مثال ٤-١) فشار بخار دی اتیل اتر $C_2H_5OC_2H_5$ در ٢٠°C برابر ٤٤٢mmHg است. مخلوط اشباعی از بخارات ترکیب مذکور و گاز ازت در ٢٠°C دارای فشاری معادل ٧٤٥mmHg است ترکیب مخلوط را به صورتهای زیر محاسبه و بیان نمائید:

الف) درصد حجمی

ب) درصد وزنی

ج) وزن بخار در یک لیتر فاز گاز و بخار

د) وزن بخار در ازاء واحد وزنی گاز خشک

هـ) تعداد مول بخار بازاء واحد مولی گاز خشک

طرز بیان غلظت در مخلوط گاز و بخار

بطوری که ذکر شد اگر در مخلوط بخار و گاز, فشار جزئی بخار کمتر از فشار بخار مایع مربوطه‌اش در آن دما باشد در اینصورت خواهیم گفت مخلوط گاز و بخار بطور نسبی اشباع شده است برای بیان کمیت این اشباعیت شاخص‌های مختلفی پیشنهاد شده که در ذیل مهمترین آنها نام برده می‌شود.

الف) اشباعیت مولال[۱]

تعداد مول‌های بخار بازاء واحد مولی گاز خشک است.

$$Y_m = \frac{n_v}{n_g} = \frac{p_v}{p_g} = \frac{p_v}{p - p_v} \qquad (۳-٤)$$

اشباعیت مولال در شرایط خاصی که مخلوط گاز و بخار، اشباع باشد به ترتیب زیر خواهد بود.

$$(Y_m)_s = \frac{P_s^o}{P - P_s^o} \qquad (٤-٤)$$

ب)اشباعیت [۲]

جرم بخار بازاء واحد جرمی گاز خشک می‌باشد.

$$Y = \frac{w_v}{w_g} = \frac{P_v}{P - P_v} . \frac{M_v}{M_g} \qquad (٥-٤)$$

(ج) اشباعیت نسبی[۳]

در این بیان نسبت فشار جزئی بخار در مخلوط گاز و بخار به فشار بخار مایع در دمای مربوطه تقسیم گردیده و در ۱۰۰ ضرب می‌شود.

$$Y_r = \frac{P_v}{P_s^o} \times 100$$

P^o به معنای فشار بخار خالص و S به معنای اشباع است.

اگر گاز و بخار مورد نظر به ترتیب هوا و بخار آب باشد بجای اشباعیت از واژه رطوبت[۱] استفاده می‌شود.

---

۱. Molar saturation

۲. Saturation

۱. Relative saturation

د) درصد اشباعیت[۲]

این مقدار برابر است با نسبت تعداد مولهای بخار در واحد مولی گاز خشک به تعداد مولهای بخار در واحد مولی گاز خشک در شرایط اشباع که به صورت درصدی بیان می‌شود.

$$Y_P = \frac{Y_m}{(Y_m)_S} \times 100 \qquad (٦-٤)$$

$$Y_P = \frac{P_v}{P_s^o}\left(\frac{P - P_s^o}{P - P_v}\right) \times 100 \qquad (٧-٤)$$

$$Y_P = Y_r\left(\frac{P - P_s^o}{P - P_v}\right) \qquad (٨-٤)$$

مثال ٤-٢: مخلوط بخار استون و گاز ازت دارای ۱٤/۸٪ مولی استن است. اشباعیت نسبی و درصد اشباعیت این مخلوط را در فشار کل ۷٤٥mmHg و دمای ۲۰℃ محاسبه نمائید.

فشار بخار استون در ۲۰℃ برابر ۱۸٤/۸mmHg است.

حل) مبنا: ۱ مول مخلوط گاز

$$P_{acc} = P_t y_{acc} = P_t\left(\frac{n_{acc}}{n_t}\right) \Rightarrow P_{acc} = (745)\left(\frac{0.148}{1}\right) = 110.3 \text{ mmHg}$$

الف) اشباعیت نسبی

$$Y_r = 100\frac{P_{acc}}{P_{acc}^o} = 100\frac{110.3}{184.8} = 59.7\%$$

ب) درصد اشباعیت

$$Y_P = \frac{P_{acc}}{P_{acc}^o}\left(\frac{P_t - P_{acc}^o}{P_t - P_{acc}}\right) \times 100 = \frac{110.3}{184.8}\left(\frac{745 - 184.8}{745 - 110.3}\right) \times 100 = 52.7\ \%$$

۱. Humidity

۲. Saturation percentage

مثال ٤-٣) مخلوطی از بخار بنزن و هوا در دست است که درصد حجمی بخار بنزن ۱۰/۱٪ است.

الف) مطلوبست نقطه شبنم در صورتی که فشار کل ۷۵۰mmHg و دما ۲۵°C باشد.

ب) در صورتی که فشار کل ۷۵۰mmHg و دما ۳۰°C باشد مجدداً نقطه شبنم را تعیین کنید.

ج) مطلوبست نقطه شبنم در صورتیکه فشار کل ۷۰۰mmHg و دما ۳۰°C باشد.

یادآور می‌شود که می‌توانید از جدول تغییرات فشار بخار بنزن با دما استفاده کنید.

مثال ٤-٤) در یک واحد استخراج، استون بعنوان حلال بکار برده شده است، ضمن عمل لازم است که استون را از فاز اکستراکت[1] جدا نمایند. بدین منظور از گاز ازت استفاده می‌شود، یعنی استون همراه با جزء حل شده وارد دستگاه تبخیر شده و به کمک گاز ازت گرم از محلول مایع اکستراکت جدا می‌گردد. مخلوط گاز ازت و بخار استون پس از میعان بخارات استون و گرم شدن, مجدداً به دستگاه تبخیر برمی‌گردد لذا گاز ازت ورودی به دستگاه تبخیر خالص نبوده و همراه مقداری بخار استون است. فرض می‌کنیم دمای مخلوط گاز ازت و بخار استون ورودی ۳۰□ و نقطه شبنم آن ۱۰□ و دمای مخلوط گاز ازت و بخار استون خروجی ۲۵□ و نقطه شبنم آن ۲۰□ است. در صورتی که قبول نمائیم در تمام طول عملیات فشار بارومتری در ۷۵۰mmHg ثابت باشد، به سؤالات زیر پاسخ دهید:

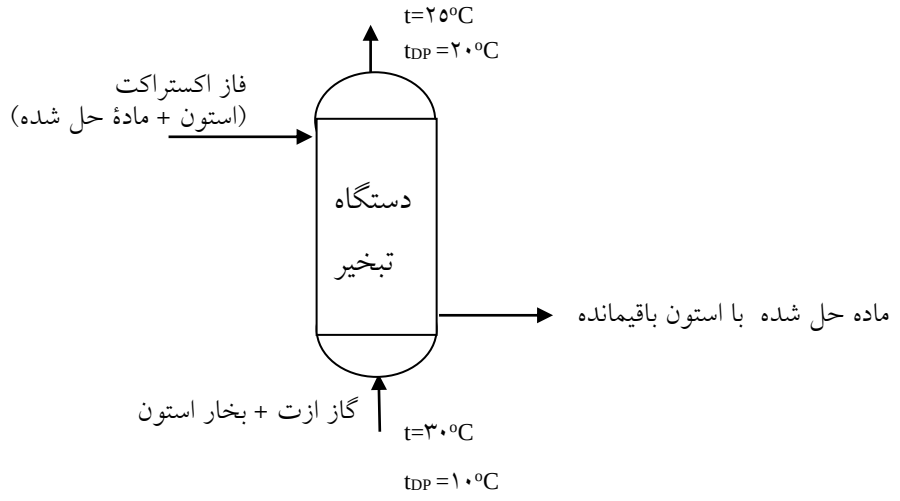
الف) اشباعیت مولار در مخلوط گاز و بخار در موقع ورود و خروج از دستگاه تبخیر

ب) تعداد مول استون تبخیر شده بازاء هر مول گاز خشک وارد شده به دستگاه تبخیر

ج) اگر ۱۰۰۰ لیتر مخلوط گاز و بخار وارد دستگاه شود مطلوبست وزن استون تبخیر شده.

د) اگر ۱۰۰۰ لیتر مخلوط گاز و بخار وارد دستگاه شود مطلوبست حجم مخلوط مرطوب که دستگاه تبخیر را ترک می‌کند.

داده‌ها: فشار بخار استون در ۱۰ و ۲۰□ بترتیب برابر است با ۱۱٦ و ۱۸۵ mmHg

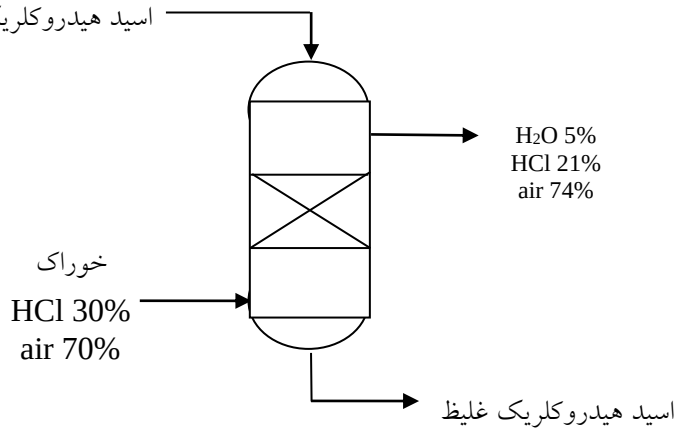


شکل ٤-۳

۱. Extract

مثال ٤-٥) فشار جزئی بخار آب و اسیدکلریدریک در تماس با اسید هیدروکلریک که غلظت آن ما بین ۱۰ الی ٤٥ درصد باشد در دمای ٦٠°C و در شرایط تعادل بکمک روابط تجربی زیر قابل پیش بینی است:

$$P_{H_2O}(mmHg) = 170 - 4 \times (HCl\%)$$
$$LnP_{HCl}(mmHg) = 0.189 \times (HCl\%) + 0.2$$



شکل ٤-٤

جهت تغلیظ اسیدهیدروکلریک رقیق ٪۱۵ این اسید در برج جذب بصورت جریان معکوس و در فشار یک اتمسفر با گازی که ترکیب درصد وزنی آن ٪۷۰ هوا و ٪۳۰ HCl است در دمای ٦٠ °C در تماس قرار داده می‌شود. آزمایشات، ترکیب مولی گازهای خروجی را ٪۵ H_2O و ٪۲۱ HCl و ٪۷٤ هوا نشان داده است. به کمک روابط بالا نشان دهید که آیا این برج جذب دارای بهره قابل قبول است یا نه؟ در صورت نبودن، علت محتمل را پیش بینی کنید.

٤-٥) دمای خشک و مرطوب مخزن دماسنج[1]

به کمک یک ترمومتر ساده می‌توان دمای محیطی که مخلوط گاز و بخار است اندازه‌گیری کرد این مقدار فقط نمایانگر دما است و با رطوبت هوا هیچ ارتباطی ندارد ولی اگر بر روی مخزن این دماسنج یک پنبهٔ آغشته به آب قرار دهیم با فرض اینکه هوای محیط کاملاً خشک باشد بر اثر تبخیر آب موجود در پنبهٔ و اخذ مقداری از گرمای نهان مورد نیاز از مخزن جیوه دماسنج رقم حداقلی را نشان می‌دهد اگر هوای خارج ٪۱۰۰ مرطوب باشد دماسنج در هر دو حالت یک عدد را نشان می‌دهد.

بدین ترتیب دمای مرطوب متناسب با رطوبت هوا است و اگر یک دماسنج مرطوب براساس رطوبت هوا درجه‌بندی گردد بعنوان رطوبت سنج قابل استفاده خواهد بود. معمولاً هوای خارج ساکن فرض می‌شود ولی اگر هوا دارای حرکت باشد باید رقم خوانده شده را با توجه به سرعت هوا تصحیح نمود.

در ضمن یاد آور می‌شود که در حال حاضر, رطوبت سنج‌هایی وجود دارد که براساس اندازه گیری قابلیت هدایت هوا کار می‌کنند.

٤-٦) طرز بیان غلظت بخار آب در هوا

با توجه به اهمیت و ویژگی که سیستم بخار آب و هوا در صنعت دارد، واژه‌های ویژه‌ای برای بیان غلظت این سیستم ارائه شده است که مهمترین آنها بصورت زیر می‌باشد. لازم به توضیح است که این مفاهیم در اساس مشابه مفاهیم اشباعیت است که قبلاً ذکر شده است.

الف) رطوبت[2]

عبارتست از وزن بخار آب بازاء واحد وزنی هوای خشک[3]

$$H = \frac{\text{وزن بخار آب}}{\text{وزن هوای خشک}}$$

P_v: فشار جزئی بخار آب

P: فشار کل

---

۱. Dry bulb and wet bulb temperature

۲. Humidity

۳. Bone dry air

P_S^o: فشار جزئی بخار در شرایط اشباع و یا فشار بخار مایع در همان دما

$$H = \frac{P_v}{P - P_v} \times \frac{18}{29} \qquad (۹-٤)$$

$$(H)_s = \frac{P_s^o}{P - P_s^o} \times \frac{18}{29}$$ رطوبت اشباع

ب) رطوبت مولار (H_m)

تعداد مولهای بخار آب به ازای یک مول هوا در شرایط موجود

$$H_m = \frac{P_v}{P - P_v} \qquad (۱۰-٤)$$

ج) رطوبت نسبی

$$H_r = \frac{P_v}{P_s^o} \times 100 \qquad (۱۱-٤)$$

د) درصد رطوبت: تعداد مول بخار آب بازاء یک مول هوا تقسیم بر همین مقدار در شرایط اشباع ضربدر صد.

$$H_P = \left(\frac{p_v}{P_s^o}\right)\left(\frac{P - P_s^o}{P - P_v}\right) \times 100 \qquad (۱۲-٤)$$

$$H_P = \frac{H_m}{(H_m)_s} \times 100$$

مثال٤-٦): هوا در شرایط ۷٦۰mmHg و ٤۰ در دست است. این هوا به ازاء هر کیلوگرم هوای خشک دارای ۰/۰۰۵ کیلوگرم بخار آب است.

الف) مطلوب است محاسبه هریک از انواع رطوبت در شرایط اولیه

ب) اگر دما را تا ۳۰ افزایش دهیم، مطلوبست محاسبهٔ کلیهٔ انواع رطوبت در شرایط جدید.

ج) اگر دما در ۳۰ ثابت نگهداشته و فشار را تا ۸٦۰mmHg افزایش دهیم مقادیر کلیه انواع رطوبت را حساب کنید.

د) اگر دمای هوا را در ۳۰ ثابت نگهداشته و فشار را به ۱۰atm افزایش دهیم مطلوبست محاسبهٔ هر یک از انواع رطوبت.

هـ) اگر فرض کنیم در شرایط اولیه ۱۰۰۰ لیتر هوا داشته باشیم مطلوبست محاسبهٔ وزن بخار آب مایع شده در شرایط جدید. (فشار بخار آب در ٤۰ و ۳۰ بترتیب ٦mmHg و ۳۱ می‌باشد).

٤-٧) نمودار رطوبت هوا- بخار آب

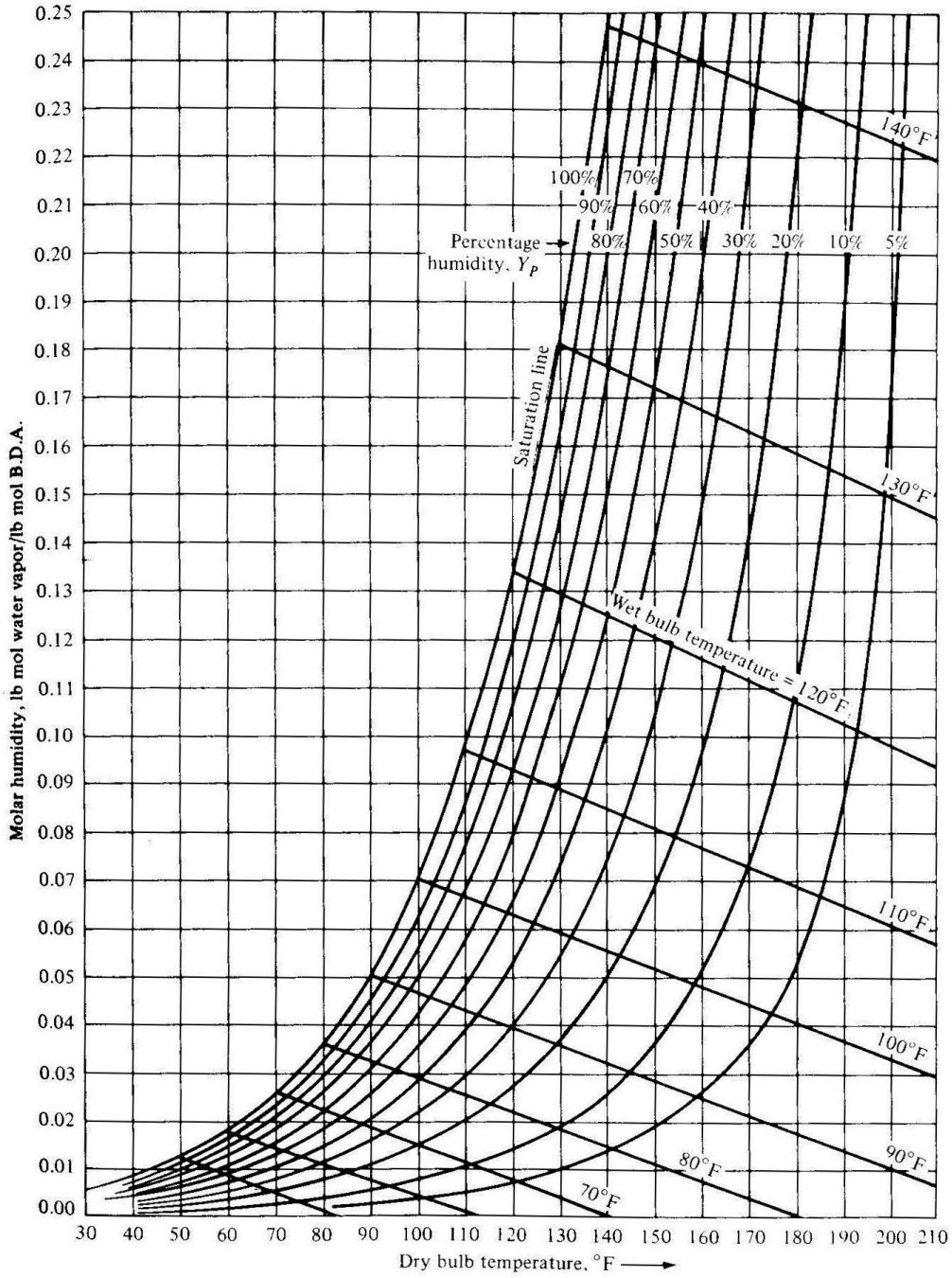
شکل ٤-٥ یک نوع نمودار رطوبت برای سیستم هوا- بخار آب را نشان می‌دهد. محورهای x و y به ترتیب رطوبت مولی (H_m) و دمای مخزن خشک می‌باشند. دمای مخزن مرطـوب و درصـد رطوبت (H_P) نیز توسط خطوط عمودی به هم مرتبط می‌شوند. بنابراین این شـکل چهـار نـوع اطلاعات مرتبط بهم دارد.

با داشتن دو تا از این چهار نوع داده، دو مورد دیگر را می‌توان بکمک شکل بدست آورد. لازم به ذکر است که محل تلاقی خطوط راست و هـم دمـای مخـزن مرطـوب بـا منحنـی اشـباع[1]، مختصات نقطه شبنم را نشان می‌دهد بطوریکه از محور x می‌تـوان دمـای شـبنم و از محـور y، رطوبت مولار اشباع $(H_m)_s$ را قرائت نمود. به عنوان مثال اگر هوائی داشته باشیم که دمای خشک و مرطوب آن به ترتیب ١٦٠ و ١٣٠ درجه فارنهایت باشد رطوبـت مـولار آن ٠/١٦٧ و درصـد رطوبت، ٣٣ درصد و نقطه شبنم ١٢٨ ^oF و رطوبت مولار اشباع ٠/١٨١ خواهد بود. اکنون ایـن سئوال مطرح است که اگر ١٠٠mol از این هوا را تا ١٠٠^oF سرد نمائیم تعـداد پونـد مول‌هـای آب میعان یافته چقدر خواهد بود. با توجه به اینکه ١٠٠ ^oF زیر دمای شبنم است بنابراین میعان صورت خواهد گرفت و در دمای ١٠٠ ^oF در شرایط اشباع، رطوبت مولار (اشـباع) بـه کمـک شکل برابر با ٠/٠٦٩ قرائت می‌شود لذا می‌توان به ترتیب زیر نوشت:

$$(0.167 - 0.069)\left(\frac{\text{lbmol } H_2O}{\text{lbmol dry air}}\right) \times \frac{100 \text{ (lbmol dry air)}}{100 + 16.7 \text{ (lbmol air)}} \times 100 \text{ (lbmolair)}$$

$$= 8.4 \text{ (lbmol of condensed water)}$$

١. Saturation line



٤-٥) نمودار رطوبت برای سیستم بخار آب – هوا