	1	1.5	2	2.5
T bağlantı 	2	3	4	7	10	15	20
Çap düşürücü 2d⇒d	0.5	0.7	1	2	2.5	3.5	4

d=boru iç çapı

R=boru merkezi ile açı merkezi arasındaki mesafe

Basınç düşüm diagramınıda kullanabiliriz. Örnek;

7 bar(g) çalışma basıncında 100 l/sn havayı 200m mesafeye 0.5 bar basınç kaybı ile taşıyabilmek için kullanılması gereken boru çapı ne olmalıdır? Önce 7 bar ve 100l/sn noktalarından doğrular çıkarak kesişen noktayı eğimli çizgilere paralel olarak yukarı çıkarırız. Bu noktayı daha sonra 200m boru mesafesi noktasından indiğimiz çizgi ile kesiştirip, bu noktayı da 0.5 bar basınç düşümünden yukarı dik çıktığımız kesik doğru ile kesiştiririz. Bulduğumuz noktanın (sarı nokta) değerini diyagramda sağ skaladan okuduğumuzda bulmamız gereken boru iç çapına ulaşırız. Bu da örneğimizde



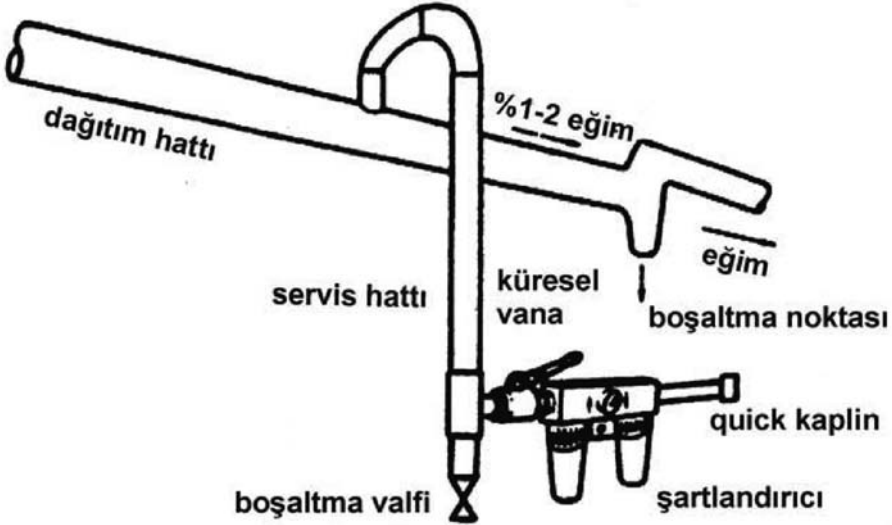
40 mm'dir.

5.2 Basıncılı hava hattı dizaynı

Hava hattı kompresörü tanka, kurutucuya ve filtrelere bağlayan boru ile başlar. Buradaki boru çapı en az kompresörün çıkış çapı kadar olmalıdır.

Ayrıca bütün bağlantılar mümkün olduğunca kısa ve düz olmalıdır. Daha sonra bu bağlantılar ana hat ile birleştirilmelidir. Ana dağıtım hattı hava akış yönünde yaklaşık 1/200 oranında aşağı eğimli olmalıdır. Hattın en alçak noktalarına ve mümkünse ana hattın her 30-40 m'sinde yoğunlaşma suyunu tahliye edecek musluklar konulmalıdır.

Bütün bağlantılar aşağıda görüldüğü gibi hatların üstlerinden yapılmalıdır. Böylece ana hattaki toz, yağ ve sudan oluşan istenmeyen muhteviyatın tali hatlara taşınması önemli ölçüde engellenir.



Dağıtım hattından quick kapline olan bağlantılar

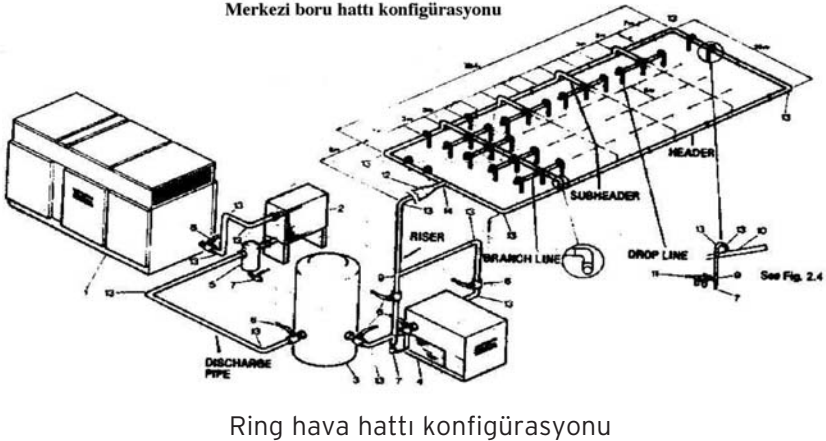
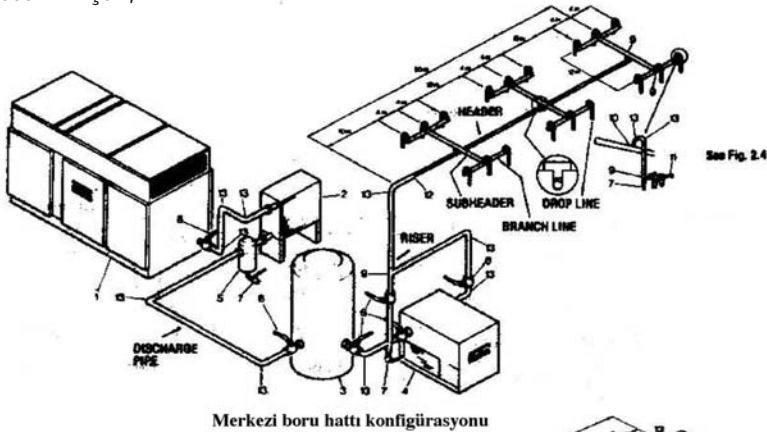
Tali hatlar kullanım noktasına en yakın yerden geçmelidir. Böylece uzun ve dar tali hatların neden olduğu basınç düşümü en aza inmiş olur, ayrıca gereğinden uzun bağlantı hortumu kullanılmamış olur. Genelde hava hattı dizaynındaki en iyi çözüm ring yapan ana boru hatlarının kullanılmasıdır.

Basıncılı hava merkezi ring hattının ortalarında bir yere kurulmalıdır. Ring hattı aynı zamanda bir hava deposu görevi de görmektedir. Ring yapan bir

hava hattında her kullanım noktasında aynı basıncı olacaktır. Ayrıca aralıklı yüksek hava kullanımlarında hattı her iki yönden görmeniz mümkün besleyerek basınçlı hava kaynağı vazifesi görür.

Merkezi boru hava hatları ise hava tüketiminin bazı noktalarının çok uzak olması durumunda kullanılan bir sistemdir. Aynı bir ana boru hattı bu noktalara kadar dönebilir.

Aşağıda ring hava hattı ve merkezi boru hava hattına ait konfigürasyonlar gösterilmiştir;



5.3 Kondens Tahliyesi

Basıncılı hava sistemlerinde; kompresörün üretmiş olduğu basınçlı hava, çıkış sıcaklığı ne olursa olsun her zaman %100 nem taşımaktadır. Elde edilen basınçlı hava içerisinde bulunan su buharı hava tankında soğumakta ve buhar fazındaki su yoğunlaşarak kondens haline gelmektedir.

Yoğuşan su başta hava tankı olmak üzere, tesisatta yer alan kolektör ve borularda paslanmalara neden olmakta ve uzun vadede sisteme kalıcı zararlar vermektedir. Bununla beraber biriken kondens hava akışıyla birlikte düzenli olarak sisteme yürümekte ve pnömatik ekipman arızalarını tetiklemektedir.

Dolayısıyla başta hava tankı olmak üzere; filtrelerde, kurutucularda, su seperatörlerinde, kolektörlerde, basınçlı hava hatlarında ve şartlandırma ekipmanlarında biriken kondensin sürekli ve düzenli tahliyesi gerekmektedir. Endüstride bu işlemi yapan ekipmanlar tank altı su atıcı, otomatik su atıcı, tank altı kondenstop, hava kondenstopu, otomatik kondens tahliye valfi, kondens atıcı ve kondens tahliye ünitesi gibi değişik isimlerle adlandırılırlar.

Kondes tahliyesi aşağıdaki yöntemlerle yapılabilir:

- **Manuel Kontrollü Su Tahliyesi (İnsan Kontrollü):** Birçok işletmede bu işlem manuel valflerle, çalışanlar tarafından yapılmaktadır. Bu yöntemle tankta biriken kondensin boşaltılması unutulabilmekte ve tüm hava hattına yürüyebilmektedir. Hatta bilinçsiz çalışanlar, tankta biriken suyu sürekli boşaltması için, çok az açık bırakarak sorumluluğu üzerinden atmakta ve ciddi hava kaybına sebebiyet vermektedir. Bu hava kaybıyla oluşan enerji tüketimi yerine alınabilecek otomatik su atıcıların maliyetlerinden çok daha fazla olmaktadır.

- **Zaman Kontrollü Kondens Tahliyesi:** Bir diğer yöntem ise zaman röleli valfler kullanarak, bu tahliyeyi önceden belirlenmiş zaman periyotlarında yapmaktır. Bu uygulama değişken hava sarfiyatları ve sıcaklık değişimleri nedeniyle tanktaki kondensi her zaman boşaltamamanın yanında, hava kayıplarına sebep olmaktadır. Basınçlı havanın, işletmelerin enerji giderleri açısından önemi dikkate alındığında, biriken kondensin atılması sırasında kaybedilecek her 1 sn'lik basınçlı hava bile yıllık önemli miktarlarda enerji sarfiyatına neden olmaktadır.

• **Otomatik Tahliye:** Sıfır hava kaybıyla çalışan otomatik tank altı su atıcıları (hava kondensstopu) ile insan hatalarından kaynaklanan aksilikler ortadan kalkarken, bu işlem sırasında meydana gelen basınçlı hava kayıpları da engellenmiş olmaktadır. Bu sistemlerin kurgusunda ve/veya işletilmesinde ekipman önü filitre konulmalı ve periyodik kontrolleri yapılmalıdır.

5.4 Basınçlı hava hat ekipmanları

5.4.1. Emiş Filtresi (SuckFilter): Kompresörün hava emiş filtresi küçük boyutlu aşındırıcı maddelerin kompresör içine emilmesini önlemeli, yüksek miktarlarda yabancı maddeyi tutabilmeli ve buna karşın hava akışında ve filtreleme kabiliyetinde önemli bir düşüş olmamalıdır. Normalde, emiş filtresi kompresöre mümkün olduğunca yakın monte edilir. Emiş susturucusu kullanılması durumunda, susturucunun emiş filtresi ile kompresör arasına monte edilmesi gerekir. Filtre, inceleme ya da temizleme amacıyla ulaşılmak istendiği zaman, kolaylıkla ulaşılabilecek bir yere monte edilmiş olmalıdır. Kullanımı yaygın olan emiş filtresi tipleri şunlardır:

- Kağıt
- Yağlı dolambaç
- Yünlü bez
- Yağ banyosu

Bu filtre tiplerinin herhangi biri ya da birleşimlerinden oluşan filtre paketi susturuculu veya susturucu olmadan kullanılabilir.

5.4.2. Manometreler (Manometer): Tüm basınçlı hava sistemlerinde; ara soğutma, çıkış, yağ, soğutma suyu basınçlarının görülebilmesi için manometre kullanılması gerekir. Manometre seçilirken istenen nitelikte olmasına dikkat edilmeli ve belirli aralıklarla manometrenin gösterdiği basıncın doğruluğu kontrol edilmelidir.

5.4.3. Hava Çıkış Susturucusu (Muffler): Kompresör çıkışındaki gürültüyü azaltmak için gürültü olarak duyulan frekanstaki sesi zayıflatacak şekilde susturucu kullanılabilir. Susturucu hava akışına mümkün olduğunca düşük direnç göstermelidir.

5.4.4. Ayar ve Emniyet Presostatları (Basınç Şalterleri): Tüm vidalı kompresör ünitelerinde ayar presostatı ve emniyet presostatı olmak üzere

iki adet presostat kullanılır. Her iki presostat aynı tiptir ama ayar presostatında diferansiyel ayarı kullanıldığı halde emniyet presostatında sadece üst limit ayarı kullanılır.

- Ayar presostatı basınç üst limit değerine ulaştığı anda, boşa alma solenoid valfinin enerjisini keser ve vidalı kompresör ünitesini boşa çalışmaya geçirir. Basınç alt limit değerine (Diferansiyel ayarı kadar üst limit değerinin altında olan değer) düşünce boşa alma solenoid valfine yeniden enerji verilir ve vidalı kompresör ünitesi yükte çalışmaya geçer.
- Emniyet presostatı, basınç ayar değerine ulaştığı anda ünitenin çalışmasını durdurur. Emniyet presostatı, regülasyon sistemindeki bir arıza, yanlış ayarlama veya seperatörün tıkanması nedeni ile ünitenin çalışmasını durdurabilir.

5.4.5. Hortumlar (Hose): Kullanma (hizmet) koşullarına uygun yapılı, kuvvetlendirilmiş, yağ direnci yüksek, kaliteli lastik ya da plastik hortumlar kullanılmalıdır. Hortumların ve fittingslerin delik çapına özellikle dikkat gösterilmelidir, yetersiz büyüklükte delik çapı aşırı basınç kaybına neden olabilir. Filtre, regülatör ve yağlayıcıları bakıma almak için izole edilebilmek (sistemden ayırabilmek) amacıyla bu aygıtların girişleri ile girişlerine bağlanan borular arasına kesme valfleri yerleştirilmelidir.

5.4.6. Basıncılı Hava Hattı Yağlayıcıları (Lubricator): Pnömatik ekipmanın doğru olarak yağlanması sıkıcı bir zorunluluk olarak değerlendirilmemelidir; sürtünmeyi azaltması, aşınmayı ve hareketli parçaların korozyonunu (bozulmasını, paslanmasını vb.) önlemesi açısından basıncılı hava hattı yağlayıcıları kullanılması gerekir. Pnömatik ekipmanın yağlanması için en etkili ve ekonomik yöntem, bir yağlayıcı vasıtasıyla akan hava içine yağ damlatma yöntemidir. Yağlayıcının mümkün olduğu kadar kullanma noktasına yakın monte edilmesi ve monte edildiği yerin basınç regülatörünün çıkış tarafında olması gerekir. Yanlış yağlamayı önlemek açısından yağ besleme ayarı olması ve yağ damlatma işleminin görünebilmesi gerekir. Yağlayıcı seçerken aşağıdaki noktalara dikkate edilmelidir:

- Yağlayıcı ile pnömatik silindir veya diğer aletler arasındaki boru ya da hortumun kıvrılmasından kaçınılmalıdır.
- Direkt (doğrudan) enjeksiyonlu venturi emişi; kaba bir yağ pulverizasyonu (buğusu) sağlar, bol yağ besleme istendiği zaman tercih edilmelidir.
- Endirekt (doğrudan olmayan) enjeksiyonlu venturi emişi; hassas bir yağ

pulverizasyonu (buğusu) sağlar, küçük dozlarda (miktarlarda) yağ besleme istendiği zaman tercih edilir. Ayrı bir yağ besleme hattından, pnömatik olarak çalıştırılan mini (küçük bir) akıtma pompası vasıtasıyla silindir ya da diğer tip basınçlı hava kullanan aletin (aygıtın) girişine yağ enjekte edilir. Böylece yağ besleme ayarı hassas olarak yapılabilir. Bu sistemde, merkezî bir yağ tankı vardır ve bu tanktaki yağ değişik / çeşitli yağlama noktalarına basılabilir. Yağ tankında yağın ulaştırılacağı en uzak noktaya bağlı olarak, 0.5 - 0.8 bar arasında bir düşük hava basıncı olmalıdır.

- Yağlayıcılar yağ seviyesi görünecek şekilde dizayn edilmelidir.
- Her tip yağlayıcı kendince avantajlara sahiptir; bu nedenle uygun değer elde etmek için yağlayıcıyı üreten kuruluşun tavsiyelerine uyulması gerekir.

5.4.7. Filtreler: Hava kurutucusunun yer aldığı sistemler dışında, kullanma noktasındaki havanın su içeren hava olduğu söylenebilir. Ayrıca; toz, kir, boru döküntüleri, sızdırmazlık malzemesi artıkları, yanmış yada bozulmuş yağ basınçlı hava aygıtlarına geçebilir. Suyun ve diğer katı ya da sıvı maddelerin karışımdan oluşan tortuların basınçlı hava ile çalışan makine ve aygıtlara zarar vermesini önlemek açısından filtreleme yapmak önemlidir. Sonuç olarak su ve diğer zararlı maddelerin sistem dışına atılabilmesi için filtreler (Basınçlı hava filtreleri, yağ ve su tutucu filtreler) kullanılır. Kompresöre yakın bir noktaya ana boru şebekesine yerleştirilmiş olsa bile kullanım noktasında ilave filtreler bulunması gerekir.

5.4.8. Seperatör (Separator): Genelde havanın ve yağın temizlenmesinde kullanılır. Tesisatlarda basınçlı hava devresinde, suyun dolaşmasını engelleyerek borular ve cihazların koroziyon etkiden korunmasını sağlar.

5.4.9. Yoğuşma Suyu Drenajı (Drainage): Basınçlı hava üretimi esnasında oluşan yoğuşma suyunun içinde yağ ve kir partikülleri bulunur. Bu yoğuşma suyu, güvenilir bir drenaj yapılmadığı takdirde basınçlı hava sisteminde korozyon meydana getirerek üretim aksamalarına yol açabilir. Elektronik kontrollü drenaj sistemleriyle son derece güvenilir bir yoğuşma suyu drenajı sağlanır.

5.4.10. Hava Kurutucuları (AirDryer): Hava kurutucuları basınçlı havayı içindeki su buharı ve yoğuşma suyundan arıtmak için kullanılır. Basınçlı hava +3 °C çiğlenme noktasına kadar soğutularak kurutulur.

5.4.11. Termometre (Thermometer): Soğutma suyu, hava çıkışı, yağ ve nihai soğutucu sıcaklıklarının ölçülebilmesi için ilgili yerlere termometre bağlanmalıdır.

5.4.12. Kolon ve Branşman Hatları:

- Kolon hatları (Ana boru şebekesinden dikey olarak ayrılan hatlar) çelik, ABS, bakır (bakır alaşımı), ince cidarlı (etsiz) paslanmaz çelik, bakır kaplanmış çelik veya naylon takviyeli PVC borudan yapılabilir. Kolon hatları üzerinde, uygun bir pozisyonda kesme valfi yer alması gerekir. Kesme valfleri bakıma alınmış makine ya da aygıtın kapalı (off) pozisyonunda kalmasını, yani kazayla yeniden çalışmasını önleyecek cinsten olmalıdır.
- Kolon hatları ana boru şebekesine ya da branş hatlarına üst noktalarından eğrilik (büküm) yarıçapı büyük dönüşler yapılarak (Eğrilik yarıçapı büyük dirsekler - bükümler kullanılarak) bağlanmalıdır. Kolon hatlarının boru çapı asgari (en azından istenen) değerlere uygun olmalıdır.
- Branşman ile hava kullanım noktası arasındaki (kullanım hattındaki) basınç düşümü kontrol edilmelidir. Kullanım noktasındaki basınç, hava kullanan makine ya da aygıtın (aletin) üreticisi tarafından belirtilen minimum (en düşük) çalışma basıncından az olmamalıdır.

5.4.13. Basıncı Hava Tesisatı Fittingleri (Fittings): Boruların birbirleriyle birleştirilmesinde veya boru hatlarının kurulmasında yardımcı olan tesisat yardımcı parçalarıdır. Tesisatlarda basınçlı tesisatında kullanılan fittingsler, boru çaplarına, sistemin şekline ve sistem dağıtımına göre şekli ve ismi değişiklik gösterir. Tesisatlarda basınçlı hava yardımcı bağlantılarında, kolonlarda ve branşman hatlarında 3/8"-2" kadar kullanılır.

Pnömatik aletlerin kolay sökülmesi, değiştirilmesi ya da bakıma alınabilmesi açısından çabuk sökülebilen kendinden sızdırmazlık özelliğine sahip rakorlar (çabuk değiştirme valfleri ya da otomatik rakor olarak bilinen rakorlar vb.) kullanmakta fayda vardır. İki çabuk sökülebilir rakor kullanarak biri hortumun sabit boru bağlantısı olan tarafına, diğeri basınçlı havayı kullanacak ekipman tarafına monte edilirse; gerektiğinde hortumu değiştirmek kolaylaşır. Çabuk sökülebilir rakor (otomatik rakor ya da çabuk değiştirme valfi) kullanılmayacaksa ekipmanın devreye sokulup çıkarılmasına ve hortumun değiştirilmesine olanak sağlayabilmek için hortumun sabit boru şebekesi tarafına delik çapı boru çapına eşit bir (kısıcılı olmayan) vana koyulmalıdır.

Çabuk sökülebilir rakorun soket kısmı hortumun ekipmana bağlanacak ucuna takılır, fiş (erkek parça, sokete geçen parça, plug) kısmı ise alete takılır. Genelde, çabuk değiştirme rakorunun fişi aletin giriş deliğine direkt bağlanmaz (vidalanmaz); çabuk değiştirme rakoru ile havayı kullanacak

alet arasında, aletin titreşiminin çabuk sökülebilir rakorun soket ve fişine geçmemesi için kısa bir hortum kullanılması gerekir. Hava hatlarının yanı sıra yağ hatlarında da kullanılan çabuk sökülebilen rakorlar söküldükleri zamanda sızdırmazlık sağlayacak şekilde imal edilir. Böylece akıtma pompalı yağlayıcıların kullanılması kolaylaşır.

Çeşitleri

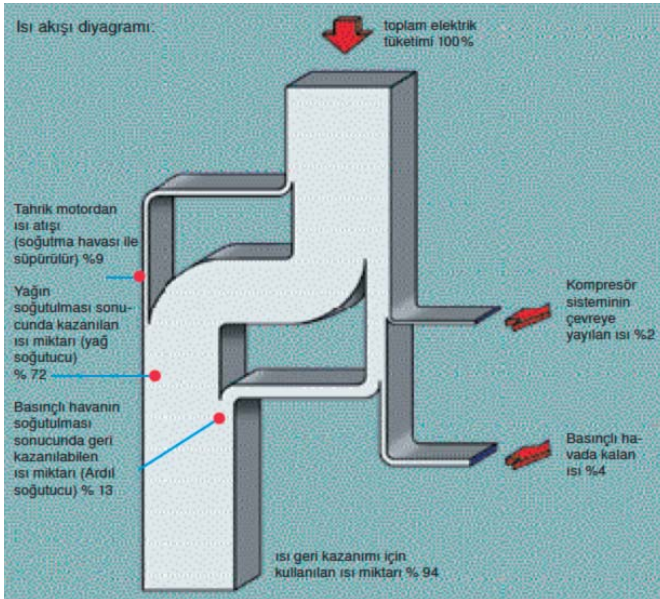
- Dövme çelik fittingsler (bağlantı elemanları) Dövme çelikten yapılma (dişli) fittingslerin (bağlantı elemanlarının) standartlara uygun olması gerekir.
- ABS fittingsler (bağlantı elemanları) 16-110 mm'ye kadar dış çapa sahip olabilen ABS borular ve fittingsler (bağlantı elemanları) solvent vasıtasıyla (eriterek) birleştirilir.
- Bakır (bakır alaşımı) boru fittingsleri (bağlantı elemanları) Bakır basınç fittingslerini monte ederken (dişi bozan) sürtmeyi önlemek amacıyla bağlantı yapılacak dişlere gres sürülmesi tavsiye edilir. Bağlantı sıkıldıktan sonra bağlanacak boru ile hizaya getirilmeli ve daha sonra tamamen sıkılmalıdır.

BÖLÜM 6: VERİMLİ HAVA KULLANIMI

6.1. Isı Geri Kazanımı

Bir kompresöre gönderilen enerjinin % 100'ünün ısıya dönüştüğü bir gerçektir. Sıkıştırma sonucunda kompresördeki hava bir enerji potansiyeli ile yüklenir. Bu enerji miktarı basınçlı hava kullanım noktasında genişleme ve etraftan ısı alma ile açığa çıkmaktadır.

Kompresörde ortaya çıkan ve ısı olarak kullanılabilir enerji miktarının büyük kısmı yani % 72'si yağ püskürtme soğutmalı kompresörlerde soğutucu yağda, % 13'ü basınçlı havada, % 9'a kadar olan kısmı ise elektro tahrik motorunun ısı kaybı olarak ortaya çıkmaktadır. Tamamen kapalı bir çevrimde yağ veya sıvı maddeler ile soğutulan vidalı kompresörlerde elektro motordaki bu enerji kayıpları dahi ısı enerjisi olarak geri kazanılabilir. Yani toplam kompresör için kullanılan enerjinin % 94'e kadarı ısı olarak geri kazanılabilir. Sadece % 2 kadarı ısı yayılması sonucunda kayıp olur ve % 4'lük ısı basınçlı havada kalır (Bkz. Şekil 1).



6.1.1 Isı geri kazanımının faydaları ve hesaplama metodu: Atık ısıyı geri kazanmak için kullanılacak ilave ekipmanın yatırım maliyeti, yapılacak tasarrufla kendini kısa sürede geri ödemektedir. Bazı durumlarda ısı geri kazanım sistemleri, ısıtma veya sıcak su ihtiyacının tamamını karşılamakta ve yatırım maliyetini düşürmektedir. Isının tamamının kullanılabilirdiği durumlarda sistemin kendini 2 yıldan az bir sürede ödeyebildiği sıkça görülmektedir.

Geri kazanılacak teorik enerji miktarı basit olarak aşağıdaki formül ile hesaplanabilir:

$$E = W \times T \times \eta$$

E = Geri kazanılan enerji miktarı kWh/yıl

W = Kompresör nominal gücü kW

T = Kompresör yıllık çalışma süresi saat/yıl

η = Geri dönüşüm verimi (0,94)

Yıllık parasal kazanç ise aşağıdaki formül ile hesaplanarak, yapılacak yatırımın geri dönüşüm süresi hesaplanabilir.

$$K = E \times e_f \times p$$

K = Yıllık kazanç TL/yıl

E = Geri kazanılan enerji miktarı kWh/yıl

e_f = Enerji birim fiyatı TL/kWh

p = Geri kazanım ısı verimi (Hava soğutmalı sistemlerde doğrudan kullanım için % 80 - 90,

Su soğutmalı sistemlerde dolaylı kullanım için % 60-70)

Örnek :

- 55 kW gücünde hava soğutmalı kompresör
- Haftada 60 saat çalışıyor
- 48 çalışma haftası var
- Elektrik birim fiyatı 0,25 TL/kWh
- Sıcak havanın doğrudan kullanımı için geri kazanım yatırım tutarı: 80.000 TL.

$$E = 55 \text{ kWh} \times 60 \text{ saat/hafta} \times 48 \text{ hafta/yıl} \times 0,94 = 148,896 \text{ kWh/yıl}$$

$$K = 148.896 \text{ kWh/yıl} \times 0,25 \text{ TL/kWh} \times 0,90 = 37,225 \text{ TL/yıl}$$

$$\text{Yatırımın Geri Dönüşü} = 80.000 \text{ TL} / 37,225 \text{ TL/yıl} = 2,15 \text{ yıl (Yak. 26 ay)}$$

Finansal tasarrufa ek olarak, sistemin çevreye de faydası bulunmaktadır. Enerji tasarrufu yapmak atmosfere bırakılan CO2 gazlarının miktarında önemli düşüşler sağlamaktadır.

6.1.2. Isı geri kazanım metotları: Kompresörlerden geri kazanılacak ısı, çalışma sürelerine bağlı olarak, sürekli ve istenilen miktarda olmayabilir. Bu durumda, kompresörler devre dışı olduğu durumlar varsa, geri kazanılan ısıнын asal bir ısı sistemine destek olarak düşünülmesi daha doğru olur.

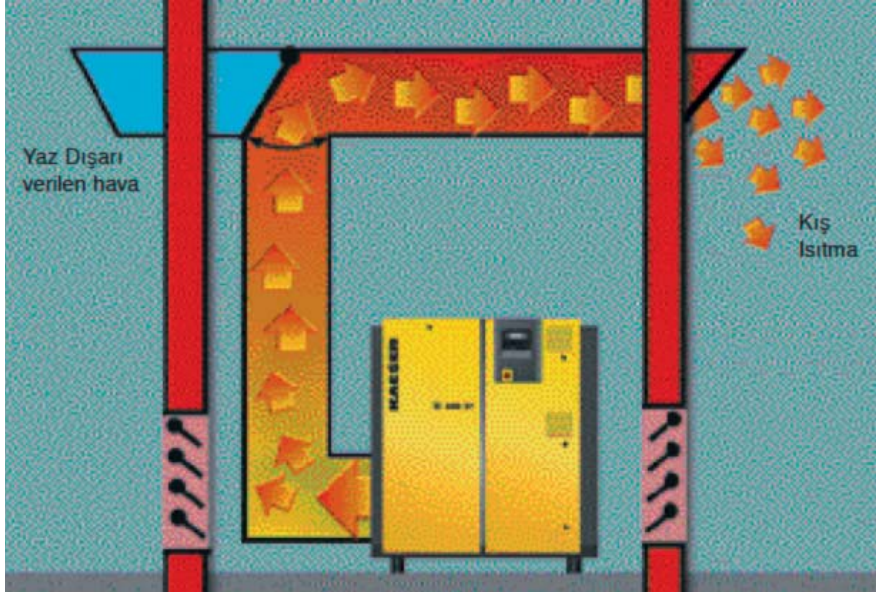
6.1.2.1. Hava Soğutmalı Sistemler: Hava soğutmalı kompresörlerde soğutma sonucu nispeten düşük sıcaklıkta fakat yüksek debili hava ortaya çıkar. Bunun en verimli kullanım alanı doğrudan ortam ısıtması veya proseslerde ön ısıtma (kurutma, brülör emiş havası vb.) olarak kullanılmasıdır.

Isıyı gerek duyulmayan durumlarda, hava akımı hareketli bir kapağın veya jaluzinin manula veya otomatik olarak katlanmasıyla dış ortama iletilir (Bkz. Şekil 2).

Termostat ile ayarlanan jaluzi kumandası, hava sıcaklığının sabit tutulmasına veya tam olarak ayarlanmasına izin verir.

Bu tip geri kazanımda önemli kısıtlama, geri kazanım ısıısının kullanıldığı noktanın, kompresör dairesine yakın olması gereğidir.

Doğrudan hava ile ısı geri kazanımı ufak ve orta büyüklüklerdeki kompresörler için uygundur. Soğutma havası doğrudan kullanıldığı ve kayıplar az olduğu için yatırımda düşüktür.



Şekil 2: Sıcak havanın doğrudan ısıtma amaçlı kullanımı için hava kanallı ve yaz-kış kumandalı sistem

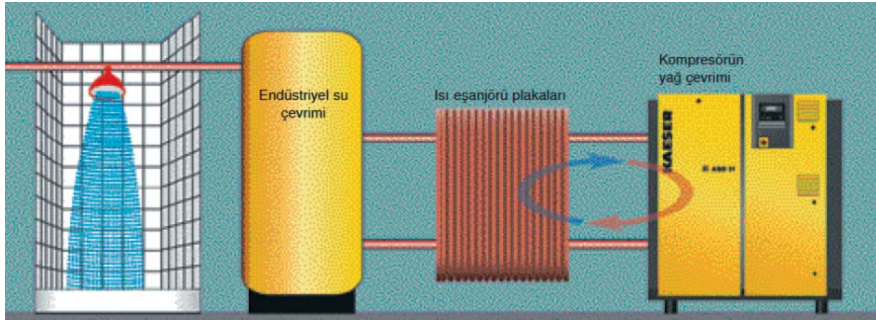
6.1.2.2. Su Soğutmalı Sistemler: Su soğutmalı kompresörlerde, 900 C'ye varan sıcaklıklarda soğutma suyu çıkışı mümkündür. Bu sıcak su, yıkama, temizlik işlemlerinde veya sıcak su boiler'ına destek olarak doğrudan kullanılabilir.

Kompresör tipine bağlı olarak soğutma suyunun kullanılma şekli değişebilmektedir. Yağsız çalışan kompresörlerde soğutma suyu sıcaklığı 900 C'lere ulaştığı için geri kazanımı daha kolaydır. Yağlı kompresörlerde ise düşük kompresyon basıncından dolayı, sıcaklık seviyeleri düşüktür.

Su bazlı atık ısı geri kazanımı, motor gücü 10 kW üzeri olan kompresörler için verimli olmaya başlar. Hava soğutmalı örneklerden farklı olarak su soğutmalı sistemlerde ısı geri kazanımı daha fazla yatırıma gerektirmektedir.

Geri kazanım sisteminde, pompa, eşanjör ve ayar vanaları gibi elemanlar yer almaktadır. Fakat bu sistemlerde sıcak suyun daha uzak kullanım noktalarına ulaştırabilmesi olanağı bulunmaktadır. Bu sayede de kullanım miktarı ve süresi artabilmektedir ki bu da geri dönüşüm süresini azaltmaktadır.

Hava soğutmalı yağlı kompresörlerde, yağ devresine ısı eşanjörü bağlanarak 50-600 C civarlarında sıcak su elde etmek mümkündür.



Şekil 3: Eşanjörlü atık ısı geri kazanımı

6.2. Hava Kaçaklarının Önlenmesi

Basınçlı hava sistemlerindeki kaçakların önlenmesi, enerji tasarrufu için önemli bir fırsattır. Sistematik bakım alışkanlığı olmayan işletmelerde hava kaçakları toplam üretilen hava miktarının %25 ile %30'una varan ve hatta bazı olumsuz durumlarda geçen oranlara ulaşabilmektedir. Pratik olarak bu kompresöre harcadığınız elektrik enerjisi miktarının havaya atılmasıdır.

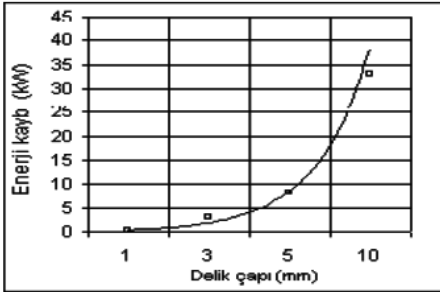
Kaçaklar çoğunlukla emniyet valfleri, boru ve hortum bağlantı noktaları, kesici valfler, yol verme kaplinleri ve pnömatik ekipmanlarda meydana gelir. Sıcaklık değişimi ve titreşim, bağlantıların gevşemesinin ve böylece de sızıntıların artmasının başlıca nedenidir.

Kaçak miktarı asıl olarak, hat basıncına ve havanın kaçtığı deliğin büyüklüğüne bağlıdır. Kompresör emişi ve kaçak noktasındaki hava sıcaklığı da ikincil

etkenlerdir. Basınç ve delik çapına bağlı olarak kaçak miktarı Tablo 1. de verilmiştir.

Delik çapı (mm)	Çalışma basıncı (bar)				
	2	4	6	8	10
0.5	8	12	15	20	25
1	30	45	65	85	105
1.5	55	90	125	160	200
2	100	170	240	310	380
3	225	375	520	675	825
4	410	700	980	1250	1500
5	640	1050	1500	1870	2300
6	900	1520	2120	2750	3350
8	1250	2700	3770	4800	5850
10	1950	4230	5900	7500	9200

Tablo 1: Delik çapı ve hava basıncına göre kaçak miktarları (litre/dakika)



Tablodan görülebileceği gibi delik çapı, kaçak ilişkisi eksponensiyeldir. Delik çapı büyüklüğüne göre kW olarak kaybedilen güç miktarı Şekil 1. de verilmiştir.

Şekil 1. Delik çapı ve kaybedilen güç ilişkisi

6.2.1. Kaçak Miktarının Tahmini: Eğer basınçlı hava dağıtım sisteminde, kompresör çıkışı ve/veya kullanım noktalarında hava sayacı varsa bunlar kullanarak, hava tüketiminin olmadığı zamanlarda kaçak miktarı ölçülebilir. Ölçüm olanığının olmadığı sistemlerde, basınca dayalı start/stop kontrollü kompresör ile sistemdeki kaçak oranı kolaylıkla tahmin edilebilir. Sistem devre dışı ve hiç hava kullanımı yokken, kompresör çalıştırılır. Kompresörün yüksüz ve yüklü durumdaki çalışma süreleri bir kaç kez ölçülür.

Şöyle ki; hava kullanımı olmadığı durumda, kompresör yüklü konuma geçerek hatları ayarlanan basınç seviyesine belirli bir çalışma süresinde ulaştıracak ve yüksüz konuma geçecektir. Kaçaklar nedeniyle belirli bir süre sonra devrede basınç düşmeye başlayacağından, alt basınç ayarına gelindiğinde kompresör tekrar yüklü konumda çalışmaya başlayacaktır. Bu zamanlar bir kaç kez ölçülerek, aşağıdaki formül ile kaçak oranı hesaplanabilir.

$$\text{Kaçak Oranı} = \frac{T \times 100}{T + t}$$

T : Yüklü durumda çalışma süresi (Dakika)

t : Yüksüz durumda çalışma süresi

Bu ölçüm sırasında dikkat edilmesi gereken nokta hava kullanımının olmamasıdır. Aksi takdirde kullanılan hava kaçak miktarı gibi hesaplanarak yanıtlanabilir.

Ölçüm sonucunda kaçak miktarı;

- %10 - %15 arası bir değerde ise kontrol altında bir sisten olduğu düşünülebilir
- %20 ye kadar kabul edilebilir fakat iyileştirmelerin başlatılması ikazıdır
- %20 üzeri ise sisteminizde aşırı kaçak var demektir.

6.2.2. Kaçak Noktalarının Tespiti: Hava kaçakları görülemedikleri için tespitleri de çok zordur. En basit metot, çalışmanın dolayısıyla gürültünün olmadığı zamanlarda kaçak sesinin dinlenmesi ve kaçağın yerinin tam olarak belirlenmesi için sabunlu su uygulamasıdır. İşletmenin büyüklüğüne göre hava devrelerinin uzunluğu ve ekipman sayıları göz önüne alındığında çok zaman alıcı bir metottur.

Hava kaçak tespitini kolaylaştıran bir metot ise Ultrasonik Ses Detektörü kullanımıdır. Ultrasonik Detektör hava kaçak noktalarında yüksek frekanslı tıslama sesini hissederek yer tespitini yapar. Hatta gelişmiş modelleri delik çapı tahmini de yapabilmektedir. Fakat bu metot içinde ekipman yatırımı ve yine zaman gerekmektedir. Aslında hava kaçaklarının belirli bir oranına katlanılıyor olunmasının sebebi mücadelenin zorluğu ve maliyetidir.

6.2.3. Kaçakların önlenmesi: Bu konuda iki metottan bahsedilebilir;

- Kaçakların tespit edilerek tamir edilmesi,
- Tamirat yapmadan mevcut noktalardan kaçakların azaltılması

İlk metot kaçakların bulunması ve gerekli tamiratın yapılması yoludur. Kaçaklar çok sıklıkla bağlantı ve ek noktalarında oluşur. Çoğunlukla gevşek bağlantılar sıkılarak veya hatalı fitting, boru, hortum, elastik bağlantı veya ekipman değiştirilerek giderilebilir. Bir çok durumda kaçağın en önemli nedeni dişli bağlantılarda kullanılan sızdırmazlık conta veya benzeri malzemelerin kötü montajı ya da kalitesizliği olduğu görülmüştür. Daha kaliteli boru, hortum, fittings veya sızdırmazlık elemanlarıyla bakım periyotları uzatılabilir.

Diğer taraftan devre dışı makine ve tesislerde önemli kaçak kaynağı olabilirler. Bu gibi durumlarda en kesin yol, vanasının tamamen kapatılarak veya dağıtım hattı ile bağlantısının kesilerek izole edilmesidir. İkinci metot ise, ilkiyle birlikte kullanılabileceği gibi zor ve ekonomik olmayan kaçak mücadeleleri durumunda tek başına da uygulanabilir. Bu sisteminde iki farklı uygulaması olabilir;

- Mümkün olduğu durumlarda genel hava basıncının düşürülmesiyle, aynı kaçak noktasıyla bile kaçak miktarı azaltılabilir. Örneğin 1 mm. çapında bir delikten hava kaçağı, basıncı 6 bardan 4 bara düşürmek ile %30 civarında azaltılabilir.
- Yine kontrol vanalarıyla makine veya tesisin hava kullanımı, faal olmadıkları durumda (iki çevrim arası, çay ve yemek molaları gibi) kesilebilir. Böylelikle faal çalışma dışındaki zamanlarda kaçaklar önenebilir.

Sonuç olarak, hava kaçaklarının giderilmesi sürekli ve ısrarlı bir çalışma ile tüm çalışanların katılımını gerektirir. Sadece bakımçıların çabası yeterli olmayabilir. Üretimde çalışanların katkısı ve yönetimin desteği gereklidir.

BÖLÜM 7: BASINÇLI HAVA SİSTEMLERİNDE ENERJİ VERİMLİLİĞİ SEMPOZYUM SUNUŞLARI

7.1. ATLAS COPCO



COMMITTED TO SUSTAINABLE PRODUCTIVITY

We stand by our responsibilities towards our customers,
towards the environment and the people around us.
We make performance stand the test of time. This is what
we call – Sustainable Productivity.

AJANDA

- Kısaca Atlas Copco
- Kompresör Tekniği Bölümü
- Kompresör Tipleri ve Doğru Kompresör Seçimi
- Kontrol Sistemleri ve Otomasyon
- Kompresör Dairesi Yerleşimi ve Hava Tesisi
- Basınçlı Hava Şartlandırma
- Basınçlı Hava Sistemlerinde Bakım
- Sorular

Atlas Copco

KISACA ATLAS COPCO

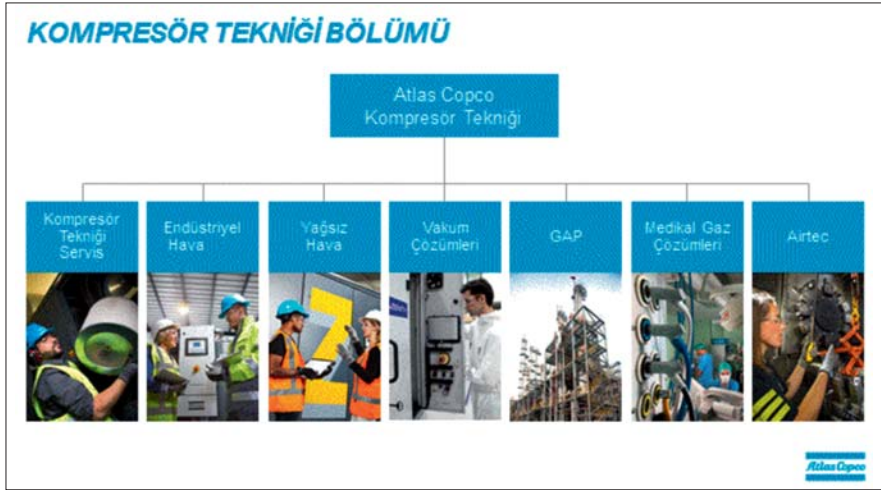
Kuruluş Tarihi ve Merkezi	1873 Stockholm, Sweden
İş Kolları	▪ Kompresör Tekniği ▪ Endüstri Tekniği ▪ Maden ve Kaya Kazı Tekniği ▪ İnşaat Tekniği
Global Varlık	180'den fazla ülkede faal
Çalışan Sayısı	91 ülkede 44 binin üzerinde çalışan
Yıllık Ciro	BSEK 94 (BEUR 10.3) (10 milyar doların üzerinde)



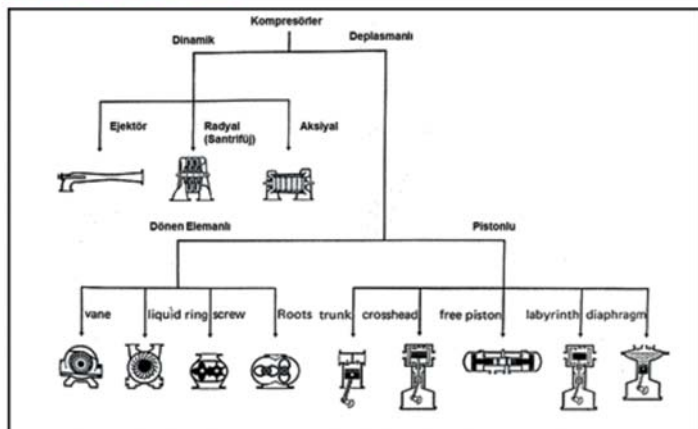
Atlas Copco

BÖLÜM 7: BASINÇLI HAVA SİSTEMLERİNDE ENERJİ VERİMLİLİĞİ SEMPOZYUM SUNUŞLARI

7.1. ATLAS COPCO

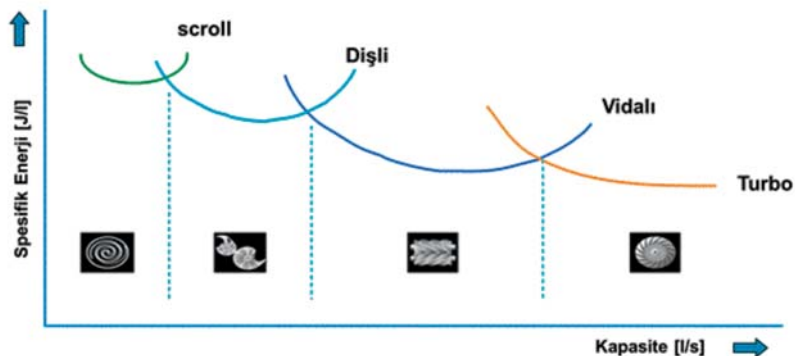


KOMPRESÖR TİPLERİ



Atlas Copco

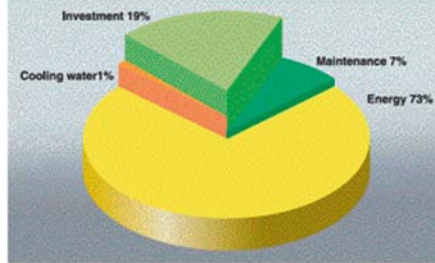
DOĞRU KOMPRESÖR SEÇİMİ



Atlas Copco

DOĞRU KOMPRESÖR SEÇİMİ

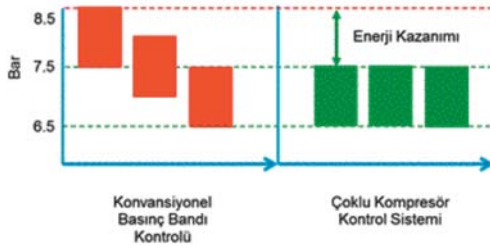
Karşılaştırma ve Seçim



- Yatırım maliyeti karar aşamasında önem arz ediyor.
- Toplam sahip olma maliyeti enerji tüketimi göz önünde bulundurularak verilmeli
- Bir yılda oluşan enerji maliyeti makina bedelinden fazla olabiliyor.

Atlas Copco

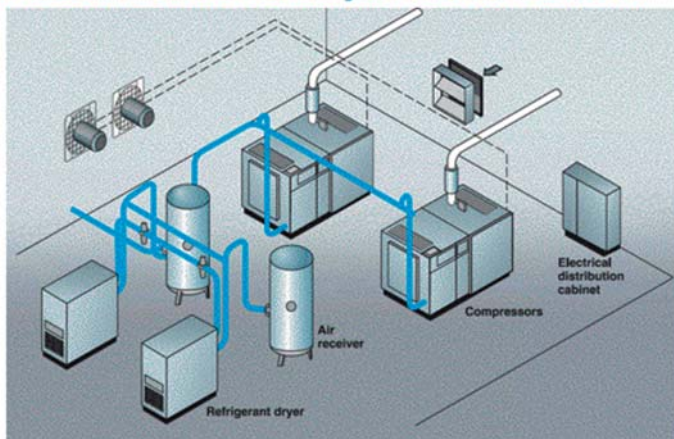
KONTROL SİSTEMLERİ VE OTOMASYON



- Bütün makina parkının izlenmesi ve optimizasyonu
- Enerji tüketimi, elektrik maliyetleri ve hava kaçaklarının azaltılması
- 1 [bar] lık basınç düşümü ortalama %7 enerji tüketimi azalması

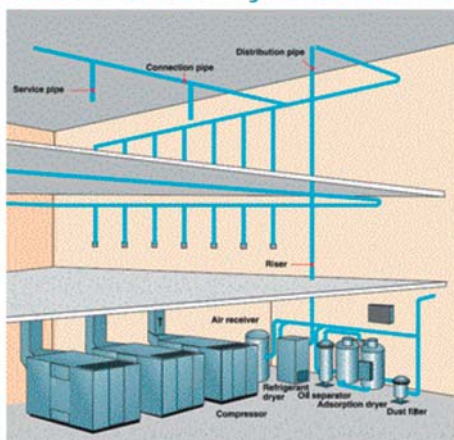
Atlas Copco

KOMPRESÖR DAİRESİ YERLEŞİMİ VE HAVA TESİSATI



Atlas Copco

KOMPRESÖR DAİRESİ YERLEŞİMİ VE HAVA TESİSATI



Atlas Copco

BASINÇLI HAVA HATLARINDA KAYIP VE KAÇAKLAR

Delik Çapı mm	7 Bar'da hava kaçağı l/sn	Sıkıştırma için güç harcaması kWh	Kaçağın yıllık * maliyeti EURO
1	1.2	0.4	245
3	11.1	4.0	2,453
5	31	10.8	6,623
10	124	43.0	26,368

* Bir yıl 365 Gün ve 24 saat olarak alınmıştır.

* 1 kWh 0,07 Euro olarak alınmıştır.

Atlas Copco

BASINÇLI HAVA ŞARTLANDIRMA

Tüm Basınçlı Hava Kullanıcıları Kaliteli Hava Çözümlerine İhtiyaç Duyar mı?



Basınç Düşümü

Hava Kaçakları

Kirli Oluşumu

Boş Harcama

Problemler

Sistem kurulumlarından sakıncalı sonuçlara kullandıktan daha uzundur. Hurdada ve yeniden işleme maliyetleri tüm sektörlerde şirketlerin karlılığını etkileyen bir üretim periyodudur.

Çözümler

Şartlandırma ekipmanları, basınçlı hava kalitesini optimize ederken, müşterilerimizin hurdada ve yeniden işleme maliyetlerini azaltmaktadır. Bu sayede artan verimlilik ve karlılık yakalanabilir.

Atlas Copco

BASINÇLI HAVA ŞARTLANDIRMA

Hava Kalitesi Nasıl Tanımlanır: ISO 8573-1

Class	Solid Particle Maximum number of particles per m ³			Water Pressure Dew point (°C)	Oil Including vapor (mg/m ³)
	0.1-0.5 micron	0.5-1.0 micron	1.0-5-micron		
0	As specified by the equipment user or supplier and more stringent than Class 1				
1	100	1	0	-70	0.01
2	100,000	1,000	10	-40	0.1
3	Not Specified	10,000	800	-20	1
4	Not Specified	Not Specified	1,000	3	5
5	Not Specified	Not Specified	20,000	7	Not Specified
6	Not Specified	Not Specified	Not Specified	10	Not Specified

Atlas Copco

BASINÇLI HAVA SİSTEMLERİNDE BAKIM



Atlas Copco müşterilerine en iyi servis hizmetini verebilmek için son Servis Teknolojileri, Bölgesel Lojistik Merkezleri ve yoğun Eğitim Programları gibi konularda yatırımlar yapmaktadır.

Atlas Copco

**COMMITTED TO
SUSTAINABLE PRODUCTIVITY.**



7.2. KAESER-TOPKAPI





Basınç kayıplarının önlenmesi

Şebeke boru hattında

Basınç kaybı nedenleri:

- Yetersiz basınçlı hava boru çapı
- Basınçlı hava şebekesinin düz olmaması (dirsek, T vs..)
- Boru bağlantı noktaları
- Türbülans
- Çok uzun boru hatları
- Duvarlardaki sürtünme



El aletinin basınç kaybına göre verim kaybı

Çalışma basıncı bar (g)	Kullanım Oranı	
	%	kW
6,0	100	3,0
5,5	86	2,8
5,0	74	2,2
4,5	62	1,9
4,0	52	1,6

Basınç kaybı basınçlı hava tüketiminin verimini azaltır ve/veya üretime yeterli olacak basınçlı hava üretim maliyetlerini artırır.

KAESER
KOMPRESSOREN

Basınç kayıplarının önlenmesi

Basınç kaybını telafi etmek için basınç yükseltmek ekstra bir maliyettir!

Örnek: $V = 30 \text{ m}^3/\text{dk}$
6 bar (g)'da 160 kW enerji tüketimi

7 bar (g)'da yaklaşık % 6 daha fazla güç gerekmektedir.
= basınçlı hava üretimi için ek olarak 9.6 kW daha

Ekstra Maliyet:

9.6 kW x TL 0,24 /kWh x 8.000 saat/yıl= **TL 18.432,00/yıl**



Basınçlı hava şebekesi:

İyi dizayn edilmiş şebekelerde, boru hattı şebekelerindeki 0,2 barlık bir basınç kaybı olur.

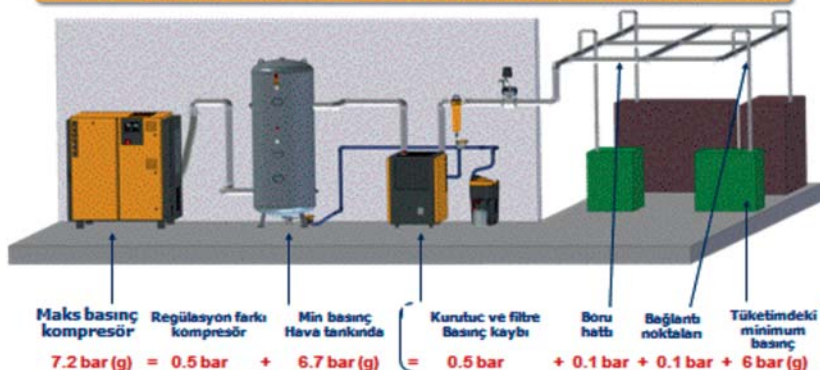
Örneğin pnömatrik el aletlerinin çalışma basıncı: 6 bar (g)

0.1 barlık bir basınç kaybı 3 bar (g)'lık bir düşük basınç sisteminde,
7 bar (g)'lık sisteme göre daha fazla enerji kaybına sebep olur.

Hava İhtiyacının Belirlenmesi

Maksimum basıncın belirlenmesi

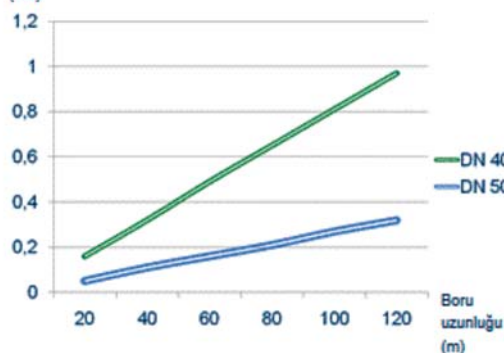
Kompresör istasyonundaki bütün basınç kayıpları hesaba katılmalıdır.



Boru hattı boyutlandırma

Minimum çap

Basınç kaybı
(bar)



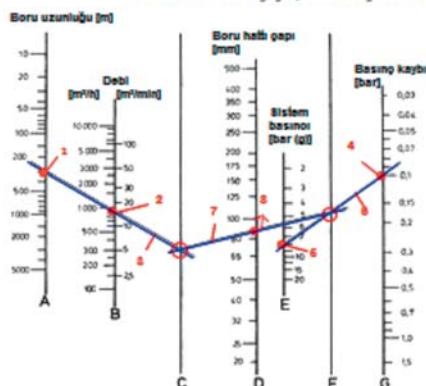
- Hava akışı
- Dizayn basıncı
- Uzunluk
- Malzeme'ye göre doğru boyutlandırma

Örnek: 10 m³/dk @ 7 bar

Hesaplama için, www.kaeser.com adresinden toolbox'u online servisler altında kullanabilirsiniz.

Boru hattı boyutlandırma

Boru hattının iç çapının ölçülmesi



Yaklaşık formül:

$$d_i = \sqrt[5]{\frac{1.6 \times 10^{-2} \times \dot{V}^{1.42} \times L}{\Delta p \times p_s}}$$

- d_i = Boru hattı iç çapı (m)
 p_s = Sistem basıncı (mutlak - Pa)
 L = Nominal uzunluk (m)
 $\dot{V}$ = Debi (m³/s)
 Δp = Basınç kaybı (Pa)

Use the KAESER Toolbox on www.kaeser.com

Kaçakların ölçülmesi

Kaçaklar yüksek maliyetlere sebep olurlar.



Örnek:

2 mm çapındaki bir delikten kaçan hava miktarı 6 bar (g) basınçta **0.257 m³/dk'** dir.

Burdan:

0.257 m³/dk x 60 dk/saat = **15.42 m³/saat**

15.42 m³/saat x 8,000 saat/yıl = **123,360 m³/yıl**

123,360 m³/yıl x (6 kW/(m³/dk) / 60 (dk/saat)) x 0.24 TL/kWh = **TL 2,960.00 €/yıl**

Delik çapı	Hava tüketimi 6 bar(g) m³/dk	Kayıp	
		kW	TL/yıl*
• 1 mm	0,065	0,46	750,-
• 2 mm	0,257	1,80	2.960,-
• 4 mm	1,03	7,21	11.865,-
• 6 mm	2,31	16,17	26.611,-

* Elektrik maliyeti: 0.24 TL/kWh
Kompresör spesifik gücü: 6 kW/(m³/dk)



Kaçakların ölçülmesi

Hava tankı çıkışı ölçümü

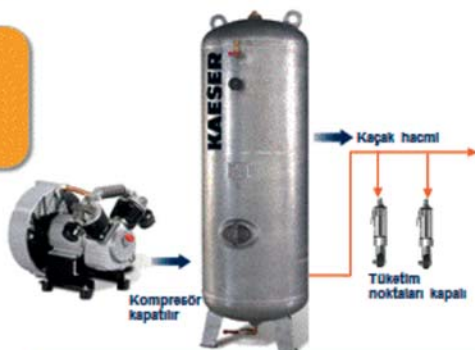
$\dot{V}_L$ = Kaçak akış hacmi
 V_B = Hava tankı hacmi
 p_A = İlk basınç, hava tankı
 p_E = Son basınç, hava tankı
 t = Ölçüm süresi

$$\dot{V}_L = \frac{V_B \times (p_A - p_E)}{t}$$

Örnek:

$V_B = 500$ l
 $p_A = 9$ bar (g)
 $p_E = 7$ bar (g)
 $t = 3$ dk

$$\dot{V}_L = \frac{500 \text{ l} \times (9 - 7)}{3 \text{ dk}} = 333 \text{ l/dk}$$



Sadece boru hatlarının hacmi hava tankının hacminin % 10'undan küçükse kullanılabilir.

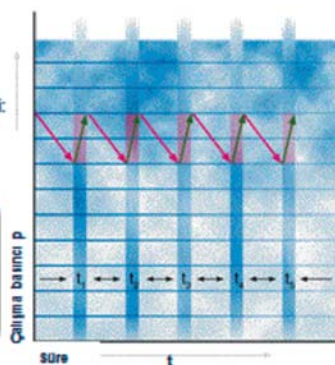
Kaçakların ölçülmesi

Kompresör yük/boş süresi ile

Son noktadaki tüketim cihazları kapatılarak kompresörün yük süresi ile kaçakların ölçülmesi:

$$\dot{V}_L = \frac{\dot{V}_K \times t_x}{T}$$

$\dot{V}_L$ = Kaçak akış hacmi (m^3/dk)
 $\dot{V}_K$ = kompresör kapasitesi (m^3/dk)
 t_x = Kompresörün yükte çalışma sürelerinin toplamı
 T = Toplam ölçüm süresi



Örnek:

$\dot{V}_K = 3$ m^3/dk
 $t_x = t_1 + t_2 + t_3 \dots = 120$ sn
 $T = 600$ sn

$$\dot{V}_L = \frac{\dot{V}_K \times t_x}{T} = \frac{3 \text{ m}^3/\text{dk} \times 120 \text{ sn}}{600 \text{ sn}} = 0.6 \text{ m}^3/\text{dk}$$

20 % kaçak

Kaçakların ölçülmesi

Ultrasonik cihazlar ile kaçakların belirlenmesi

- Basıncı hava hattı boyunca borular "dinlenerek" takip edilir. Kesin belirleme için kaçak seslerinin arttığı noktalara yoğunlaşılır.
- Yoğunluk sayesinde, kaçak miktarı tespit edilebilir.
 - Noktasal kaçak
 - Toplam kaçak miktarı
- Değerlendirme programı ile potansiyel enerji tasarruf miktarı belirlenir.



Boru hattı boyutlandırma

Kontrol listesi – not edilecekler



Boru hattı kesitleri:

- ☐ Hava tüketimi
- ☐ Boru hattı uzunluğu
- ☐ Çalışma basıncı
- ☐ Basınç kaybı
- ☐ Akış direnci

Yerleşim:

- ☐ Ring şebeke
- ☐ Bağlantı hattı
- ☐ Dal şebeke
- ☐ Boru bağlantıları
- ☐ Enstrümanlar

Bağlantı elemanları:

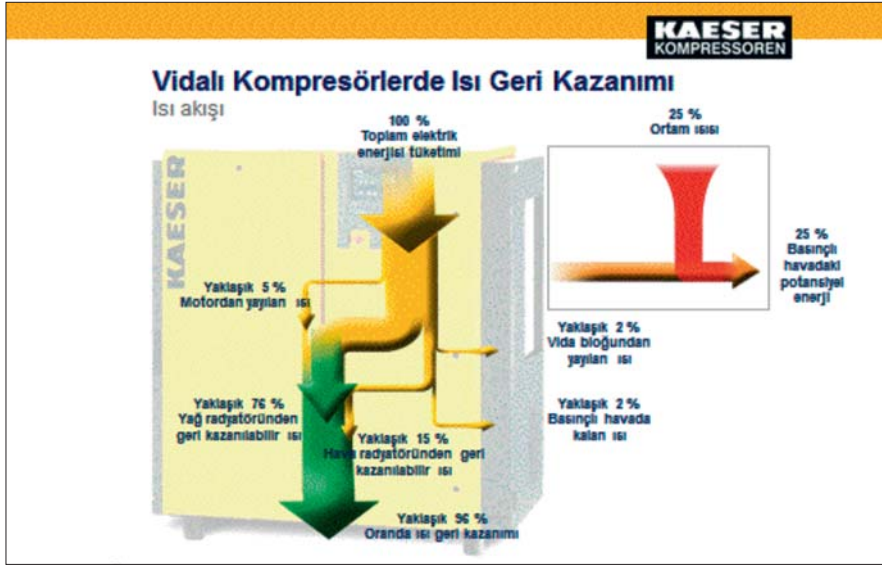
- ☐ Tüketim hattı ile hava şebekesi bağlantısı
- ☐ Kesme vanalar
- ☐ Kesme musluklar
- ☐ Kondens separatör
- ☐ Yağlayıcı
- ☐ Toz filtresi
- ☐ Yağ filtresi
- ☐ Basınç regülatörü
- ☐ Hortumlar
- ☐ Kaplinler

Malzeme seçimi:

- ☐ Ortam şartları (nem, sıcaklık, havadaki kimyasallar)
- ☐ Basıncı hava kalitesi ihtiyacı (nem ve yağ miktarı, sıcaklık)
- ☐ Maliyetler
- ☐ Tahmini kullanım ömrü

Gelişen işletmelerde, genellikle boru hattı uzatılır ama boru çapı değiştirilmez.





Egzoz Havasıyla Ortam Isıtma

Isı geri kazanımıyla ortam ısıtmasında tasarruf miktarı

Örnek hesaplama: Hava soğutmalı vidalı kompresör, 45 kW kompresör

Şaft Gücü: 47 kW
Motor verimliliği: 0,94
Isıtma periyodu: 150 gün
Yük periyodu: 24 saat / gün
Doğalgaz fiyatı: 0,94 TL / m³
Doğalgazın spesifik ısı değeri: 10,2 kWh/m³

Isıtma verimliliği: % 100
Toplam elektrik enerji tüketimi: 51.1 kW

Sıcak havadaki kullanılabilir enerji:

= Toplam enerji tüketiminin % 96'sı
= $0.96 \times 51.1 \text{ kW} = 48.03 \text{ kW}$

Tasarruf:

Kullanılabilir enerji x yükteki süre x doğalgaz fiyatı
Doğalgazın ısı değeri x ısıtma verimliliği

$$= \frac{48.03 \text{ kW} \times 3,600 \text{ s} \times 0.94 \text{ TL/m}^3}{10,2 \text{ kWh/m}^3 \times 1}$$

3,600 saat yük altında ~ 16,000.00 TL/yıl

Egzoz Havasıyla Ortam Isıtma

Isıtma enerjisi örneği



Örnek hesaplama: Hava soğutmalı vidalı kompresör
1500 m²'lik bina ısıtması

German WSVO'95'e göre yıllık enerji tüketimi: 100 kWh/(m²a)
Isıtma periyodu: 150 gün
Yük periyodu: 24 saat/gün

Yıllık toplam enerji tüketimi:
 $1500 \text{ m}^2 \times 100 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \text{ a}) = 150,000 \text{ kWh/a}$

Günlük ısı ihtiyacı: $\frac{150,000 \text{ kWh/a}}{150 \text{ day/a}} = 1000 \text{ kWh/day}$

Kompresörden kullanılabilir ısı miktarı: 48,03 kW

Günlük kullanılabilir ısı enerjisi:

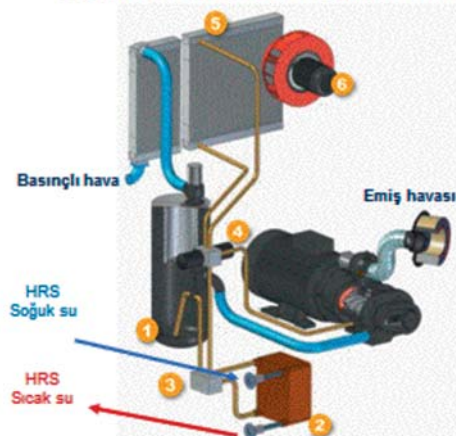
$48.03 \text{ kW} \times 24 \text{ saat/gün} = 1.152 \text{ kWh/gün}$

Her zaman bir güvenlik payıyla hesaplayınız!

KAESER
KOMPRESSOREN

Sıcak Su Kullanımı

Yağlı vidalı kompresörlerde ısı geri kazanım sistemi



- 1 Soğutma Yağı
- 2 Plaka tipi ısı eşanjörü
- 3 Isı eşanjörü için termostatik valf
- 4 İç sıvı devresi için termostatik valf
- 5 Radyatör
- 6 Fan

KAESER
KOMPRESSOREN

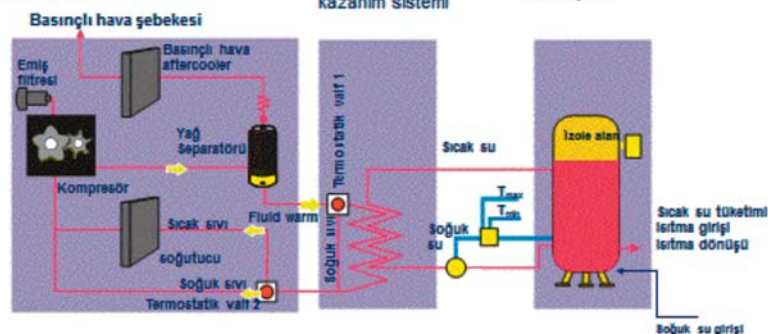
Sıcak Su Kullanımı

Sıcak su, örnekleştirme

Hava soğutmalı vidalı
kompresör

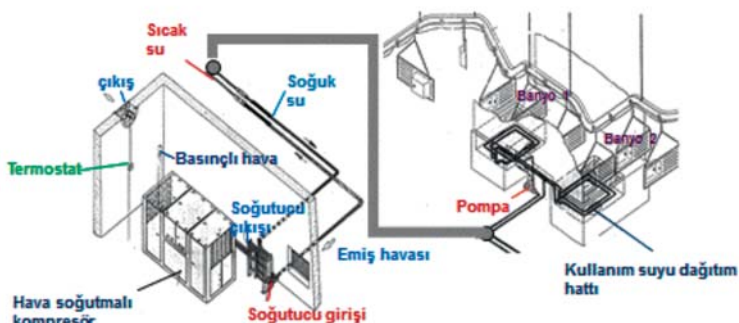
Isı geri
kazanım sistemi

Sıcak su depolama
konteyniri



Sıcak Su Kullanımı

Sıcak su, örnek yerleşim



Sıcak Su Kullanımı

Su ısıtmada tasarruf

Örnek hesaplama: Hava soğutmalı vidalı kompresör, 45 kW kompresör



Toplam enerji girişi:	51,1 kW
Isıtma periyodu:	150 gün
Yük periyodu:	24 saat/gün
Isıtma yağı fiyatı:	0.94 TL / m ³
Doğalgazın spesifik ısı değeri:	10,2 kWh/ m ³
Isıtma verimliliği:	% 100



Kullanılabilecek Isı Çıkaşı

Endüstriyel suyu ısıtmak için
= Güç tüketiminin % 76'sı
= $0.76 \times 51.1 \text{ kW} = 38.83 \text{ kW}$

Tasarruf:

Kullanılabilir enerji x yükteki süre x doğalgaz fiyatı
Doğalgazın ısıtma değeri x ısıtma verimliliği

$$= \frac{38.83 \text{ kW} \times 3,600 \text{ saat} \times 0.94 \text{ TL/m}^3}{10,2 \text{ kWh/m}^3 \times 1}$$

Yükte geçen 3,600 saatte **13,000 TL/yıl**

Sıcak Su Kullanımı

Endüstriyel ısıtma suyu ve ortam ısıtmada toplam tasarruf



Örnek hesaplama: Hava soğutmalı vidalı kompresör, 45 kW kompresör

Saatte ısıtılan endüstriyel su hacmi (giriş sıcaklığı 20 °C, çıkış sıcaklığı 50 °C)

Kalorimetrik denklem: $\dot{Q} = \dot{m} \times c \times \Delta t$

$\dot{Q}$ = Isı kapasitesi, $\dot{m}$ = Akış kütlesi, c = Spesifik ısı kapasitesi, Δt = Sıcaklık farkı

$$\begin{aligned} \dot{Q} &= 38,83 \text{ kW} \\ c_{\text{water}} &= 4,18 \text{ kJ/kg K} \\ \Delta t &= 30 \text{ K} \\ 1 \text{ kW} &= 3,600 \text{ kJ/h} \\ \dot{m} &= \frac{\dot{Q}}{c \times \Delta t} \\ &= \frac{38,83 \text{ kW}}{4,18 \text{ kJ/kg K} \times 30 \text{ K}} \times \frac{3,600 \text{ kJ/h}}{\text{kW}} \\ &= 1,114 \text{ kg/h} = 1,1 \text{ m}^3/\text{h} \text{ endüstriyel su} \\ \text{Ortam ısıtmada kalan enerji:} \\ \text{Toplam güç tüketiminin \% 20'si} \\ &= 0,20 \times 51,1 \text{ kW} = 10,22 \text{ kW} \end{aligned}$$

Tasarruf:

Kullanılabilir enerji x yükte süre x ısıtma yağı fiyatı
yağın ısıtma değeri x ısıtma verimliliği

$$= \frac{10,22 \text{ kW} \times 3,600 \text{ saat} \times 0,94 \text{ TL/m}^3}{10,2 \text{ kWh/m}^3 \times 1}$$

3,600 yükte çalışma saati için 3400.00 TL

Toplam Tasarruf

13.000,- TL (endüstriyel sıcak su)

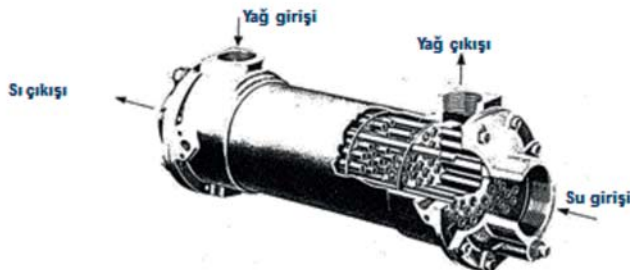
3.400,- TL (ortam ısıtma)

16.400,- TL/yıl → 3,600 yükte çalışma saati için

Isı Eşanjörleri

Boru tipi (Bundled-tube) ısı eşanjörü

- 70°C'ye kadar çıkış suyu sıcaklığı
- Sıcak su, içme suyu kalitesinde değildir.





Isı Eşanjörleri

Plaka tip (Plate-type) ısı eşanjörü

- Lehimli ve kat kat paslanmaz çelik plakalardan oluşur.
- Çok iyi ısı transfer kapasitesine sahiptir.
- Kompakt Tasarım
- 70 °C'ye kadar sıcak su (içme suyu kalitesinde değildir)



İçme suyu için uygun değildir!

KAESER
KOMPRESSOREN

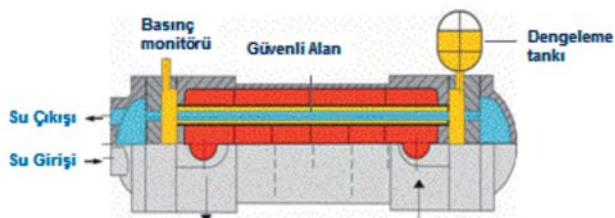


Isı Eşanjörleri

Güvenli tip (Safety) ısı eşanjörleri

- 70 °C'ye kadar sıcak içme suyu kalitesinde.
- Gıda, kantinler ve büyük mutfaklar
- İçme suyunun ısıtılması
- Kimyasal ve ilaç sanayi.

İçme suyu için uygun!



7.3. TOFAŞ TÜRK OTOMOBİL FAB. A.Ş.



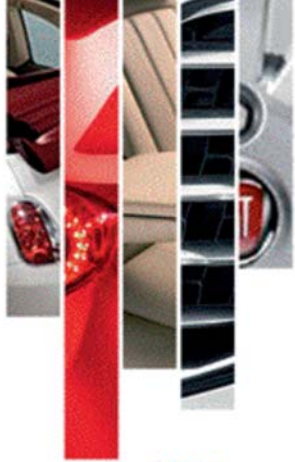
TOFAŞ TÜRK OTOMOBİL FABRİKASI A.Ş.

Basınçlı Hava Kullanımı Tüketim Azaltma Çalışmaları

Tofaş – Gövde Üretim Müdürlüğü

Ali GÖNÜLLÜ - Kasım 2015





Tofaş Türk Otomobil Fabrikası



TOFAŞ TÜRK OTOMOBİL FABRİKASI A.Ş.



Günlük Oto Üretimi : 1170



Gövde Üretim Müdürlüğü



TOFAŞ TÜRK OTOMOBİL FABRİKASI A.Ş.



Kapalı Alan : 73.000 m²

Basınçlı Hava Tüketimi: 25.000.000 Nm³ / yıl

Endüstriyel Robot : 750

Elektrik Tüketimi: 22.000.000 KWh / yıl

Ekipman Sayısı > 7000



Basınçlı Hava Üretimi



IDEAS ARE GROWING FASTER THAN EVER



- Tamamı su soğutmalı, 11 adet kompresör ile yağsız basınçlı hava üretilmektedir.
- Fabrika genelinde 6,5 barg ve 8 barg olmak üzere 2 farklı basınçta hava üretilmektedir.
- Basınçlı hava kalitesi ISO 8573-1 standardına göre Class 4'dür.
- Kurulu gücümüz 710 Nm3/dk'ke,
- Toplam basınçlı hava hattı uzunluğu 40,1 km'dir.
- Yıllık toplam basınçlı hava tüketimi 72.000.000 Nm3.



Tofaş'ta Üretim



Doblo Üretimi



Basıncılı Hava Kullanımı



Pnömatik Klempler



Basınçlı Hava Kullanımı



Pnömatik Kaynak Penseleri



Basınçlı Hava Kullanımı



Pnömatik Kaynak Penselerinin yerini servo penseler almaktadır.



Basıncılı Hava Kullanımı



Vakumla Taşıma



Basıncılı Hava Kaçakları



Üretim alanlarındaki gürültü seviyesi basınçlı hava kaçaqlarının kolayca fark edilmesini engellemektedir.



Basıncılı Hava Tüketimi Nasıl Azaltılabilir?



Hesaplamalarımıza göre 2011 yılı Gövde Ü.M. Basıncılı hava tüketiminin %70 den fazlası hava kaçağı idi.

2 vardiya çalışan bir tesiste net üretim süresi : $8,5 \times 2 = 17$ saattir.

- Kalan 7 saatte basıncılı hava kapatılarak % 30 a kadar tüketim azaltılabilir. Ancak bu sürede çok çeşitli noktalardaki bakım faaliyetleri ve kısmi üretimler nedeniyle genel basıncılı hava kapatılamaz. Lokal kapatılabilir.
- Gerçek tasarruf kaçaqları engellemekle sağlanabilir. Somut verilerle insanlarda farkındalık sağlanabilir.



Manuel İstasyon Basıncılı Hava Yönetimi



- Operatör çalışma alanını terk ettikten belirli bir süre sonra PLC şartlandırındaki valf yardımıyla havayı kapatır.
- Operatör tekrar çalışma alanına gelip çiftel kumandaya bastığı anda hava valfi tekrar aktif olur.



Robotik Üretim Hattı Hava Kontrolü



Robotik Üretim Hattı Hava Kontrolü



Robotik bir hatta yine aynı mantıkla çalışma bittiğinde hava kapatılır, iş başlangıç saatinde hattın resetlenmesi ile tekrar verilir. Hava verildiği sırada hattın güvenlik kapıları olmalıdır !!



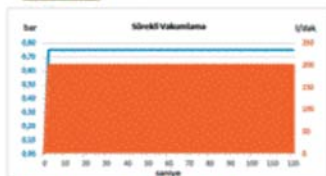
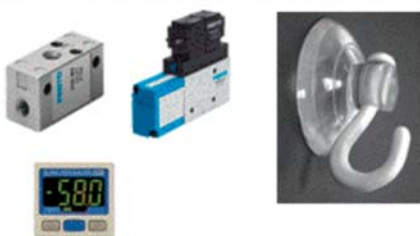
Hava Kaçağı Anlık İzleme



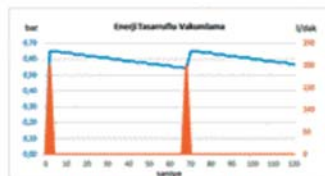
Basıncı hava kaçağı izleme ve hat kondüktörlerine hedef verme



Vakum Jeneratöründe Tasarruf



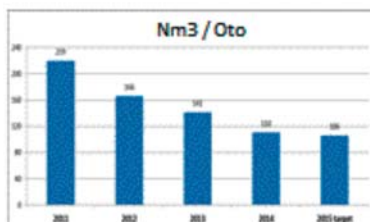
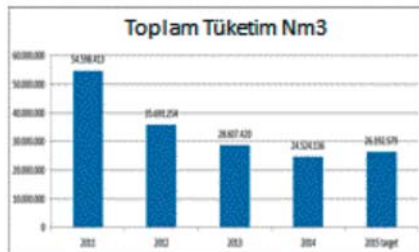
200 lt/dak → 100 m³ / 500 parça



5-10 lt/dak → 5 m³ / 500 parça



Gövde Basıncı Hava Tüketimi



TEŞEKKÜRLER

Notlar



A hand with a glowing palm is shown, surrounded by several pie charts. The charts display various data distributions, including percentages like 12%, 22%, 60%, 68%, 10%, 22%, and 68%.



BUSİAD
Bursa Sanayicileri ve İşadamları Derneği
Kültürpark İçi, Arkeoloji Müzesi Yanı, BURSA
Tel: 0224 233 50 18 (pbx)
Faks: 0224 235 23 50
Web: www.busiad.org.tr