

Basınçlı Hava Kurutucular: Genel Tanıtım

Erol ERTAŞ*

Özet

Yazıda, basınçlı havanın kurutulmasının önemi ve faydaları açıklandıktan sonra; basınçlı hava kurutma prensipleri ve uygulanış şekilleri şema ve diyagramlarla açıklanmaktadır. Uygun basınçlı hava kurutucu tipinin seçimi ve kuru basınçlı havaya gereksinim duyulan uygulamalardan örnekler verilmektedir. Son kısımda, basınçlı hava kurutucuların basınçlı hava şebekelerine bağlanması hakkında örnek ve öneriler ele alınmaktadır.

Anahtar Sözcükler: Basınçlı hava kurutucu, mekanik soğutma, kapasite kontrolü, enerji tasarrufu, termal volan, adsorpsiyon, adsorpsiyonlu kurutucu, membran kurutucu

1. GİRİŞ

BASINÇLI HAVA DOĞAL OLARAK NEM İÇERİR
Basınçlı hava normal atmosferik çevre havasından elde edildiğinden, su buharı duru - munda nem içerir. Su miktarı sıcaklıkla değişir. Hava ne kadar sıcaksa; o kadar fazla miktarda su buharı taşıyabilir. Bu nem, kontrol edilme - diği takdirde, basınçlı hava tesisatı içinde sıvılaşır ve birçok problem çıkmasına sebep olur. Atmosferden emilen hava içindeki tozlar ve kompresörden katılan yağlama yağı ile beraber oldukça zarar verici bir macun oluşturur. Bu macun, contaları etkiler, bozar; havalı el aletler - ine zarar verir, kontrol ve ölçme enstrümanlarının yanlış çalışmalarına yol açar.

Aşağıda sayılan şu aksaklıklar pahalıya mal olabilir:

VERİM KAYBI

Havalı el aletleri ve kontrol sistemleri paslanarak

ve-rim kaybına uğrarlar. % 100 kapasitede çalışamazlar.

GEREKSİZ MASRAFLAR

Basınçlı hava sistemi içinde bulunan su, maliyetleri artırır. Sadece su ayırıcıların kullanıldığı şebekelerde de verimler düşük ve bakım masrafları yüksektir.

KESİNTİLER

Basınçlı hava içindeki su, çalışma esnasında kesintilere neden olarak üretim kayıplarına yol açar. Valflar ve kontrol elemanları, suya maruz kalınca bozulurlar. Pnömatik silindir pistonları tutukluk yapar veya değişik hızlarda çalışarak ürün ıskartalarına neden olurlar.

BAKIM MASRAFLARI

Nemli hava el aletlerinin, valfların, silindirlerin, boya tabancalarının ve enstrümanların daha sık ve düzenli bakım ve tamirini gerektirir.

* Dr. Müh.

Bu yarıya veya karışımına-ileme-temizleme gibi, ürünle basınçlı havanın doğrudan doğruya teması olan durumlarda üründe kalite bozuklukları ortaya çıkabilir.

2. BASINÇLI HAVANIN KURUTULMA YÖNTEMLERİ

2.1. Nemin Yoğuşturulması

2.1.1. Mekanik Yöntem

(Havanın kullanma basıncından daha yüksek bir basınca kadar "aşırı" sıkıştırılması, çevre havası ile soğutulması, yoğuşan nemin ayrılması, basıncın kullanma basıncına düşürülmesi.)

Böylece çiğlenme sıcaklığı, çevre sıcaklığından daha düşük olan bir basınçlı hava elde edilebilir. Basınçlı hava kurutucuların bulunmadığı eski yıllarda ve halen bunların temin edilemediği seyyar şantiye şartlarında bu yöntem kullanılmaktadır.

Yöntem termodinamikte ideal gaz buhar karışımları için geçerli olan Dalton Kanunu'na dayanmaktadır:

Bir kap içindeki bir gaz karışımının basıncı, bu kap içinde bulunan gaz ve buharlardan her birinin kap içinde yalnızca bulunurken sahip olduğu gaz (buhar) kısmi basınçlarının toplamına eşittir.

Bir kaptaki buharın (kısmi) basıncı yalnızca sıcaklığına bağlıdır.

Sonuç olarak hava ve su buharının karışımı olan nemli havanın içindeki su buharının kısmi (parsiyel) basıncı sadece sıcaklığa bağlı iken, ikinci unsur olan havanın kısmi basınç payı artan basınçla orantılı olarak arttığından; basınç yükseldikçe hava içinde buhar olarak karışımında kalabilecek su buhar miktarı azal -
maktadır. Şekil 2.1'den herhangi bir basınçtaki neme doymuş havanın buhar halinde içere -
bileceği su (nem) miktarı $[g/m^3]$ alınabilir.

Yıkılığında ve sıcaklığı aynı kalıyorsa, basınçlı havanın hacmi (büyük bir yaklaşıklıkla ideal gaz kabul edilip $p_1 v_1 = p_2 v_2$ izoterm hal değişim denklemi uygulanırsa) 10'da 1'e ($0,1 m^3$) düşmektedir. Bu halde hava içindeki su buhar miktarı da azalan hacimle orantılı olarak diyagramda verilen değer 1/10'una düşmektedir. Diyagram, her basınçtaki $1 m^3$ havanın doymuş halde taşıyabileceği nem miktarını vermektedir.

Bu hava genişletilerek serbest hava haline getirildiğinde içereceği nem miktarını :

$$x_s = x_{ps} / p \quad (1) \text{ basit formülünden hesaplayabiliriz.}$$

$x_{ps} [g/m^3]$ mutlak basıncındaki havanın içerdiği nem,

$x_s [g/m^3]$ serbest (1 bar mutlak basınçtaki) havanın içerdiği nem,

$p [bar]$ havanın mutlak basıncı.

Örnek 1. $20^\circ C$ sıcaklık ve 7 bar manometre basıncındaki basınçlı havanın serbest hale geldiğinde içereceği nem miktarı:

Şekil 2.1'deki diyagramdan: $x_s = 0,017 g/m^3$ alınarak;

$$x_{ps} = 0,017 / 8 = 0,0021 g/m^3 \text{ bulunur.}$$

Örnek 2. Hava 24 bar mutlak basınca sıkıştırılıp $40^\circ C$ 'ye kadar soğutulurak yoğuşan suyu alındıktan sonra 7 bar manometre basıncına düşürülerek kullanıma arz ediliyor. İçerdiği nem miktarı ve buna karşıt çiğlenme sıcaklığı derecesini Şekil 1'deki diyagramdan istifade ederek hesaplayınız.

24 bar 'a $40^\circ C$ şartındaki basınçlı havanın içerebileceği nem miktarı : $x_{ps} = 57 g/m^3$

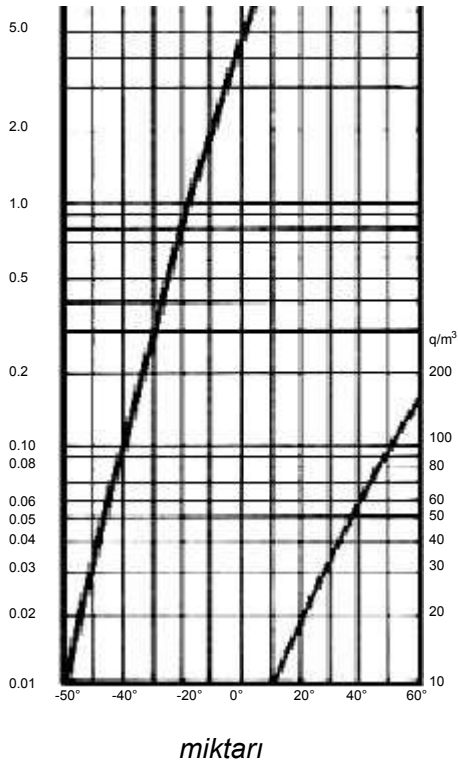
Bu hava 7 bar $g = 8$ bar a basınca düşürüldüğünde içereceği nem miktarı: $x_{ps} = 8 / 24 \times 57 = 19 g/m^3$

Buna karşıt olan denge sıcaklığı; diyagramdan $20^\circ C$ olarak bulunur (7 bar g 'deki havanın çiğlenme sıcaklığı).

Şekil 2.1. Herhangi bir basınçta, $1 m^3$ hacimdeki neme doymuş havanın buhar olarak karışımında taşıyabileceği su buharı



pas metodu veya başka bir kapasite kontrol yöntemi ile düşürülerek nemli havanın çiğlenme sıcaklığının $0^\circ C$ 'nin altına düşmesinin önüne geçilir. Şekil 2.2 ve 2.3'te iç-içe borulu eşanjör kullanılan (küçük-orta kapasiteli) bir BHK'nın şeması görülmektedir. Enerji tasarrufu açısından BHK'nın nemli su buharı



2.1.2. Soğutma Yöntemi İle Kurutma (Mekanik Soğutmalı Kurutucular)

Basınçlı havanın en fazla kullanılan kurutma yöntemi, onu bir soğutma makinası (sistemi) yardımı ile soğutmaktır. +2/+4 °C'ye kadar soğutulan basınçlı havanın içerdiği su buharının büyük bir kısmı, sıvı su (kondensat) haline getirilerek ondan ayrılır. Böylece hava kurutulmuş olur. Kompresyonlu (mekanik soğutmalı) bir soğutma sistemi yardımı ile çalıştırılan basınçlı hava kurutucular -BHK- iki ana gruba ayrılırlar:

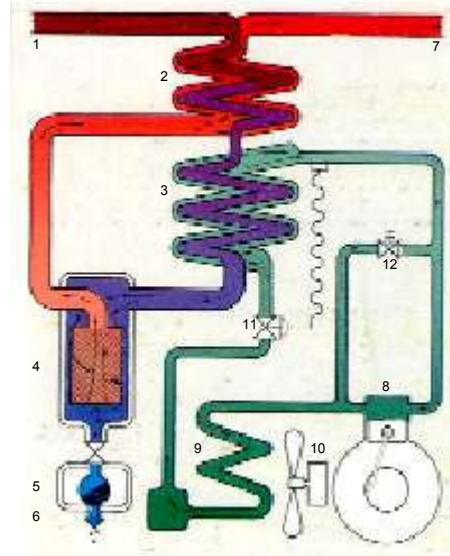
2.1.2.1. Kapasite Kontrollü Soğutma Kompresörlü Basınçlı Hava Kurutucular

Küçük ve orta debili BHK'larda soğutma kompresörü devamlı çalışır; hava debi veya geliş sıcaklığının azalmasından dolayı gerekli soğutma kapasitesinin bir kısmı sıcak gaz bay -

tasarrufu açısından, BHK'ya giren nemli-sıcak bh önce bir hava, hava ısı eşanjöründe ters yönde akan soğuk ve kuru bh tarafından ön soğutmaya tabi tutulmaktadır.

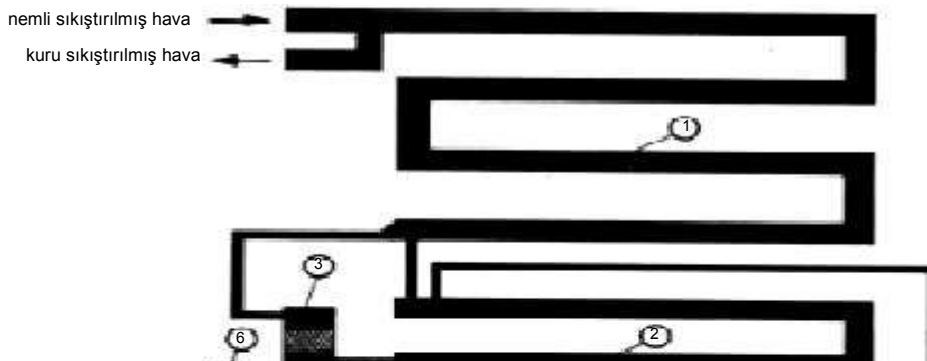
Büyük kapasiteli BHK'larda kullanılan soğutma kompresörlerinde kapasite kontrolü uygulanarak kısmi yüklerde enerji tasarrufu sağlanır. Orta kapasitelerde, BHK birden fazla soğutma devresiyle düzenlenerek daha etkin bir enerji tasarrufu sağlamak mümkündür.

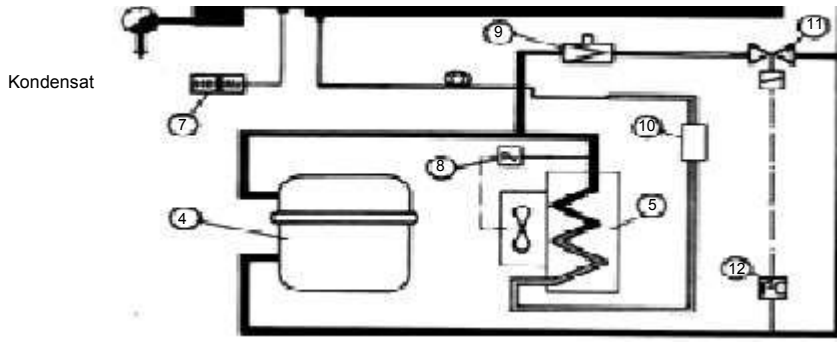
Tüm soğutmalı BHK'larda bh sıcaklığının



Şekil 2.2. Bh çiğlenme sıcaklığının; dolayısıyla soğutma sisteminin kapasitesinin, sıcak gaz baypas yolu ile kontrol edildiği, bir basınçlı hava kurutucunun şeması

0°C'nin altına düşmesi tehlikelidir. Bu durumda bh'dan ayrılan su kar-buz (katı) halde olduğundan; boruları tıkar ve hava geçmez olur. İstek dışı oluşan böyle durumlarda, enerji kesilerek sıcaklığın 0°C'nin üzerine yükselmesini beklemek gerekir. Bu esnada çok gerekli olan kısımlara, nemli de olsa, basınçlı havanın gidebilmesi için kurutucu baypas vanası biraz açılır. Bu şekilde bh geçişinin daha çabuk açılması sağlanır. BHK





Şekil 2.3. Sıcak soğutkan gazı baypas kontrollü BHK otomatik kontrol elemanları (soğutkanın genişmesi, drayerden sonra -ince bir çizgi ile gösterilen- kılcak boruda gerçekleşiyor)

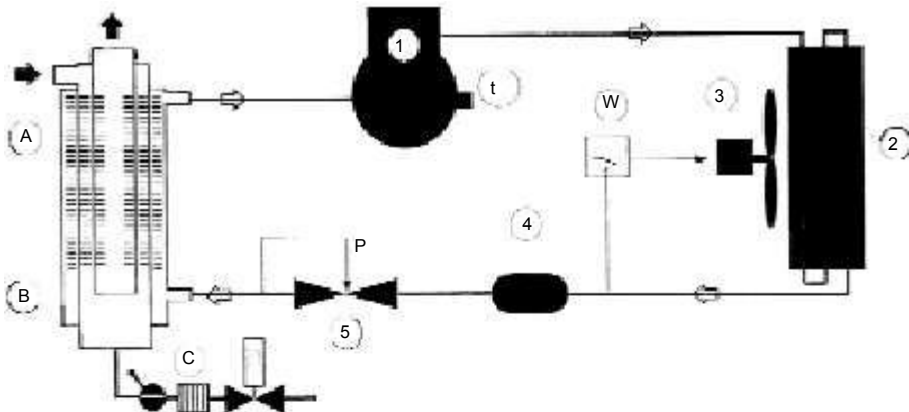
- | | |
|--|---|
| 1 Hava/hava ısı eşanjörü (iç-içe borulu) | 7 Basınçta çığlenme sıcaklığını gösteren termometre |
| 2 Soğutkan/hava ısı eşanjörü (hava soğutucu) | 8 Kondenser fan kontrol rölesi |
| 3 Kondensat (su) ayırıcı | 9 Sıcak gaz baypas regülatörü |
| 4 Soğutma kompresörü | 10 Soğutkan kurutucu (drayer) |
| 5 Hava soğutmalı kondenser | 11 Solenoid valf (SV) |
| 6 Otomatik su (kondensat) boşaltma | 12 SV basınç kontrol pressostati |

bağlantısının baypas vanalı yapılması bu bakımdan çok faydalıdır. Bunun ötesinde tüm BHK'ların boru hattından kazara gelebilecek her büyüklükte katı maddelerle tıkanmalarını önlemek için girişlerine bh-pislik tutucusu veya bh-filtresi koyulması önemle tavsiye edilir.

Küçük kapasiteli BHK'larda, emilen soğutkan buharları tarafından soğutulan; tam kapalı (hermetik) soğutma kompresörlerinin soğutma kapasitesi, müsaade edilir oranda sıvı soğutkanın, evaporatörden buharlaşmadan geçerek, kompresöre döndürülmesi ile de kontrol edilebilir. Bu durumda, buharlaştırıcı girişinde, buharlaşma basıncını kontrol eden bir genişleme vanası kullanılır. Basıncı hava geçişinin herhangi bir şekilde durması, azalması veya giriş sıcaklığının çok düşmesi halinde soğutma kompresörünü korumak için; bir koruma termo-

statı mevcuttur. Şekil 2.4 'te yukarıda görülen iç içe boru geometrisinden farklı; özel olarak geliştirilmiş, hava/hava ısı eşanjörü ile hava soğutucunun tek gövde bünyesinde kombine edildiği bir bhk 'nın şeması görülmektedir. Burada soğutkan soğutucuya bir sabit basınç genişleme valfi kontrolü altında girmektedir.

Kurutucu kapasitesinin büyümesi ile, baypas kontrol valfindan çıkan kızgın soğutkan buharlarının hermetik kompresör motoruna veya kompresöre zarar vermemesi için; soğutma kompresörü emişine gelmeden önce soğutulmaları gerekir. Şekil 2.5'te orta büyüklükte baypas kontrollü bir bhk'da uygulanan çözüm şekli görülmektedir.

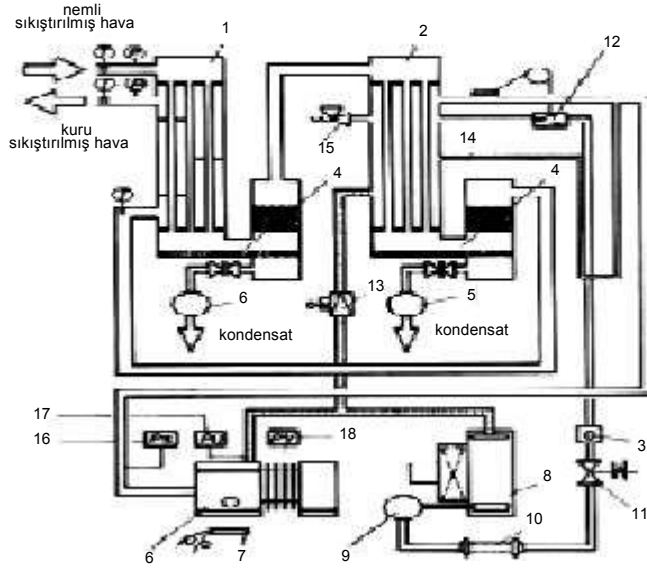


Şekil 2.4. Soğutkanın soğutucuya bir sabit basınç genişleme valfi kontrolünde girdiği BHK şeması

- | | |
|----------------------|---|
| 1 Soğutma kompresörü | A Hava soğutucu (soğutkan buharlaştırıcı) |
|----------------------|---|

- 2 Hava soğutmalı kondenser
- 3 Fan
- 4 Soğutkan filtre-kurutucu (filtre-dryer)
- 5 Sabit buhar basıncı kontrollü genişleme valfi

- B Su ayırıcı
- C vana-pislik tutucu-zaman kontrollü sol. valf
- t Kompresör koruyucu termik röle
- W Fan kontrol pressostati



Şekil 2.5. Soğutucu içinde buharlaşan sıvı soğutkan seviyesinin, bir termostatik genişleme valfi; buharlaşma sıcaklığının, sabit basınç sıcak gaz baypas valfi ile sağlandığı bir BHK şeması

- 1 Hava/hava ısı eşanjörü
- 2 Soğutkan/hava ısı eşanjörü (soğutucu)
- 3 Sıvı gözleme camı
- 4 Su (kondensat) ayırıcı
- 5 Otomatik su boşaltma
- 6 Soğutma kompresörü
- 7 Karter ısıtıcı
- 8 Hava soğutmalı kondenser
- 9 Sıvı soğutkan deposu
- 10 Soğutkan kurutucu (drayer)
- 11 Solenoid valf
- 12 Termostatik kontrol valfi
- 13 Sıcak gaz baypas valfi
- 14 Yağ dönüş borusu
- 15 Emniyet valfi
- 16 Emme basıncı emniyet pressostati
- 17 Yüksek basınç emniyet pressostati
- 18 Basınç göstergesi (manometre)

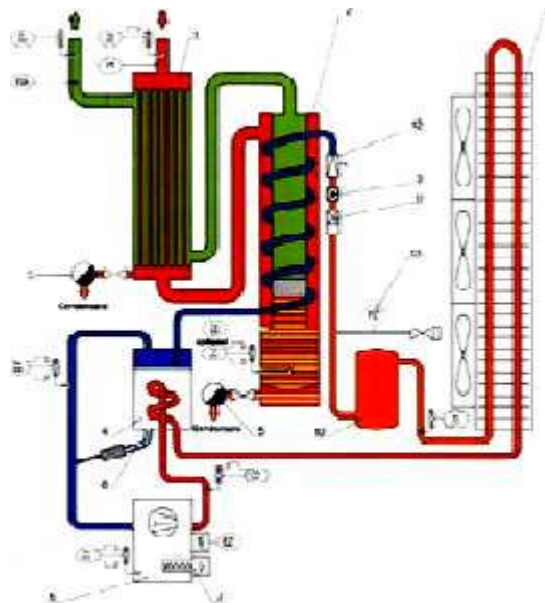
Kompresörün devamlı çalıştığı; kapasite kontrolünün bir kısım soğutkanın soğutma kapasitesinin kullanılmadan yok edilmesi prensibine göre yapıldığı, orta kapasitedeki bhk'lara diğer bir örnek, evaporatörde (b h soğutucu eşanjör) buharlaştırılmayan sıvı soğutkanın, kompresöre gitmesini önlemek için kullanılan sıvı akümülatörünün, kompresörden çıkan kızgın buhar ile ısıtılmasıdır. Şekil 2.6'da özel dizayn böyle bir BHK'nın şeması verilmiştir. Sistemde sabit buharlaşma basıncı sağlayan basınç kontrollü bir genişleme valfi kullanılmıştır.

2.1.2.2. Termal Volanlı, Çalış-Dur (Start-Stop)

Kumandası ile Çalışan, Soğutma Kompresörlü, Basınçlı Hava

Kurutucular

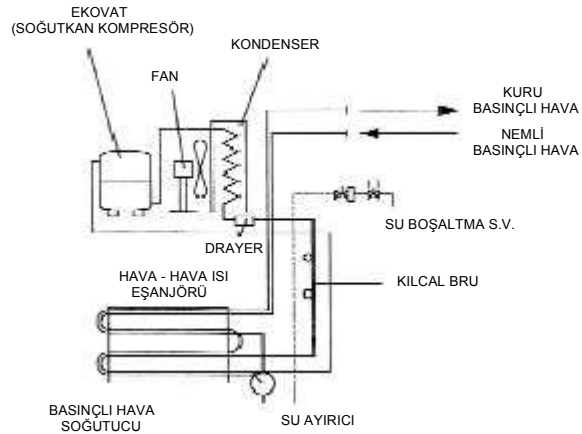
Termal volanlı BHK'larda soğutucu (ve bazen hava-hava ısı eşanjörü) içindeki maddesel kütle nedeni ile yüksek bir ısı sığasına sahiptir.



Şekil 2.6. Fazla sıvı soğutkanın kızgın buhar kullanılarak buharlaştırılması yöntemi ile kapasite kontrolü yapılan bir BHK şeması

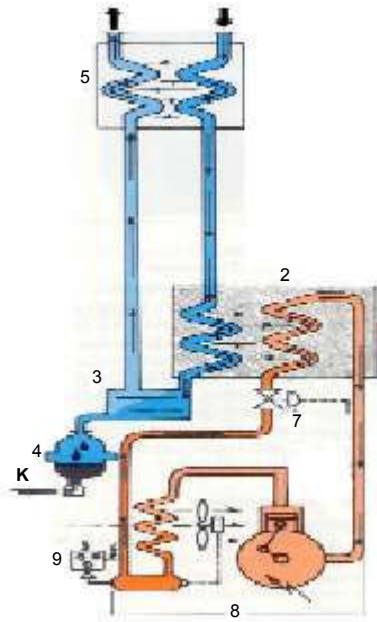
Bu kütleye termal volan adı verilir. Termal volan katı veya sıvı halde olabilir. Bunun yardımı ile sistemde soğu biriktirebilir ve gerektiğinde bu kütleden basınçlı havaya ısı verilerek soğutma kompresörü dururken de soğutma işlevi devam ettirilebilir. Bilhassa bhk'nin gereksinimden büyük seçildiği hallerde veya havanın soğuk olduğu yahut bh sarfiyatının azaldığı zamanlar da; istenen çiğlenme sıcaklığının sağlanması kolay olduğu gibi, elektrik enerjisi sarfiyatı da azalır. Soğutma kapasitesi gereksiniminin azaldığı sürelerde dahi, soğutma sistemi tam kapasite ile çalışmasına devam eder. Termal kütle sıcaklığı ayarlanan alt sıcaklığa geldiğinde, bir termostat soğutma kompresörünü durdurur. Termal kütle kurutucu için den akmaya devam eden bh'yı soğutmaya devam eder; bu esnada sıcaklığı yükselir. Ayarlanan üst sıcaklığa erişildiğinde kumanda termostatı soğutma kompresörünü yeniden çalıştırır. Şekil 2,6'da bu tip BHK'nin basitleştirilmiş şeması verilmiştir.

Şekil 2.7'deki şemada orta kapasitedeki termal volanlı bir BHK'nin fonksiyon şeması görülmektedir.



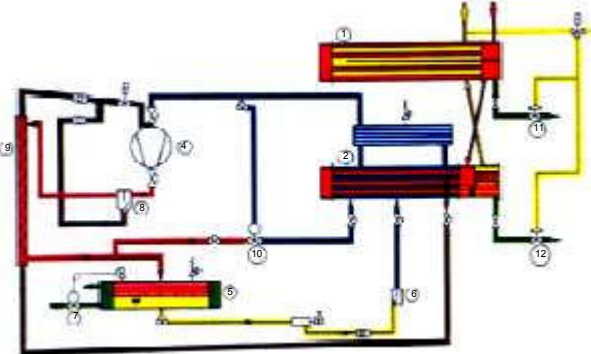
Şekil 2.6. Termal volanlı küçük kapasiteli basınçlı hava kurutucunun çalışma şeması küçük kapasitede - ki bu tipte, hava-hava ısı eşanjörü ile bh soğutucu Şekil 4'teki örnekte olduğu gibi, aynı zamanda termal volanı oluşturan aynı blok gövde içindedir.

Kompresöre kumanda ederek gerektiği gibi çalışıp durmasını temin eden termostat, doğrudan doğruya 3 noktasında ölçülen çiğlenme sıcaklığına göre çalışır. Otomatik kumanda basittir. Bu tipteki bhk'lar her kapasitede yapılabilir. Baypaslı BHK'lara göre daha



Şekil 2.7. Termal volanlı basınçlı hava kurutucunun çalışma şeması

- 1 Hava/hava ısı eşanjörü sıcak nemli bh girişi
- 2 Termal volanlı hava soğutucuda bh soğutuluyor
- 3 Soğuk bh'dan su (kondensat) ayırıcıda ayrılıyor
- 4 Otomatik su boşaltma
- 5 Kuru hava yeniden ısınmış; eşanjörden çıkar,



Şekil 2.8. Sıvı soğutkan seviye kontrollü evaporatörlü büyük bir BHK şeması

büyük ve termal kütleden dolayı daha ağırdırlar. Mevsim değişmelerinden etkilenmezler.

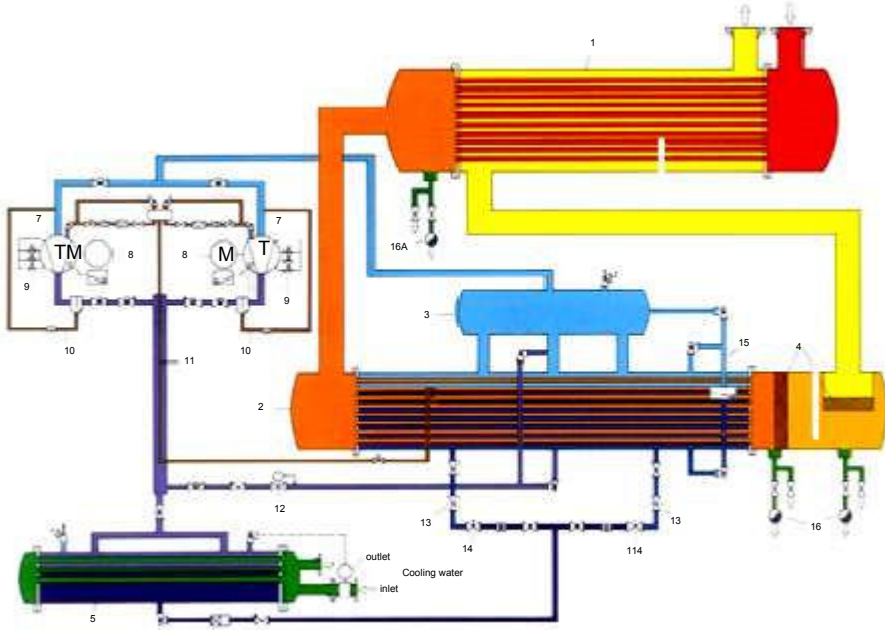
2.1.2.3. Büyük Kapasiteli - Soğutmalı Basınçlı

Hava Kurutucular

Tersane, rafineri, demir-çelik gibi basınçlı hava tesisatının merkezi olduğu fabrikalarda büyük kapasiteli BHK'lar kurulabilir. Bunlar BHK sistem parçalarının büyüklüğü bakımından, bazı durumlarda parça parça nakledilerek kurulabilir-

- 7 Termostatik genişleme valfi
- 8 Kompresör-hava soğ.lı kondenser-sıvı tankı
- 9 Kompr. yüksek basınç emniyet pressostatı

ler. Bunlar büyük soğutma tesisatı kapsamına girerler.



Şekil 2.9. İki soğutma kompresörlü büyük bir BHK şeması

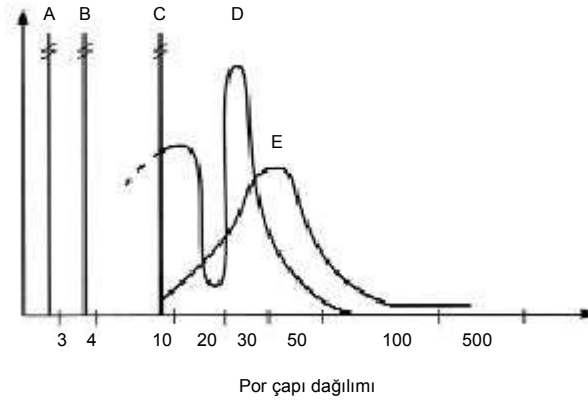
Aşağıda bunlara bazı örnekler verilmiştir.

3. BASINÇLI HAVA İÇİNDEKİ SU BUHARININ ADSORPSİYON YOLU İLE ÇEKİLEREK KURUTULMASI – ADSORPSİYONLU BASINÇLI HAVA KURUTUCULAR (ABHK)

3.1. Adsorpsiyon ve Adsorbant Maddeler

Adsorpsiyon, bir akışkan içinde bulunan bazı moleküllerin katı cisim yüzeyleri tarafından moleküler çekim kuvvetleri yardımı ile tutulmasıdır. Tersinir bir olaydır. Katı yüzeyine tutunmuş olan gaz molekülleri termal, mekanik veya başka moleküler kuvvetlerin etkisi ile kolayca buradan ayrılabilirler. Başta gaz ve gaz-buhar karışımlarının ayrılmasında uygulanan bu metotta, adsorbant adı verilen, mercimek-nohut iriliğinde taneli maddeler kullanılır. Bunların en önemlileri silica-gel, aktif alümina ve moleküler elek (molecular sieve) olup; her birinin değişik amaçlarda kullanılan türleri mevcuttur.

Gerekli miktarda gaz moleküllerini toplayabilecek katı yüzeylerinin çok büyük değerlere ulaşması gerekmektedir. Böyle büyük yüzeylere sahip olan yukarıdaki maddeleri içindeki boşlukları çok küçük olan süngerler gibi düşünebiliriz. Boşluklara por adını veriyoruz. Ortalama por çapları 3 ila 100 Angström (A)



Şekil 3.1. Çeşitli adsorbent'lerin por çapı dağılımı
A,B,C: por çapları sırasıyla 3, 4, 10 A olan moleküler elek;
D: aktif alümina; E: silica-gel

ağırlıklarının yüzdesi ile ifade edilir. Bu kabiliyet, basınç ve sıcaklık yanında tür, tane iriliği ve maddenin temizliğine (tazeliğine) bağlıdır. Uzun süre kullanılmayan adsorbantların yeniden kullanımdan önce reaktif-rejenere edilmeleri gerekebilir.

Bilhassa yağlamalı hava kompresörlerinden gelen bh içinde kalan ağır hidrokarbonlar ve kazara kompresör emişinden havaya karışan her tür aerosol türü hidrokarbonlar adsorbantların düşmanıdır. Bunlar adsorpsiyon yüzeylerini işgal ederek fonksiyon dışı kalmalarına neden olabilirler. Bazıları rejenereasyon veya

arasında değişebilir. Bu şekilde yapı -lanan adsorbantlar yüzlerce m^2/g yüzeye sahiptirler.

Zeolitik moleküler eleklerin por çapları türüne göre sabittir. Bu nedenle bunlar maksimum adsorpsiyon seçiciliğine sahiptirler. Şekil 3.1'de muhtelif adsorbantların por çapı dağılımlarını veren grafik görülmektedir. Moleküler elekler metal bağlı alümina silikatlar olup kristal bir yapıdadır. Aktif alüminalar toz, granül ve küre -sel şekillerde olabilir. Silica-gel ise, esas kimyasal bileşimi Silisyum dioksit olan, adsorp -siyonlu kurutma cihazlarında kullanıldığı hali ile; 2,5 – 3,5 mm çapında boncuklar görün -tüsünde; poröz bir maddedir.

ABHK'larda kullanılan nem çekici (higroskopik) dolgu maddelerinin nem tutma kabiliyetleri,

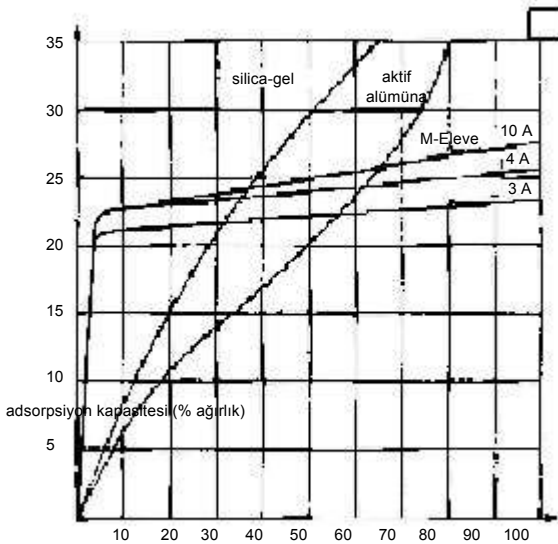
23

neden olabilir. Bazıları rejenerasyon veya reaktivasyon yöntemi ile tersinir olarak yapıştıkları yüzeylerden atılabilirler. Ancak yağ buharları gibi büyük moleküllerin, porları tıkamaları kolay olur. Bunun giderilmesi çok zordur. Bu nedenle adsorpsiyonlu kurutucuların girişine çok iyi yağ filtreleri ($>0,01$ ppm) koyul -ması gerekir.

Şekil 3.2'de muhtelif adsorbantların nem alma özellikleri karşılaştırmalı olarak bir grafikte verilmiştir. Gelen basınçlı havanın sıcaklığına ve istenen çıkış çiğlenme sıcaklığına göre bazı durumlarda aynı adsorpsiyon kabı (kolon) içinde iki farklı adsorbant beraberce kullanılabilir.

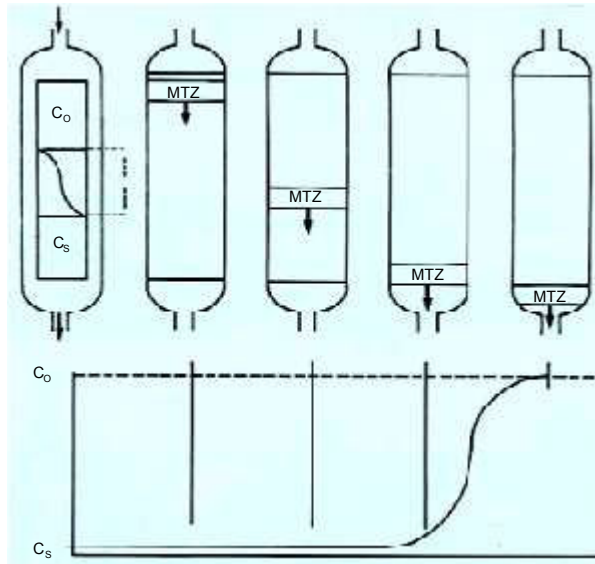
3.2. Adsorpsiyon Kolonu İçinde Basınçlı

TESİSAT MÜHENDİSLİĞİ DERGİSİ, Sayı 91, 2006



Şekil 3.2. 25 °C sıcaklıkta silica-gel, aktif alümina ve muhtelif por büyüklüğündeki moleküler-elek adsorbantların adsorpsiyon kapasiteleri Apsis: havanın izafi nemi [%].

ordinat: "adsorbant"ın kendi ağırlığının yüzdesi olarak nem adsorpsiyon kapasitesi



Şekil 3.3. Kurutma kolonunda rejenerasyon olayının dinamiği : MTZ (=Mass Transfer Zone) ile gösterilen bölge zamanla yukarıdan aşağıya doğru ilerler. Bölgenin en alta geldiği, rejenerasyon havasının çıkıştaki kuruluk derecesinden anlaşılabilir.

Havanın

Kuruması

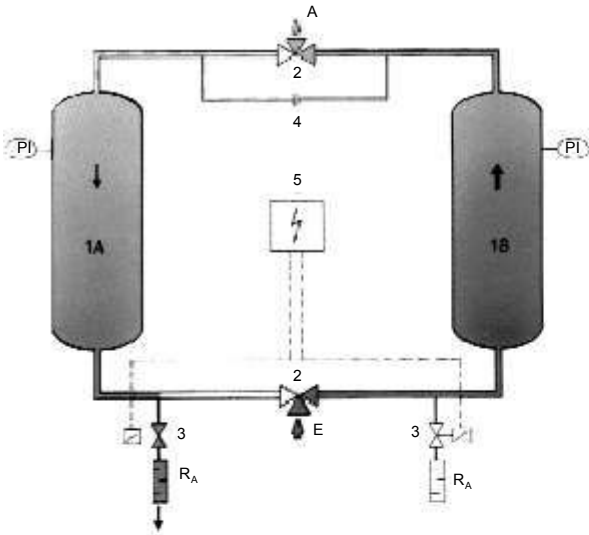
Adsorpsiyon kolonlarından, bir kurutucuda, genellikle iki adet bulunur. Bunlardan birisi, kurutma görevi yaparken; diğ erinin içindeki neme doymuş adsorbant rejenere edilir. Şekil 2.3'te en soldaki kolonda temsili olarak adsorp -siyon olayı canlan --dırılmıştır. Yalnız burada, nemli hava üstten giriş yapmış olarak gösteril -miştir. ABHK'larda nemli hava, kurutucunun adsorpsiyon kolonuna, alttan girer ve kuruyarak üst taraftan çıkar. Rejenerasyon kurutucu

Resmin alt tarafındaki zaman-konsantrasyon grafiğinde C_s taze veya rejenere olmuş adsorbantın su konsantrasyonunu; C_o neme doymuş adsorbantın su konsantrasyonunu göstermektedir. Şekilde hava akışının ideal olduğu kabul edilmiştir. Kolon kesiti içindeki bh akış dağılımı üniform ise; arada kolay akış kanalları oluşmuyorsa bu kabul yerindedir. Onu sağlamak için çap-boy oranı düşük kolonlar tercih edilmeli ve adsorbantın dolumu sırasında hava boşlukları kalmamasına dikkat edilme

çıkışından alınan, bir kısım basınçlı hava kul - lidir.
lanılarak yapılır ve rejenerasyon havası
sağdaki temsili kolon resimlerinde de gösteril - diği gibi üstten verilir. Rejenerasyon olayında
adsorbent yüzeylerine yapışmış olan su
molekülleri yüzeyden kısmi basınç farkı ile
ayrılarak; taşıyıcı gaz olan kuru havanın içine
geçerler. Bu dinamik bir olaydır ve kolon içinde
bir madde transfer bölgesi oluşur. Olayın
zamana göre akışı (safhaları) Şekil 2.3'de
gösterilmiştir.

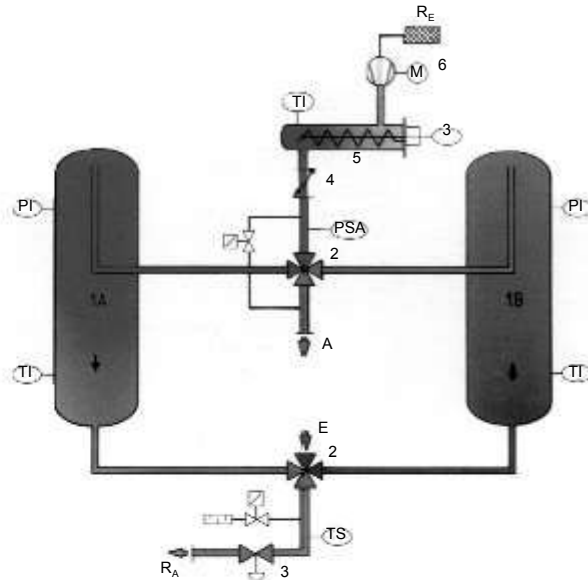
3.3. Adsorpsiyonlu Basınçlı Hava Kurutucuların Çalışma Şekli

ABHK'lar içleri adsorbant ile doldurulmuş,
genellikle silindirik iki adet dikey durumda kolon
ile bh'yı yönlendiren otomatik kumandalı
vanalar, boru bağlantıları ve otomatik kumanda
düzeninden meydana gelmektedirler.
Kolonlardan birisi, gelen nemli havayı kurut



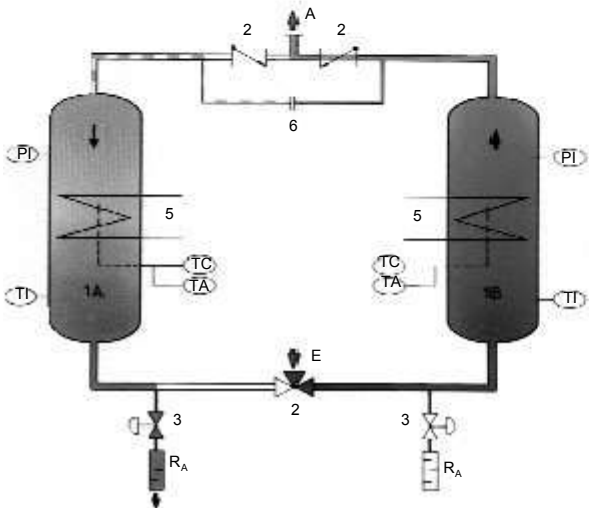
Şekil 3.4.a. Isıtıcısız ABHK çalışma şeması

1A : rejenerasyon periyodundaki kolon, 1B kurutma
periyodundaki kolon, 2 : üç yollu valf, E : bh girişi, A :
bh çıkışı, 3 : adsorbantın nemini almış rejenerasyon
havasının atmosfere boşaldığı (solenoid) valf, RA sus -
turucu, 4 : orifis, 5 : otomatik kumanda panosu



Şekil 3.4.c. Dıştan ısıtıcılı ABHK çalışma şeması

1A : rejenerasyon periyodundaki kolon, 1B kurutma
periyodundaki kolon, 2 : dört yollu valf, E : bh girişi, A :
bh çıkışı, 3 : adsorbantın nemini almış rejenerasyon
havasının atmosfere boşaldığı (pnömomatik kumandalı)
valf, RE rejenerasyon havasının (atmosferden) girişi,
RA rejenerasyon avası çıkışı, 4 : tek yollu (çek) valf, 5
: ısıtıcı, 6 blower



Şekil 3.4.b. İçten ısıtıcılı ABHK çalışma şeması

1A : rejenerasyon periyodundaki kolon, 1B kurutma

makta iken; diğeri, içinden ters yönde geçirilen
"rejenerasyon havası" yardımı ile içindeki neme
doymuş adsorbantın yeniden kurutulması
periyodundadır. Rejenerasyon havasının temin
şekline göre, ABHK'lar üç şekilde yapılabilir
- ler: ısıtıcısız (heatless), içten ısıtıcılı (adsor -
- bant ısıtılması) ve dıştan ısıtıcılı (rejenerasy -
- on havasının ısıtılması). Genellikle, bu üç sis -
- temden birincisi küçük, ikincisi orta ve üçüncüsü
büyük kapasiteli ABHK'larda kullanılır. Şekil
3.4.a, b, c 'de bu üç tip kurutucunun çalışma
şemaları verilmiştir.

Nemli basınçlı hava, E noktasındaki üç yollu
vanadan geçerek adsorpsiyon periyodundaki
1B kolonuna alttan girer. Nemi adsorbant

1 : rejenerasyon periyodundaki kolon, 2 : üç yollu valf, E : bh girişi, A : bh çıkışı, 3: adsorbantın nemini almış rejenerasyon havasının atmosfere boşaldığı (solenoid) valf, RA susturucu, 4 : tek yollu (çek) valf, 5 : ısıtıcı

tarafından tutularak kuruyan basınçlı hava, üstten çıkıp 4 numaralı çek valftan geçerek, kuru - muş halde A noktasından çıkar. 6 numaralı orifiste basıncı atmosfer basıncına düşürülen bir kısım kuru hava, rejenerasyon periyodundaki 1A kolonuna üstten girer. Kolon içindeki elektrik li ısıtıcılar tarafından ısıtılmış adsorbantı kuru - tarak alttan 3 pnömatik valfi ve susturucu

üzerinden atmosfere atılır.

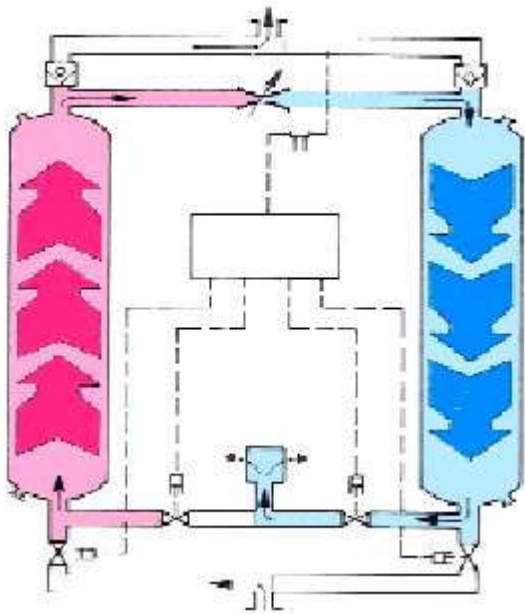
3.3.1. Isıtıcısız Adsorpsiyonlu Basınçlı Hava Kurutucular

Bu tip kurutucular, Şekil 3.5'de görülen fonksiyon şemasından da anlaşılacağı gibi, oldukça basit bir yapıdadır. Rejenerasyon havası, kurutulmuş olarak kurutma kolonundan çıkan bh'nın bir kısmının basıncının düşürülerek, rejenerasyon kolonuna verilmesi ile elde edilir.

Alt taraftan giren bh soldaki kurutma periyodunda olan kolona girer ve nemini adsorbanta bırakarak üstten çıkar. Bunun bir kısmı, basınç düşürmeye yarayan ayar valfi veya orifisten geçerek rejenerasyon periyodunda bulunan sağdaki kolona üstten girer. Adsorbantın içindeki nemi geri alarak onu yeniden kurutur ve gele-



Şekil 3.5.a. Seri üretim, konsol tipi ısıtıcısız abhk'lar.
2.5.b. Orta boy ayaklı, 0 °C altı ortam sıcaklığına maruz kalabileceği için alt kısmı izole edilmiş bir ısıtıcısız ABHK



Şekil 3.5. PSA (pressure swing adsorption) prensibine göre çalışan bir ABHK'nın fonksiyon şeması

edilebilecek çığlenme sıcaklıkları -30/-40 C mertebesindedir. Şekil 3.5' te bir ABHK'nın fonksiyon şeması verilmiştir. Şekil 3.6'da küçük kapasiteli duvara veya konsola monte edilebilecek PSA tipi ABHK'lar görülmektedir. Kataloğundan alınan bilgiye göre, bunların periyot süresi 1,5 – 3 dakikadır.

cek periyoda hazır hale getirir. Alttaki boşaltma valfinden geçen nemlenmiş rejenerasyon havası, bir susturucu üzerinden atmosfere çıkar. Periyotlar küçük kapasiteli olan tinerde

3.3.2 İçten Isıtıcılı Adsorpsiyonlu Basınçlı Hava Kurutucular

çınar. 1. Çiyolu, düşük kapasiteli olan üyelerde daha az olmak üzere 1,5 ila 8 dakika arasında olabilir. Bu bakımdan bu çalışma tarzına "basınç dalgalanmalı adsorpsiyon" denir. Elde

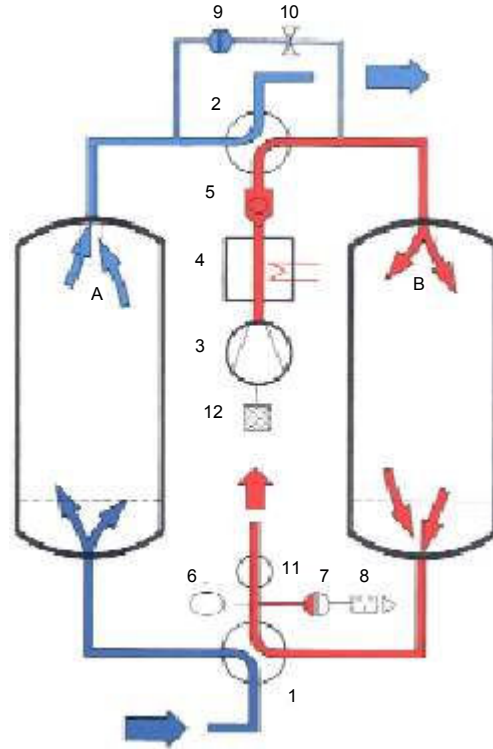
Rejenerasyon havası sarfiyatını azaltarak bir kurutma-ışletme masraflarını düşürmek için, kurutucu çıkışından alınan bir miktar kuru



Şekil 3.6. İçten ısıtıcı ABHK

basıncı hava, basıncı atmosfer basıncına düşürüldükten sonra, rejenerasyon havası olarak rejenerasyon periyodundaki kolon içine verilir. Kolon içinde mümkün mertebe eşit dağıtılmış elektrikli ısıtıcılar yardımıyla ısıtılan bu hava, hacim ve sıcaklığının artması nedeni ile çok düşük bir izafi neme erişmiş olduğundan; adsorbant tarafından bir önceki periyotta tutulmuş olan su buharını üzerine alır. Rejenerasyon için gereken sıcaklık ve süre adsorbantın cinsine bağlıdır. (150 – 250 °C) Rejenerasyon havasının görevi, adsorbant yapısından açığa çıkan nemi süpürüp; kolon dışına taşımaktır. Bu esnada, akan hava, ısının kolon içinde daha iyi yayılması ve sıcaklık dağılımının eşitlenmesi için; taşıyıcı rolü oynar. Rejenerasyon bittiği anda, kolon içinde bulunan adsorbantın sıcaklığı yüksek olduğundan; kurutma periyoduna geçmeden önce, tüm yatağın (kolonun) soğutulması gereklidir. Bunun için, rejenerasyon sonunda, ısıtıcı devreden çıkar; fakat rejenerasyon havası akışı uzunca bir süre daha devam eder. Rejenerasyon havası miktarı, 7 barg basınçta nominal debinin yaklaşık % 4-5'i mertebesindedir. Bir kolonun kurutma periyodu, kolonun büyüklüğüne göre, 6-12 saat sürebilir.

3.3.3. Dıştan Isıtıcı Adsorpsiyonlu Basıncı



Şekil 3.7. Dıştan (elektrikli) ısıtıcı ABHK şeması ve resmi

Hava Kurutucular

Yukarıda soldaki şemada A kolonu kurutma periyodundadır. Basıncı havanın girişi ve çıkışı gibi; atmosferden alınan rejenerasyon havasının emiş filtresi(12), vorteks (side channel) blower(3), elektrikli ısıtıcı(4), çek valf (5) üzerinden geçerek rejenerasyon periyodunda

bulunan B kolonuna girişi ve çıkışı da dört yollu valf (4/2) üzerinden olmaktadır. (1 ve 2). Nemli-sıcak durumdaki hava yeniden atmosfere 11 numaralı boşaltma valfi üzerinden atılır. Rejenerasyon kolonunda adsorbant'ın kurutulması yukarıdan aşağıya doğru ilerler. Kuruma (rejenerasyon) bittiği anda adsorbant yatağı sıcak durumdadır. Bitiş sıcaklığına gelindiğinde, ısıtıcının enerjisi kesilir ve bir süre daha atmosferden alınan hava blower vasıtasıyla kolona soğutma havası olarak sevkedilir. Blowerin çalışma süresi sınırlandırılmıştır. Aksi halde, kurutulmuş adsorbant atmosferik soğutma havasından yeniden nemini geriye çekmeye başlar. Soğutmanın son safhası, içten ısıtıcı abhk'larda olduğu gibi, 9 valfi ve 10 orifisi üzerinden alınan atmosfer basıncındaki kuru hava vasıtasıyla yapılır.

3.4. Abhk'ların Kullanma Sınırları

Isıtıcısız ve dıştan ısıtıcı abhk' lar ile -40°C 'ye kadar çığlenme sıcaklıkları elde edilebilir. Küçük miktarda bh debileri için basit, ısıtıcısız kurutucular kullanılır. Bu tip kurutuculara bir takım ölçme ve otomasyon elemanları eklenip periyotlar kısaltıldığında daha düşük çığlenme sıcaklıkları da (-70°C) elde etmek mümkündür. İçten ısıtıcı abhk'larla -70°C ye varan çığlenme sıcaklıkları elde edilebilir.

Kurutucuya giren bh'nın yağsız olması gerekir. Yağlanan kompresörlerden gelen basınçlı

havanın birkaç kademe yağ filitrelerinden geçirilerek alınması ve filtre elemanlarının müsaade edilen süresi içinde değiştirilmesi sağlanırsa yukarıda verilen kuruluk değerleri uzun süre muhafaza edilebilir. Ön filtre, hassas filtre ve aktif karbon filitrelerinden meydana gelen üç kademede basınçlı havadaki yağ oranı 0,003 ppm'e kadar düşürülebilir.

Adsorbent'in zamanla tozlaşarak bh devresine kaçması ihtimalini ortadan kaldırmak için ABHK çıkışına bir toz filtresi koyulması tavsiye edilir.

4. KOMBİNE BASINÇLI HAVA KURUTUCULAR

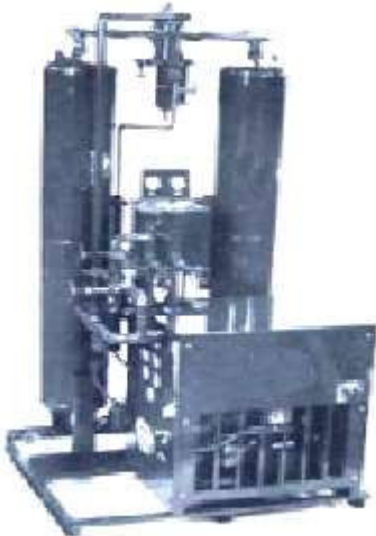
Bunlar, mekanik soğutmalı ve adsorpsiyonlu BHK'ların bir kombinasyonudur. Genellikle özel talepler doğrultusunda imal edilirler. Seri imalatı daha azdır. Özel olarak da temin edilebilirler. Ancak basınçlı hava tesisatı projelerinde bu çözümün her zaman göz önünde bulundurulması tavsiye edilir. Bilhassa bir kısım bh'nın düşük çığlenme sıcaklığında gerektiği fabrikalarda her iki tip BHK'nın birbirleri ile kombine olarak kullanılması hem kuruluş hem de işletme masraflarında önemli tasarruf sağlayabilir. Ayrıca böyle bir sistem, daha güvenilir bir işletme olanağı sağlamaktadır (Şekil 4.1).

5. MEMBRAN KURUTUCULAR (SU BUHARININ MEMBRAN FİLTREDE TUTULMASI)

5.1. Membran Teknolojisi - Gazların Membran

Süzgeçlerden Geçirilerek Ayrılması-

Günümüzde sıvılar içinde erimiş tuz moleküllerinin dahi ayrılabilirdiği (ters osmoz) membran teknolojisi son 40-50 yılda gazlara da uygulanmakta ve sanayide kullanımı belli uygulamalarda ekonomik olabilmektedir. Basınçlı havanın kurutulma prosesi, onu içi delik fiber membranlardan geçirirken; su buharı moleküllerinin membran duvarlarından dışa doğru sızarak oksijen ve azot moleküllerinden ayrılması ile gerçekleşir. Bu deliklerden çıkan hava kurudur. Delik fiberin dışına sızmış olan su buharı, çıkıştan geri alınan az bir miktar kuru hava yardımıyla süpürülerek; fiber membranlardan uzaklaştırılır ve bir hava boşaltma valfi veya



Şekil 4.1. Soğutmalı ve adsorpsiyonlu BHK'ların kombinasyonu



Şekil 5.1. Membran kurutucuların çalışma prensibi

orifisten geçirilerek atmosfere atılır. (Şekil 5.1).



Şekil 5.2. Membran tip kurutucular aksesuarsız olarak görülüyor.



Şekil 5.3. İki paralel bağlı elemanı olan membran kurutucu-giriş soldan, filitreler üzerinden

Membran kurutucudan geçirilecek basınçlı hava içinde yağ olmamalıdır. Yağ molekülleri membranı kirleterek; onun tıkanmasına sebep olur. Bu nedenle basınçlı hava, önceden, içindeki yağı 0,01 ppm' in altına düşürecek bir filtreden geçirilmelidir. Şekil 5.2'de membran kurutucunun genel durumu görülmektedir. Membran kurutucu elemanları gruplar halinde seri ve paralel bağlanarak, değişik kapasitede ve kurulukta basınçlı hava sağlayabilirler. (Şekil 5.3)

5.2. Membran Kurutucuların Avantajları

Elektrik bağlantısı gerekmez, soğutkan kullanılmaz, çok az yer kaplar, bakıma gerek yoktur, patlamaya karşı emniyetlidir (ex-proof), sessiz çalışır, hareketli parçaları yoktur. Ancak membranın zamanla toz partikülleri ve yağla tıkanmaması için filtre bakımına çok önem verilmelidir.

6. UYGUN BASINÇLI HAVA KURUTUCU TİPİNİN VE KAPASİTESİNİN SEÇİLMESİ

Basınçlı hava kurutucular, elde edilen havanın çığlenme sıcaklıkları, başlangıç maliyetleri ve beklenen işletme ve bakım masrafları bakımından farklılıklar gösterirler.

Basınçlı hava sisteminin maruz kalabileceği sıcaklıklardan daha düşük derecede olan bir çığlenme sıcaklığı seçilmelidir.

Bunun için basınçlı hava borularının geçtiği-geçebileceği yerlerdeki sıcaklıklar dikkate alınmalıdır. Açık kapı veya pencere olan bölgelerden, ısıtılan veya ısıtılmayan mahallerden, yeraltından veya açık havadan geçmekte olan boruların olup olmadığı saptanmalıdır.

İstenen çığlenme sıcaklığını hangi tip kurutucuların sağladığı incelenmelidir. Kurutucuların, tedarik ve işletme masrafları dikkate alınmalıdır. Çığlenme sıcaklıkları düşükçe ilk

maliyet ve giderler artmaktadır.

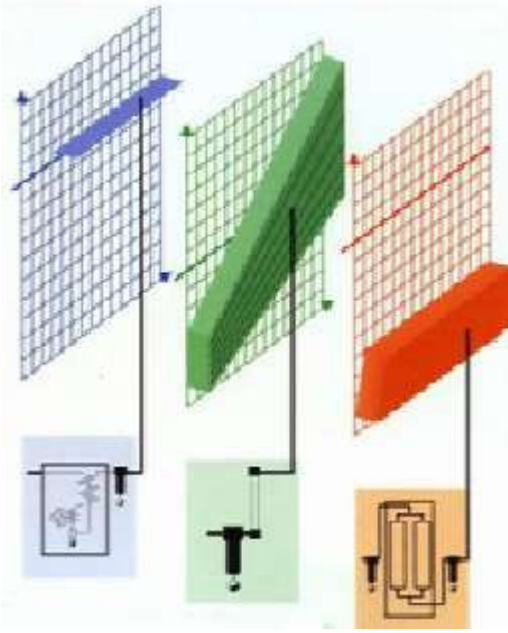
Uygun bulunan BHK tipinin seçiminden sonra, kurutucunun çalışacağı işletme şartlarını doğru saptamak gereklidir. Bundan sonra, kuru-

7. BASINÇLI HAVA KURUTUCULARIN TESİSATA BAĞLANMASI

BHK'ların koyulacağı yerler mümkün mertebe havadar ve serin olmalıdır. Yer darlığı nedeni ile küçük bir hacim icine kovulacaksa, uvaun

lacak kurutucunun kapasitesi aşağıdaki gibi tesbit edilir:

Bh akış debisi (scfm, Nm³/hr, Nm³/min, l/sec)
 Basıncıdaki çöğlenme sıcaklığı (°F, °C)
 Giriş basıncı (psig, bar, kg/cm²)



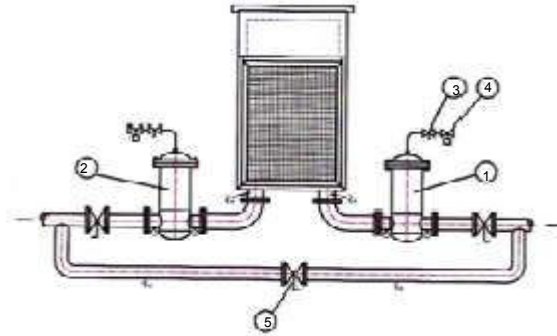
Şekil 6.1. Soğutmalı, membran ve adsorpsiyonlu BHK'ların karşılaştırmalı sıcaklık aralıkları

Giriş sıcaklığı (°F, °C)
 Çevre veya soğutma suyu sıcaklığı (°F, °C)
 Kurutucu içinde müsaade edilen en büyük basınç kaybı (psi, bar, kg/cm²)

Kuzey Amerika dışında; Avrupa ve dünyanın geri kalan kısmında bhk'ların anma kapasiteleri ISO 7183 Standardına göre verilir: 7 bar (100psi), 35°C (95°F) neme doymuş halde giriş, 25°C (77°F) çevre havası sıcaklığı ve maksimum 0.35 bar (5 psi) basınç kaybı.

Anma kapasitesi için belirlenen şartlar dışındaki çalışma durumlarda bhk'nın kapasitesi kataloğunda verilen faktör veya diyagramlara göre hesaplanmalıdır.

debide cebri havalandırma yapılmalıdır. Havalandırma havası bu mahalle en az EU 2 düzeninde filtre edilerek verilmelidir. Mekanik soğutmalı kurutucular buhar kazanı, fırın, kompresör gibi ısı üreten makinaların yakınına ve sıcak hava akımlarına koyulmamalıdır. Çünkü bunlar çoğunlukla hava soğutmalı soğutma



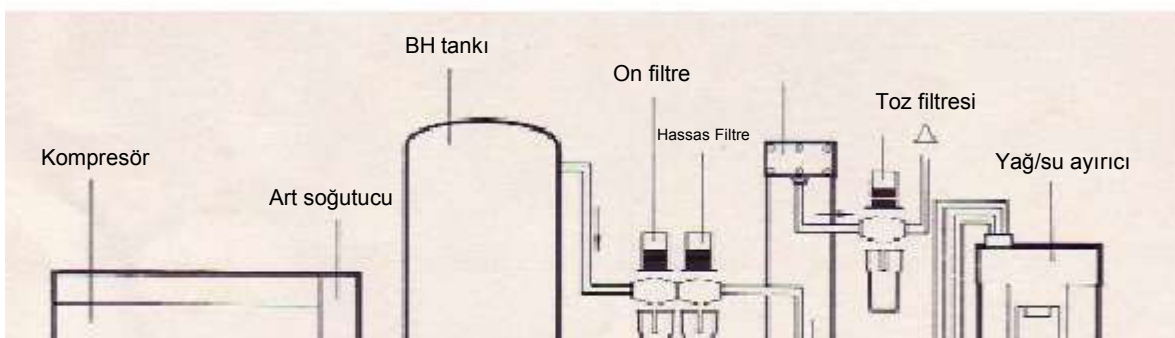
makinalarıdır. Büyük fabrikalarda kompresörler, kurutucular, basınçlı hava dağıtım kollektörleri, diğer yardımcı cihazlar bir "Basınçlı Hava Merkezi" içinde bir arada bulunabilirler. Çimento gibi tozlu sanayi kollarında santral içine filtrelenmiş dış hava verilerek ve kapı ile pencereler kapalı tutularak hafif bir üst basınç oluşturmak çok faydalıdır.

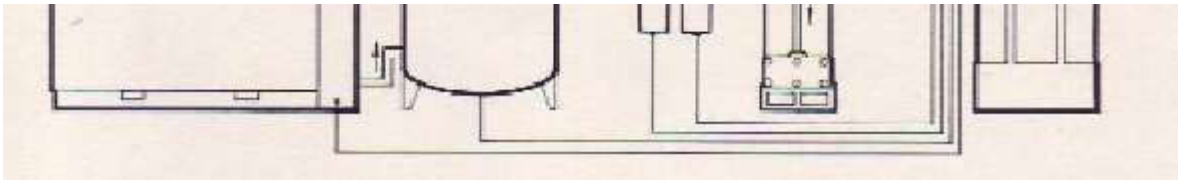
Devamlı genişleyen fabrikalarda yeni bh kullanıcıları eklendiğinde, bazan BHK'nın kullanıcı makine yakınına koyulması gerekebilir. Bugün çok kullanılan pnömatik robotların hepsi için kaliteli temiz kuru hava gereklidir. Bazen kompresör, tank, kurutucu ve filitreler, bu robotlarla birlikte gelebilir.

- | | |
|-------------------|------------------------|
| 1 : Ön filtre | 2 : Hassas filtre |
| 3 : EI vanası | 4 : Zaman kontrollü SV |
| 5 : Baypas vanası | |

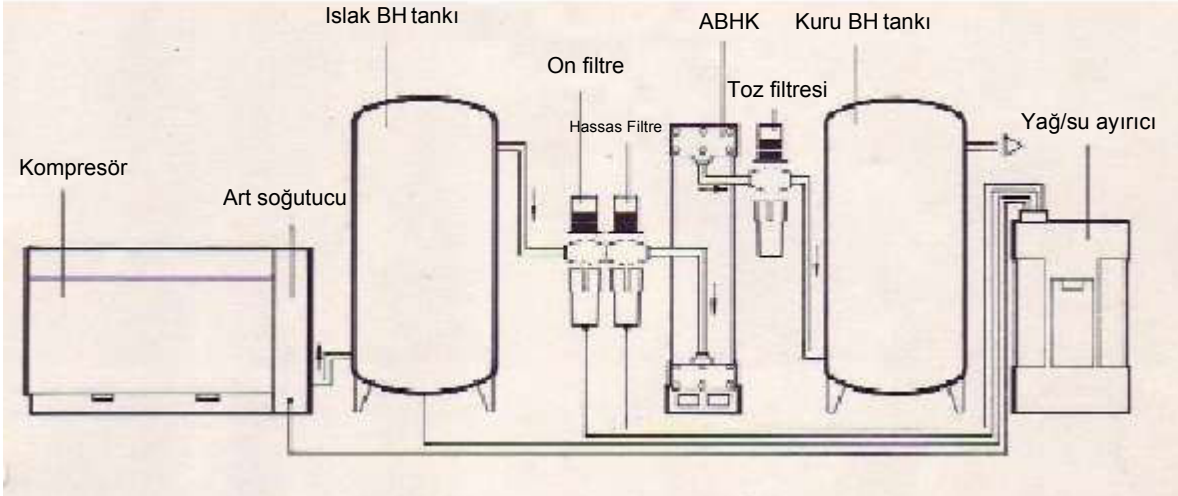
Şekil 7.1. BHK baypas bağlantısı

Kompresörler çoğunlukla yağlamalı tipten, buradan gelen ham bh'nın suyundan, tozundan ve yağından ayrıldıktan sonra bh'ya

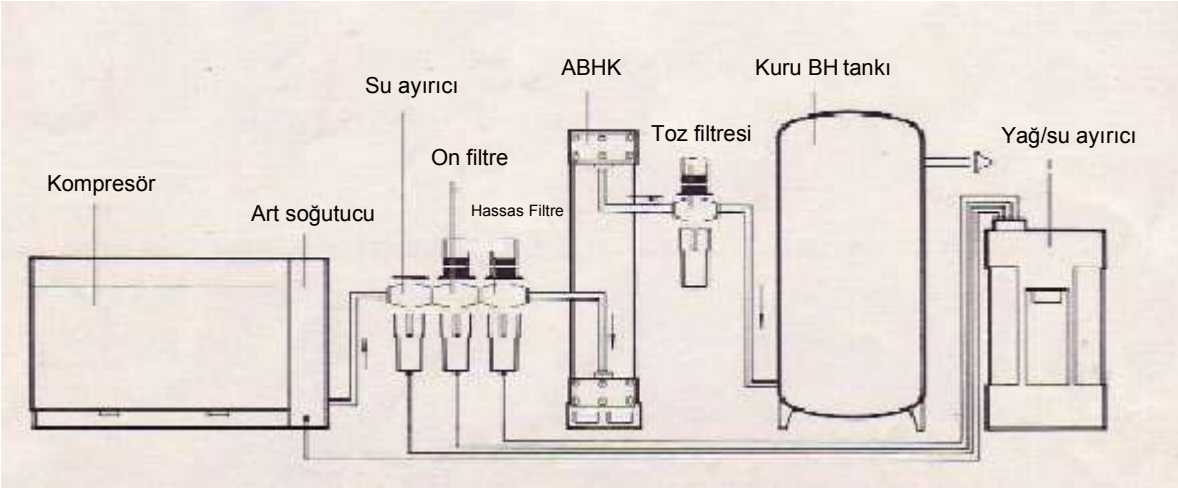




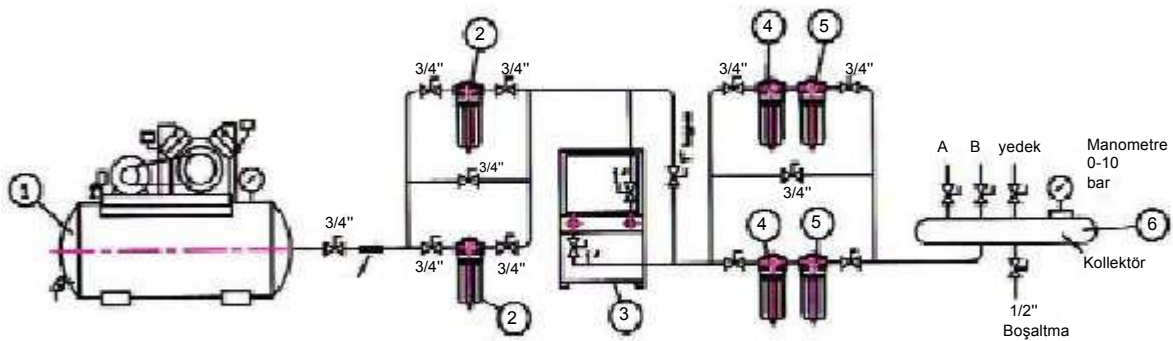
Şekil 7.2. Nemli hava tankından sonra borulanan bir ABHK'nın ön ve arkasına bağlanacak filtreler



Şekil 7.3. Ani (pik) kuru bh sarfiyatı olan bh sistemlerinde ABHK ve filtreleri aşırı hızlardan korumak için ıslak ve kuru bh tankları öngörülmelidir.



Şekil 7.4. Kuru bh tanklı sistemde ABHK ile beraber kullanılan ayırıcı ve filtrelerin durumu



Şekil 7.5. Devamlı hava temininin şart olduğu hastane-ameliyathane bh sisteminde tüm unsurların yedeklenmesi ve baypaslanması gereklidir.

girmesi gereklidir. Birçok kurutucu tipinde bh'nın geçtiği ısı eşanjörü yüzeyleri kanatçıklı olduklarından, kirlenmeye karşı hassastır. Bir defa kirlendikleri taktirde temizlenmesi mümkün olmayan konstruksiyonlar da vardır.

Kanatçiksız yüzey kullanan BHK üreticileri bu konuyu bir avantaj olarak kataloglarında belirtmekte haklıdır. Bu nedenle BHK filtrelerinin seçimi, (kalitesi) tutumu ve bakımı çok önemlidir. BHK'lar ve filtreler bh devresine bir baypas düzeni ile bağlanmalıdır. (Şekil 7.1)

Kompresörden BHK çıkışına kadar olan kısımda hangi unsurların ne sırada bağlanacağına dair şemalar sırasıyla Şekil 7.2, Şekil 7.3 ve Şekil 7.4'de verilmiş bulunmaktadır. (gerekten vanalar gösterilmemiştir).

8. TİPİK KURU BASINÇLI HAVA UYGULAMALARI

Aşağıda tipik birkaç kuru basınçlı hava kullanımı gerektiren uygulama örneği verilmiştir:

- Ozon Üreticileri
- Hava Yataklamaları
- Şartlandırılmış Hacimler
- Vorteks Boruları
- Pnömatik Kumanda Sistemleri
- Anten Basınçlandırılması
- Dişçi Kompresörleri
- Waveguide Drying
- Otobüs Kapı ve Kilit Sistemleri
- Havayla Fırçalama

- CEMS Sistemleri
- Gaz Kromatografisi
- F TIR Spektrometrelerinde
- Robotik Makinalarda
- Laboratuar Analiz Cihazlarında
- Otomobil Yıkama Kontrol Donanımlarında
- Kuru Sprinkler Sistemlerinde
- Grafik Baskı Makinalarında
- Açıktaki Hava Santrallerinde
- Hava Türbinlerinde
- Elektronik Çip Testinde
- Hava ile Çalışan Pompalarda

SONUÇ

Bu yazıda 20 yıllık tecrübelerimize dayanarak, basınçlı hava kurutucular hakkında derli-toplu bir genel bilgi vermeye çalıştık. Metindeki her bir bölüm, ayrı ayrı genel ve özel mühendislik bilgilerine, imalatçı tecrübelerine bağlanmaktadır.

KAYNAKLAR

Yazı, konu ile ilgili firmalara ait kataloglardan faydalanılarak hazırlanmıştır.