

### آب موجود در هوای فشرده

**رطوبت موجود در اتمسفر :** همیشه، یک مقدار مشخص از رطوبت در اتمسفر وجود دارد . این رطوبت به عنوان رطوبت اتمسفری شناخته می شود و مقدار آن بسته به زمان و مکان متغیر است . در هردمائی ، یک حجم مشخص از هوا فقط می تواند یک مقدار ماکزیمم از رطوبت را در خود داشته باشد . به هر حال ، هوای اتمسفر ، معمولاً مقدار کمتری از کمیت ماکزیمم ذکر شده را در بر می گیرد .

### ماکزیمم رطوبت $hu_{max}$ (g/m<sup>3</sup>)

ماکزیمم رطوبت  $hu_{max}$  (g/m<sup>3</sup>) (کمیت اشباع ) یعنی ماکزیمم رطوبتی که  $1m^3$  هوا در یک دمای مشخص می تواند در خود نگه دارد . رطوبت ماکزیمم تابع فشار نمی باشد .

### رطوبت مطلق $hu$ ( $\frac{g}{m^3}$ ) :

رطوبت مطلق  $hu$  یعنی مقدار واقعی رطوبتی که در  $1m^3$  از هوا نگه داشته شده است .

### رطوبت نسبی $\Phi$ (%)

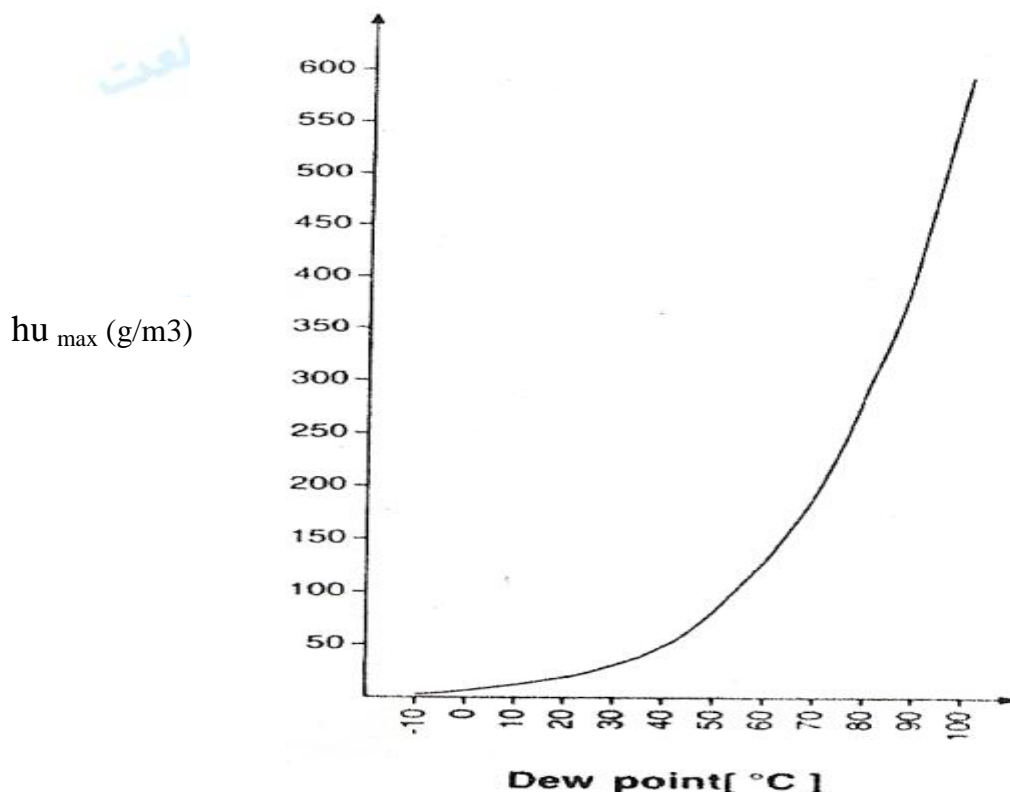
رطوبت نسبی به معنی نسبت رطوبت مطلق به رطوبت ماکزیمم می باشد

$$\Phi = \frac{hu}{hu_{max}} \times 100\%$$

$$\Phi = [\%] \text{ رطوبت نسبی}$$

$$hu_{max} = [\frac{g}{m^3}] \text{ رطوبت ماکزیمم}$$

$$hu = [\frac{g}{m^3}] \text{ رطوبت مطلق}$$



Maximum humidity depending on dew point

از آنجایی که رطوبت ماکزیمم  $hu_{max}$  وابسته به دما می باشد ، رطوبت نسبی نیز با تغییر دما تغییر می کند، حتی اگر رطوبت مطلق ثابت باقی بماند . هنگامی که هوا تا نقطه شبنم سرد گردد ، رطوبت نسبی تا 100% بالا می رود .

### نقطه شبنم اتمسفری [°C]

نقطه شبنم اتمسفری یعنی دمایی که هوای اتمسفر (1 بار مطلق) می تواند خنک شود، بدون آنکه قطرات آب در آن ته نشین گردد. نقطه شبنم اتمسفری از کمترین اهمیت برای سیستمهای هوای فشرده برخوردار می باشد.

### نقطه شبنم فشار [°C]

نقطه شبنم فشار یعنی دمایی که هوای فشرده می تواند خنک گردد، بدون آنکه قطرات آب در آن ته نشین گردد. نقطه شبنم فشار به فشار نهایی تراکم وابسته است، اگر فشار تراکم افت نماید نقطه شبنم فشار نیز با آن افت می کند.

### رطوبت موجود در هوا :

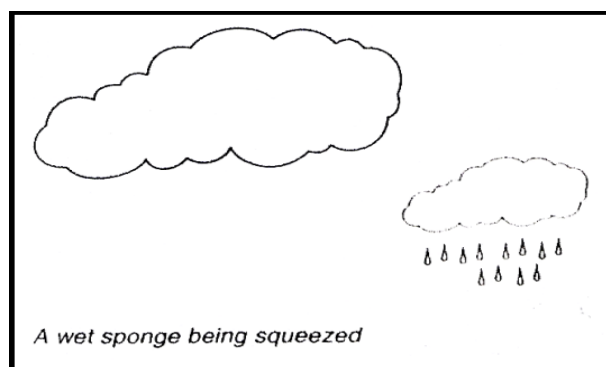
جدول زیر رطوبت ماکزیمم هوا در نقاط شبنم مشخص را نشان می دهد :

dew point [°C]	max. humidity [g/m³]	dew point [°C]	max. humidity [g/m³]	dew point [°C]	max. humidity [g/m³]	dew point [°C]	max. humidity [g/m³]	dew point [°C]	max. humidity [g/m³]	dew point [°C]	max. humidity [g/m³]	dew point [°C]	max. humidity [g/m³]
+100°	588,208	+76°	248,840	+52°	90,247	+28°	26,970	+4°	6,359	-19°	0,960	-43°	0,083
+99°	569,071	+75°	239,351	+51°	86,173	+27°	25,524	+3°	5,953	-20°	0,880	-44°	0,075
+98°	550,375	+74°	230,142	+50°	82,257	+26°	24,143	+2°	5,570	-21°	0,800	-45°	0,067
+97°	532,125	+73°	221,212	+49°	78,491	+25°	22,830	+1°	5,209	-22°	0,730	-46°	0,060
+96°	514,401	+72°	212,648	+48°	74,871	+24°	21,578	0°	4,868	-23°	0,660	-47°	0,054
+95°	497,209	+71°	204,286	+47°	71,395	+23°	20,386	-1°	4,487	-24°	0,600	-48°	0,048
+94°	480,394	+70°	196,213	+46°	68,056	+22°	19,252	-2°	4,135	-25°	0,550	-49°	0,043
+93°	464,119	+69°	188,429	+45°	64,848	+21°	18,191	-3°	3,889	-26°	0,510	-50°	0,038
+92°	448,308	+68°	180,855	+44°	61,772	+20°	17,148	-4°	3,513	-27°	0,460	-51°	0,034
+91°	432,885	+67°	173,575	+43°	58,820	+19°	16,172	-5°	3,238	-28°	0,410	-52°	0,030
+90°	417,935	+66°	166,507	+42°	55,989	+18°	15,246	-6°	2,984	-29°	0,370	-53°	0,027
+89°	403,380	+65°	159,654	+41°	53,274	+17°	14,367	-7°	2,751	-30°	0,330	-54°	0,024
+88°	389,225	+64°	153,103	+40°	50,672	+16°	13,531	-8°	2,537	-31°	0,301	-55°	0,021
+87°	375,471	+63°	146,771	+39°	48,181	+15°	12,739	-9°	2,339	-32°	0,271	-56°	0,019
+86°	362,124	+62°	140,659	+38°	45,593	+14°	11,987	-10°	2,156	-33°	0,244	-57°	0,017
+85°	340,186	+61°	134,684	+37°	43,508	+13°	11,276	-11°	1,960	-34°	0,220	-58°	0,015
+84°	336,660	+60°	129,020	+36°	41,322	+12°	10,600	-12°	1,800	-35°	0,198	-59°	0,013
+83°	324,469	+59°	123,495	+35°	39,286	+11°	9,961	-13°	1,650	-36°	0,178	-60°	0,110
+82°	311,616	+58°	118,199	+34°	37,229	+10°	9,356	-14°	1,510	-37°	0,160	-65°	0,00640
+81°	301,186	+57°	113,130	+33°	35,317	+9°	8,784	-15°	1,380	-38°	0,144	-70°	0,00330
+80°	290,017	+56°	108,200	+32°	33,490	+8°	8,234	-16°	1,270	-39°	0,130	-75°	0,00130
+79°	279,278	+55°	103,453	+31°	31,744	+7°	7,732	-17°	1,150	-40°	0,117	-80°	0,00060
+78°	268,806	+54°	98,883	+30°	30,078	+6°	7,246	-18°	1,050	-41°	0,104	-85°	0,00025
+77°	258,827	+53°	94,483	+29°	28,488	+5°	6,790			-42°	0,093	-90°	0,00010

### مقدار تقطیر آب در حین تراکم

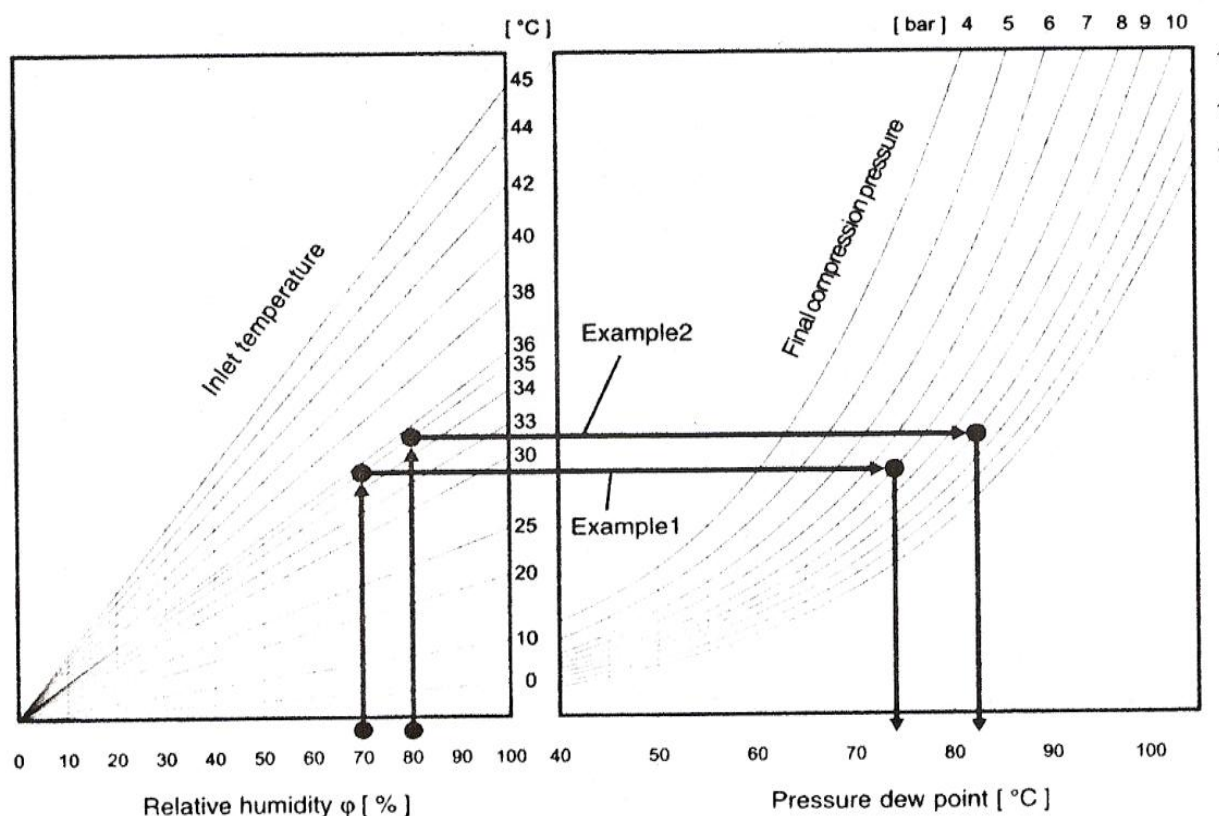
هوا محتوی آب به شکل رطوبت می باشد. از آنجا نیکه هوا می تواند متراکم گردد و آب این قابلیت را ندارد، وقتی هوا متراکم می گردد، آب به شکل قطرات ته نشین می گردد. ماکزیم رطوبت هوا به دما و حجم آن بستگی دارد ولی به مقدار آن وابسته نمی باشد.

هوای اتمسفری می تواند همانند یک اسفنج م رطوبت تصور گردد. این هوا می تواند یک مقدار مشخص از آب را در هنگام بدون فشار بودن در خود جای دهد. اما اگر این هوا فشرده گردد، بخشی از این آب بیرون می آید. مقداری از آب همیشه در داخل اسفنج باقی می ماند صرف نظر از اینکه به چه شدتی فشرده شده باشد. هوای فشرده خیلی شبیه به این می باشد.



### تعیین نقطه شبنم فشار:

نقطه شبنم فشار دمایی است که هوای فشرده می تواند تا آن دما سرد شود بدون آنکه قطرات آب در آن ته نشین گردد. نقطه شبنم فشار به فشار نهایی تراکم بستگی دارد. اگر فشار افت نماید، نقطه شبنم فشار نیز با آن افت می کند. دیاگرامهای زیر، برای تعیین نقطه شبنم هوای فشرده بعد از تراکم مورد استفاده قرار می گیرد.



## مثال 1:

### هوای ورودی :

- رطوبت نسبی اتمسفری  $\phi = 70\%$

دمای ورودی  $T = 35^\circ\text{C}$

### هوای فشرده :

- فشار نهایی تراکم  $p_{op} = 8 \text{ bar}$

**نتیجه :** نقطه شبنم فشار تقریباً  $73^\circ\text{C}$  می باشد.

---

## مثال 2:

### هوای ورودی :

- رطوبت اتمسفری نسبی  $\phi = 80\%$

- دمای ورودی  $T = 35^\circ\text{C}$

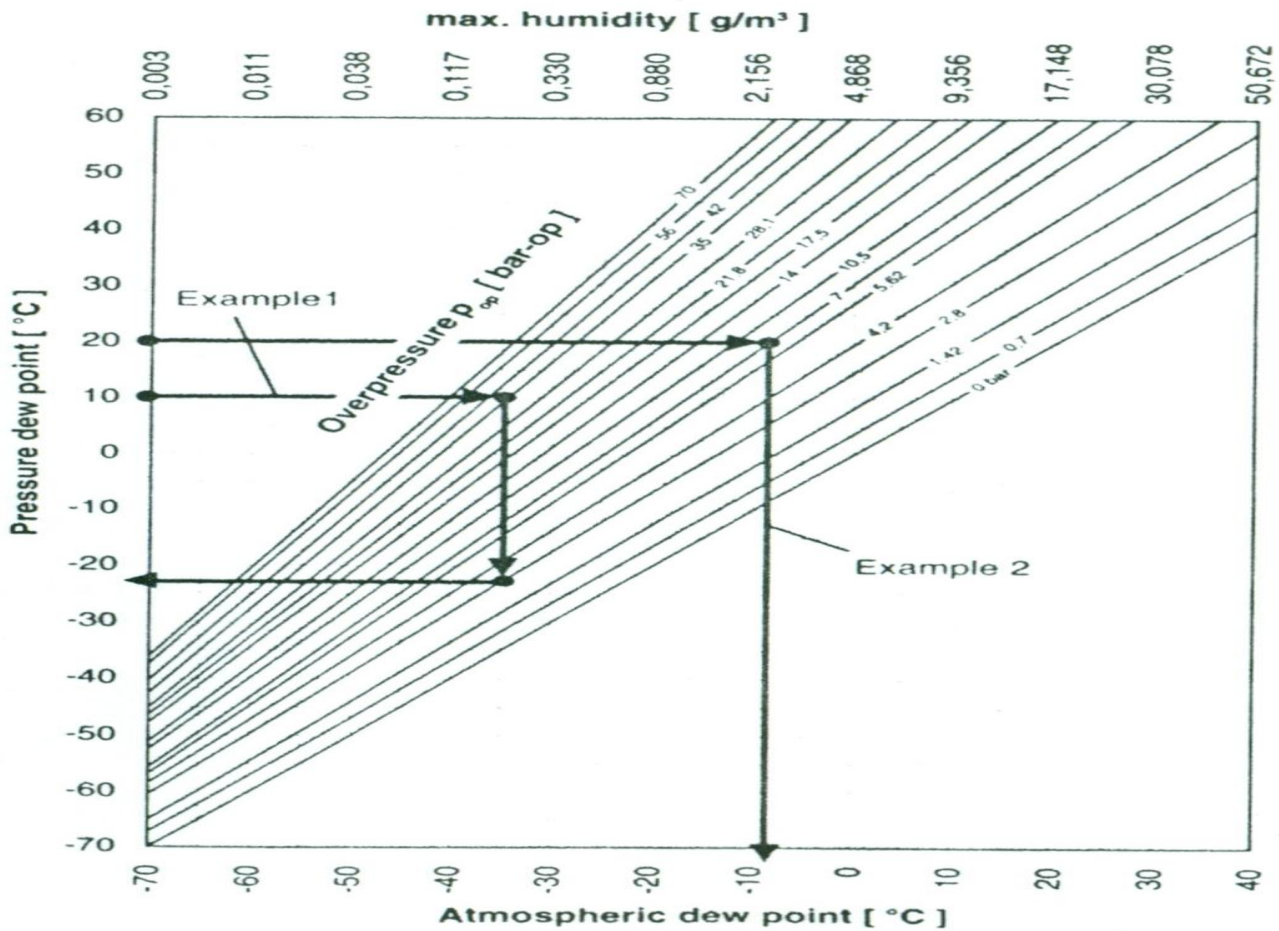
هوای فشرده :

- فشار نهایی تراکم  $p_{op} = 10 \text{ bar}$

**نتیجه :** نقطه شبنم فشار تقریباً  $82^\circ\text{C}$  می باشد.

### نقطه شبنم فشار بعد از برداشتن فشار

وقتی هوای فشرده کم فشار می گردد ، نقطه شبنم فشار پایین می آید . جدول زیر برای تعیین نقطه جدید شبنم فشار و نقطه شبنم اتمسفریک بعد از رها یی از فشار استفاده می گردد.



#### مثال 1:

هوای فشرده :

- فشار هوا  $p_{op} = 35 \text{ bar}$

- نقطه شبنم فشار  $10^\circ\text{C}$

هوای فشرده بعد از برداشتن فشار :

- فشار هوا  $p_{op} = 4 \text{ bar}$

نتیجه : نقطه جدید شبنم فشار تقریبا  $23^\circ\text{C}$  می باشد

#### مثال 2:

هوای فشرده :

- فشار هوا  $p_{op} = 7 \text{ bar}$

- نقطه شبنم فشار  $20^\circ\text{C}$

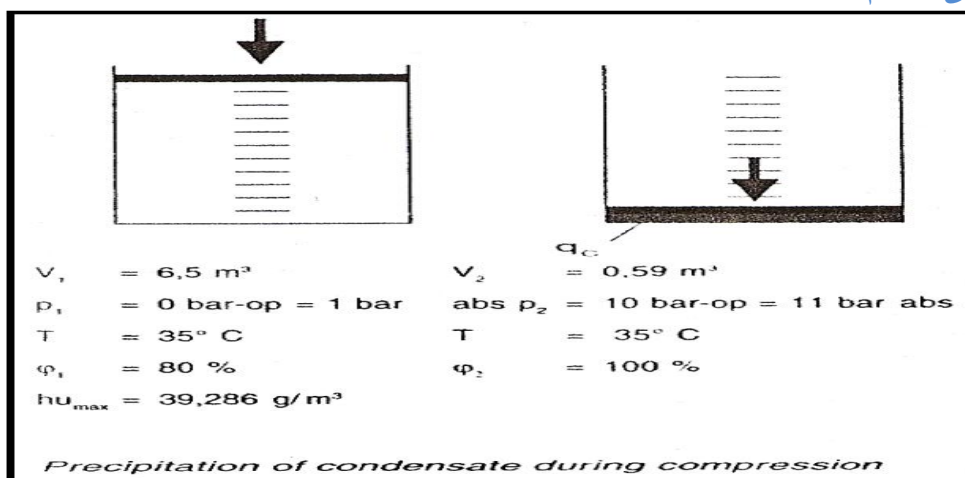
هوای فشرده بعد از برداشتن فشار

- فشار هوا  $p_{op} = 0 \text{ bar}$

نتیجه : نقطه شبنم فشار تقریبا  $8^\circ\text{C}$  می باشد



مثال های زیر مقدار رطوبت  $q_c$  را که در حین تراکم هوا، انتظار تقطیر شدن آن را داریم، بیان می نماید.  
**مثال 1:** در اولین مثال یک روز تابستانی مرطوب با دمای  $35^\circ \text{C}$  و رطوبت جوی 80 % را فرض می نمایم.



در ابتدا حجم  $V_2$  در یک فرایند دما ثابت بصورت ذیل محاسبه می شود.

$$P_1 V_1 = P_2 V_2$$

$$1 \times 6.5 = 11 \times V_2$$

$$V_2 = \frac{6.5}{11} = 0.59 \text{ m}^3$$

$$q_c = \frac{V_1 \times hu_{\max 1} \times \phi_1}{100} - \frac{V_2 \times hu_{\max 1} \times \phi_2}{100}$$

$$q_c = \frac{6,5 \times 39,286 \times 80}{100} - \frac{0,59 \times 39,286 \times 100}{100}$$

$$q_c = \frac{\text{m}^3 \times \text{g/m}^3 \times \%}{\%} - \frac{\text{m}^3 \times \text{g/m}^3 \times \%}{\%}$$

$$q_c = 181,108 \text{ g}$$

که در آن :

$q_c$  [g] مقدار آب ته نشین شده

$V_1 = 0 \text{ bar}$  [M3] حجم در فشار کارکرد

$V_2 = 10 \text{ bar}$  [m3] حجم در فشار کارکرد

$hu_{\max 1} = 35^\circ \text{C}$  [g/m³] ماکزیمم رطوبت در

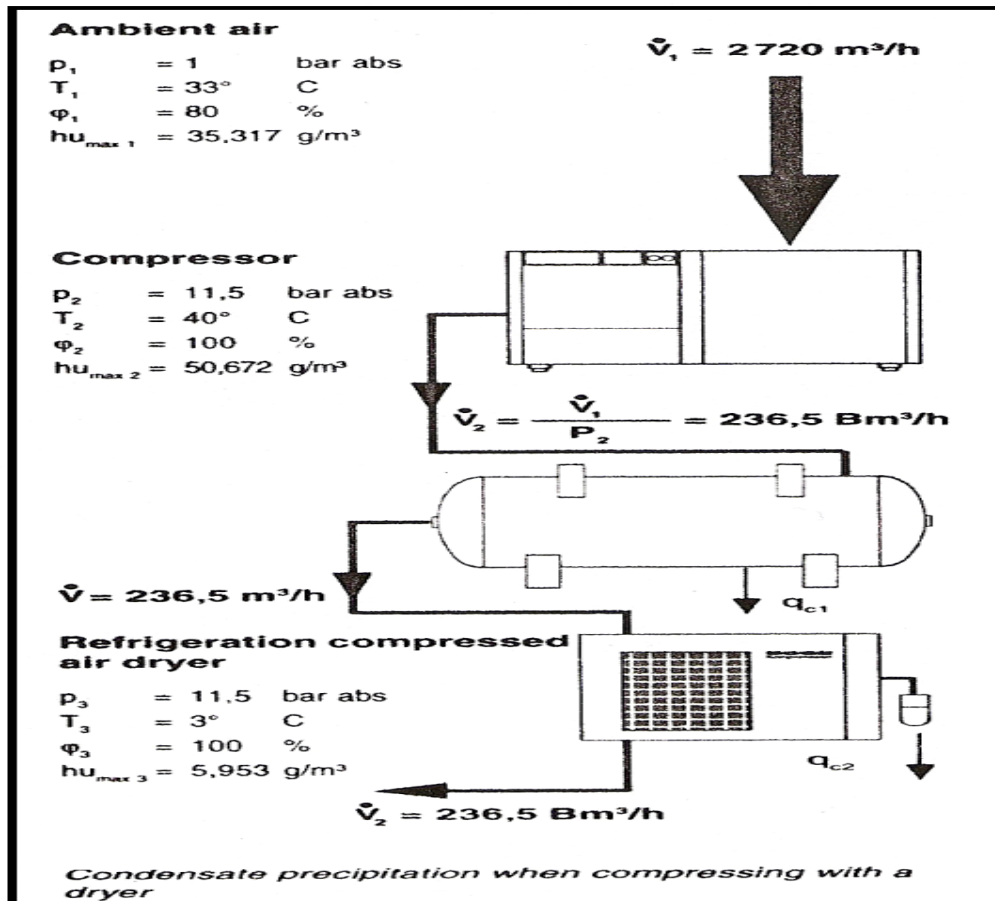
$p_1 = v_1$  [%] رطوبت نسبی

$p_2 = v_2$  [%] رطوبت نسبی

بخاطر اینکه رطوبتی که از هوای فشرده بیرون می آید قسمتی از هواست که نمی تواند در آن ذخیره شود، رطوبت نسبی هوای فشرده تا 100 % بالا می رود. در هنگام فشرده نمودن  $6/5 \text{ m}^3$  از هوا تا فشار 10 bar در یک دمای ثابت، 181/108 g آب، به صورت قطره قطره ته نشین می گردد.

## مثال 2: مثالی برای محاسبه میزان تقطیر:

این مثال مقدار تقطیر  $q_c$  را که در حین عمل تراکم اتفاق می افتد، نشان می دهد. توجه به این نکته لازم است که عملیات تقطیر در چند نقطه از ایستگاه کمپرسور و در زمانهای مختلف بوقوع می پیوندد.



در اینجا هدف این است که عمل تقطیر را بر روی یک کمپرسور اسکرو با دبی خروجی  $V=2720 \frac{m^3}{h}$  و فشار کارکرد  $p_{op}=10.5bar$  محاسبه نمائیم. در این مثال مشاهده می نمائیم که یک مخزن و یک خشک کن تبریدی به شکل سری به کمپرسور متصل شده اند.

تحت این شرایط، هوای موجود در جو شامل مقدار مشخص رطوبت ذیل می باشد:

$$q_w = \dot{V}_1 \times hu_{max 1} \times \phi_1 / 100$$

$$g/h = m^3/h \times g/m^3 \times \%/\%$$

$$q_w = 2720 \times 35,317 \times 80 / 100$$

$$q_w = 76849,79 \text{ g/h} \hat{=} 76,85 \text{ l/h}$$

در طی فرایند تراکم، دما بالاتر از نقطه شبنم فشار هوای فشرده خواهد رفت و بنابراین هیچ رطوبتی ته نشین نمی شود. در افتر کولر (aftercooler) کمپرسور هوای فشرده تا دمای  $T_2=40^\circ\text{C}$  خنک می شود. اولین تقطیر در اینجا رخ می دهد و قطرات به همراه هوا به درون مخزن راه می یابند. در مخزن جریان هوا آرام گشته و قطرات آب ته نشین می گردد. مقدار قابل ملاحظه ای از قطرات آب در اینجا جمع می شود.

$$\begin{aligned}
 q_{c1} &= q_w - (\dot{V}_2 \times hu_{\max 2} \times \phi_2 / 100) \\
 q_{c1} &= 76849,79 - (236,5 \times 50,672 \times 100/100) \\
 q_{c1} &= 64865,86 \text{ g/h} \hat{=} 64,87 \text{ l/h}
 \end{aligned}$$

هوای فشرده سپس در خشک کن تبریدی تا نقطه شبنم  $3^\circ\text{C}$  خنک می گردد. تقطیر در خشک کن رخ دهد و قطرات به بیرون هدایت می گردند:

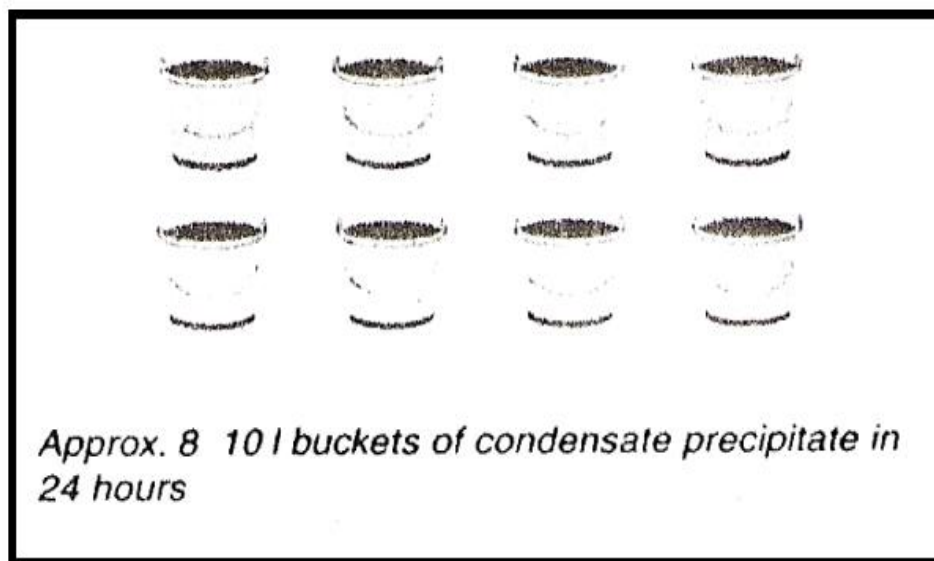
$$\begin{aligned}
 q_{c2} &= (\dot{V}_2 \times hu_{\max 2}) - (\dot{V}_2 \times hu_{\max 3}) \\
 q_{c2} &= (236,5 \times 50,672) - (236,5 \times 5,953) \\
 q_{c2} &= 10576,04 \text{ g/h} \hat{=} 10,58 \text{ l/h}
 \end{aligned}$$

علاوه بر این جریانهای جداگانه آب تقطیر شده، همیشه مقادیری آب باید بوسیله سایر تجهیزات رطوبت گیری گرفته می شوند.

مقدار آب تقطیر شده  $q_c = q_{c1} + q_{c2}$

$$q_c = 75441/9 \frac{\text{g}}{\text{h}}$$

$$= 75.4 \frac{\text{l}}{\text{h}}$$



با عدم تغییر فرضیات اولیه، در صورتی که کمپرسور در 3 شیفت کاری و در 24 ساعت طول روز در حال کار باشد داریم:

$$q_{cd} = 75441.9 \times 24 \text{ مقدار رطوبت}$$

$$q_{cd} = 1810603/6 \frac{\text{g}}{\text{D}}$$

$$q_{cd} = 1810.6 \frac{\text{l}}{\text{D}}$$

و در یک سال، مقدار رطوبت جدا شده برابر است با:

$$q_{cy} = 1810605/6 \times 365 \text{ مقدار رطوبت تقطیر شده}$$

$$q_{cy} = 660871044 \frac{\text{g}}{\text{y}}$$

$$= 660871 \frac{\text{l}}{\text{y}}$$



### مقدار آب در یک روز تابستانی مرطوب

کیفیت هوای فشرده حتی اگر شرایط محیطی تغییر نمایند ، باید ثابت باقی بماند . برای مثال نقطه شبنم فشار هوای فشرده حتی در یک روز تابستانی مرطوب با دمای هوای  $40^{\circ}\text{C}$  و رطوبت اتمسفریک 90 % باید  $3^{\circ}\text{C}$  باشد .

$$\text{FAD} = 2720 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

$$\text{فشار مطلق ورودی } p_1 = 1\text{bar}$$

$$T_1 = 40^{\circ}\text{C} \text{ دمای ورودی}$$

$$\text{رطوبت نسبی } \varphi_1 = 90\%$$

$$\text{نقطه شبنم فشار } T_3 = 2^{\circ}\text{C}$$

تحت این شرایط ، کیفیت هوای فشرده ثابت باقی می ماند ، اما مقدار جدا شده بیشتر می شود .

$$\text{مقدار رطوبت } q_c = 122.6 \frac{\text{L}}{\text{H}}$$

با عدم تغییر فرضیات اولیه ، در صورتی که کمپرسور در 3 شیفت کاری و در 24 ساعت طول روز در حال کار باشد داریم :

$$\text{مقدار رطوبت } q_{cd} = 2943.3 \frac{\text{L}}{\text{D}}$$

و در یک سال مقدار رطوبت جدا شده برابر است با :

$$\text{مقدار رطوبت تقطیر شده } q_{cy} = 1074304 \frac{\text{L}}{\text{Y}}$$

کلیه مطالب از هندبوک شرکت BOGE KOMPRESSOREN استخراج شده است.