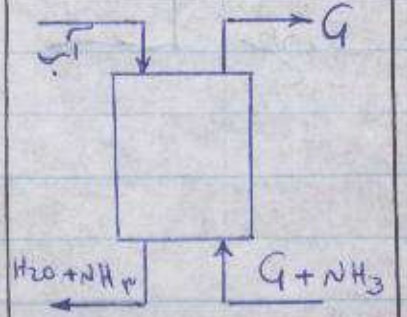
نوع عملیات انتقال جرم	جهت انتقال جرم	انتقال انرژی	ملاحظات (مثال)	حالت خاص آب = L ; هوا = G
جذب absorption	L ← G	آزادی کند		عملیات رطوبت زدائی Dehumidification
دفع یا عاری سازی Stripping	G ← L	می گیرد		رطوبت زنی Humidification Cooling Tower
تقطیر Distilation	L ⇌ G	سطح نیست	مثل جداسازی آب و اتانول از یکدیگر در این عملیات عمل جذب و دفع همزمان صورت می گیرد. به عبارت دیگر انرژی حاصل از میعان سرعت تبخیر می گردد	
جذب سطحی adsorption	S ← L S ← G	آزادی کند	جذب سولفیدهای بار غال فعال رطوبت گیری هوا با سیلیکاژل جذب طعم و بو از بزاق های نفتی با جاذب	رطوبت زدائی
دفع سطحی DeSorption	S ← L S ← G	می گیرد		draying مثل زدن

استخراج مایع - مایع Extraction	L-L	مطرح نیست	در مواقعی که نتوان از تقطیر استفاده نمود بدلیل یکسان بودن فرارت دو جزء یا حساس بودن اجزاء به دما عملیات جداسازی را با حلال انجام می دهند
استخراج مایع - جامد leaching	S-L	مطرح نیست (مگر)	استخراج روغن از دانه ها یا روغنی توسط حلال یا استخراج ساکاروز از چغندر قند توسط آب داغ

در همه این موارد، عملیات بین دو فاز غیر قابل امتزاج یا تماس مستقیم صورت می گیرد. چنانچه انتقال جرم بین دو فاز غیر قابل امتزاج داشته باشیم از غشاء استفاده می کنیم (بمنظور جلوگیری از اختلاط فازها)

عملیات مکانیکی	انتقال جرم	انتقال حرارت	ملاحظات
صاف کردن filteration	مطرح نیست	مطرح نیست	جداسازی جامد از فاز مایع
کاهش اندازه یا خرد کردن Size reduction	مطرح نیست	مطرح نیست	یک فاز جامد درشت را جهت ازدیاد سطح تماس خود می کنیم

عملیات رطوبت زنی و رطوبت زدایی: Humidification and Dehumidification

عملیات است که در برگیرنده ی انتقال ماده بین یک فاز مایع خالص و یک گاز غیر قابل حل در مایع می باشد

یکی از اهداف این عملیات تنظیم میزان جزء قابل انعقاد در یک گاز غیر قابل انعقاد است

بدین منظور گاز را در تماس با فاز مایع جزء مورد نظر قرار می دهند

در عملیات رطوبت زنی: از فاز مایع بخار است. و در عملیات رطوبت زدایی: از فاز به فاز مایع این عملیات از جذب و دفع ساده تر است زیرا در این فاز مایع شامل یک جزء می باشد در عملیات رطوبت زنی هیچ مقاومتی در برابر انتقال جرم در فاز مایع وجود ندارد

نکته: چون فاز مایع خالص است پس در برابر انتقال جرم مقاومت صورت نمی گیرد

از این رو گرادیان غلظتی هم وجود ندارد (فاز مایع خالص) انتقال جرم و حرارت و سرعت عمل خشک کردن تقریباً صورت گرفته و یکی پس از دیگری صورت گرفته

قبل از اینکه وارد معادلات مربوطه شویم ابتدا چند تعاریف داریم:

تعاریف:

- بخار: فرم گازی شکل یک جزء که در شرایط معمول به صورت مایع می باشد و با زیرنویس A نشان می دهند
- گاز: آن جزئی که در شرایط معمول فرم گازی وجود دارد و با زیرنویس B نشان می دهند

در دما مقدور بخار را در اثر فشار می‌توان مایع نمود و گاز را نمی‌توان زیرا در حالت عادی دما

نکته: برای اینکه مایع شود باید هم فشار را زیاد و هم دما را پایین بیاید

پس ←

بخار	+	هوا
Vapor		gas

* پس از این به بعد فشار را ثابت و برابر با یک atm و ضمناً مخلوط گازی را ایده‌آل در نظر می‌گیریم و از حالت «L» در «A» نیز صرف نظر می‌کنیم

L G

یادآوری:

mole fraction : $x_A = \frac{\text{mole A}}{\text{mol total}}$ $\quad y_A = \frac{\text{mole A}}{\text{mol total}}$

mole ratio

جزء مولی نسبی ⇒ $X_A = \frac{\text{mol A}}{\text{mol non-A}}$ (غیر مول A) $\quad Y_A = \frac{\text{mol A}}{\text{mol non A}}$ (غیر مول A)

جزء وزنی ⇒ $x'_A = \frac{\text{mass A}}{\text{mass total}}$ $\quad y'_A = \frac{\text{mass A}}{\text{mass total}}$

جزء وزنی نسبی : $X'_A = \frac{\text{mass A}}{\text{mass non-A}}$ (غیر از وزن A) $\quad Y'_A = \frac{\text{mass A}}{\text{mass non A}}$ (غیر از وزن A)

رطوبت مطلق یا اصطلاحاً رطوبت :

((Absolute humidity))

عبارت از نسبت جرم بخار به جرم گازهای از بخار (در نبود گازی)

$$Y'_A = Y' = \frac{\text{mass } A}{\text{mass } B} \quad \frac{kg}{kg} \text{ یا } \frac{lb}{lb}$$

هم در حالت کلی اگر بجای A چیز دیگری داشته باشیم به آن اسباع گویند ⟸ *

رطوبت مطلق مولی : molal absolute humidity

$$Y = \frac{\text{mol } A}{\text{mol } B} = \frac{y_A}{y_B} \overset{\text{گازها کامل}}{=} \frac{P_A}{P_B} = \frac{P_A}{P_t - P_A} = \frac{P_A}{1 - P_A}$$

$P_t = 1\,atm$

نکته: گسترش مقدار P_A همان صفر شود اما صادق می‌تواند $P_A = P_A^*$ شود به این عبارت به رطوبت اسباع گویند

ارتباط رطوبت و رطوبت مطلق مولی :

$$Y' = Y \frac{M_A}{M_B} = \frac{M_A}{M_B} \cdot \frac{P_A}{(P_t - P_A)} = \frac{M_A \cdot P_A}{M_B (1 - P_A)}$$

$$\Leftrightarrow P_A = \frac{M_B \cdot Y'}{(M_A + M_B Y')}$$

ارتباط جزء مولی و رطوبت :

$$y_A = y = \frac{\text{mol } A}{\text{mol total}} = \frac{\text{mol } A}{\text{mol } A + \text{mol } B} \Rightarrow \frac{P_A}{P_A + P_B} = P_A$$

$P_t = 1$

یعنی زمانی که سایر جزئی را داشته یعنی همان جزء سوم را داده است

$$\rightarrow P_A = \frac{M_B Y'}{(M_A + M_B Y')} = \frac{\frac{Y'}{M_A}}{\left(\frac{1}{M_B} + \frac{Y'}{M_A}\right)}$$

جزء مولی — جزء مولی — جزء مولی — جزء مولی

$\frac{Y'}{M_A} \ll \frac{1}{M_B} \Rightarrow y = \frac{M_B}{M_A} Y'$

$\frac{Y'}{M_A} = \frac{1}{29}$, $\frac{1}{M_B} = \frac{1}{18}$

از این جزء متناسب با رطوبت مطلق باشد

یعنی اگر یکی را داشته باشیم می‌توانیم دیگری را پیدا کنیم

$$y = \frac{M_B}{M_A} \cdot \frac{\text{mass } A}{\text{mass } B} \Rightarrow y = \frac{\text{mol } A}{\text{mol } B}$$

کاربرد: برای کاربرد به کار می‌رود که در تعادل با مایع باشد

$$P_A = P_A^*$$

P_A → Partial Pressur of A

P_A^* → Vaper Pressur of A

نکته: در حالت اشباع گاز می‌خواند بخار بیشتری جذب نماید و همانگونه رطوبت را دارد اگر مشاهده جزئی می‌شود معادل اتفاق می‌افتد

$$Y_s' = \frac{M_A P_A^{sat}}{M_B (P_t - P_A^{sat})}$$ (اشباع)

$$y_e = \frac{\frac{Y_s'}{M_A}}{\frac{1}{M_B} + \frac{Y_s'}{M_A}}$$ (در حالت تعادل)

برای رطوبت اشباع: رابطه‌ای داریم

برای جزئی: از تعادلی استفاده می‌کنیم

رطوبت نسبی : Relative Humidity

عبارت است از نسبت جزئی بخار در مخلوط گازی به فشار بخار خالص در دمای مخلوط

$$Y_R(\%) = \frac{P_A}{P_A^{sat}} = \frac{(mol\ A)_{mix}}{(mol\ A)_{sat}} = \frac{(mass\ A)_{mix}}{(mass\ A)_{sat}}$$

چون M_w ها کسری‌اند پس با هم برابرند

$$0\% \leq R.H \leq 100\%$$

گاز عاری از بخار — گاز اشباع از بخار

★ اداره هواشناسی رطوبت نسبی استفاده می‌کند

رطوبت درصدی یا درصد رطوبت یا درصد اشباع : Percentage Hiumidity

نسبت رطوبت مولی گاز به حالت اشباع

$$Y_p(\%) = \frac{(M_A P_A)/M_B(P_t - P_A)}{(M_A P_A^{sat})/M_B(P_t - P_A^{sat})} = \frac{P_A}{P_A^{sat}} \cdot \frac{P_t - P_A^{sat}}{P_t - P_A}$$

($\frac{P_A}{P_A^{sat}} = 1 \Leftarrow$ ، $\frac{P_t - P_A^{sat}}{P_t - P_A} = 1 \Leftarrow$)

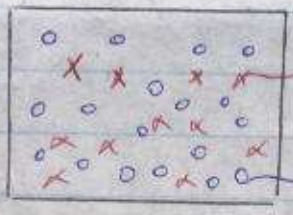
۲ عبارت آخر هنوز با هم آشنا نشده‌اند (۲ عبارت دیده نشده) چون این ۲ بسیار از لحاظ عددی با هم نزدیک هستند

در حل مسئله رطوبت همیشه Y_p از Y_R کوچکتر است چون P_A همیشه کوچکتر از P_A^* است

پس از انجام این موارد می‌توان برای محاسبه مقدار آب در هوا استفاده کرد

حجم مرطوب (Humid Volume)

عبارتست از مجموع حجم یک گرم گاز خشک به‌علاوه آن مقدار بخار موجود در آن به‌عبارت دیگر حجم کل مخلوط گازی (گاز مرطوب) به واحد وزن گاز خشک



مثلاً

* یعنی همین که یک گرم هوا در آن وجود دارد

$$V_H = \frac{\text{Volume of wet gas}}{\text{mass of dry gas}} : \frac{m^3}{kg} \text{ or } \frac{ft^3}{lb}$$

$$V_H = \frac{1}{(gr)} \frac{RT}{M_B P_t} + \frac{Y'}{(gr)} \left(\frac{RT}{M_A P_t}\right) = \frac{RT}{P_t}\left(\frac{1}{M_B} + \frac{Y'}{M_A}\right)$$

$$R = 82.05 \frac{cm^3\, atm}{gmol\, k} = 82.05 * 10^{-6} \frac{m^3\, atm}{gmol\, k} =$$

$$= 0.7302 \quad \frac{atm\, ft^3}{lbmol\, ^\circ R}$$

$$V_H = \frac{\text{حجم کل مخلوط گازی}}{\text{مقدار وزن گاز خشک}} = \frac{V_A + V_B}{m_B} = \frac{\frac{m_A RT}{P_t M_A} + \frac{m_B RT}{P_t M_B}}{m_B} = \frac{\frac{m_A RT}{m_B P_t M_A}}{} + \frac{\frac{m_B RT}{m_B P_t M_B}}{} =$$

m_B — Y' — 1

$$V_H\left(\frac{m^3}{gr}\right) = 82.05 * 10^{-6}\, T(k)\left(\frac{1}{M_B} + \frac{Y'}{M_A}\right)$$

$$V_H\left(\frac{ft^3}{lb}\right) = 1.7302\, T(°R)\left(\frac{1}{M_B} + \frac{Y'}{M_A}\right)$$

$$V_H = (0.283 + 0.456\, Y')\, T(k)$$

$$P_1 V_1 = P_2 V_2$$

$$C_S = 1 C_{P_B} + Y' C_{P_{A_{gas}}}$$

$$C_{P_{A_L}} = C_{P_{H_2O/liq}} = 4.18 \frac{kj}{kgk} = 1 \frac{Btu}{lb°F} = 1 \frac{Cal}{g°C}$$

$$C_{P_B} = C_{P_{air}} \cong 0.1 \frac{kj}{kgk} = 0.24 \frac{Btu}{lb°F} = 0.24 \frac{Cal}{g°C}$$

$$C_{P_{A/g}} = C_{P_{H_2O\,in\,vap}} = 1.884 \frac{kj}{kgk} = 0.45 \frac{Btu}{lb°F} = 0.45 \frac{Cal}{g°C}$$

$$C_s \left(\frac{Btu}{lb\ dry\ air\ ^\circ F}\right) = .24 + .45\,Y'$$

نقطه شبنم : Dew Point

یک مخلوط گازی (گاز بی‌اثر) از بخار رطوبت و مقدار ثابت سرد می‌شود تا هم‌نام حالت اشباع برسد (یا مخلوط گازی در این حالت اشباع نقطه شبنم یا دمای شبنم گویند

$$P_A = P_A^{sat}(T_{dp})$$

با سرد کردن بیشتر گاز میعان رخ می‌دهد

در حالت میعان صورت می‌گیرد انتقال جرم و حرارت همزمان رخ می‌دهد هرچقدر دمای شبنم بیشتر باشد رطوبت آن بیشتر می‌شود

آنتالپی:

عبارت است از مجموع آنتالپی یک واحد جرم گاز عاری از بخار و آنتالپی بخار موجود در آن

نکته: این آنتالپی زمانی در نظر گرفته می‌شود که سیستم مبنا در نظر گرفته شود

آنتالپی مایع اشباع و آنتالپی گاز در دمای T_0 (دمای مبنا) را صفر اختیار نموده یعنی خواهیم

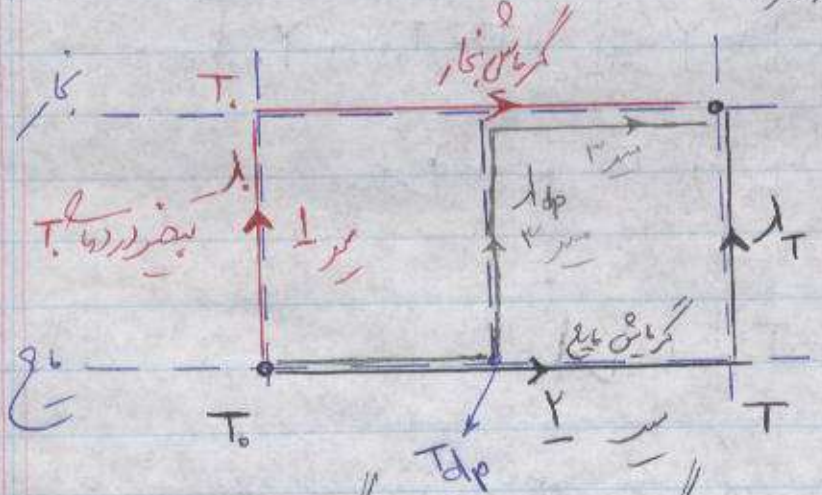
آن بخش گازی و مایع بخش مایع آن وجود دارد

جهت محاسبه آنتالپی مخلوط در دمای T از چند روش می‌توان استفاده نمود

آنتالپی یک واحد جرم گاز خشک در دمای T:

$$C_{p_B}(T-T_0)$$

آنتالپی یک واحد جرم بخار در دمای T:



آنتالپی یک مایع اشباع در این دما سیستم برابر صفر است زیرا دمای سیستم با دمای مبنا برابر است

۵

ظرفیت حرارتی آب در فاز گاز

مسیر ۱ : $\lambda_0 + C_{p_{A,g}}(T - T_0)$

T_0 گرمای نهان تبخیر بر واحد جرم در دمای

مسیر ۲ : $\lambda_T + C_{p_{A,l}}(T - T_0)$

مسیر ۳ از همه بهتر و طولانی است بنابراین ما خواهیم این از مسیر ۳ (۱) را برای محاسبات استفاده می‌کنیم

مسیر ۳ : $C_{p_{A,l}}(T_{dp} - T_0) + \lambda_{dp} + C_{p_{A,g}}(T - T_{dp})$

حالا می‌خواهیم عبارت بالا را ساده کنیم:

$H'_g = ?$ — آنتالپی مخلوط گاز و بخار بر ازای یک واحد جرم گاز خشک:

$$H'_g = 1 C_{p_B}(T - T_0) + Y'[\lambda_0 + C_{p_{A,g}}(T - T_0)]$$

(1: بدل گاز، Y': رطوبت)

$$= C_{p_B}(T - T_0) + Y' C_{p_{A,g}}(T - T_0) + Y'\lambda_0$$

$$= (C_{p_B} + Y' C_{p_{A,g}})(T - T_0) + Y'\lambda_0$$

$$= C_s (T - T_0) + Y'\lambda_0$$

(C_s: حرارت مرطوب)

یعنی ابتدا ماده را حذف می‌کنیم و سپس با توجه به اینکه C_s ظرفیت گرمایی در حالت از دما

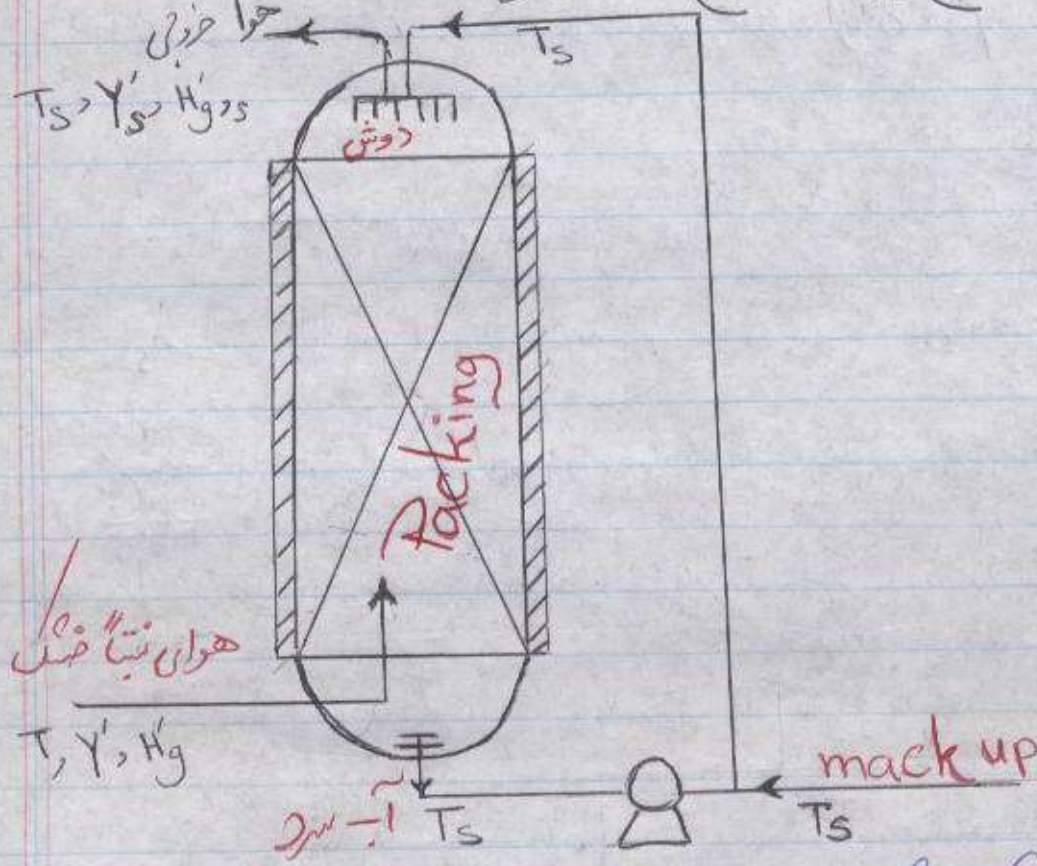
T_0 به T انتقال پیدا کند

$$\lambda_0 = \Delta H_{V(H_2O)\ \text{at } 0^\circ C} = 2502 \frac{kj}{kg} = 1076 \frac{Btu}{lb}$$

پس انتالپی تابعی است:

$$T \uparrow, Y' \uparrow \Rightarrow H'_g \uparrow$$

- درجه حرارت آب ورودی ادیاباتیک - آب خروجی ادیاباتیک



آب در ابتدا دارای مقداری خاصی است و به تدریج که هوا با آب تماس است دو پارامتر بالا می‌رود و در پایین برج آب سرد می‌شود پس آنرا دوباره پمپ می‌کنیم که این دمای آب از یک حد مشخص و پایین‌تر

④ آب گرم از خروجی بالای اطاق به داخل کولر وارد می‌شود

دمای اطاق با هوا

نفی‌شود که این دما همان دمایی است که دما مایع به دما [redacted] می‌رسد و دیگر پایین‌تر نمی‌آید

و این سرما هم بخاطر این است که هوای خشک آب را تبخیر می‌کند و یک درجه حرارت از آب

می‌گیرد و باعث سرد شدن آب می‌شود (که این سیستم شبیه به سیستم کولر خنک‌کننده آب)

اگر فرض شود که طول این برج خیلی زیاد باشد دما و شرایط هوا خروجی به حالت اشباع می‌رسد

می‌توانیم در این سیستم یک ورودی آب اضافه داشته و به علت اینکه بصورت خیلی کم وارد می‌شود و نسبت

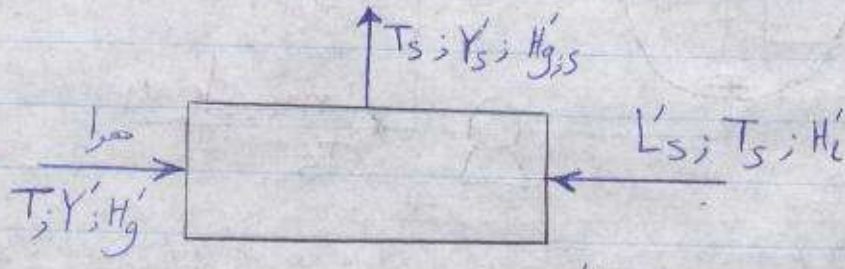
به بقیه درون خود سیستم ناچیز است می‌توان از آن صرف نظر کرد (از این مقدار کم ورودی آب)

اگر Y'_s رطوبت هوا در T_s و $H'_{g,s}$ آنتالپی گاز اشباع در دمای T_s و

L'_s دبی جرمی آب (در دمای T_s) و G'_s سرعت جرمی گاز خشک که در طول

برج ثابت است یعنی جرم بر واحد زمان بر واحد سطح مقطع برج

$L'_s = L'$: سرعت جرمی مایع تقریبا و چون خالص است می‌توان s از آن برداشت



کدام‌ها از سیستم قبلی است با بالای دیگر

حالا یک موازنه جرمی می‌نویسیم: (معکوس برج به داخل هوا)

موازنه جرم آب: $L_s = G_s'(Y_s - Y')$

موازنه انرژی بر روی کل سیستم: $G_s'H_g' + L_s'H_L' = G_s'H_{g,s}'$

$T_s \longrightarrow H_L' = 0$

$G_s'H_g' = G_s' \cdot H_{g,s}'$

حالا با یک دید ساده تر نگاه کنیم

یعنی انرژی ورودی و خروجی باهم مساوی هستند در گذرها

$$H_g' = H_{g,s}'$$

یعنی هوا همیشه انرژی بیشتر را از برج می‌گیرد

این سیستم یا عمل ایدیاباتیک است به علت اینکه هیچ گونه بخشی صورت نمی‌گیرد بدون اینکه خود و انتقال جرمی صورت نمی‌گیرد

پس در این سیستم اگر دمای هوای ورودی برابر باشد دمای خروجی آب با هوا برابر می‌شود و پس خشک می‌شود

حالا از این نتایج می‌توان استفاده کرد

$H_g' = H_{g,s}'$

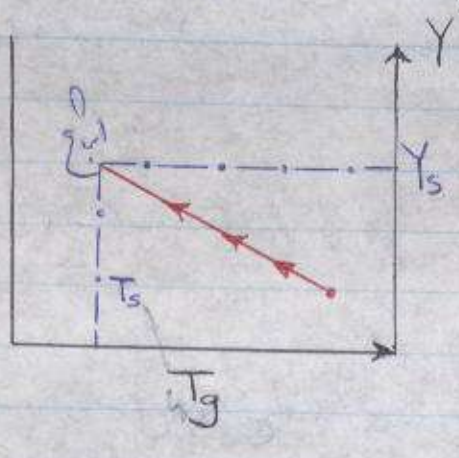
$$C_s(T_g - T_s) + Y'\lambda_s = C_s(T_s - T_s) + Y_s'\lambda_s$$

$$C_s(T_g - T_s) + Y'\lambda_s = Y_s'\lambda_s$$

منحنی اشباع ادیاباتیک or خط سرمایش ادیاباتیک

$$\frac{Y' - Y'_s}{T_g - T_s} = -\frac{C_s}{\lambda_s} = -\frac{C_{pB} + Y' C_{pA,g}}{\lambda_s}$$

این معادله را منحنی اشباع ادیاباتیک یا سیستم آب و هوا گویند در سیستم آب و هوا چون Y' نسبتاً کم است پس این معادله تقریباً خط است و از این رو به آن خط سرمایش ادیاباتیک (Adiabatic cooling line) گویند



- یک گاز را به ۲ طریق می‌توان اشباع کرد :

۱- با سرمایش که در آن حالت انتقال حرارت داریم (در یک رطوبت ثابت) تا به نقطه شبنم برسیم

۲- با مرطوب سازی که در آن انتقال جرم و حرارت هر دو آن صورت می‌گیرد و رطوبت افزایش خواهد یافت

نمودار رطوبت سنجی : Psychrometric Chart

جهت بررسی خواص مخلوطی از یک گاز مشخص و بخار قابل میعان آب

نمودار داده شده مربوط به آب و هوا در فشار اتمسفر که محور افقی دما و محور عمودی رطوبت مطلق هر نقطه روی این نمودار نشان دهنده مخلوط معینی از آب و هوا است. هر نقطه روی محور افقی (محور دما) بیانگر هوای خشک می باشد

نحوه ترسیم نمودار رطوبت سنجی برای مخلوط A و B

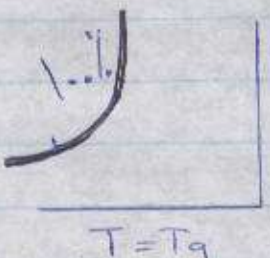
جهت ترسیم نمودار نیاز به فشار بخار و گرمای ویژه جزء میعان پذیر: C_{P_A} گاز و بخار

جرم مخلوط هر ۲ جزء و فشار کل آن

- منفی رطوبت نسبی ۱۰۰٪ اشباع

یعنی ما خواهیم این نمودار را رسم کنیم ابتدا

چند دما را حدس می زنیم



$$Y'_R = \frac{P_A}{P^{sat}_A} = 100\% = 1$$

۱٪ kpa =

$T^{\circ}f$	P_A^{sat} (mmHg)	$P_A = P_A^{sat}$	$Y' = \frac{M_A}{M_B} \cdot \frac{P_A^{sat}}{P_t - P_A^{sat}}$

رطوبت نسبی ٪۳۰

T	P_A^{sat}	$P_A = \%30 P_A^{sat}$	$Y' = \frac{M_A}{M_B} \cdot \frac{P_A}{P_t - P_A}$
خودمان عدد رو میدیم	از انجدان		

رطوبت درصدی :

مثلاً ٪۴۰

$$Y'_p = \%40 = \frac{Y'}{Y'_S} = \frac{P_A}{P_A^{sat}} \cdot \frac{P_t - P_A^{sat}}{P_t - P_A}$$

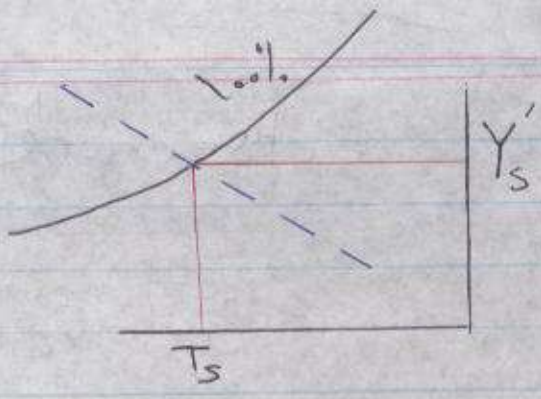
این رو میدیم

$$\frac{P_A}{P_t - P_A} = \%40 \frac{P_A^{sat}}{P_t - P_A^{sat}}$$

T	P_A^{sat}	$\frac{P_A}{P_t - P_A}$	$Y' = \frac{M_A}{M_B} \cdot \frac{P_A}{P_t - P_A}$
خودمان عدد رو میدیم ...	از انجدان میاریم	بدست میاریم	

خطوط سرمایش ادیاباتیک :

$$\frac{Y' - Y_S}{T - T_S} = -\frac{C_S}{\lambda_S} = -\frac{C_{P_B} + Y' C_{P_{A,g}}}{\lambda_S}$$



حجم مخلوط : V_H

طبق رابطه‌ای زیر داریم

$$V_H = 82.05 \times 10^{-6} T_{(K)} \left(\frac{1}{M_B} + \frac{Y'}{M_A} \right) \quad \frac{m^3}{gr}$$

ابتدا باید بدانیم که چه چیزی را یکسان چون این خطوط ثابت هستند پس چه V_H یک حجم مورد نظر که

ی خواهیم برای همه تقسیم این که داریم

مثلاً می خواهیم خط $V_H = 15$ لیتر بر گرم بسی

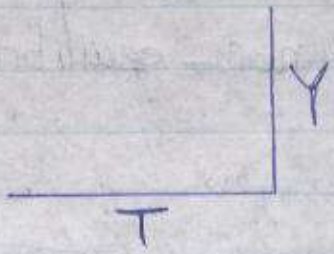
$$15 \frac{m^3}{gr} = 82.05 \times 10^{-6} T_k \left(\frac{1}{29} + \frac{Y'}{18} \right) \Rightarrow Y' = f(T)$$

۳۲.۰۹

T	Y'
10	⋮
15	⋮
20	⋮
30	⋮
40	⋮

نمی رسد

$\Rightarrow$ ترسیم



: Homework

سیستم

هوا	اتانول
N_2	دی‌اتانول
O_2	بنزن
CO_2	استن
	تولوئن

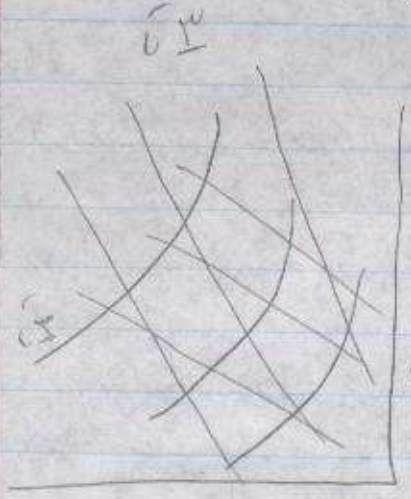
O_2 - استن

دی‌اتانول

متانول - هوا

۳ سنجی رطوبت نسبی ۲۰٪ ۵۰٪ ۱۰۰٪

۵۰٪ - ۸۰٪ - ۱۰۰٪



۳ خط ثابت آدیاباتیک

(دلخواه)

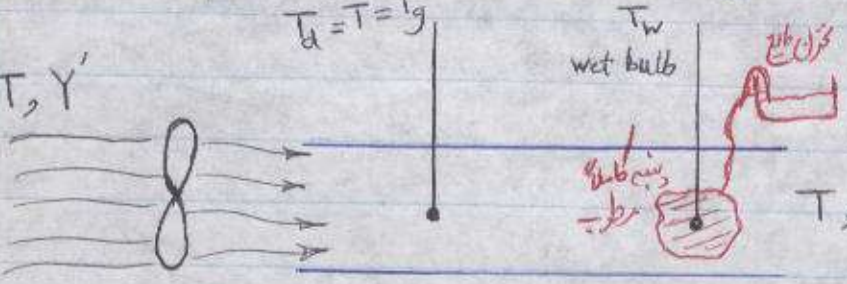
۴ خط حجم مرطوب - دلخواه ثابت

- درجه حرارت مرطوب

روش پایدار (steady state) غیر تعادلی (non-equilibrium)

که با عبور یک مایع غوطه ور در جریان هوا تنها از یک شرایط آدیاباتیک حاصل شود را

روش مرطوب گویند



Psychrometer

دما (dry bulb): دمای هوای خشک که از جریان هوای پیرامون بر روی دماسنج خشک

دما (wet bulb): دمایی که از جریان هوا بر روی یک سطح مرطوب و سطح مرطوب عبور کند

در حالت غیر عادی یعنی دمای خروجی به حالت اشباع نرسد

حالا اگر این ۲ دما را بخوانیم و بر روی سنگ هایی که از روی آن می‌توان میزان رطوبت هوا را اندازه گیری کرد

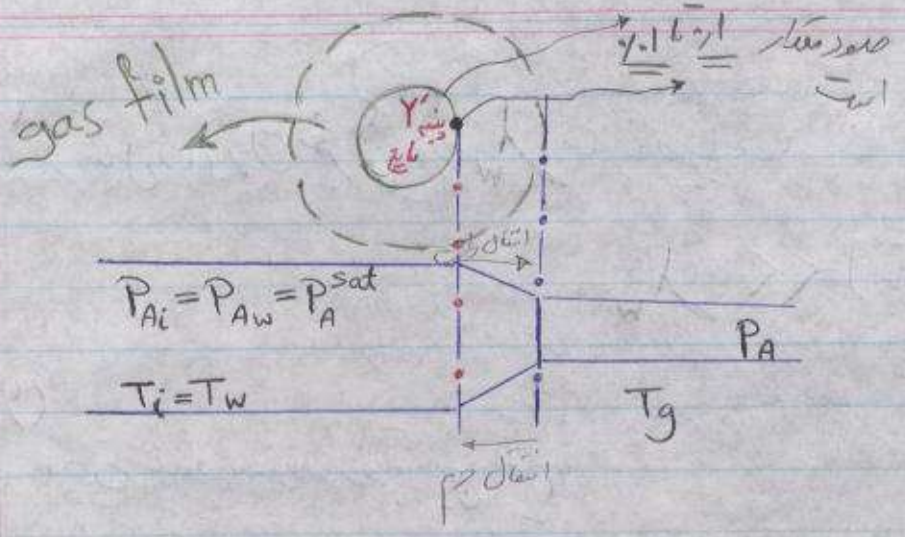
نکته: در سیستم با هوا استفاده دمای ابا ادیاباتیک (T_s) و دما مرطوب T_w بسیار به هم نزدیک بوده که با دقت زیادی می‌توان آن را مساوی در نظر گرفت

توضیح سیستم: فرض کنید هوا با دمای T و رطوبت Y با دبی زیاد (حاصل از فن) در درون لوله رطوبت سنج Psychrometer جریان می‌یابد و چون دبی هوا زیاد است میزان رطوبت هوای خروجی برابر هوای ورودی است و در درون لوله رطوبت سنج دو دماسنج جای دارد. دماسنج اول که دماسنج هوای خشک و دماسنج دوم دماسنج با جیب مرطوب می‌باشد* دماسنج اول، دمای گاز را نشان می‌دهد. دماسنج دوم، دمای کمتری نسبت به دماسنج اول

نشان می دهد و باعث می شود تا جایگیری تبخیر نقطه ای نباشد زیرا کل حرارتی که از گاز می رسد
به صرف تبخیر آب درون پنبه می شود. به این دما دمای حرارت مرطوب می گویند
هوا اگر کاملاً مرطوب باشد، هرگز دما نیز یک عدد را نشان می دهند، زیرا تبخیری وجود ندارد
در سیستم آب و هوا اشباع های انتهای آدیاباتیک و دمای مرطوب T_w بسیار نزدیک
به یکدیگر بوده که بدلیل خطای آزمایشی در نظر گرفت.

تئوری های مرطوب :

چنانچه پنبه کاملاً خیس و مرطوب شده باشد، در اینصورت سطح انتقال جرم و سطح انتقال
حرارت یکسان می شوند و برابر با سطح مقطع پنبه، اما اگر سطح پنبه کاملاً خیس نباشد.
سطح انتقال حرارت بیشتر از سطح انتقال جرم خواهد بود بطوریکه سطح انتقال جرم، همان
سطح خیس شده پنبه و سطح انتقال حرارت کل سطح پنبه خواهد بود.
بنابراین ما شاهد یک انتقال حرارت و یک انتقال جرم مابین پنبه و هوا خواهیم بود
انتقال جرم از فاز مایع به فاز گاز صورت می گیرد بدین ترتیب که هوا با عبور از پنبه مقداری
حرارت به پنبه منتقل می کند که این حرارت صرف تبخیر تعداد آب به درون فاز گاز
می شود پس انتقال حرارت از فاز گاز به فاز مایع خواهد بود.



موازنه جرم در حالت پایا:

$$N_A = k_G(P_A^{sat} - P_A) = k_y(y_{A/s} - y_A)$$

موازنه انرژی در حالت پایا:

$$q = h_g(T - T_w) = \underbrace{N_A M_A}_{\text{جرمی}} \left[\lambda_w + C_{P_{A/g}}(T - T_w)\right]$$

q: مقدار انرژی منتقل شده از گاز به مایع که این حرارت صرف تبخیر آب از مایع به فاز گازی می‌شود

h_g: ضریب انتقال حرارت سمت فاز گاز

N_A: مولی

$C_{P_{A/g}}$: مقدار حرارتی که صرف هم دمای کردن بخارات تبخیر شده آب در فاز گازی می‌گردد.

$$h_g(T - T_w) = k_y\left[\frac{Y'_w}{\frac{1}{M_B} + \frac{Y'_w}{M_A}} - \frac{Y'}{\frac{1}{M_B} + \frac{Y'}{M_A}}\right] * \left[\lambda_w + C_{P_A}(T - T_w)\right]$$

$y_{A/s}$

معادله فوق در محدوده دما و رطوبت معمول، بسیار خطی قابل ملاحظه‌ای ساده می‌شود

$C_{P_{A/g}}(T - T_w)$ انرژی حرارتی که آب برای هم دمای کردن با بخار دمای دیگر بدست می‌دهد

1) در مقابل گرمای نهان تغییر شکل یعنی λ_w بسیار ناچیز است

$$C_{P_{A/g}}(T-T_w) \ll \lambda_w$$

2) بخش با تقریب به خوبی رطوبت سنجی داریم

$$\frac{Y'_w}{M_A}, \frac{Y'}{M_A} \ll \frac{1}{M_B}$$

در نتیجه داریم:

$$h_g(T-T_w) = k_y M_B \lambda_w (Y'_w - Y') \Rightarrow$$

$$\frac{Y' - Y'_w}{T - T_w} = -\frac{h_g}{k_y M_B \lambda_w}$$

Y': رطوبت در بالای گاز

Y'_w: رطوبت اشباع در دمای T_w

h_g: ضریب انتقال حرارت

k_y: ضریب انتقال جرم

T_w: گرمای نهان تبخیر در دمای T_w

تبخیر در T_w در یک دمای رطوبت معین T_w مقادیر Y'_w و λ_w مشخص هستند

بنابراین رابطه T و Y' به نسبت $\frac{h_g}{k_y}$ بستگی دارد

نسبت این ضرایب از آنالوژی (تشابهات) بین انتقال حرارت و جرم قابل ملاحظه است

$$\frac{h_g}{C_p \cdot G} = a \cdot N_{Re}^{b} \cdot N_{Pr}^{-c} = a\left(\frac{DG}{\mu}\right)^{b}\left(\frac{C_p \cdot \mu}{k}\right)^{-c}$$

عدد بی‌بعد

برای جامد: ؟

در انتقال جرم:

$$\frac{k_y \cdot \bar{M}}{G} = a N_{Re}^{b} N_{Sc}^{-c} = a \left(\frac{DG}{\mu}\right)^{b} \left(\frac{\mu}{\rho D_V}\right)^{-c}$$

ضریب نفوذ ملکولی

قسمت شرایطی، ضرایب a, b, c برای انتقال حرارت و انتقال جرم یکسان هستند

این مدل تشابه پدیده انتقال حرارت و انتقال جرم را بیان می‌کند

با فرض $\bar{M} = M_B$ هوا و یکسان بودن ضرایب a, b, c برای هر دو پدیده داریم:

$$\star = \frac{Y' - Y'_w}{T - T_w} = -\frac{h_g}{k_y M_B \lambda_w} = -\frac{C_p}{\lambda_w}\left[\frac{N_{Sc}}{N_{Pr}}\right]^{c} = -\frac{C_p}{\lambda_w}\left[N_{Le}\right]^{c}$$

عدد شمیت، عدد پرانتل، عدد لوئیس

برای سیستم آب و هوا:

$$\frac{Y' - Y'_w}{T - T_w} = -\frac{0.24}{\lambda_w}\left[\frac{0.62}{0.71}\right]^{2/3} \cong -\frac{0.22}{\lambda_w}$$

چنانچه نسبت $\frac{N_{Sc}}{N_{Pr}}$ را تقریباً 1 بگیریم آنگاه:

$$\frac{h_g}{k_y M_B C_p} = 1 \longrightarrow \text{رابطه لوئیس}$$

C_p یا C_s

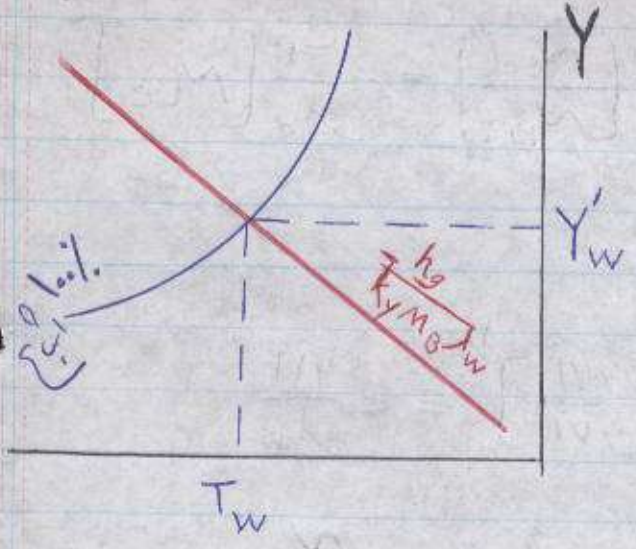
Psychrometric lines — خطوط رطوبت سنجی

در معادله ★ ضمانیه Y' را برحسب T رسم کنیم یک خط مستقیم با شیب $\frac{-h_g}{k_y M_B \lambda_w}$ است

به شرط آنکه این خط منفی صد درصد اشباع را در نقطه $(T_w ; Y'_w)$ قطع کند.

به این خط، خط رطوبت سنجی گویند

$$\frac{Y' - Y'_w}{T - T_w} = -\frac{C_p}{\lambda_w}\left[\frac{N_{Sc}}{N_{Pr}}\right]^{\frac{2}{3}}$$ ← خطوط رطوبت سنجی



معادله خط سرمایش آدیاباتیک عبارت بود از:

$$\frac{Y' - Y'_s}{T - T_s} = -\frac{C_s}{\lambda_s}$$

این معادله رطوبت سنجی

این ۲ معادله ۲ خط با ۲ شیب متفاوت هستند و استفاده از سیستم ابرهوا هر ۲ خط یکی هستند

$$C_s \equiv C_p \left[\frac{N_{sc}}{N_{pr}}\right]^{\frac{2}{3}} \equiv C_p$$

رطوبت حرارتی یک خط

در این بحث در اندازه گیری رطوبت هوا است

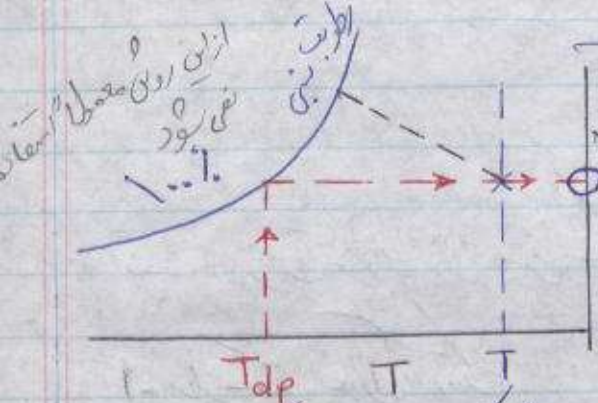
- اندازه گیری رطوبت یک گاز:

۳ روش برای اندازه گیری رطوبت هوا وجود دارد

۱- روش نقطه شبنم: Dew point

هنگامی که یک گاز را سرد می کنیم، دمایش کم می شود تا به نقطه ای می رسیم که اولین ذره مایع پدیدار می شود. این دمای شبنم است

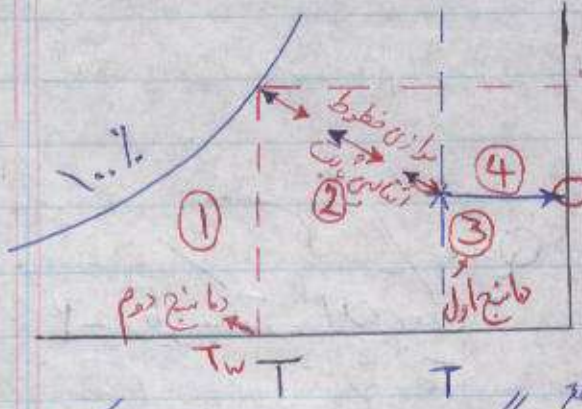
* هنگامی که گاز را سرد می کنیم دمایش کم می شود ولی رطوبتش ثابت می ماند



پس اگر نقطه شبنم یک گاز را به ما بدهند و رطوبتش را بخواهند از نقطه شبنم یک خط عمود رسم می کنیم تا منحنی رطوبت نسبی ۱۰۰٪ را قطع کند سپس از محل تقاطع به سمت راست می رویم و Y' را می خوانیم و برعکس

۲- روش رطوبت سنجی: بیشتر متداول است

فرض کنید که دمای هر دو دماسنج اولیه را رطوبت سنج را به ما می دهند. همانطور که قبلا هم گفتیم دماسنج اول مقداری بیشتری را نشان می دهد تا دماسنج دوم. بنابراین هر دو دما را روی محور افقی معلوم می کنیم. سپس از دمای دماسنج دوم خطی عمودی رسم می کنیم تا منحنی ۱۰۰٪ اشباع را قطع کند. از محل تقاطع خطی به موازات خطوط آنتالپی ثابت رسم می کنیم تا خط عمودی گذرنده از دمای دماسنج اول را قطع کند از محل تقاطع دوم خط افقی رسم می کنیم و Y' را می خوانیم



۳- روش مستقیم : Direct

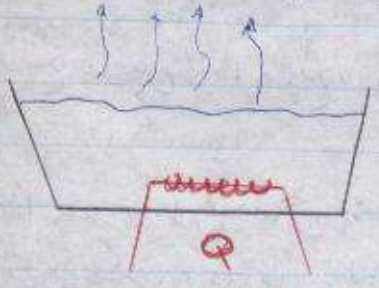
در این روش حجم معینی از هوا را از نمونه‌برداری عبور داده و میزان رطوبت آن را به دست می‌آوریم

به عنوان مثال فرض کنید مقداری سیلیکاژل داریم و هوا را از روی آن عبور می‌دهیم وزن اولیه سیلیکاژل یعنی قبل از عبور هوا را داشتیم، وزن سیلیکاژل بعد از عبور هوا را نیز مشخص می‌کنیم، اختلاف این دو وزن، وزن آب موجود در هوا را نشان می‌دهد

تجهیزات رطوبت زنی یا مرطوب کننده‌ها : (Humidifiers)

۱- مرطوب کننده عنوان یا بیک :

در این وسیله جهت اولیه رطوبت را از یک منبع انرژی



استفاده می‌شود. مانند وسیله بخور

نکته: دیگ آشپزی‌ها هم از این نوع هستند و با گرما می‌دهیم

۲- مرطوب کننده آدیاباتیک : $Q=0$

در این وسیله آب در یک مدار بسته در تماس با هوا چرخش می‌کند

در اثر این چرخش تبخیر حاصل می‌شود و از طرفی هوا نیز سرد و مرطوب می‌شود مانند کولرآبی

در کولر به دلیل زمان کوتاه جهت تماس ۲ فاز، ۲ فاز کاملاً به تعادل نمی رسند
از گرمای جاذب به اندازه کافی در تماس کامل باشند و سیله را اشباع کنند و آن با یک (به تعادل برسند)
می گویند

نکته: در کولر واشباع کننده یک وجه استراک هست که در حالت steady با مایع معمای
ثابت و برابر با اشباع آدیاباتیک واقع در منفی ۱۰۰۰ اشباع است

- تجهیزات برج های عملیات رطوبت زنی در برج های خنک کننده است Cooling Tower
هدف اصلی از ساخت این برج سرد کردن مایع داخل (آب است) در این برج ۲ عمل بطور
همزمان انجام می شود ۱- سرد کردن آب داغ ۲- مرطوب سازی هوا
که مورد اول هدف اصلی است.

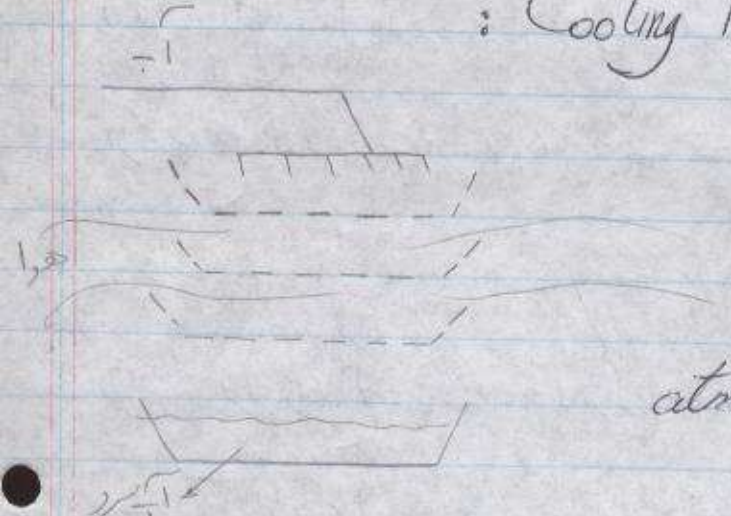
برج های خنک کننده حالت خاصی از برج های آمده می باشند در این برج ها آب داغ نیاز زیاد کولر
را های هوای محیط است

آب به ۲ دلیل سرد می شود ۱- انتقال حرارت مستقیم از آب داغ به هوا
۲- تبخیر های آب در هوا

تفاوت با کولر این است که در این ما آب خروجی از تبخیر به یک گرمکن
می رود و دوباره به برج برمی گردد ولی در کولر این گرم کن را نداریم

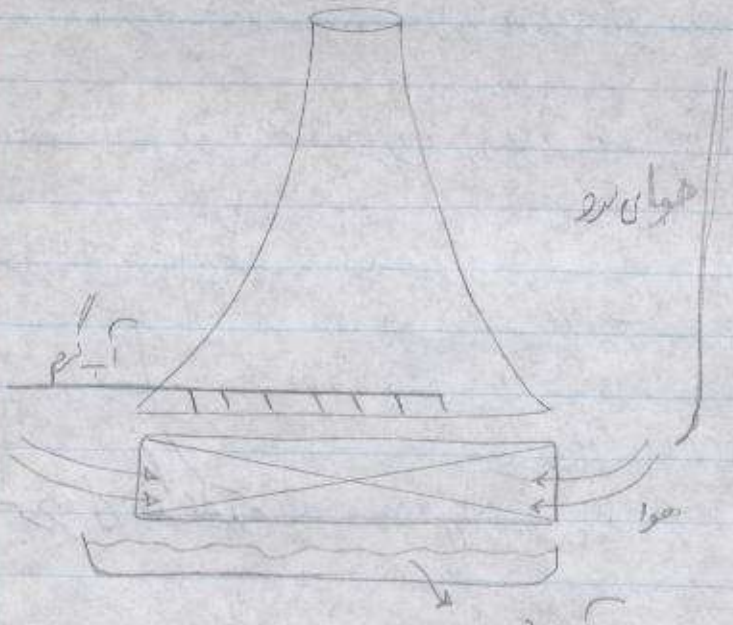
انواع برج خنک کننده Cooling Tower :

۱)

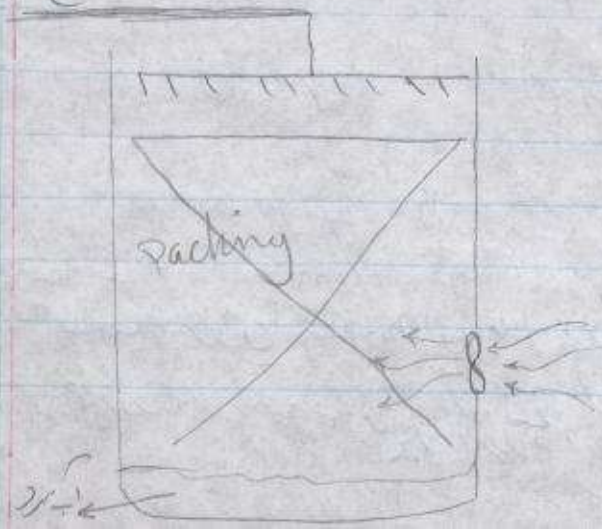


atmospheric

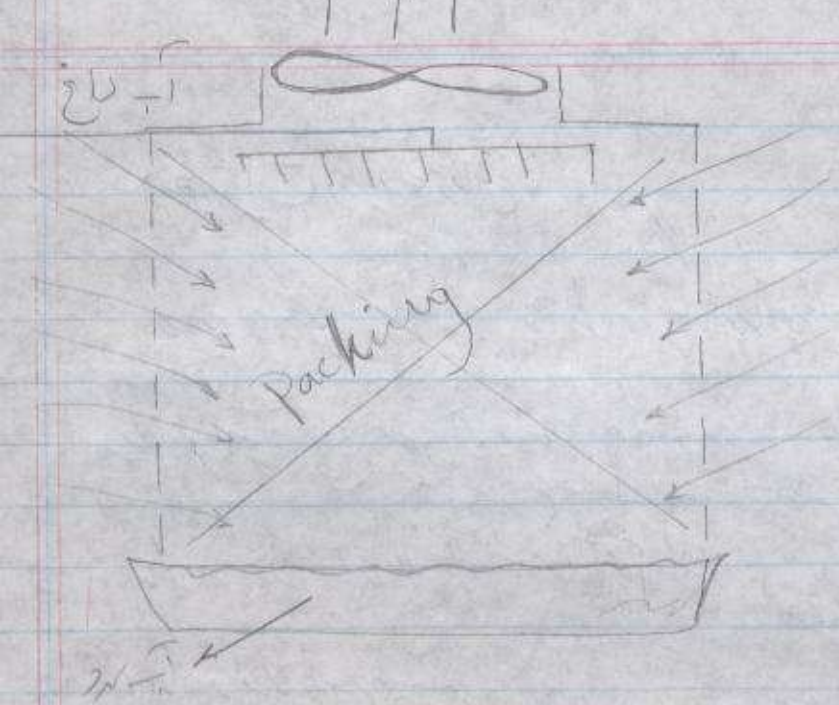
۲)



۳)



forced Draft



induced Draft

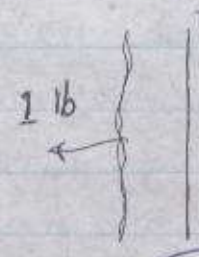
تلفات آب برای تبخیر:

اتلاف آب برای تبخیر در مقابل دیگر آب در حال چرخش در مقابل صرف نظر و ناچیز است

در طراحی برجهای خنک کننده ΔT تقریبا حدود ۱۵–۱۰ درجه فارنهایت می‌گیرند

$$1\,lb\,H_2O(l) \xrightarrow{\sim 1000\ Btu} 1\,lb\,H_2O(V)$$

$$C_{p_{H_2O}(l)} = 1\ \frac{Btu}{lb \cdot F}$$



از این رو معادل آب تبخیر شده برابر ۱٪ مقدار آب در حال چرخش است

یعنی 1lb آب تبخیر شود حدود 100lb آب خنک شده

همیشه تمایل طبیعی بالا رفتن پیدا می‌کند

$$\text{mackup} = 1\% * 1{,}5 + (0{,}2\%) = 1{,}7\%$$

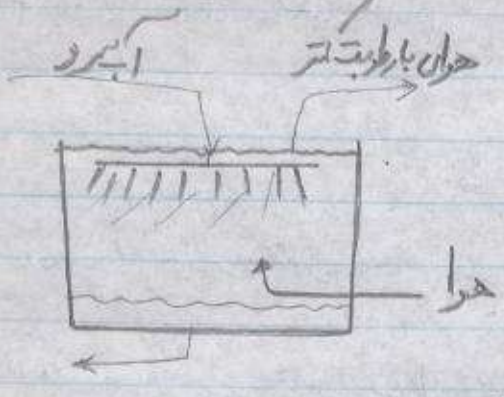
ضریب ایمنی ← تلفات سیستم در اثر Evaporation

تجهیزات رطوبت زدایی

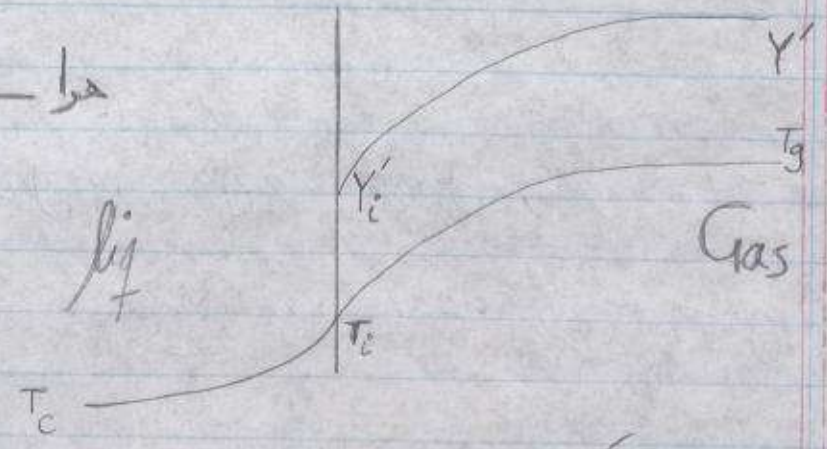
در این دستگاه ها توسط آب سرد رطوبت یا گازها کم می کنیم

شرط: باید دمای مایع پایین تر از دمای شبنم گاز باشد

رطوبت گازها را می توان با ۲ روش انجام داد:



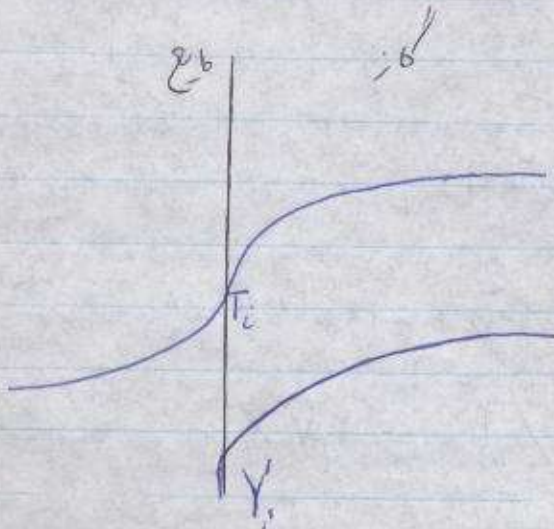
۱) تبرید با فاز مستقیم



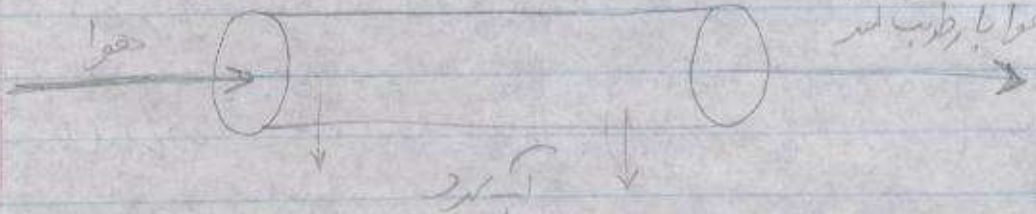
۲- تبرید با فاز غیر مستقیم

با گذر یک سیال حرارتی مثلاً آب سرد در لوله و هوا از لوله کنار میدل Condansor

Shelland Tube

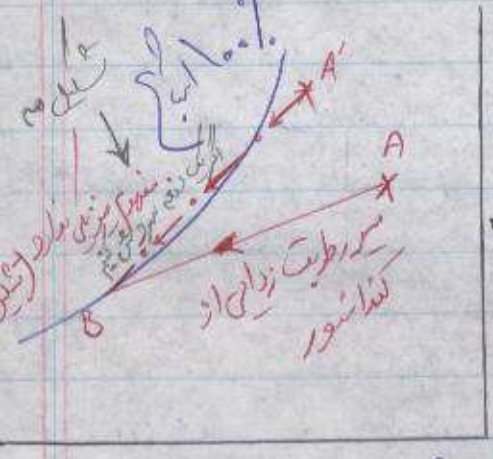


بدین ترتیب می‌توان هوا را از گاه از عبور اشباع و یا هوای با یک رطوبت کاملاً "سرد جدا نمود بدون اینکه نیاز به اشباع کردن آن توده هوا داشته باشیم



یعنی هوای خروجی رطوبت کمتری دارد و لی هنوز به حالت اشباع نرسیده (ولی می‌تواند برسد)

- تشکیل مه :



نکته: رطوبت زدایی در گذر هوا از A → B رخ میدهد.

شرح: فضایی که در شرایط A باشد و در صدد کم کردن رطوبت آن باشیم

هوای گاز هم کم می‌شود تا به نقطه B می‌رسد. حال فضایی که در شرایط A' باشد

یعنی تر و یک به ۱۰۰٪ اشباع رسیده و خواهیم رطوبتش را کم کنیم به ناچار از تمت خط چین هم عبور خواهد کرد تا به نقطه B برسد. این تمت خط چین را شکل مه گویند که مه از نظر فیزیکی متوری ندارد

ملت هوای اطراف یک رودخانه که در فصل زمستان که هوا سرد می‌شود، مه بوجود می‌آید

اگر بصورت کلی هوا سرد شود مولکول‌های بزرگی جدا شده و تشکیل می‌شود و از هوا یک نقطه می‌کنیم مه تشکیل می‌شود

معادلات اساسی برای جسم غیر متحرک :

۷ معادله اند که خطی هم هستند

در برخی از مسائل توجه به چندین جسم ضروری است (سیستم (آب - هوا))

۱) گرادیان فشار در فاز مایع نداریم (مایع از یک جزء تشکیل شده) بنابراین کل مقاومت در برابر انتقال جرم در فاز گاز است

۲) علاوه بر انتقال جرم انتقال حرارت نیز داریم

۳) از نظر حرارتی مقاومت در هر ۲ فاز است

۴) میزان تبخیر آب در هوا محدود و نا چیز است چون گرمای نهان تبخیر آب زیاد است من فقط کم تبخیر می‌کند تغییرات دمایی زیادی را ایجاد نمی‌کند بنابراین از تلفات آب در اثر تبخیر صرف نظر می‌کنیم (آب را ثابت می‌گیریم)

۵) عملیات در یک برج انداره صورت می‌گیرد

۶) فرض می‌کنیم سطح انتقال جرم با سطح انتقال حرارت یکی و معادل سطح مخصوص Packing باشد (وقتی که نام Packing خاصی نشده باشد)

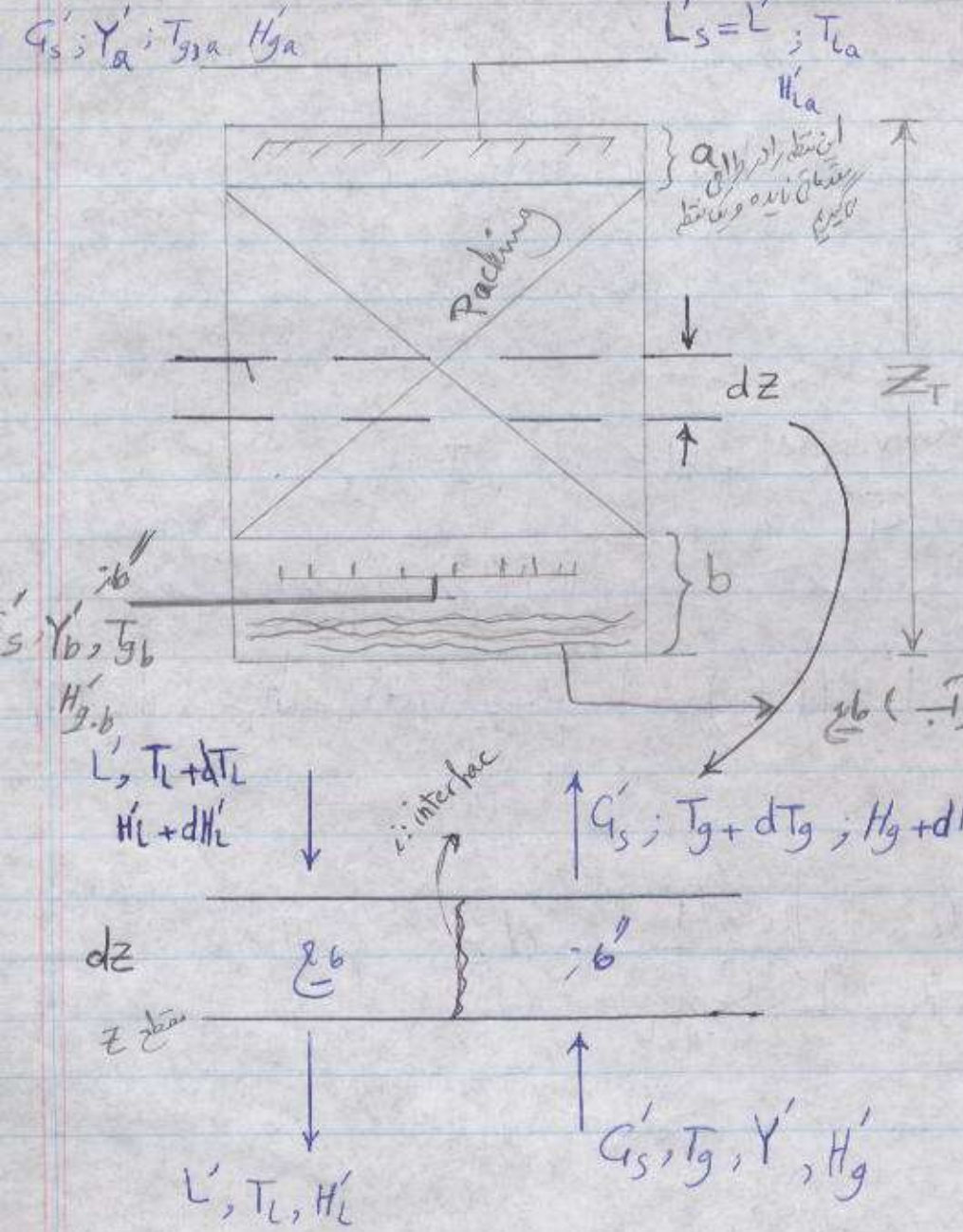
نکته : برجی

۱۷) جرم گاز خارج از بخار در واحد سطح مقطع برج G_s'

در طول برج ثابت است

۱۸) جرم مایع در واحد زمان در واحد سطح مقطع برج $L_s' = L'$ (ورودی) در طول برج ثابت

قبلاً در استخراج جرم R_s, E_s داشتیم که در اینجا هم از این L_s' و G_s' استفاده می‌کنیم



معادله تغییرات رطوبت در طول برج :

$$G_s' \cdot dY' = k_y (a\,dz)(Y_i - Y) M_A$$

(G_s': سطح مقطع آزاد برج؛ $a\,dz$: سطح تماس؛ M_A: وزن مولکولی جزء A در جزء انتقال جرم)

$$= k_Y (a\,dz)(Y_i' - Y') = k_y M_B a\,dz (Y_i' - Y')$$

(Y_i را تبدیل کنیم؛ M_B: وزن مولکولی جزء تشکیل دهنده)

چون خطا را مبلاً در انتقال جرم داشتیم و یا پیش از این حالت از دست دادیم (عمیق) پس ما از راطع ۲ هم استفاده می‌کنیم و از طرفی از k_y استفاده کردیم مبلاً پس حاصل ترکیب این ۲ عبارت یک عبارت نهایی به‌صورت شکل دار

$$\frac{dY'}{Y_i' - Y'} = \frac{k_y M_B a}{G_s'} \cdot dz \qquad (I)$$

معادله تغییرات دمای مایع در طول برج

(چون مایع داغ‌تر است)

$$d(L'H_L') = L'\,d(H_L') = L' \cdot C_{P_{A,L}} \cdot dT_L = h_L \cdot a\,dz (T_L - T_i)$$

(موازنه انرژی)

$$\frac{dT_L}{T_L - T_i} = \frac{h_L \cdot a}{L' \cdot C_{P_{A,L}}} \cdot dz \qquad II$$

تغییرات دمای گاز در طول برج (تغییرات محلی)

تغییرات آنتالپی مایع این میان یعنی گرمای تابه گاز بود

$$G'_s \cdot G_s \cdot dT_g = h_g a\, dz\, (T_i - T_g) \Rightarrow$$

$$\frac{dT_g}{T_i - T_g} = \frac{h_g a}{G'_s \cdot G_s} \cdot dz \qquad \text{III}$$

interface

این Y'_i T_i قابل اندازه‌گیری نیستند، این معادلات قابل استفاده نمی‌باشند

چون آنتالپی گاز، تابع دما و رطوبت است

تغییرات آنتالپی گاز در طول برج:

$$d(G'_s \cdot H'_g) = G'_s \cdot dH'_g = G'_s \cdot d\left[C_s(T_g - T_0) + Y'\lambda_0\right]$$

$$= G'_s C_s\, dT_g + G'_s \lambda_0 \cdot dY'$$

$$G'_s dH'_g = h_g (a\,dz)(T_i - T_g) + k_y M_B (a\,dz)(Y'_i - Y') \lambda_0 \qquad \text{IV}$$

ضریب انتقال جرم

با ارتباط بین ضریب انتقال جرم و ضریب انتقال حرارت ربط دهم داریم. مثلاً در سیستم آب و هوا

رابطه لوئیس:

$$C_S = \frac{h_g}{M_B \cdot k_y}$$

در نتیجه:

$$G_S' dH_g' = k_y M_B a dz \left[\underbrace{(C_S T_i + Y_i' \lambda_0)}_{H_{g\,interface}'} - \underbrace{(C_S T_g + Y' \lambda_0)}_{H_g'} \right]$$

$-C_S T_0$ — $-C_S T_0$

برای تعریف آنتالپی اضافه نمودیم یا اینکه آنتالپی پیدا

$$\Rightarrow G_S' dH_g' = k_y M_{Bi} a dz (H_{g_i}' - H_g')$$

$$\frac{dH_g'}{H_{g_i}' - H_g'} = \frac{k_y M_B \cdot a}{G_S'} \cdot dz \qquad (4)$$

تفسیر انتقالی گازهای گاز :

با تقسیم معادله ۴ بر ۳

$$\frac{4}{3} \rightarrow \frac{\frac{dH_g}{H'_{gi} - H'_g}}{\frac{dT_g}{T_i - T_g}} = \frac{M_B \cdot k_y \cdot C_s}{h_g} = 1$$

لوئیس برای سیستم آب و هوا

$$\frac{dH'_g}{dT_g} = \frac{H'_{gi} - H'_g}{T_i - T_g} \quad (5)$$

تفسیرات انتقالی گازها در مایع :

$d(L'H'_L) = d(G'_s H'_g)$ ← زیرا $Q=0$ یعنی بیرون برج آدیاباتیک است

بعد از انتگرال گیری

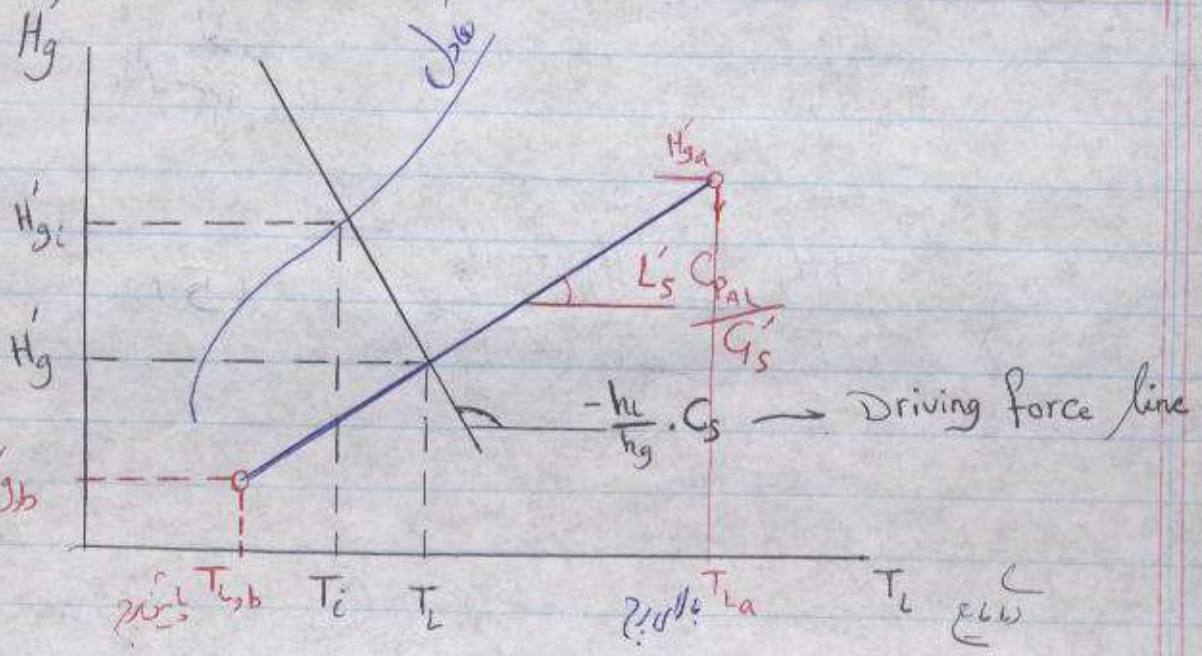
$L'_s C_{P_{A,L}} dT_L = G'_s \cdot dH'_g$ ← انتگرال بین هر مقطع دلخواه برج

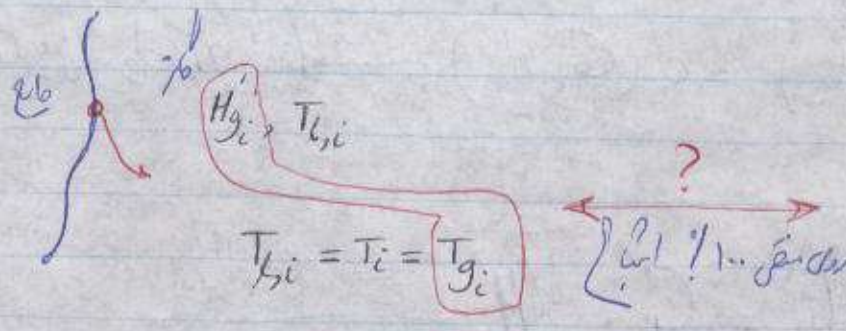
$$(T_L - T_{L_b}) L'_s C_{P_{AL}} = G'_s (H'_g - H'_{g_b})$$

$$\frac{H'_g - H'_{gb}}{T_L - T_{Lb}} = \frac{L'_s C_{P_{AL}}}{G'_s} \quad (6)$$

خط عملیاتی

از این رابطه و روابط مشابه آن جهت محاسبات ترسیمی برجهای رطوبت زنی و رطوبت زدایی استفاده می‌کنیم بنابراین باید منحنی تعادل یا اشباع را نیز ترسیم کرد.





باید آنتالپی گاز را برحسب دما از منحنی‌های رطوبت سنجی تعیین نمود

بدلیل عملیات رطوبت زنی آب خنک‌کار پایین منحنی است و در عملیات رطوبت زدایی

بالای منحنی می‌باشد

رطوبت زنی

$T_g < T_i$

$Y'_g < Y'_i$

$\downarrow$

$H'_g < H'_{g_i}$

هر نقطه‌ای که روی منحنی تعادل نشان دهنده شرایط Interface می‌باشد و هر نقطه روی خط تعادل نشان دهنده شرایط بالک است.

شیب خط نیرو محرکه تبدیل مقاومت و هنگامی که شاهد می‌شود شیب C_s را دارد. زیرا محورها آنتالپی‌ها برحسب دلتا می‌باشد لازم است مثل y برحسب x بوده و هر دو هم بعد بوده شیب $-\frac{k_x}{k_y} = \frac{\Delta Y}{\Delta X}$ بدون بعد بود.

موازنه آنتالپی:

تغییرات آنتالپی مایع برحسب تغییرات آنتالپی گاز

$$L'_s \, dH_l = G'_s \, dH'_g$$

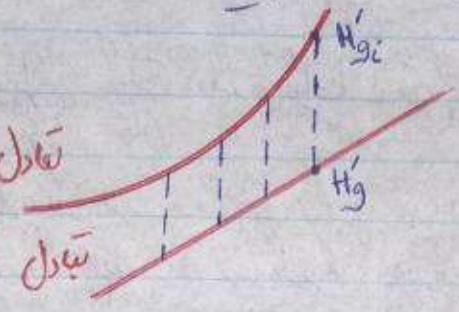
$L'_s = L'$ ، $H_l \rightarrow$ زیرا مایع خالص است

$$h_l \cdot a \, dz (T_l - T_i) = k_y M_B a \, dz (H'_{g_i} - H'_g)$$

$$\frac{H'_{g_i} - H'_g}{T_i - T_\ell} = -\frac{h_\ell}{k_y M_B} \xrightarrow{\text{لوئیس}} -\frac{h_\ell}{h_g} C_s \qquad (7)$$

فشارهایی که مقاومت در برابر انتقال حرارت در فاز مایع بسیار کوچکتر از مقاومت در برابر انتقال حرارت یا جرم در گاز باشد خطوط نیروی حرکه تقریباً هدف تعیین انتقال پیدا می‌کنند

h_ℓ بیشتر از h_g است زیرا مایع حرارت را بهتر و بیشتر از خود عبوری دهد و نسبت به گاز مقاومت کمتری در برابر انتقال حرارت دارد. بنابراین خطوط نیروی حرکه عمودی خواهند شد یعنی



از معادله (4) انتگرال می‌گیریم:

$$\int_{H'_{g_b}}^{H'_{g_a}} \frac{dH'_g}{H'_{g_i} - H'_g} = \int_{z=0}^{z=z_{tower}} \frac{k_y M_B a}{G'_s} dz$$

$$Z_T = \frac{G'_s}{k_y M_B a} \int_{H'_{g_b}}^{H'_{g_a}} \frac{dH'_g}{H'_{g_i} - H'_g}$$

چنانچه برای اختلاف $H'_{g_i} - H'_g$ بتوانیم یک مقدار متوسط در نظر بگیریم می‌توانیم آن را از انتگرال بیرون بیاوریم. برای این منظور مقدار ΔV در شکل بالا، طول مه خط چین را با خط کش اندازه می‌گیریم و از مه آنها میانگین می‌گیریم در نتیجه خواهیم داشت:

$$Z_T = \left(\frac{G_s}{k_y M_B a}\right)\left(\frac{H'_{g_a} - H'_{g_b}}{(H'_{g_i} - H'_g)_{av}}\right)$$

H.T.U مخفف (High of Transfer Unit) است یعنی ارتفاع یک واحد انتقال آنتالپی گاز که میزان تغییرات گرادیان انتقال جرم و حرارت است

N.T.U مخفف (Number of Transfer Unit) است به معنی تعداد واحد انتقال آنتالپی گاز

H.T.U در واقع به ما می‌گوید که چه ارتفاعی از یک تعادل یعنی در برج است

کولر خانگی یک حالت خاص از Cooling Tower است که این حالت خاص مربوط به کندانسه آبی یک است Recirculating Liquid Gas Humidification

در کولر ما این پیش فرض را داریم که:

$$T_{l_b} = T_{l_a} = T_i = T_s = Cte$$

یعنی دمای مایع ورودی و خروجی در interface یک دمای T_s است.

که در برجی که مایع سرد کولاسیون می‌شود این فرض را داریم.

③ انتگرال

$$\int_{T_{g_b}}^{T_{g_a}} \frac{dT_g}{T_s - T_g} = \int \frac{h_g . a}{G'_s . C_s} . dz$$

در اینجا C_s ثابت نیست مگر برای آن یک عدد متوسط در نظر بگیریم می‌توان آنرا ثابت فرض کرد

$$\Rightarrow \int_{T_{g_b}}^{T_{g_a}} \frac{dT_g}{T_s - T_g} = \frac{h_g . a}{G'_s . \bar{C}_s} \int_{z=0}^{z=z_T} dz \Rightarrow$$

$$\ln \frac{T_{g_b} - T_s}{T_{g_a} - T_s} = \frac{h_g . a}{G'_s \bar{C}_s} . z_T$$ صورت لگاریتم ضربدر سطح مقطع برج

$$\ln \frac{T_{g_b} - T_s}{T_{g_a} - T_s} = \frac{h_g . a . V_T}{\dot{m}' \bar{C}_s}$$

G'_s : سرعت جرمی گاز خشک یعنی جرم گاز بر واحد زمان واحد سطح مقطع برج

$\dot{m}'$: دبی جرمی گاز خشک یعنی جرم بر واحد زمان

V_T : حجم برج

① = ④

④ ①

$$\frac{dH'_g}{H'_{g_s} - H'_g} = \frac{dY'}{Y'_s - Y'} = \frac{k_y M_B a}{G'_s} . dz \Rightarrow$$

$$z_T = \frac{G'_s}{k_y M_B . a} \ln \frac{H'_{g_s} - H'_{g_b}}{H'_{g_s} - H'_{g_a}} = \frac{G'_s}{k_y M_B a} \ln \frac{Y'_s - Y'_b}{Y'_s - Y'_a} = H.T.U * N.T.U$$

اتمام بحث رطوبت زنی

عملیات خشک کردن جامدات Drying Operation

عبارتست از خارج نمودن مقداری مایع از یک جامد یا مایع دیگر به فاز گاز

به عبارت دیگر انتقال جرم (رطوبت) از فاز جامد یا مایع به فاز گاز است. در اثر سوابق مایع

تشکیل شده آب و گاز هوا می باشد.

هدف خشک کردن تنها محدود به جداسازی رطوبت از جامدات و مایع توسط تبخیر در جریان از گاز است

تبخیر حلول با حرارت و در نتیجه جریان گاز عملیات خشک کردن محسوب نمی شود.

خشک کردن واژه ای نسبی است به معنی کاهش رطوبت موجود در حدی که اولیه به یک مقدار نهایی قابل

قبول به علاوه در خشک کردن لازم نیست رطوبت جامد را به صفر برسانند.

تعاریف:

محتوای رطوبت یا اصطلاحاً رطوبت جامد moisture Content

نکته: moisture برای جامد بکار می رود و Humidity برای هوا

رطوبت جامد به دو صورت تعریف می شود: براساس جامد خشک و براساس جامد مرطوب

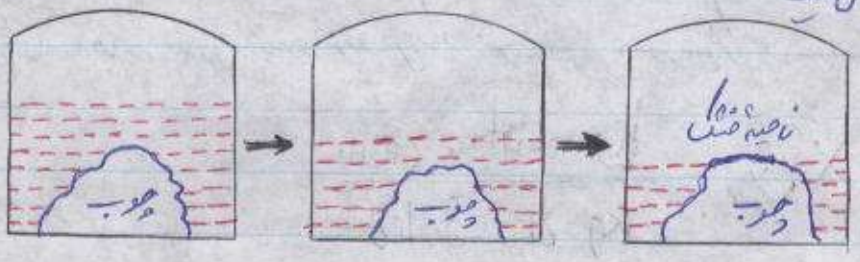
براساس جامد خشک ← $$X'(\%) = \frac{\text{kg moisture } (H_2O)}{\text{kg dry Solid}}$$

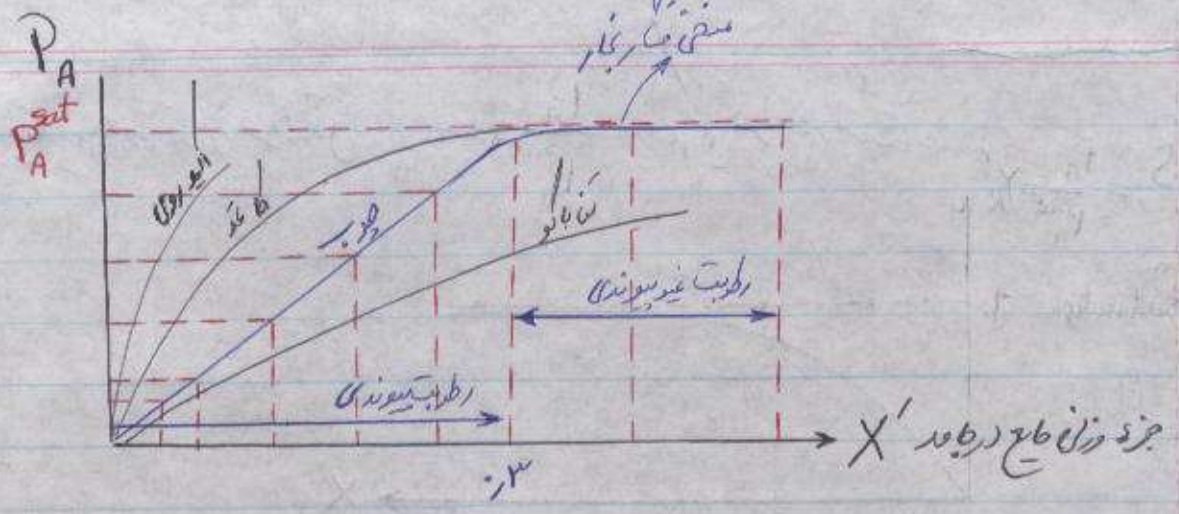
براساس جامد مرطوب ← $$x' = \frac{\text{kg moisture } (H_2O)}{\text{kg wet Solid}} = \frac{X'}{1+X'}$$

kg wet Solid = kg dry Solid + kg moisture

بنابراین هنگام بیان رطوبت، باید گفته خشک یا مرطوب بودن متبادر شود. در غیر این صورت رطوبت را بر اساس مرطوب در نظر می‌گیریم. خنثا رطوبت را بر اساس درصد هم مشخص می‌کند. رطوبت یا آب یک جامد مرطوب در مجاورت گاز، فشار بخاری را ایجاد می‌کند که مقدار آن بستگی به دما، خواص شیمیایی رطوبت جامد و نیز مقدار رطوبت دارد.

فرض کنید یک تکه جامد مانند چوب در یک ظرف پر از آب قرار داده و کل جامد در آب غوطه ور است بطوریکه جامد را می‌توان جزئی از مایع در نظر گرفت. در اینجا ذرات آب که در فاز گاز هستند فشاری بر جداره ظرف وارد می‌کنند به این فشار، فشار بخار آب گفته می‌شود. حال چنانچه مقدار مایع درون ظرف را کم کنیم فشار بخار مایع تغییر نمی‌کند ولی مقدار رطوبت کمتر می‌شود حال چنانچه مقدار مایع را آنقدر کم کنیم یک **کلاه** خشک روی چوب پدید آید، علاوه بر کاهش X، فشار بخار هم کم می‌شود تا آنجا که هر دو به صفر می‌رسند. حال اگر این نقاط را بهم وصل کنیم منحنی فشار بخار بدست می‌آید.





از هوای گرم بخاط اختلاف دما برای خشک کردن استفاده می‌شود. از هوای سرد بجهت اختلاف رطوبت در محدوده رطوبت بین ۰ تا ۰٫۳ آب بدلیل جذب بروی سطح فیزیکی شکل جذب و ترکیب با مواد سلولزی جذب و نگاه‌داشتن در حفره‌های موئین شده و فشار و فرج جذب فشار بخاری کمتر از فشار بخار آب خالص ایجاد می‌کند.

رطوبت پیوندی Bound moisture

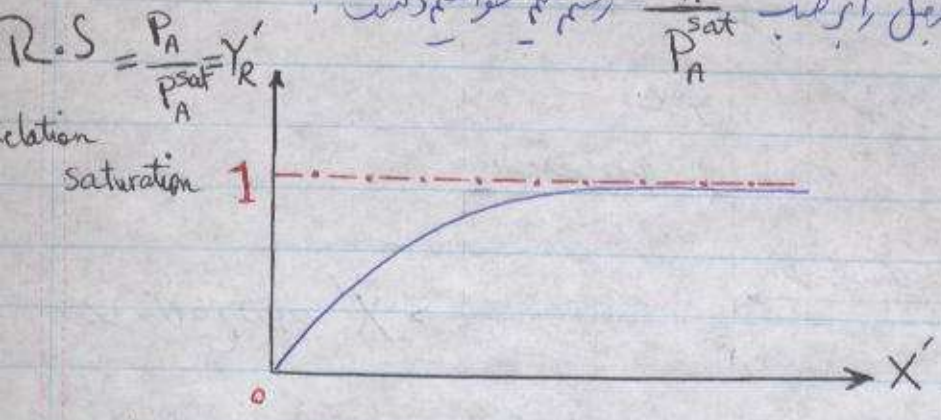
رطوبت جامد هنگامیکه فشار بخار تعادلی کمتر از فشار بخار مایع خالص دمای (فشار بخار آب) داشته باشد.

یعنی از ۰ تا ۰.۳ که رطوبت در جامد جذب شده و بنام پیوند برقرار شده است

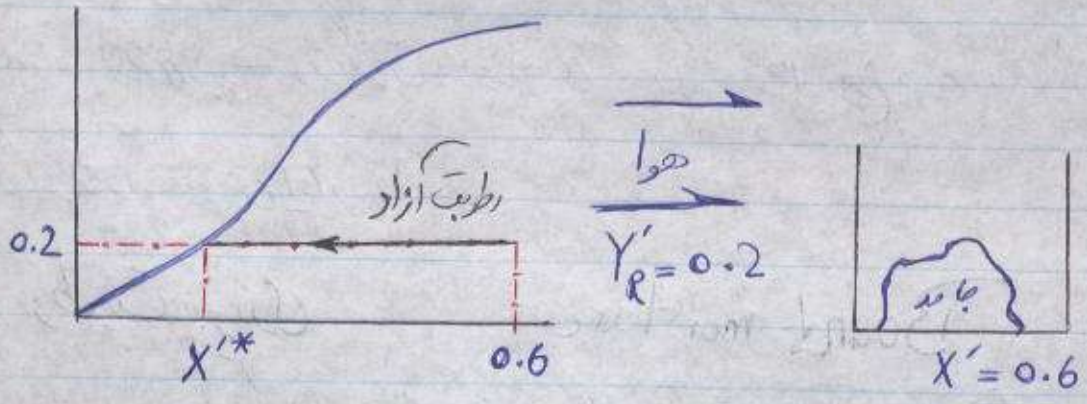
رطوبت غیر پیوندی unBound moisture

رطوبت جامد هنگامیکه فشار بخار تعادلی با فشار بخار مایع خالص در آن دما (فشار بخار آب) داشته باشد یعنی از 0.3 به بعد

چنانچه نمودار تعادل را بر حسب $\frac{P_A}{P_A^{sat}}$ رسم کنیم خواهیم داشت:



فرض کنید جامدی که رطوبت آن X' برابر 0.6 است جریان هوائی با رطوبت نسبی $Y'_R = 0.2$ از روی آن می وزد در نتیجه



رطوبت تعادلی Equilibirum moisture

رطوبت جامد هنگامیکه در تعادل با فشار جزئی بخار آن در گاز باشد و آنرا با نماد X'^* نشان می

رطوبت آزاد Free moisture

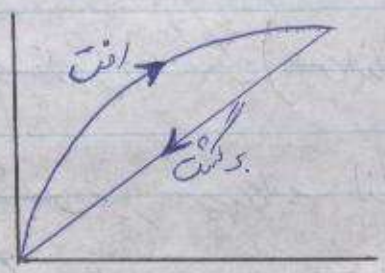
اختلاف رطوبت فعلی جامد و رطوبت تعادلی آنرا رطوبت آزاد گویند. به عبارتی رطوبتی که توسط گاز می تواند از جامد گرفته شود را رطوبت آزاد گویند $X' - X'^*$

در محاسبات خشک کردن، اهمیت رطوبت آزاد بیشتر از رطوبت تعادلی است. منفی رطوبت تعادلی به اندازه

سطح خصوص ذرات جامد و خواص فیزیکی، شیمیایی جامد و مایع بستگی دارد. منحنی های فوق به روش جذب رطوبت

پس مانده Hysteresis

منحنی رطوبت تعادلی بسیاری از جامدات بستگی به این دارد منحنی فوق از راه جذب رطوبت یا از راه دفع رطوبت بدست آمده متفاوت است. خاصیت فوق را ناشی از پدیده جذب و نیز خلل و فرج جامدات است، پس مانده گویند



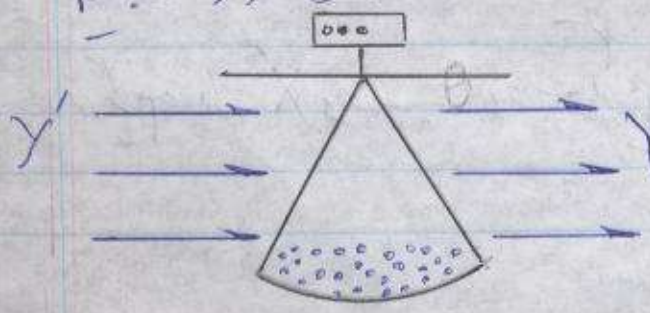
تقسیم بندی خشک کن ها از نظر فرایند:

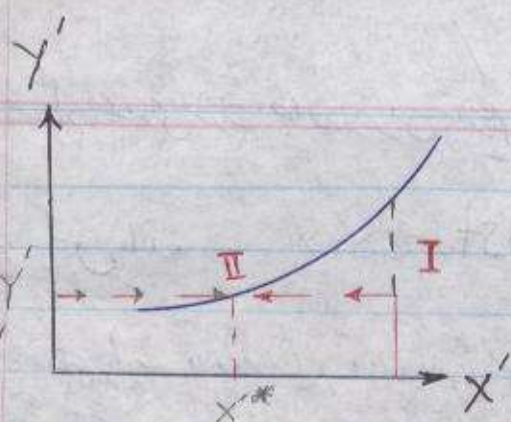
- خشک کن بسته یا غیر پیوسته Batch Drying

جسم معین از گاز و جامد را در یک محفظ قرار داده تا به حالت تعادل برسد. این نوع خشک کردن جهت مقادیر کم جامد و در مقیاس آزمایشگاهی بکار می روند. کاربرد صنعتی ندارد مثل دسیکاتور

- خشک کن نیمه پیوسته Semi-batch Drying

در اینجا جسم مرطوب در معرض جریان هوا قرار دارد. فرایند نسبت به جسم مرطوب Batch و نسبت به هوا Continuos است و کل فرایند Semi-batch. مثلاً لباس تر را در اتاق بگذاریم و پنجره را باز کنیم تا هوا جریان یابد





Rate of Semi-Batch Drying

سرعت خشک کردن نیمه پیوسته

به منظور طراحی خشک کن (تعیین اندازه)، تعیین زمان لازم جهت خشک کردن یک جامد مرطوب - پهن رطوبت مشخص بسیار ضروری است لذا سرعت خشک کردن و بررسی از شرایط مختلف بررسی آن باید در نظر گرفته شوند. دما، سرعت و جهت وزش هوا، ضریب انتقال جرم را تغییر داده و برای سرعت تبخیر تغییر می کند. سرعت خشک کردن ماده سرعت واکنش شیمیایی. ابتدا در یک خشک کن نیمه پیوسته، اندازه گیری شده که قابل کاربرد در خشک کن های پیوسته نیز می باشد.

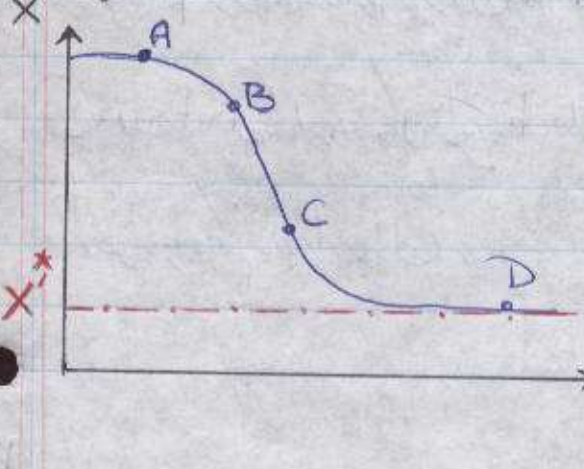
سرعت خشک کردن عبارتست از میزان آب تبخیر شده در واحد زمان در واحد سطح جامد

$$N = -\frac{S_s'}{A} \cdot \frac{\Delta X}{\Delta \theta}$$

سرعت خشک کردن — وزن جامد خشک — سطح جامد — رطوبت جامد بر اساس خشک — زمان خشک کردن

$$\frac{\text{mass}}{\text{area} \cdot \text{time}}$$

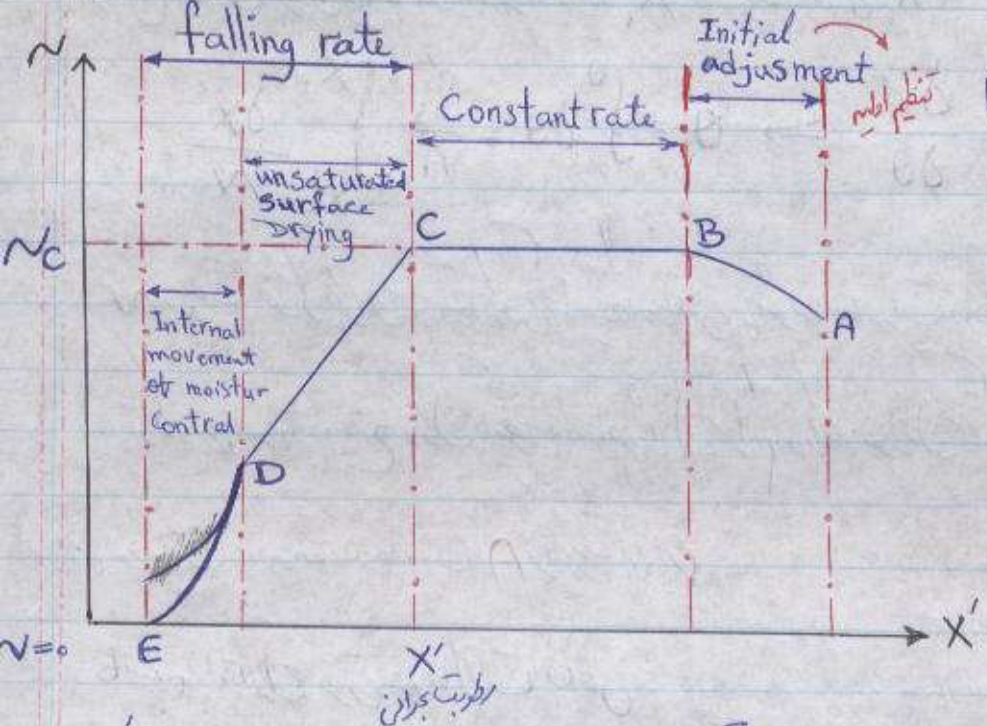
$$X' = \frac{\text{kg moisture}}{\text{kg dry Solid}}$$



چنانچه مقدار رطوبت را در زمانهای مختلف یادداشت نمائیم می توانیم نمودار X' بر حسب θ را رسم کنیم:

N یعنی شیب نقاط مختلف در نمودار بالا. حال اگر این مقدار را در $\frac{S_s'}{A}$ ضرب کنیم می‌توانیم نمودار $\frac{\Delta X'}{\Delta \theta}$

بر حسب X' را رسم کنیم



در دوره‌ی Constant rate که سطح جامد را فرا گرفته (آب غیر پیوندی) خشک می‌شود

$$N = N_c = k_y(Y_s - Y) = k_y(Y_s' - Y')$$

دلیل:

در نقطه‌ی C اولین قطعه خشک روی جامد ایجاد می‌شود. از آنجا به بعد سرعت تبخیر کم می‌شود چون مایع کم می‌شود.

در نقطه‌ی D سطح کاملاً خشک می‌شود و هم این نقطه، نقطه‌ی بحرانی دوم می‌گویند

از نقطه‌ی D به بعد رطوبت داخل خلل و فرج بصورت بخار مولکولی منتقل می‌شود. بخار مولکولی پدیده‌ای کندتر است، بنابراین سرعت انتقال کم می‌شود

در نقطه‌ی E به تعادل می‌رسیم و میزان تبخیر صفر می‌شود ولی رطوبت جامد کاملاً خشک نشده است چون رطوبت هوا صفر نیست و زمان روی مبداء مختصات می‌ایستد که رطوبت هوا کاملاً صفر باشد.

این اطلاعات شبیه پیوند آب در طرح سی آن نوع آب که می‌توان نقاط ۱ و ۲ را تشخیص داد و علت بخاطر نوع جامد است

زمان خشک کردن:

زمان خشک کردن یک جامد از رطوبت اولیه X'_1 به رطوبت نهایی X'_2 از رابطه زیر تعیین می‌شود:

$$N = -\frac{S'_s}{A}\frac{dX'}{d\theta} \Rightarrow \theta = \int_0^{\theta} d\theta = \frac{S'_s}{A}\int_{X'_2}^{X'_1}\frac{dX'}{N}$$

N سرعت خشک کردن است که در آزمایشگاه تعیین می‌شود. جامدات در هنگام خشک کردن جمع شده یا ترک می‌خورند. جمع شدن آنها، سطح آن را کم و ترک خوردن آنها، مقدار اولیه سطح A می‌شود جهت سهولت در محاسبات A را ثابت می‌گیریم

محاسبه انتگرال فوق در حالات خاص:

۱) دوره سرعت (شدت) تبخیر ثابت: Constant rate Period

$X'_1, X'_2 > X'_c$ چنانچه از X'_1 بخواهیم به X'_2 برسیم و

نتیجه: $N = N_c = Cte \longrightarrow \theta = \frac{S'_s(X'_1 - X'_2)}{A N_c}$

۲) دوره سرعت تبخیر نزول: Falling rate Period

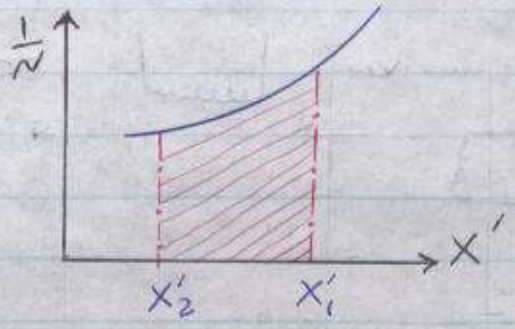
$X'_1, X'_2 < X'_c \longrightarrow N \neq Cte$

شکل تغییرات N به نوع جامد و تخلخل آن و ..... بستگی دارد

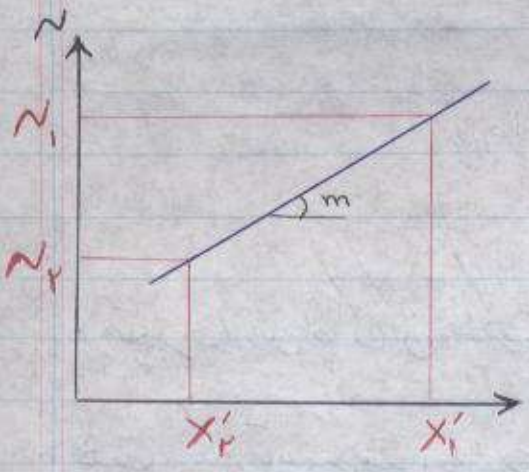
و دو حالت کلی ممکن است پیش آید:

الف) حالت عمومی: سطح زیر منحنی $\frac{1}{N}$ را برحسب X' بصورت کسری یا عددی حساب کنیم

$$\theta = \frac{S'_s}{A}\int_{X'_2}^{X'} \frac{dX'}{N}$$



ب) N بصورت خطی برحسب X' تغییر کند:



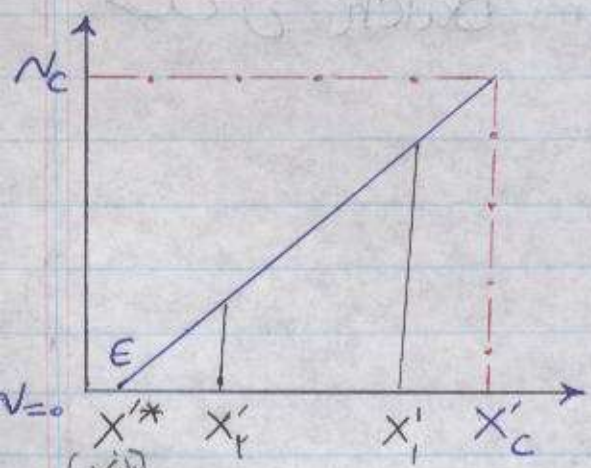
$$N = mX' + b \Rightarrow$$

$$\theta = \frac{S'_s}{A}\int_{X'_2}^{X'_1} \frac{dX'}{mX'+b} = \frac{S'_s}{A}\ln\frac{mX'_1+b}{mX'_2+b}$$

از طرفی $\begin{cases} N_1 = mX'_1 + b \\ N_2 = mX'_2 + b \\ m = \dfrac{N_1 - N_2}{X'_1 - X'_2} \end{cases}$

$$\Rightarrow \theta = \frac{S'_s(X'_1 - X'_2)}{A(N_1 - N_2)}\ln\frac{N_1}{N_2}$$

ج) اگر محدوده بین C تا E خطی باشد:

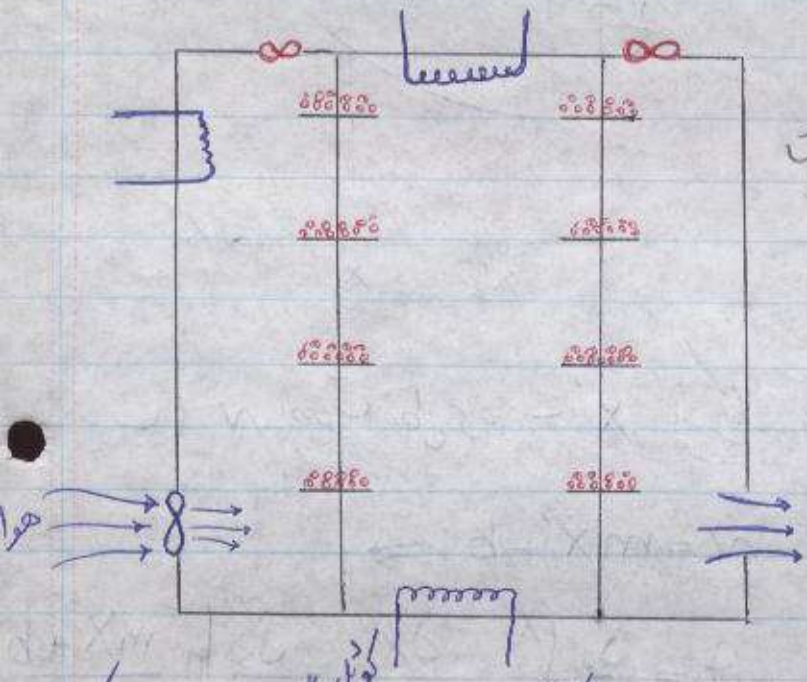


$$m = \frac{N_C - 0}{X'_C - X'^*} = \frac{N_C}{X'_C - X'^*} \Rightarrow$$

$$\theta = \frac{S'_s}{A}\ln\frac{N_1}{N_2} = \frac{S'_s(X'_C - X'^*)}{AN_C}$$

$$*\ln\frac{X'_1 - X'^*}{}$$

خشک کن سینی دار Tray Dryer ; Cabinet Dryer ; Shelf Dryer

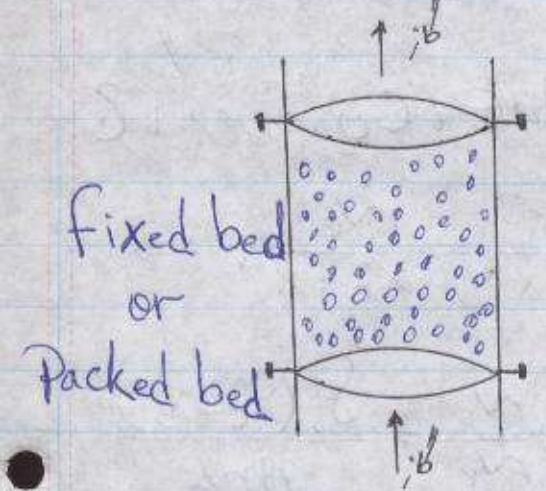


نکته: حجم بزرگ خشک کن یک از معایب طراحی است ولی این حجم حال حجم جامد است و فضای اطراف خالی را در نظر نمی گیریم

زمانی بکار می رود که مقدار جامد کم باشد به مثلا کمتر از $\frac{kg}{hr}$ ۲۵۰ باشد

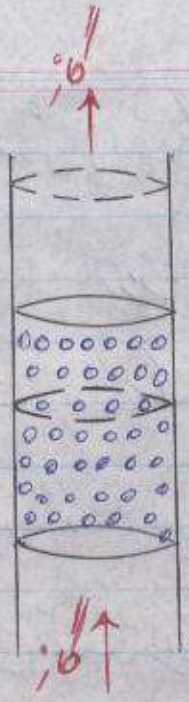
هر چقدر هوا در این خشک کن ها گرمتر باشد، عملیات خشک کردن بهتر صورت می گیرد بنابراین چند کوئل جهت این کار تعبیه می شود. و چندین دمنده و تن از نقاط مختلف خشک کن می گذارند تا جامد بصورت کنواخت خشک گردد. چنانچه کانالیزان روی رنگ جامد تأثیر بگذارد (مانند مواد غذایی) از گاز ضعیف جهت خشک کردن استفاده می شود و گاهی هم با بخار آب سوپرهیت.

خشک کن Semi Batch



خشک کن بستر سیال

Fludized bed



بستر جامد در اینجا متحرک است

خشک کن های پیوسته Continuos Drying

در اینجا و در این نوع خشک کن هم بستر جامد و هم جریان گاز، هردو جریان دارند و تنها وسیله خشک کردن یکنواخت در کارخانجات بوده است

مزایا:

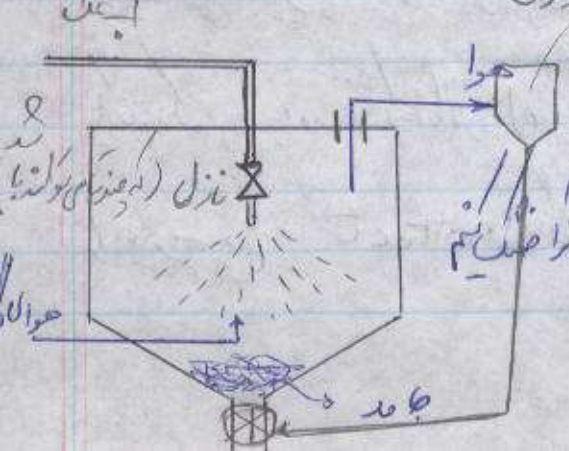
۱) ابعاد کوچکتری در مقایسه با واحد وزن جامد خشک شونده برای عملیات خواهند داشت

۲) رطوبت نهایی جامد خروجی یکنواخت تر از خشک کن های نیمه پیوسته است

۳) هیت سیستم پیوسته به ازای واحد وزن جامد ارزانتر از سیستم نیمه پیوسته است

انواع خشک کن پیوسته:

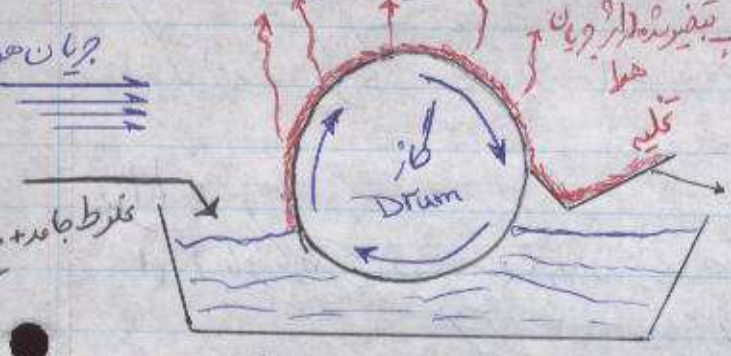
۱) خشک کن پاشنده Spray Dryer:



فرض کنید می خواهیم محلول آب و نمک را از نمک جدا کرده و نمک ازا خشک کنیم

یک روش این است که غلظت را از کف تانک و توزیع مناسب عبور دهیم. در این صورت ذرات سبک‌تر از تانک عبور می‌کند و همان لحظه هم از پایین وارد می‌شود دانه‌های تانک را به حالت معلق خشک کند پس تانک را از آب تقطیر می‌کند. ناخلصی بیشتر خشک می‌شود و با آب تقطیر شیر خشک هم به این روش خشک می‌کند. این روش بیشتر در صنایع داروسازی و غذایی کاربرد دارند زمان آمیزش تقطیر هم زیاد است. جریان گاز می‌تواند به دو صورت Cunter Curent و CoCurent وارد می‌شود. عیب این روش این است که انرژی بسیار زیادی توسط هوا از بین می‌رود زیرا هوای خروجی هم انرژی زیادی دارد. اما مزیت آن این است که جامد را سریع خشک

۲) خشک کن استوانه‌ای: Drum Dryer

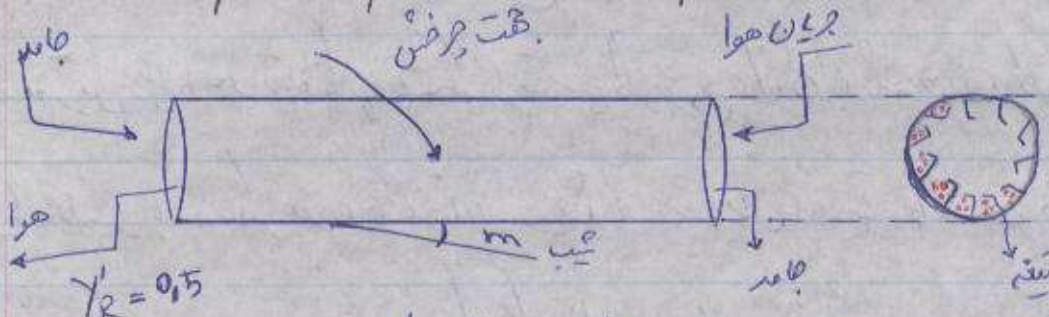


این خشک کن برای خشک کردن غلظت جامد-مایع (کن‌ها یا دوغاب‌ها) استفاده می‌شود. استوانه توخالی Drum دارای چرخش، قبلی از غلظت را با خود حرکت می‌دهد و جریان هوا بر روی این قبلی می‌وزد و آب آنرا تبخیر می‌کند. در داخل استوانه، جریان گازهای داغ یا مستقیماً شعله وجود دارد و پس تغذیه یا کاربرد، جامد خشک را از محل تانک داده شده می‌تراشد و پس تخلیه می‌کند. این خشک کن را غیر مستقیم Indirect گویند. زیرا گاز در داخل Drum جریان دارد و بین گاز

پاشش جامد) بیاریم و یک خشک صنعتی و بعد صنعتی بیاریم جامد عطل مونده که مواد بخار هستند در طرای این دستگاه

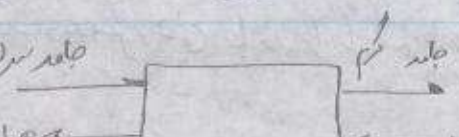
کاغذ و چاپ یا جداره ظروف ایست و در کاس مستقیم با هم نیستند

۳، خشک کن دوار Rotary Dryer or Rotary Drum Dryer



این نوع خشک کن از بقیه کاربرد بیشتری دارد. این خشک کن متشکل از یک استوانه است که در داخل این استوانه تیغه های درازی تعبیه شده است جامد وارد استوانه شده و روی این تیغه ها کاری میرود و در اثر حرکت دورانی Drum، جامد به بالا و پایین می افتد و در کاس با کار کاری میرود.

این نوع خشک کن، معمولترین نوع خشک کن مستقیم است که برای خشک کردن ماسه، سنگ آهک، سیمان، خاکدس و مواد معدنی مختلف بکار میرود. بعضی از این Dryer ها کار رآکتور را نیز انجام میدهند. یعنی در آنها واکنش اتفاق میافتد. مثل کارخانه سیمان در بعضی موارد طولشان تا ۱۰۰ متر و قطرشان ۱۰ متری رسد نسبت طول به قطر استوانه معمولاً بین ۴ تا ۱۰ است. شیب این استوانه بیاریم و در حدود ۰,۰۷ است. سرعت چرخش استوانه اغلب ۵ تا ۶ دور بر دقیقه (سرعت خطی ۲,۰ تا ۵,۰ متر بر ثانیه) است. اگر سرعت چرخش زیاد باشد جامدات روی تیغه ها چسبیده و به بالا پایین نمیافتد و در کیفیت خشک کردن تأثیر منفی میگذارد



Driving force درجه ای که موجب حرکت جامد مرطوب خشک شده جابجا

۲۸

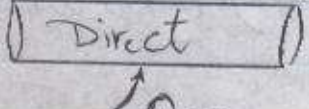
چون احتمال دارد که جامدی که زیر مکان دارد به بالا بیاید در داخل استوانه

حداکثر سطح مقطع اشغال شده توسط فاز جامد حدود ۱۵٪ کل سطح مقطع استوانه است و ۸۵٪ مابقی هوا یا گاز است. طول موانع (تپه ها) حدود ۱۰ الی ۱۲ درصد قطر استوانه می باشد بهترین شرایط عملیاتی هنگامی است که رطوبت نسبی گاز ورودی ۵۰٪ باشد جریان گاز هم می تواند همسو یا ناهمسو باشد. اگر جریان گاز ناهمسو باشد، مدت زمان اقامت جامد در داخل استوانه نسبت به جریان همسو، به صورتیکه شکل ظاهری جامد هم باشد (مثل ماسه) جهت خشک کردن راحت از گازهای حاصل از احتراق سوخت استفاده کرد ولی اگر شکل ظاهری جامد هم باشد باید از هیتر و گاز داغ با بازدهی بالا جهت استفاده کرد. این خشک کردن خشک کن مستقیم است یعنی گاز با جامد مستقیماً در تماس است. این خشک کن را خشک کن غیر مستقیم هم می نامند

در خشک کن مستقیم گرمای آب داغ یا بخار است و در غیر مستقیم غیر آب یا بخار.

در خشک کن مستقیم ما Q را صفر می گیریم زیرا گرمائی که صرف تبخیر کردن آب جامد می شود در مقایسه با Q خیلی بیشتر است که می توان از Q خیلی صرفنظر کرد. ولی در خشک کن غیر مستقیم

$Q \neq 0$ زیرا Q داریم



جهت طراحی خشک کن (حجم خشک کن) باید زمان اقامت جامد و همچنین دبی جامد را داشته باشیم.

تعاریف:

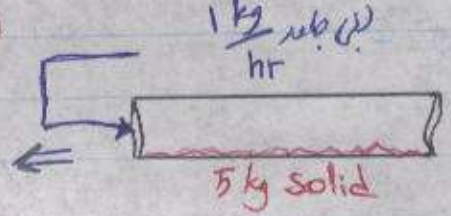
Holdup

موجودی جامد در خشک کن برابر جزئی از حجم خشک کن که توسط جامد اشغال شده، به عبارتی میزان حجم جامد به حجم خشک کن را موجودی جامد گویند و با ϕ_D نشان می‌دهند

$$0.05 < \phi_D < 0.15$$
بدون بعد

زمان ماند جامد در خشک کن:

$$\theta = \frac{\text{Volume of Solid}}{\text{Volum flow rate}}$$
زمان — دبی حجمی جامد



$$\theta = \frac{5\ kg}{1\ \frac{kg}{hr}} = 5\ hr$$

$$\text{Volume of Solid} = \phi_D \left(\frac{\pi d^2}{4} \cdot Z\right)$$
موجودی جامد — سطح استوانه — طول استوانه

در خشک کن باید Z و d را تعیین کنیم

$$\text{Volume flow rate} = S_s' * \frac{1}{\rho_s} * \frac{\pi d^2}{4}$$

S_s': سرعت جرمی جامد خشک در خشک کن — $\frac{\text{mass of dry solid}}{\text{area} \cdot \text{time}}$

ρ_s: چگالی ظاهری ذرات (مثلاً چگالی جامد بدون حذف کردن خلل و فرج آن)

$$\Rightarrow \quad \theta = \frac{Z \cdot \phi_D \cdot \rho_s}{S_s'}$$

هدف: بدست آوردن Z

رابطه فریدمن و مارشال برای پیدا کردن ϕ_D:

$$\phi_D = \phi_{D_0} \pm kG$$
ϕ_{D_0}: موجودی جامد در شرایط خاص — ضریب ثابت تجربی که بستگی به خواص جامد دارد — سرعت جرمی گاز $\left(\frac{\text{Volume}}{\text{time} \cdot \text{area}}\right)$

علامت مثبت برای جریان همسو گاز و جامد و علامت منفی برای جریان ناهمسو، زیرا گیر

جریان گاز هوا باعث حرکت جامد باشد جامد سریعتر به انتهای استوانه رسیده و از آن خارج می‌شود ولی اگر جریان گاز هوا باشد، جامد مدت بیشتری را در استوانه می‌ماند.

$$k = \frac{0.6085}{\rho_s \cdot d_p^{1/2}}$$

$$\Phi_{D.} = \frac{0.3344\, S'_s}{\rho_s \cdot S \cdot N^{0.9} \cdot \delta}$$

S'_s → $\frac{kg}{m^2.s}$

δ → ضخامت کن (m)

N → سرعت چرخش استوانه ($\frac{r}{sec}$)

S → شیب استوانه ($\frac{m}{m}$)

طراحی ساده خشک‌کن دوار:

این روش بالکی تقریبی می‌باشد برای طراحی مقدماتی خشک‌کن‌ها بکار برود:

داده‌ها: اطلاعاتی مانند جنس جامد (مثلاً ذرت) نوع جامد، X'_1 رطوبت اولیه جامد، X'_2 رطوبت نهایی جامد که باید به آن برسیم، شرایط هوای ورودی و غیره در اختیار است.

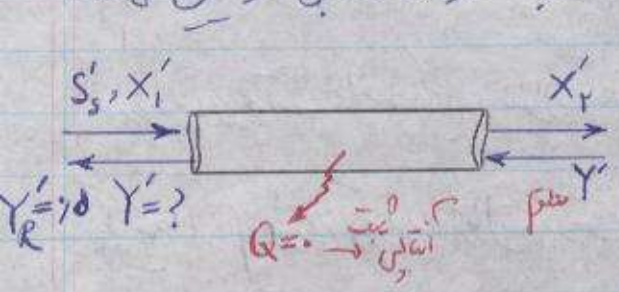
۱- ابتدا برای هوای خروجی از خشک‌کن مقداری به عنوان رطوبت مناسب برای می‌نیم بهترین رطوبت نسبی هوای خروجی 50٪ است.

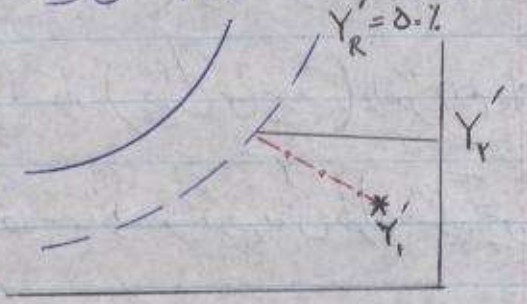
۲- مقدار رطوبت جامد در ورودی و خروجی معلوم است. مقدار جامد نیز مشخص است.

کل رطوبت از دست رفته جامد در خشک‌کن را محاسبه می‌کنیم

۳- شرایط هوای اولیه معلوم است. رطوبت نسبی هوای خروجی نیز حدس زده می‌شود. تغییرات رطوبت در خشک‌کن بصورت آدیاباتیک صورت می‌گیرد. رطوبت مطلق هوای خروجی با استفاده از منحنی رطوبت سنج

و میزان هوای مصرفی با داشتن میزان آب تبخیر شده طریت ورودی و خروجی هوا تعیین می‌کند.





$$S'_s \Delta X' = \text{مقدار هوا} \ (\Delta Y')$$

از نقطه Y'_1 یک خط موازی خطوط آدیاباتیک رسم می‌کنیم تا منحنی $Y'_R = 0.5$ را قطع کند، زیرا عمل خشک کردن آدیاباتیک است. پس از عمل تماس Y'_2 را بدست می‌آوریم. پس از رابطه فوق مقدار هوا را بدست می‌آوریم

۴- سرعت خطی هوا در خشک کن‌های حوله‌ای $2.5 \frac{m}{s}$ $\left(8 \frac{ft}{s}\right)$ می‌باشد. اگر دبی حجمی هوا را بر سرعت خطی آن تقسیم کنیم، ۸۵٪ سطح مقطع استوانه محاسبه شده و پس مقطع استوانه بدست می‌آید.

$$A \cdot U = Q \Rightarrow \frac{Q}{U} = A$$

۸۵٪ کل — سطح مقطع — سرعت — دبی حجمی

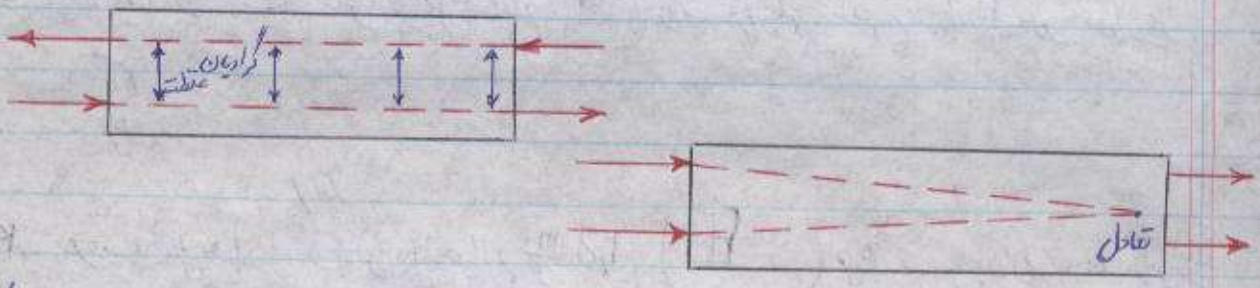
۵) طول استوانه بین ۴ الی ۱۰ برابر مقطر استوانه است. دستی مقطر را بدست آورده و طول‌های مختلفی را برای استوانه بین ۴ تا ۱۰ برابر مقطر آن حدس می‌زنیم. پس با داشتن طول استوانه و دبی فاز جامد و سایر پارامترها از رابطه $\theta = \frac{Z \cdot \Phi_D \cdot \rho_s}{S'_s}$ θ را محاسبه می‌کنیم. بنابراین برای هر طول حدس زده شده یک زمان توقف داریم

d	Z	θ
□	۴d	θ_1
	۵d	θ_2
	۶d	⋮
	⋮	
	۱۰d	θ

۶- در آزمایشگاه با ساخت شرایط شبیه (خشک کن پیوسته) میزان تبخیر رطوبت خامه را در زمان های مختلف محاسبه می کنیم، میزان تبخیر در داخل استوانه (خشک کن پیوسته) را نیز داریم. از مقایسه ارقام تئوری و تجربی، زمان توقف بهینه را انتخاب نموده و با توجه به آن طول استوانه تعیین می گردد.

(H.W) : تمامی تمرینات رطوبت زدایی مک کیب را حل کنید.

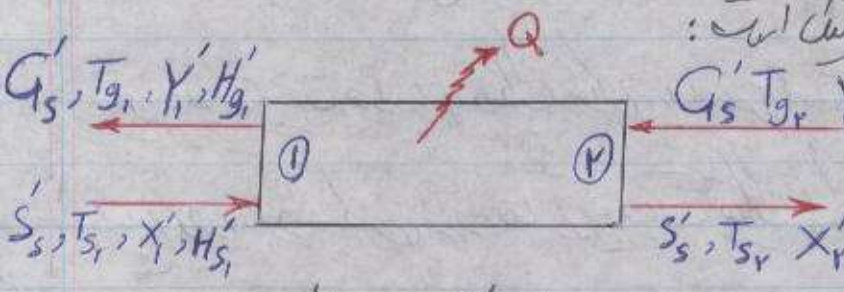
مقایسه مزایا و عیوب جریانهای هم و ناهم در فرایند انتقال جرم



در فرایند ها : مزیت جریان ناهم این است که اندازه آن با بالا رفتن زمان عیب آن این است که نیاز به کنترل بسیار زیادی دارد زیرا گرادیان غلظت در تمام طول فرایند وجود دارد و چنانچه مدت زمان تماس دو فاز کم یا زیاد شود به غلظت نهایی مورد نظر نخواهیم رسید ولی در جریان هم جون در انتهای مسیر تقریباً دو فاز در حال تماس به تعادل می رسند بنابراین غلظت نهایی ما تقریباً ثابت است و چنانچه مدت زمان تماس دو فاز کم یا زیاد شود خللی در غلظت نهایی مورد نظر ما ایجاد نمی کند.

معادلات خشک کن پیوسته با جریان مستقیم :

با فرض اینکه خشک کن عایق آدیاباتیک است :



موازنه جرم : $S_s' X_1' + G_s' Y_2' = S_s' X_2' + G_s' Y_1' \Rightarrow$

$$S_s'(X_1' - X_2') = G_s'(Y_1' - Y_2')$$

موازنه آنتالپی : $S_s' H_{s_1}' + G_s' H_{g_2} = S_s' H_{s_2}' + G_s' H_{g_1} + Q$ ← اتلاف حرارتی

یادآوری : $H_g'(T_g) = \underbrace{C_{p_B}(T_g - T_0)}_{\text{آنتالپی هوا}} + Y' \underbrace{\left[C_{p_{A_g}}(T_g - T_0) + \lambda_0\right]}_{\text{آنتالپی بخار آب موجود در هوا}} =$

$$= C_s(T_g - T_0) + Y'\lambda_0$$

$$H_s'(T_s) = \underbrace{C_{p_s}(T_s - T_0)}_{\text{آنتالپی جامد در دمای } T_s} + X' \underbrace{\left[C_{p_{A_L}}(T_s - T_0)\right]}_{\text{آنتالپی آب موجود در جامد}} + \Delta H_A$$

ظرفیت حرارتی جامد

حرارت جذب سطحی یک از خطوط شکل حاصل می‌گردد

ΔH_A را حرارت جذب سطحی (Heat of Wetting) گویند که عمدتاً بدلیل adsorption یا پدیده Hydration در راکتور مواقع آنرا صفر در نظر می‌گیرند.

عملیات جذب سطحی Adsorption

این عملیات جهت جدایی یک یا چند جزء مولکولی یا عنصری که مقدار بسیار کم (در حدود PPm) در گاز یا مایع وجود دارد، بکار می رود. بعبارتی عملیات تفکیک دو فاز (گاز/مایع) از یکدیگر توسط جامدات استقال جرم از فاز گاز یا مایع به جامد است.

مثل: آبگیری گاز با سیلیکاژل - رنگبری از محلول قند (شکر) و یا روغن با کربن فعال حذف ترکیبات سمی در ماسکهای شیمیایی - کروماتوگرافی گازی

عامل مؤثر در جذب سطحی نیروهای بین مولکولی جامد جاذب و مولکولهای ماده جذب شونده است. بنابراین دو نوع جذب وجود دارد.

- جذب فیزیکی: physical Adsorption ≡ Physisorption
- جذب شیمیایی: Chemical Adsorption

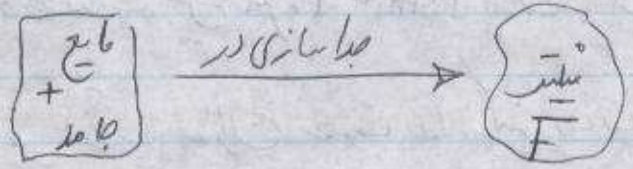
جذب فیزیکی	جذب شیمیایی
- پیوند از نوع واندروالسی است (نیروهای جاذبه الکترواستاتیکی که خیلی قوی نیستند.)	- پیوند از نوع کووالانسی یا اکسیژن والانسی است یعنی مولکول ماده جذب شونده با مولکول های جامد پیوند شیمیایی تشکیل می دهند که این پیوند قوی تر است تا جذب فیزیکی
- جذب برگشت پذیر است (Reversible) یعنی جامد را مجدداً می توان احیاء و استفاده کرد	- جذب اکثراً برگشت ناپذیر است Irreversible
- حرارت جذب Heat of Adsorption کم است	- حرارت جذب بالا است
- میزان جذب کم و ناچیز است	- میزان جذب بسیار بالا است (اشغال جرم بالا)

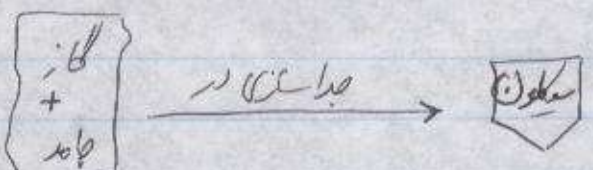
جذب فیزیکی را این درس مدنظر ما است زیرا دوباره می توانیم جامد را احیا کنیم.

جذب شیمیایی در صنعت مانند مکانیزم های کاتالیستی

عملیات جذب در فاز گاز ساده تر از جذب در مایع است.

عکس عمل جذب سطحی را دفع سطحی گویند یا Desorption





خصوصیات جاذب جامد:

اکثر مواد جامد جاذب هستند ولی ما در بین جامد جاذبی هستیم که دو خصوصیت مهم را داشته باشند:

۱) قدرت جذب بالایی داشته باشند این خاصیت به نوع جامد و گاز بستگی دارد در واقع گزینش پذیر باشد (Selectivity داشته باشد) یعنی ماده‌ای را که مدنظر ما باشد جذب کند.

۲) سطح تخصصی زیادی داشته باشد زیرا هرچه سطح تماس بین گاز و جامد بیشتر باشد انتقال جرم بیشتر می‌شود و در نتیجه مقدار جذب بیشتر می‌شود. جامدات متخلخل سطح تخصصی بیشتری دارند و بنابراین مناسب‌تر می‌باشند. سطح تخصصی جاذب‌های صنعتی خوب برابر است با:

$$\frac{10^3\ m^2}{gr\ Solid} = \frac{10^6\ m^2}{kg\ Solid}$$

اندازه‌ی جامدات بین ۴۰ μ تا 1 cm است. هرچه سطح تخصصی جامد و قدرت جذب آن بالاتر باشد، میزان مصرف جامد کمتر و عملیات اقتصادی‌تر خواهد بود.

حل سؤالات کتاب ... ملکی ...

مخلوطی از هوا و بخار آب در دمای $50^\circ C$ و فشار $1\ atm$ موجود است. رطوبت مطلق جزئی بخار آب در مخلوط $P_A = 20\ mmHg$ است. با توجه به این مخلوط را از نظر اشباع بررسی کنید.

$T = 50^\circ C$ $\xrightarrow[\text{از استان}]{\text{جدول بخار}}$ $P_A^* = 280\ mmHg$

$P_A = 20\ mmHg$

$$Y'_R = \frac{20}{280} * 100 = 7.1\ \%$$

$$Y' = \frac{P_A}{P_t - P_A} \cdot \frac{M_A}{M_B} = \checkmark \quad , \quad V_H = \text{از نزدیک}$$

$$H'_g =$$

طبق اعلام اداره هواشناسی رطوبت نسبی آن 43% و فشار هوا $29.67\ inHg$ است. در $1\ ft^3$ از این هوا چند ft^3 بخار آب در فشار $inHg$ وجود دارد.

$T = 94^\circ F$ $\xrightarrow[\text{جدول بخار}]{}$ $P_A^{sat} = 1.61\ inHg$

$P_t = 29.67\ inHg$

$$Y'_R = 0.43 = \frac{P_A}{P_A^{sat}} = \frac{P_A}{1.61} \quad ; \quad P_A = 0.69\ inHg$$

$$P_A V_t = n_A RT \quad , \quad P_{H_2O} V_t = n_{H_2O} RT$$

$$m_{H_2O} = \frac{P_{H_2O} V_t}{RT} M_{H_2O} \qquad (V_t = 1\ ft^3)$$

↳ 15

۹

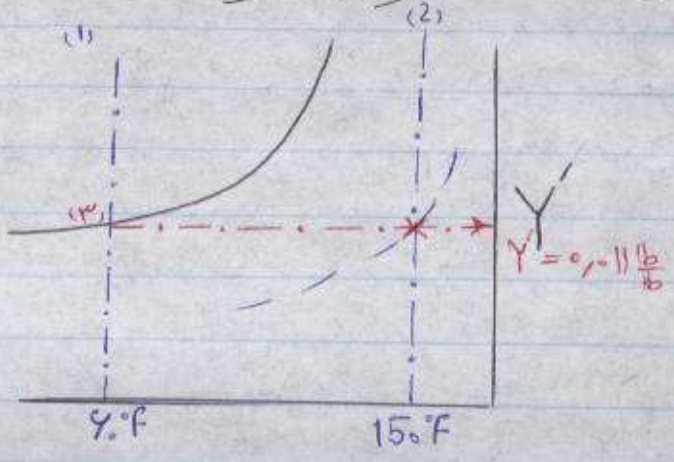
تابلو

دمای هوای مورد نیاز صنعتی معین می‌کنیم.

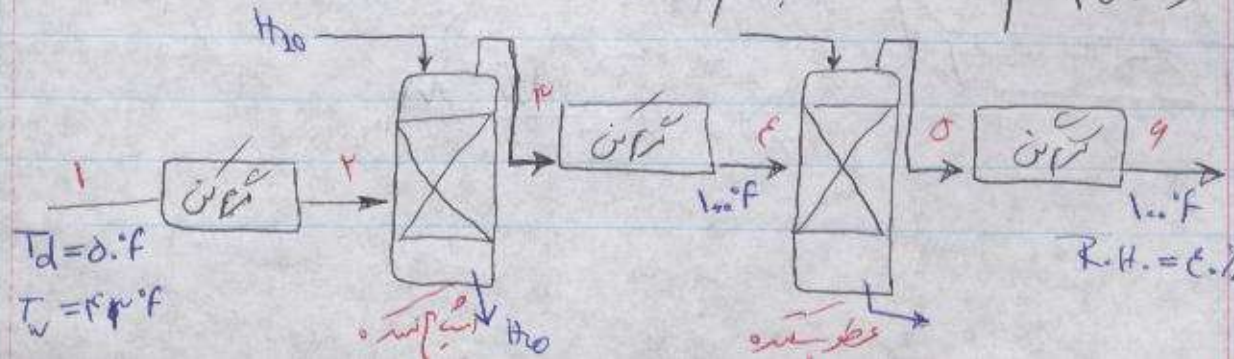
چه خصوصیاتی تکمیلی جهت این هوای بگیرد از جدول و نمودار رطوبت سنجی بدست آورد

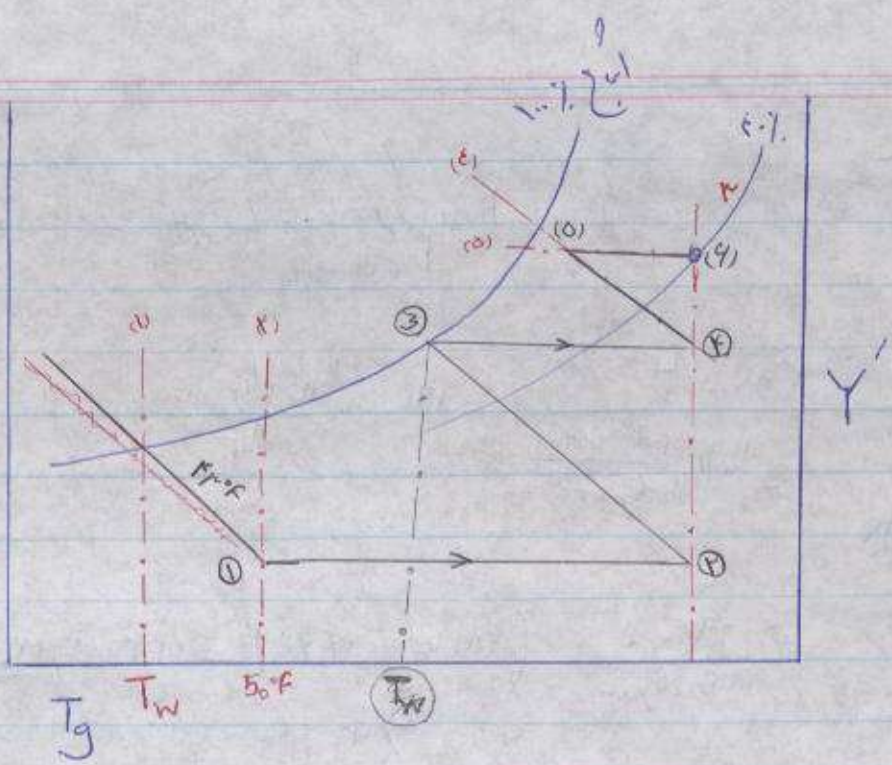
$T = 150°f$

$T_{dp} = 60°f$



از هوای بیرون صنعتی $50°f$ و دمای مرطوب $43°f$ می‌خواهیم هوای گرم با دمای $100°f$ رطوبت نسبی ٪۴۰ تهیه کنیم سیستمی مرکب از تعدادی کوئل گرم کن و برج مرطوب کننده جهت این کار طراحی شده است شکل زیر دبی هوای ورودی $25000 \frac{ft^3}{hr}$ است مطلوبست ترسیم فرایند بروی نمودار رطوبت سنجی خصوصیات هوای در هر خروجی از هر دستگاه طراحی (حرارتی) کوئل گرم کن‌ها، مقدار آب لازم در مرطوب کننده‌ها





① $T = 80°F$, $T_w = 44°F$
$Y' = 0.0044$ $\frac{lb\,H_2O}{lb\ dry\ air}$
$R.H = 54\%$
$H = 14.44$ $\frac{Btu}{lb\ dry\ air}$
$V_H = 13.90$ $\frac{ft^3}{lb\ dry\ air}$

② $T = 100°F$, $T_w = 46.8°F$
$Y' = 0.0046$ unit
$R.H = 10\%$
$H' = 28.72$
$V_H = 14.4$

③ $T = 96.8°F$, $T_w = 44.8°F$
$Y' = 0.0137$
$R.H = 100\%$
$H' = 68.96$
$V_H = 13.65$

④ $T = 100°F$, $T_w = 76.8°F$
$Y' = 0.0137$ unit
$R.H = 31\%$
$H' = 68.1$
$V_H = 14.4$

⑤ $T = 88°F$
$Y' = 0.017$ unit
$R.H = 70\%$
$H = 38.1$
$V_H = 14.05$

⑥ $T = 100°F$
$Y' = 0.01$
$R.H = 40$
$H = 22.44$
$V_H = 13.4$

با توجه به نمودار سایکرومتریک و با توجه به داده‌ها مقدار هوا صعب را بدست آورید

① نقطه ← $\frac{2500 \frac{ft^3}{hr}}{12.9 \frac{ft^3 \text{ wet air}}{lb \text{ dry air}}} = 1940.5 \frac{lb \text{ dry air}}{hr}$

v_{H_i} ←

بار حرارتی هیتر اول $\bigcirc_{1 \to 2} = \frac{1940.5}{lb \text{ dry air}} (28.74 - 14.43) = 27738.33 \frac{Btu}{hr}$ (Btu / dry air)

$\bigcirc_{3 \to 4} = 1940.5 (28.1 - 28.74) = 1242.88 \frac{Btu}{hr}$

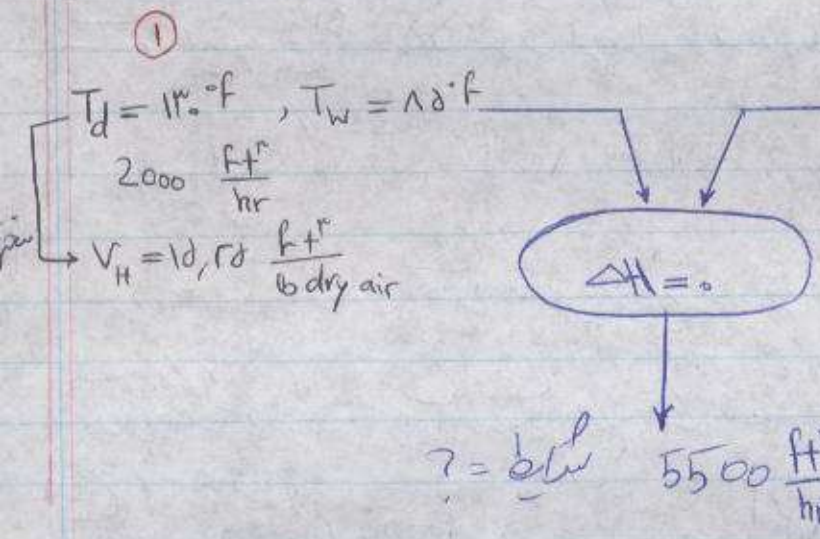
$\bigcirc_{5 \to 4} = 1940.5 (22.44 - 28.1) = 8810.08$ //

آب تکمیلی $\dot{m}_{2 \to 3} = 1940.5 (0.0127 - 0.0044) = 16.21 \frac{lb H_2O}{hr}$

$\dot{m}_{4 \to 5} = 1940.5 (0.0127 - 0.0117) = 1.94 \frac{lb H_2O}{hr}$

سؤال ۵)

۲ نوع هوا به صورت اول در شرایط $140^\circ F$ خشک، $85^\circ F$ مرطوب و دومی در شرایط $70^\circ F$ خشک و رطوبت نسبی ۵۰٪ با دبی حجمی $2000 \frac{ft^3}{hr}$ از صافی اول، $3500 \frac{ft^3}{hr}$ از صافی دوم عبور می‌کنند. شرایط هوای خروجی را محاسبه کنید.

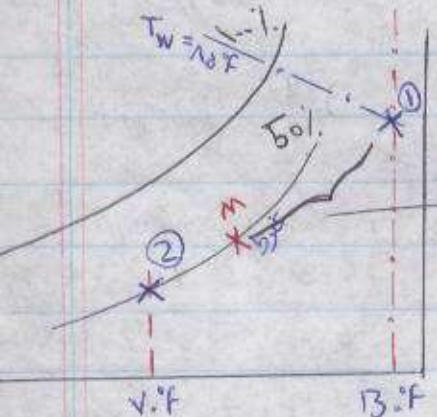


به ۲ طریق می‌توان حل نمود: ۱) روش اهرم و روش محاسباتی

۱) روش اهرم:

جرم هوای ① $= \frac{2000}{13.25} = 131.5 \frac{lb\ dry\ air}{hr}$

جرم هوای ② $= \frac{3500}{13.5} = 258.5 \frac{lb\ dry\ air}{hr}$



$$\frac{258.5}{(258.5 + 131.5)} = \frac{\overline{1M}}{\overline{12}} \Rightarrow$$

$$\frac{\overline{1M}}{\overline{12}} =$$

اندازه‌گیری روی نمودار $\overline{12} = 4.2\ cm$

$$\text{نقطه } M \text{ نقطه} \begin{cases} T_d = 92^\circ F \\ T_w = 70^\circ F \\ Y' = 0.011 \\ R.H = 34\% \end{cases}$$

برای ضریب $55000 \frac{Btu}{min}$ حرارت از خنک‌کننده برج نقطه مقدار $2000 \frac{lb}{min}$ آب مورد نیاز است که در دمای $110^\circ F$ از خنک‌کننده خارج می‌شود این آب توسط برج خنک شده.

در جهت جریان هوا معکوس برج می‌شود و مقدار آن توسط فن تأمین می‌شود

دما خشک و مرطوب هوای ورودی به برج خنک شده به ترتیب $85^\circ F$ و $75^\circ F$ است

دمای برج هنگام خروج از برج خنک شده $85^\circ F$ می‌باشد نسبت جریان هوا به جریان

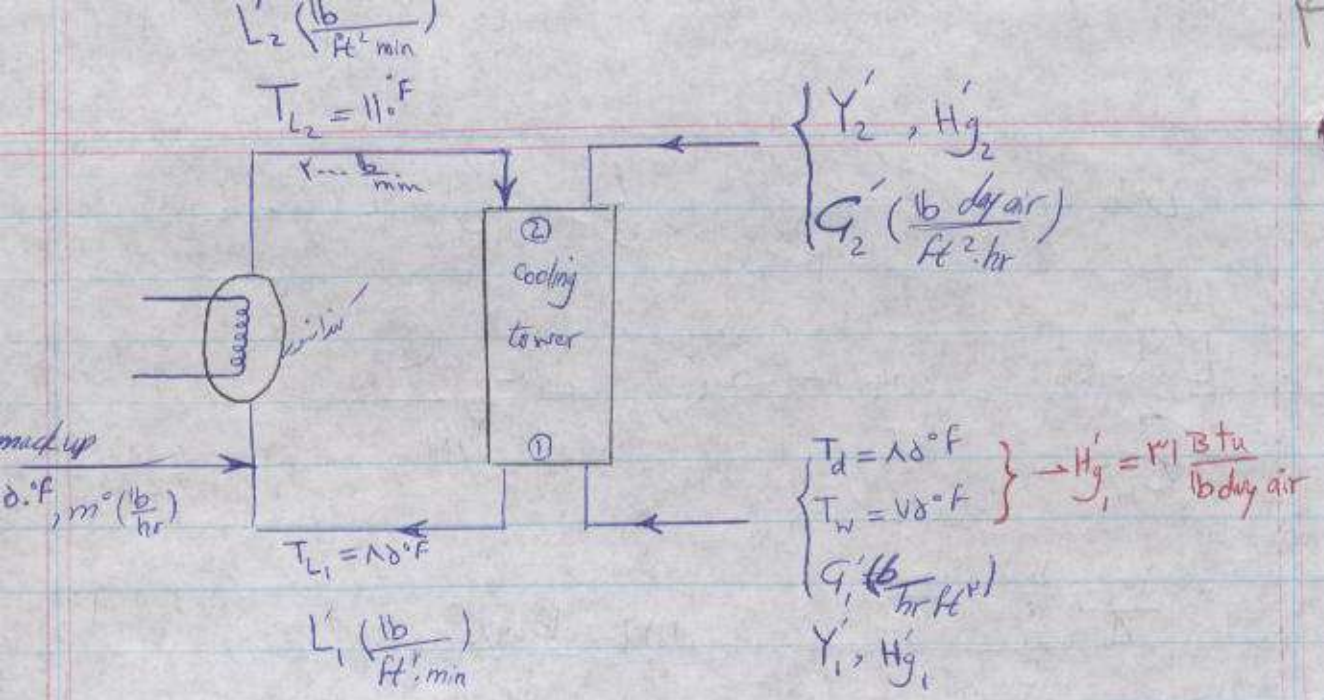
آب 1.5 برابر حداقل است ضریب انتقال جرم فرزل جهت گاز برای نوع آکنه خاص

که مورد مصرف قرار گرفته است $k_y a = 200 \frac{lb}{hr \cdot ft^3 \cdot \Delta Y'}$

به شرطی که شدت جریان آب و هوا به ترتیب از $2000 \frac{lb}{ft^2 hr}$ و $1500 \frac{lb}{hr ft^2}$ کمتر نباشد از

این کمیت 0.4 قرار داده به عنوان آب تکمیلی استفاده می‌شود سطح مقطع و ارتفاع

لازم این برج خنک کننده و نیز آب تکمیلی را محاسبه نمایید



تعادل

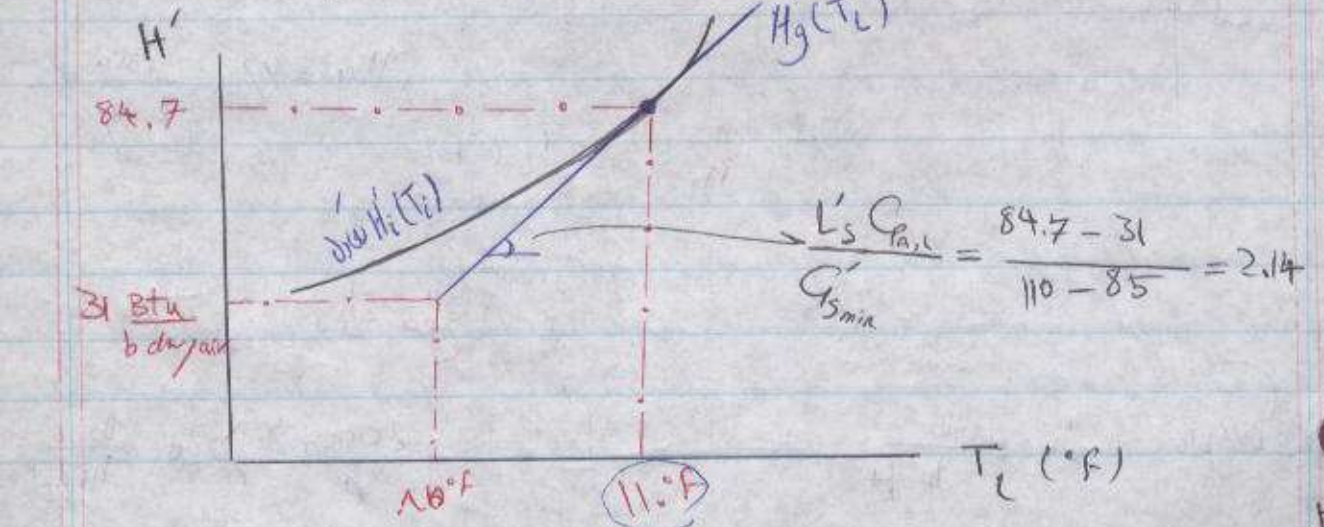
$T_i = T_L (°F)$	85	90	95	100	105	110	115
$H_i'\left(\frac{Btu}{lb\ dry\ air}\right)$	41.9	48.2	55.7	64.0	74.2	86.7	98

این جدول را حتماً بنویسید

نکته: در سطح مشترک (interface) شرایط تعادل برقرار است

سطح انرژی $\rightarrow L_s' C_{p,l} (T_L - T_{L_1}) = G_s' (H_g' - H_{g_s}')$

$$\frac{H_g' - H_{g_s}'}{T_L - T_{L_1}} = \frac{L_s'}{G_s'} C_{p,l}$$ شیب خط تعادل



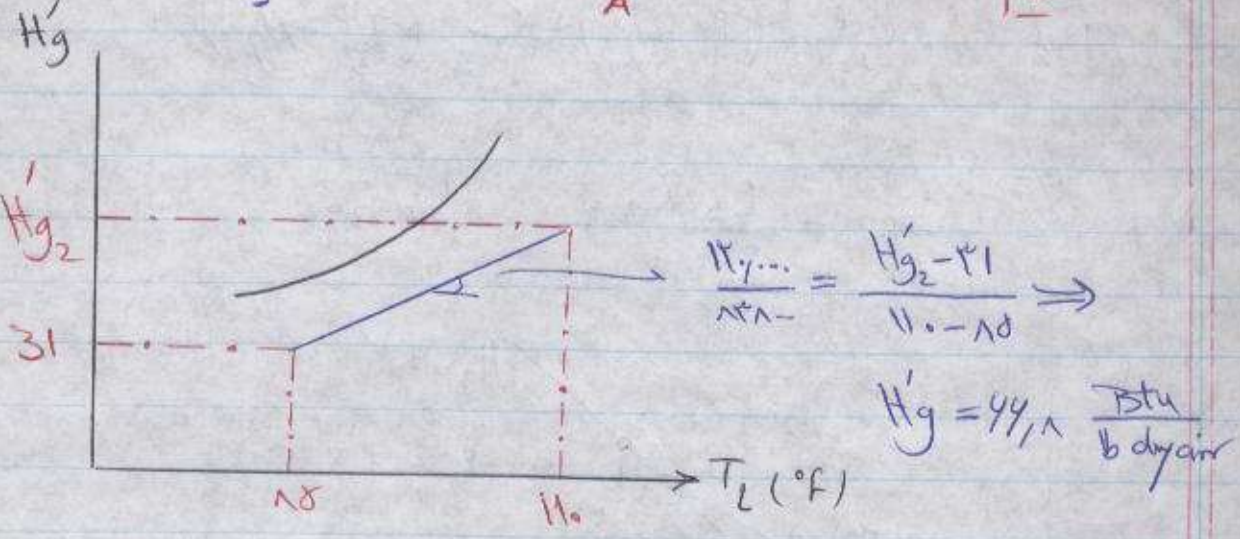
$G_S' = G_{S_1}' = G_{S_2}'$ ثابت ، $L_S' = L_{S_1}' = L_{S_2}' = L'$

$$\frac{L_S' C_{P_{A,l}}}{G_{S_{min}}'} = 2{,}14 \longrightarrow G_{S_{min}}' = \frac{L_S' \cdot C_{P_{A,l}}}{2{,}14}$$

$$\frac{\underbrace{2000}_{A}\ \frac{lb}{min} * \frac{60\ min}{1\ hr\ ft^2} * 1^{C_{P_A}}}{2{,}14} = \frac{5590}{A}\ \frac{lb\ dry\ air}{hr\ ft^2}$$

$$G_S' = 1{,}5\ G_{S_{min}}' = 1{,}5 * \frac{5590}{A} = \frac{8385}{A}\ \frac{lb\ dry\ air}{hr}$$ ← نسبت خط تبدیل

$$= \frac{L_S' C_{P_{A,l}}}{G_S'} = \frac{\frac{2000}{A} * 60 * 1}{\frac{8385}{A}} = \frac{120000}{8385}$$ تقسیم



$$\frac{120000}{8385} = \frac{H_{g_2}' - 31}{110 - 85} \Rightarrow$$

$$H_g' = 44{,}8\ \frac{Btu}{lb\ dry\ air}$$

حالا از بین سطح مقطع داریم:

سطح ۱۵: $2000\ \frac{lb}{hr \cdot ft^2} \longrightarrow L_S' = L' = \frac{2000 * 60}{A} > 2000\ \frac{lb}{hr\ ft^2}$

$A < 4\ ft^2$

$$\text{حداکثر جرم جریان هوا} = 1500 \frac{lb}{hr\,ft^2} \longrightarrow G_s' = \frac{18400}{A} \geq 1500 \frac{lb}{hr\,ft^2}$$

$$\longrightarrow A \leq 24\ ft^2$$

پس مقدار $24\ ft^2$ کافی است

$$G_s' = \frac{18400\ lb/hr}{24\ ft^2} = 1500 \frac{lb}{hr.ft^2}$$

$$Z = \boxed{\frac{G_s'}{k_y M_B a}} \boxed{\int \frac{dH_g'}{H_{g_i}' - H_g'}} = HTU \cdot NTU$$

$$HTU = \frac{G_s'}{k_y M_B a}$$

از آنجایی که $k_y a$ داده شده پس از رابطه ذیل داریم

$$G_s' dY' = k_Y a (Y_i' - Y') = k_y a M_B (Y_i' - Y)$$

که از طرفین این تساوی از تکرارهای متعادل هستند پس

$$N_A = k_y (y_{A,s} - y_A) M_A$$

$$\frac{\frac{Y_s'}{M_A}}{\frac{1}{M_B} + \frac{Y'}{M_A}} - \frac{\frac{Y'}{M_A}}{\frac{1}{M_B} + \frac{Y'}{M_A}}$$

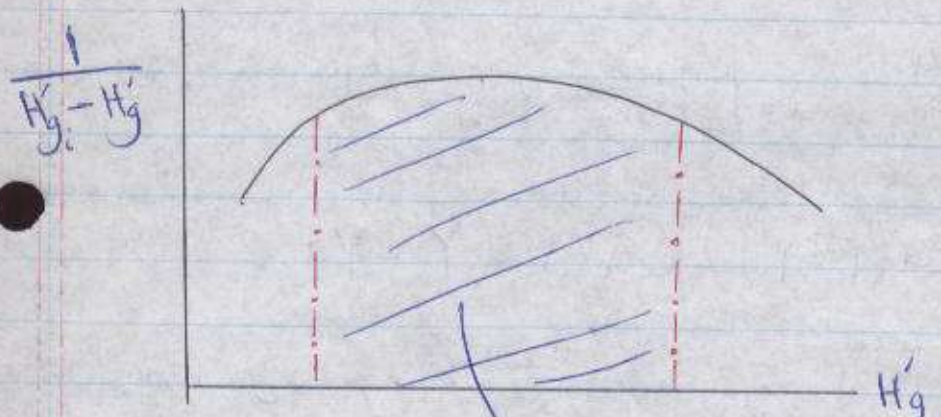
$$\frac{Y'}{M_A} \ll \frac{1}{M_B}$$

پس آن M_A از این رابطه

$$\Rightarrow ky a = k_y M_B a = 200 \frac{lb}{hr \cdot ft^2 \cdot \Delta y'}$$

$$\Rightarrow HTU = \frac{G_s'}{k_y M_B a} = \frac{180}{200} = 0.9 \text{ ft}$$

T_L	H_g' (data)	H_{gi}' (data)	$\frac{1}{H_{gi}' - H_g'}$
80			
⋮			
⋮			



$$\int \frac{dH_g}{H_{gi}' - H_g'}$$

$$Z = HTU \cdot NTU = 0.9 * 2.18 = 2 \text{ ft}$$

میزان آب تبخیر شده

$$m_{H_2O}^{\circ}\left(\frac{lb}{hr}\right) = G_s' A \left(Y_2' - Y_1'\right)$$

برای بدست آوردن Y_2' :

$$\int_{Y_1'}^{Y_2'} \frac{dY'}{Y_2' - Y'} = \frac{k_y a}{G_s'} \int dZ \longrightarrow \frac{Y_2' - Y_1'}{(Y_i' - Y')_{ave}} = \frac{k_y a}{G_s'} \cdot Z_T \quad *$$

$$\frac{\left[Y_i'(T_{L_2}) - Y_2'\right] - \left[Y_i'(T_{L_1}) - Y_1'\right]}{\ln\left[\frac{Y_i'(T_{L_2}) - Y_2'}{Y_i'(T_{L_1}) - Y_1'}\right]}$$

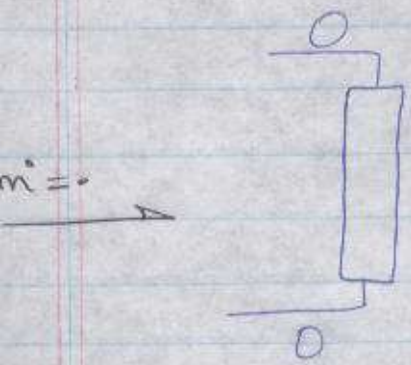
حل

* از طریق حدس و خطا

$$Y_2' = 0.453$$

کمترین حد $G_s = 1500 \frac{b}{ft^2 hr}$ در نظر می‌گیریم، m° بدست می‌آید، اگر

اشکال دور بلوک این بازه کمتر باشد



بقیه ○ ها هم مساحت بین $m^{\circ} = 0$ می‌شود

پس در نتیجه اگر بخواهیم موازنه انرژی بنویسیم جواب نمی‌دهد

$$\begin{cases} \dot{m}_{H_2O}\left(\frac{lb}{hr}\right) = G_s' A (Y_2' - Y_1') \\ \text{راه حل دوم: موازنه انتالپی را مینویسیم} \\ 88\ldots \frac{Btu}{hr} * 4.\ldots + \dot{m}_{H_2O}(1)(8.-32) + G_s' * 84 * 31 = \\ G_s' * (44,8) \end{cases}$$

$C_{p_{H_2O,L}}$ — T_0 — A — H_{G_1}' — H_{G_2}'

ضرب G' از ۲ معادله و تعیین $\dot{m}_{H_2O}$

$$\dot{m}_{H_2O} = 249.\ \frac{lb}{hr}$$

انواع مهم جاذب : ۱) خاک فولر Fuller's earth :

یک خاک رس طبیعی متشکل از سیلیکات منیزیم و آلومینیم است که کاربرد آن در تصفیه از نفت و روغن هاست

۲) خاک رس فعال شده : Activated clay

این نوع دارای قدرت جذب ۲۵ برابر قدرت جذب خاک فولر است برای این خاک را با H_2SO_4 و HCl شستشو می دهند که H^+ در بین لایه های خاک رسوخ کرده و این H^+ قدرت جذب را ۲۵ برابر خاک فولر می کند و بعد از استفاده حرارتی بعضی ترکیبات آلی جذب شده در اثر حرارت تبدیل CO_2 و ... و سولفور شود و شستشو می دهند و حرارت می دهند دوباره

۳) سوخته استخوان حیوانات Bone Char

استخوان + Steam $\xrightarrow{۶۰۰-۹۰۰^{\circ}C}$ سیاه سوخته

۴) کربن فعال activated Carbon :

از سوختن ناقص ترکیبات آلی سلولزی و گیاهان بدست می آید

بطور وسیعی در صنعت جهت حفظ آب و محلول جذب H_2S ، CS_2

از هوا جذب حلال‌های موجود در هوا در کارخانجات رنگرزی و چاپ

۵) بوکسیت Bauxite :

یک ترکیب معدنی شامل ترکیبی از Al_2O_3 ، Fe_2O_3 ، SiO_2 ، ..... است

جهت رنگ بری برخی از نفتی خشک کردن گازها و غیره بکار می رود. Al_2O_3 یا اکسید آلومینیم

جاذب ساخته شده از بوکسیت اکثراً به عنوان پایه در کاتالیزورها بکار می رود

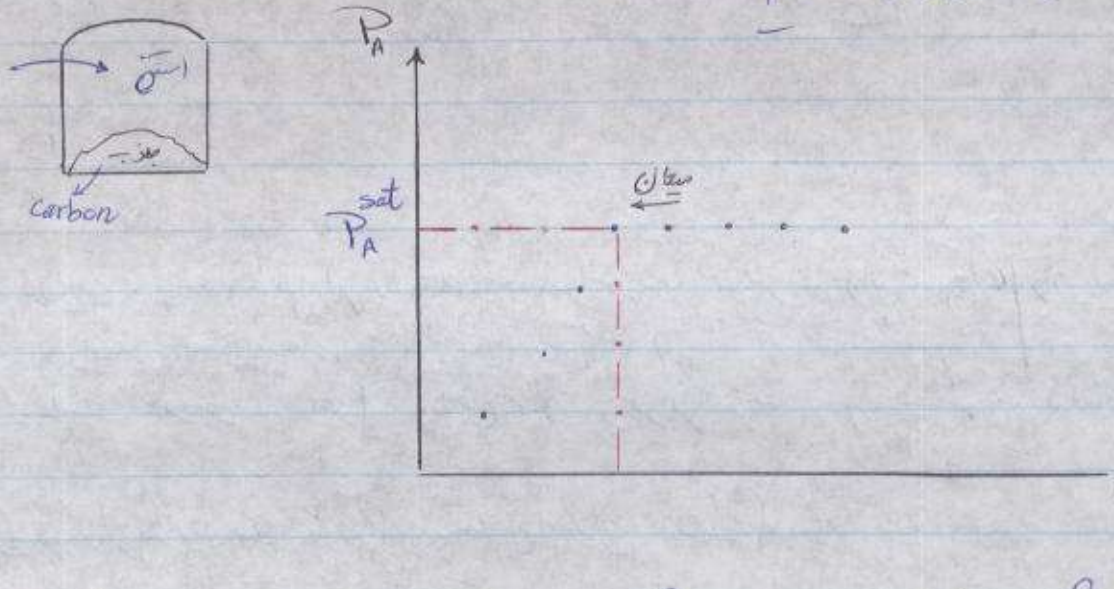
۶- سیلیکاژل Silicagel :

فرم: آمورف SiO_2 (پودر) یا کریستالی آن حاصل شیشه و با بیش از ۴۰٪

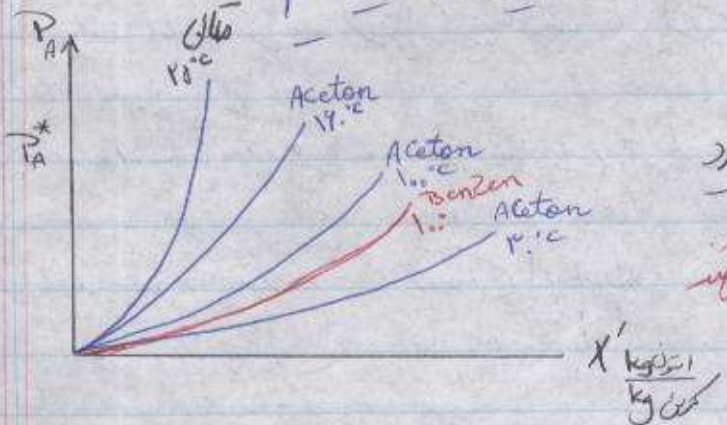
آب واکنش جذب شده دیگر آب جذب کند بهترین سیکلی را می دهد

منحنی تعادل:

یک حجم جاذب دارنده که به داخل یک ظرف دربسته ای مرکب مقدار معینی استون بدهیم تا این استون شروع کند در داخل جاذب تبخیر شود و مقداری از آن به بخار تبدیل شود حالی خواهیم که منحنی تعادل را به دست آوریم



اگر بیشتر از P_A^{sat} استون بدهیم شروع به مایع شدن کرده و X' زیاد می شود و یعنی از این نقطه به بعد ما تعادل داریم و دیگر ما به صلاح تعادل نمی خواهیم برسیم



نکته: اگر با پایین بیاید جذب بهتر صورت می گیرد

نکته: در ۱۰۰ کربن بهتر بنزن را جذب می کند

چون منحنی آن پایین تر است

جذب سطحی در مایعات :

مکانیسم جذب سطحی در مایعات مانند جذب از فاز گاز است و تعادلی برقرار شده متفاوت از یک سیستم را باید

جهت جداسازی جامد از گاز از سیکلون و جداسازی مایع از گاز از از فیلتر استفاده کنیم

عملیات جذب سطحی را می توان بصورت غیر پیوسته نیمه پیوسته و پیوسته انجام داد :

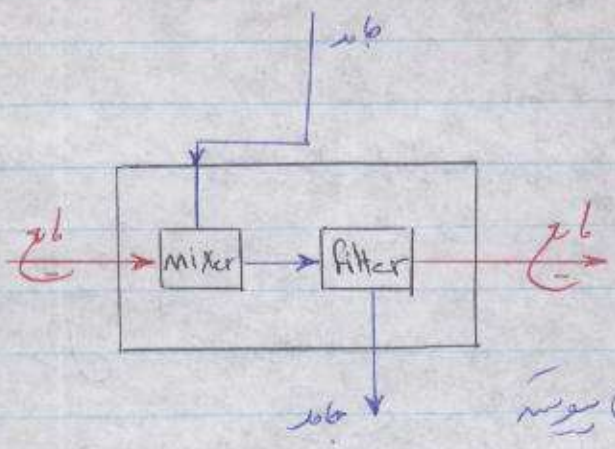
در عملیات غیر پیوسته هر ۲ فاز ساکن هستند و در اثر جذب زمانی ایجاد میشود که به تعادل برسد (شرایط برای فازها روی منحنی تعادل هستند)

در عملیات نیمه پیوسته فاز جامد جاذب ثابت و در جریان پیوسته ای از مایع یا گاز قرار می گیرد مانند کربن فعال که گرانی این عملیات را می توان در بستر ثابت و یا بستر سیال انجام داد

در عملیات پیوسته هر ۲ فاز بصورت پیوسته جریان دارند عملیات پیوسته را نسبت به عملیات جاذب به چند صورت زیر می توان انجام داد

۱) عملیات تک مرحله ای (Single Stage Operations)

این عملیات از یک مرحله تعادلی شبیه سازی (batch) تشکیل شده اند

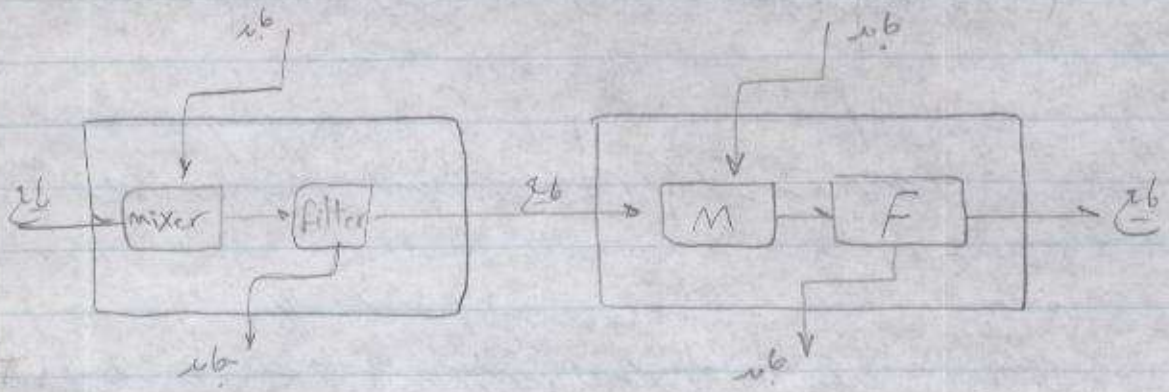


میزان جامد مصرفی با

صرفاً برای کم کردن حرف جامد از عملیات پیوسته

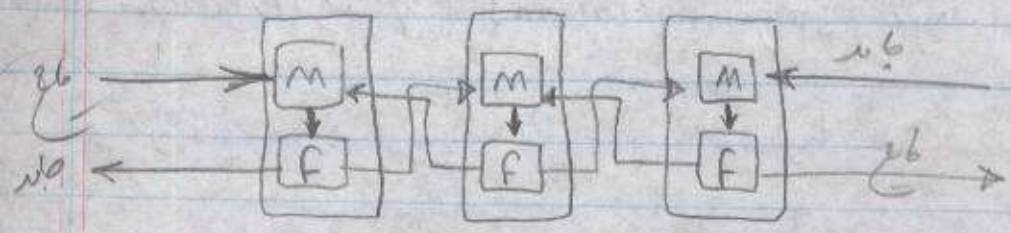
چند مرحله ای استفاده می کنیم

۲) عملیات پیوسته چند مرحله ای متقاطع Multi - Stage Crosse Current Operation



۳) عملیات پیوسته چند مرحله ای متقابل Multi - Stage Counter Current

در این حالت میزان جامد مصرفی حداقل خواهد بود



در صنعت هزینه کنترل کنترل شده می شود

عوامل موثر در ضریب سطح

۱) هر چه جابجایی بیشتر باشد سطح انتقال جرم بیشتر و میزان ضریب بیشتر می شود

از طرفی زیاد بودن زیادی جابجایی در مرحله جداسازی ایجاد مشکل می کند

۲) هر چه سیستم توربولنت تر باشد (ضریب انتقال جرم بالاتری دارد)

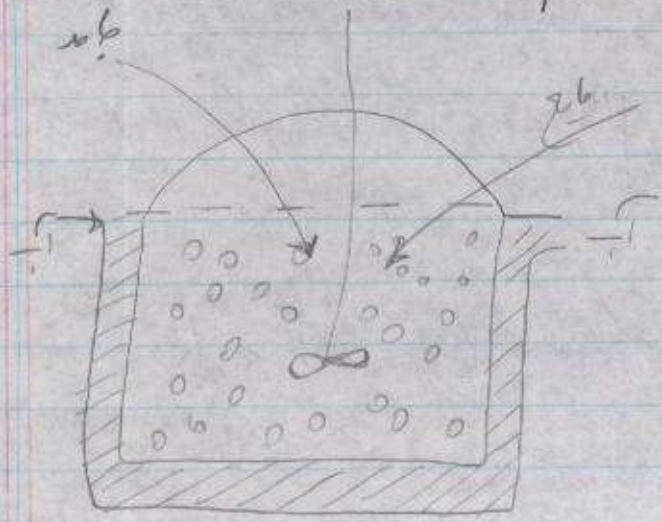
۳) هر چه دیفوزیته مایع کمتر باشد انتقال جرم بهتر صورت می گیرد

★) ازدیاد دما باعث کاهش دیفوزیته می شود و انتقال جرم مقدار بیشتری می شود

در سیستم ضریب با افزایش ارزش هزینه ازدیاد دما مفید خواهد بود

چون منفی تعادل را بهم می زند

مدل فراندلیچ (Freundlich equation)



اگر V : حجم مایع بازاء واحد جرم جامد جاذب

C_0 : غلظت اولیه عنصر جذب شونده در مایع

C^* : غلظت نهایی یا تعادل عنصر جذب شونده در مایع پس از برقراری تعادل ماده جاذب حلال را جذب نکند میزان عنصر جذب شده بازاء واحد جرم جامد جاذب عبارتست از :

$$V(C_0 - C^*)$$

مقدار ماده جذب شده بازاء جرم جاذب

اگر حلال عنصر جذب شونده ثابت بماند (جذب ایزوترم) دراین صورت که سیستم ریتن باشد طوریکه جرم متقل شده کم باشد و یا اینکه نسبت مایع به جامد بزرگ باشد طوریکه

جذب تعیین مقادیر ثوابت را برای داریم

$$C^* = k\left[V(C_0 - C^*)\right]^n$$

که k و n ثابتی تجربی هستند که مقادیر آن‌ها بستگی به نوع ماده جاذب و مایع دارند

$$Y' = m \cdot X'^{n}$$

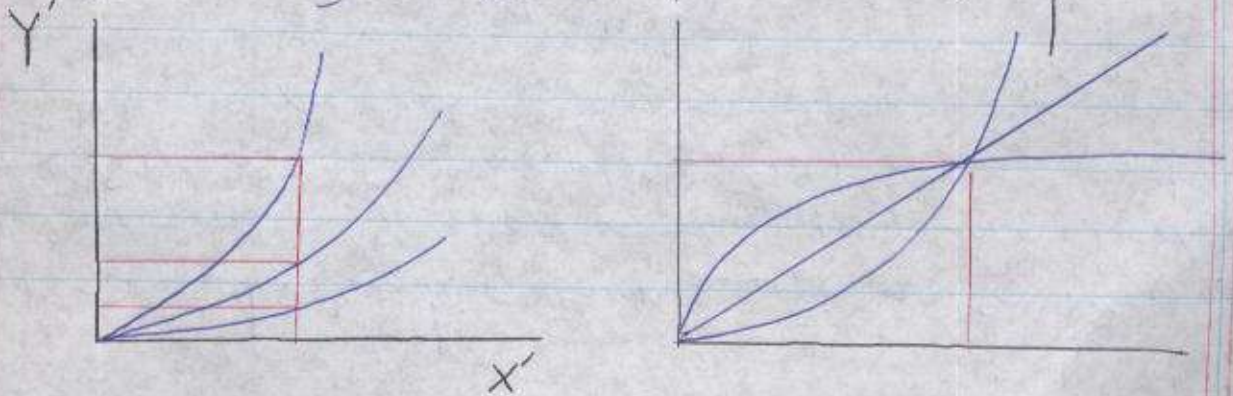
$$Y' = \frac{\text{وزن ماده حل شده}}{\text{وزن حلال}} = \frac{\text{Solute}}{\text{Solvent}}, \quad X' = \frac{\text{وزن ماده جذب شده}}{\text{وزن جاذب}} = \frac{\text{adsorbate}}{\text{adsorbent}}$$

نکته: بستگی به n چه جاذب مناسب و چه جاذب نامناسب

$2 < n < 10$: جاذب مناسب برای جذب (میزان جذب max)

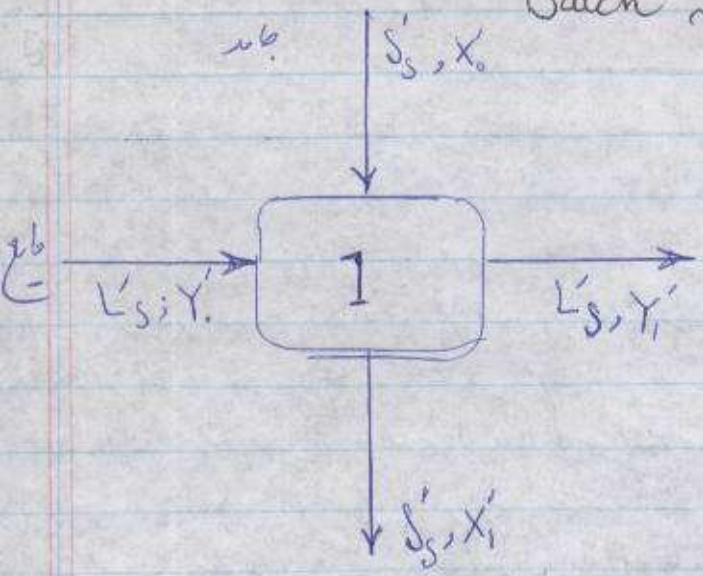
$1 < n < 2$: جذب متوسط (میزان جذب متوسط)

$n < 1$: جاذب جهت جذب مناسب نیست (میزان جذب min)



معادلات اساسی انتقال جرم :

۱) عملیات تک مرحله‌ای سیستم غیر پیوسته Batch



اگر : S'_s وزن جامد بدون عنصر جذب شونده

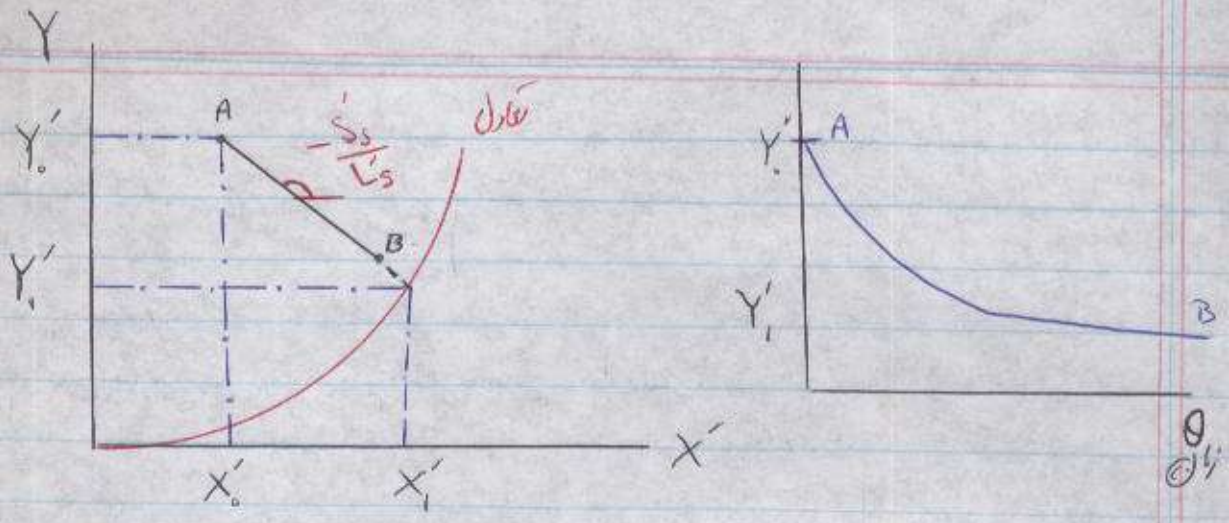
X'_0 : وزن عنصر جذب شده به وزن جامد (ورودی به مرحله اول)

L'_s : وزن حلال بدون عنصر جذب شونده

Y'_0 : وزن عنصر جذب شده به وزن حلال (ورودی به مرحله اول)

موازنه جرم :

$$L'_s(Y'_0 - Y'_1) = S'_s(X'_1 - X'_0) \Rightarrow \frac{Y'_0 - Y'_1}{X'_0 - X'_1} = -\frac{S'_s}{L'_s}$$



با اندازه‌های مانع در ضایع شیمیایی زمان پیدا کرده از A تا B برابر ۱۰ تا ۳۰ دقیقه اما از نقطهٔ B تا نقطهٔ تعادل بسیار بیشتر زمان میگیرد نقطهٔ B عموماً تعیین میشود. حتماً برای اکسیژن مازاد مانع حیاتی حدود ۳-۴ mg/l مانع جامد جاذب لازم است

به جای حل ترسیمی میتوان از معادله ریاضی استفاده کرد با فرض معادله فرایند $Y' = mX'^n$ و فرض اینکه جامد در توقیع ورودی عنصر جذب شونده نداشته باشد $X'_0 = 0$ آنگاه خط کار میگوید

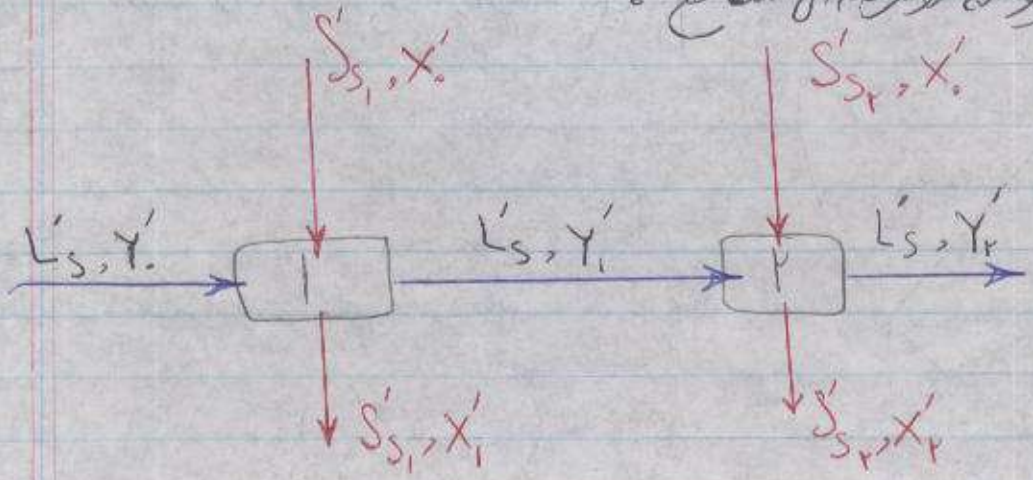
$$X'_0 = 0 \longrightarrow L_S(Y'_0 - Y'_1) = S'_S X'_1$$
$$Y' = mX'^n$$
} قطع

از این معادله Y'_1 را بدست میآوریم

$$\frac{Y'_0 - Y'_1}{\left(\frac{Y'_1}{m}\right)^{\frac{1}{n}}} = \frac{S'_S}{L'_S}$$

سپس Y'_1 را در معادله $Y' = mX'^n$ میگذاریم و X'_1 بدست میآوریم

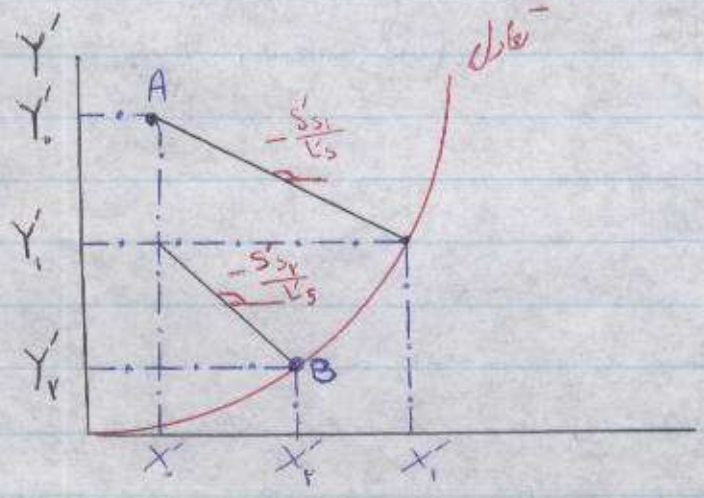
۲) عملیات پیوسته دو مرحله‌ای متقاطع :



با فرض اینکه میزان جامد مصرف شده در هر مرحله متفاوت باشد و هر مرحله تعادل باشد

موازنه جرم (مرحله ۱) $L'_S(Y'_0 - Y'_1) = S'_{S_1}(X'_1 - X'_0)$

" مرحله ۲ $L'_S(Y'_1 - Y'_2) = S'_{S_2}(X'_2 - X'_0)$



هدف: کاهش غلظت جسم حل شونده

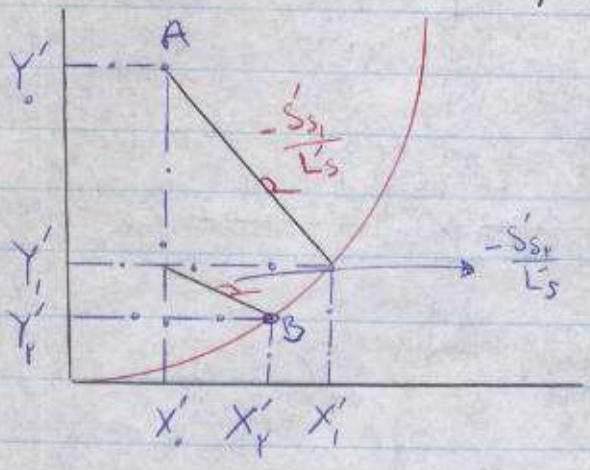
به یک مقدار مشخص Y'_2 است

به مقادیر نقاط A و B

مشخص و معین هستند، چه مقدار جامد مصرف در هر مرحله متفاوت است این به جهت انجام

این عملیات چنین حالت مطلوب‌تری دارد

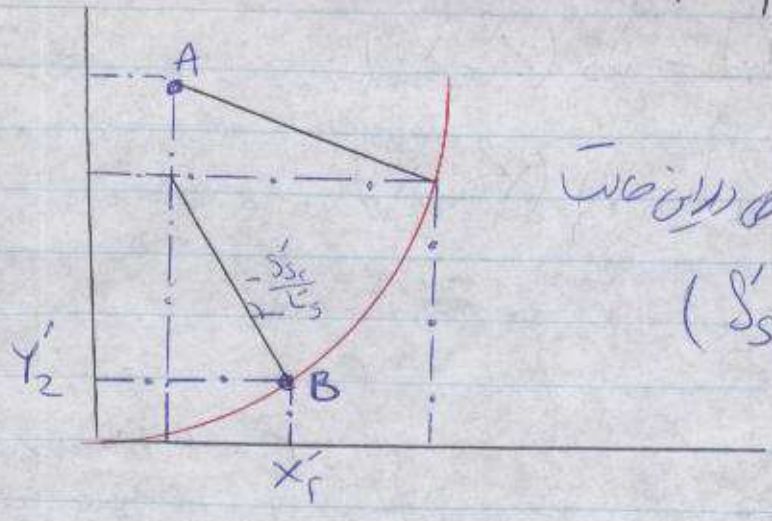
حالت (۱) : S'_{S_1} زیاد، S'_{S_2} کم



مقدار جامد مصرفی در این حالت

$(S'_{S_1} + S'_{S_2})_{(1)}$

حالت ۲ S'_{S_1} کم، S'_{S_2} زیاد باشد



مقدار جامد مصرفی در این حالت

$(S'_{S_1} + S'_{S_2})_{(2)}$

این ۲ حالت با هم مساوی نیستند. بنابراین یک حالت وسطا هست از این ۲ که بهتر است که آنرا از حدس و خطا بدست می آوریم

S'_{S_1}	Y'_1	Y'_2	S'_{S_2}	$(S'_{S_1} + S'_{S_2})$
×	×	مقادیر داده‌ایم	×	×
.	.		.	○
.	.		.	○
.	.		.	○ ← $(S'_{S_1} + S'_{S_2})_{min}$
.	.		.	○
×	×		×	×

حرکت

اگر معادله $(S'_{S_1} + S'_{S_2})_{min}$ بود بر ازای S_{S_2} حدس و انجام مراحل ترسیمی

اگر معادله منفی تعادل را داشته باشیم و بتوانیم جامد و روی کامد عنصر خزنده باشد

بصورت محاسباتی عمل می‌کنیم

مرحله اول

$$\frac{S'_{S_1}}{L'_S} = \frac{Y'_0 - Y'_1}{(\frac{Y'_1}{m})^{\frac{1}{n}}}$$

مرحله دوم

$$\frac{S'_{S_2}}{L'_S} = \frac{Y'_1 - Y'_2}{(\frac{Y'_2}{m})^{\frac{1}{n}}}$$

۴۵

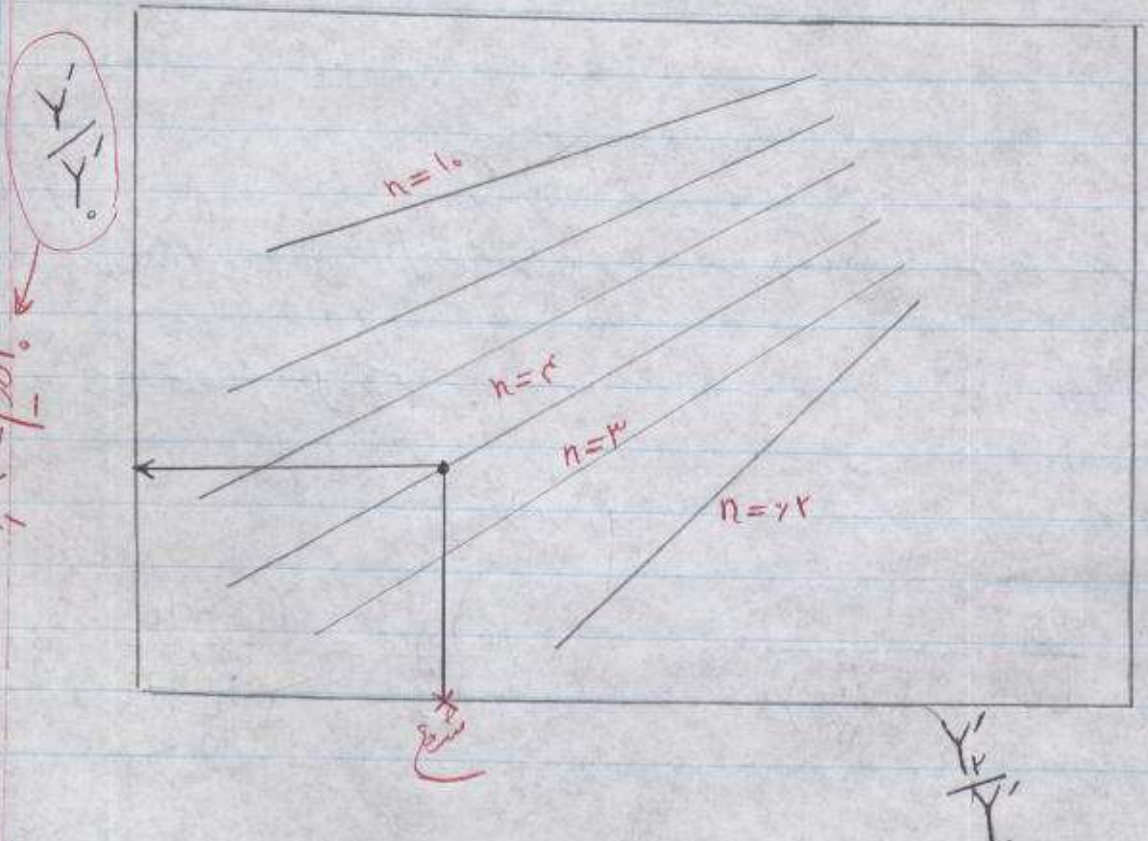
جمع عبارت زیر:

$$\frac{S'_{S_1}+S'_{S_2}}{L'_S} = \frac{Y'_0-Y'_1}{\left(\frac{Y'}{m}\right)^{\frac{1}{n}}} + \frac{Y'_1-Y'_2}{\left(\frac{Y'_2}{m}\right)^{\frac{1}{n}}}$$

If $\frac{d}{dY'_1}\left[\frac{S'_{S_1}+S'_{S_2}}{L'_S}\right] = 0 \iff$ Minimise $\left[\frac{S'_{S_1}+S'_{S_2}}{L'_S}\right]$

that $\left(\frac{Y'_1}{Y'_2}\right)^{\frac{1}{n}} - \frac{1}{n}\left(\frac{Y'_0}{Y'_1}\right) = 1 - \frac{1}{n}$

آ ـ چند سری معادله فوق را برای مقادیر مختلف n ترسیم کرده اند



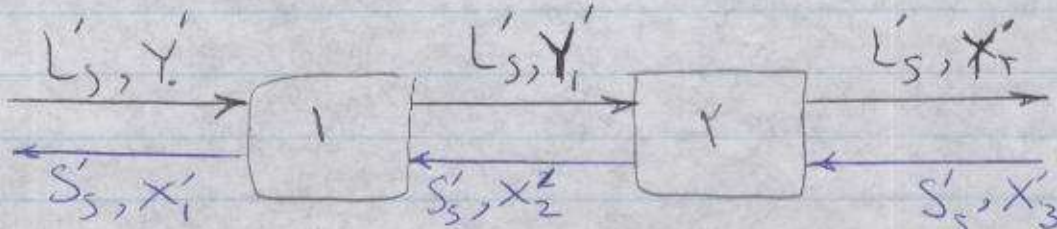
ج- عملیات پیوسته دو مرحله متقابل

در عملیات جذب - خط کار در بالای منحنی تعادل قرار گیرد و جهت تعیین مقدار حداقل مورد نیاز به یکی از روش‌های زیر عمل نمود

۱) اگر منحنی تعادل موجود باشد: مانند عملیات جذب - ابتدا حداقل مقدار جاذب را بصورت ترسیمی محاسبه نموده و سپس میزان واقعی آنرا بدست می‌آوریم (منحنی تعادل بصورت عددی یا شکل)

۲) اگر منحنی تعادل یک خط مستقیم باشد: مانند عملیات جذب - در فصل ۵ که تئوری پایل محاسبات را انجام دادیم

۳) اگر معادله خط تعادل موجود باشد (معادله فرانسیج) بصورت زیر عمل می‌کنیم



موازنه جرم کلی

$$S'_S(X'_1 - 0) = L'_S(Y'_0 - Y'_2) \Rightarrow$$

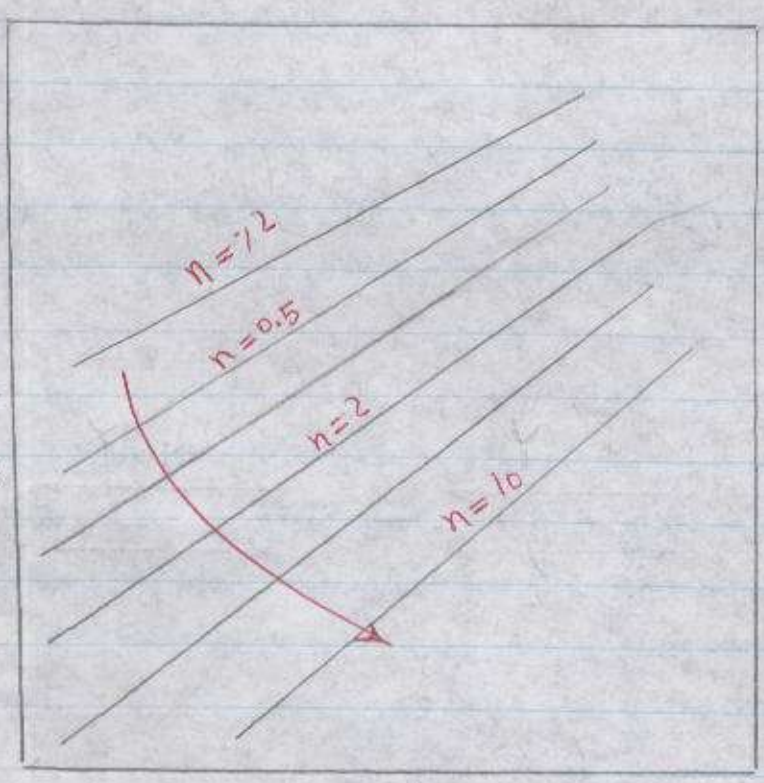
$$\frac{Y'_0 - Y'_2}{(Y'_1)^{\frac{1}{n}}} = \frac{S'_S}{L'_S}$$

معادله دوم برای حل

$$S'_S(X'_2 - 0) = L'_S(Y'_1 - Y'_2) \rightarrow \frac{Y'_1 - Y'_2}{\left(\frac{Y'_2}{m}\right)^{\frac{1}{n}}} = \frac{S'_S}{L'_S}$$

حل دو معادله اخیر و حذف $\frac{S'_S}{L'_S}$ به شکل زیر است

$$\left(\frac{Y'_0}{Y'_2}\right)H = \left(\frac{Y'_1}{Y'_2}\right)^{\frac{1}{n}}\left(\frac{Y'_1}{Y'_2} - 1\right)$$



خواص و کاربرد جامدات ریز:

شناخت خصوصیات جامدات ریز در طراحی فرآیندها و تجهیزات مربوط به عملیات جزء - بطئی

خشک کردن استخراج جامدات و در کلیه کارهایی که با سیالات سروکار دارند

در این فرایندها جامدات صرفاً کامل باید ریز باشند تا سطح آن زیادی به ازای واحد حجم یا وزن جامد

داشته باشد

ذرات جامد از لحاظ شکل و اندازه به ۲ دسته تقسیم می‌شوند:

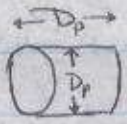
۱) ذرات منظم: ذراتی هستند که دارای شکل خاص و ابعادی منظم می‌باشد و در آنها سطح

مخصوص (سطح در واحد حجم) به راحتی محاسبه می‌شود شکل مکعب به طول D_p ضلع

$$\frac{S_p}{V_p} = \frac{6D_p^2}{D_p^3} = \frac{6}{D_p}$$

کره: قطر D_p

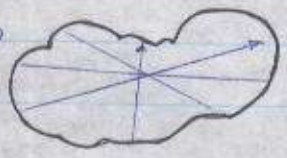
$$\frac{S_p}{V_p} = \frac{\pi D_p^2}{\frac{\pi}{6} D_p^3} = \frac{6}{D_p}$$



استوانه: طول = قطر $L = D_p$

$$\frac{S_p}{V_p} = \frac{\left[2\left(\frac{\pi D_p^2}{4}\right) + \pi D_p^2\right]}{\left(\frac{\pi D_p}{4}\right) * D_p} = \frac{6}{D_p}$$

۲) ذرات نامنظم : ذراتی که شکل هندسی خاصی ندارند و برای آنها تعریف شکل و اندازه چندان معنی ندارد. مطلوب کلی برای هر ذره با هر شکلی


دارای یک کنتور نامنظم است

$$S_p \propto D_p^2 \longrightarrow S_p = b' D_p^2 = 6 b D_p^2$$

$$V_p \propto D_p^3 \longrightarrow V_p = a D_p^3$$

$$\frac{S_p}{V_p} = \frac{6 b D_p^2}{a D_p^3} = 6 \cdot \frac{b}{a} \cdot \frac{1}{D_p} = \frac{6}{\phi_s D_p} = \frac{6\lambda}{D_p}$$

$$\phi_s = \frac{1}{\lambda} = \frac{a}{b}$$

(Sphericity) ضریب کرویت

این ضریب به معنی نزدیکی ذرات به کرویت است

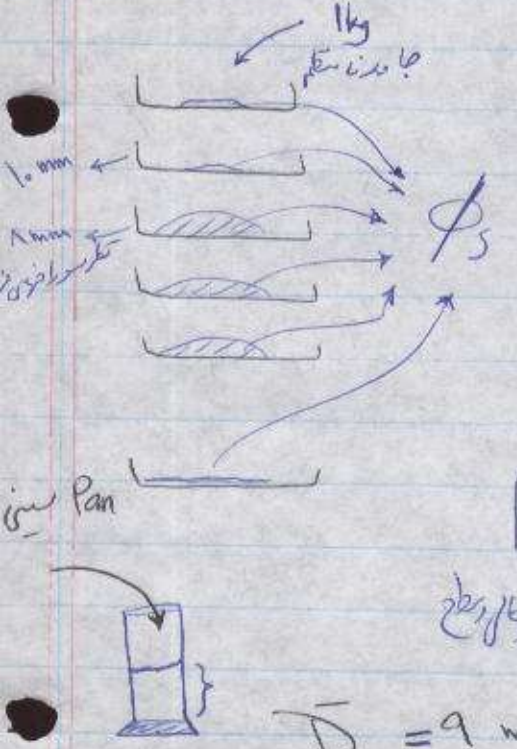
اندازه گیری کرویت (ϕ_s) :

فرض کنیم که یک کیلوگرم ماسه داریم و آنرا بصورتی

الک عبور دهیم که هرکدام از الک‌ها از الک بالایی ریزتر شوند

آنگاه ضریب کرویت برای ۶ کلاس ذرات ریز و درشت بگیرم

برابر است (نسبت سطح به حجم) آنگاه مبنا اندازه‌گیری هم از طریق سطح



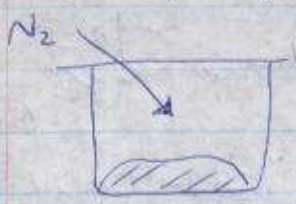
منفذها

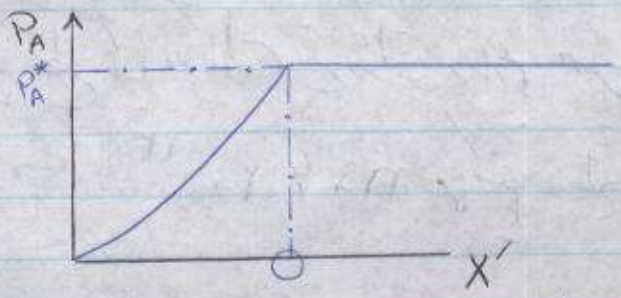
$$\bar{D}_p = 9\ mm = \frac{10+8}{2} = 9mm$$

قطر متوسط ذرات این کلاس غربال

$$\phi_s = \frac{4}{D_p} \cdot \frac{S_p}{V_p}$$

روش تعیین سطح ذره از جذب سازی نیتروژن طبق زیر عمل می‌کنیم





پارتیکل سطح می‌آشیم و این ماسه را درون یک ظرف می‌ریزیم و به آن گاز نیتروژن اضافه می‌کنیم (مقدار معین) آنگاه آنقدر مقدار فشار را بالا می‌بریم تا به فشار بخار اشباع میرسیم و یک لایه از نیتروژن مایع ایجاد می‌شود بررسی سطح این ماسه که حالا

$$\text{مقدار نیتروژن} \frac{m}{28} = \text{تعداد مولکول } n$$

$$\text{تعداد مولکول} = n * 6.022 * 10^{23} \text{ تعداد مولها}$$

که مقدار مقطع یک مولکول N_2 $(N-N)$ داریم و اگر این مقدار ضرب کنیم آنگاه سطح این ماسه‌ها بدست می‌آید

شرح: گاز نیتروژن را با فشار بالا در حد فشار بخار اشباع آن در تماس با جامد نگاه می‌داریم تا جامد از ۱۰۰٪ سطح خود برای جذب گاز استفاده کند سپس مقدار نیتروژن جذب شده در جامد را با استفاده از اختلاف وزن جامد تعیین می‌کند (m) و بر جرم مولکولی نیتروژن (28) تقسیم می‌کند تا تعداد مولهای جذب شده نیتروژن بدست آید (n) سپس

n را در عدد آووگادرو ($6{,}02 * 10^{23}$) ضرب می‌کنیم تا تعداد مولکول‌های نیتروژن بدست آید. حال سطح یک مولکول نیتروژن را داریم ضربدر عدد بدست آمده از حاصلضرب $n * 6{,}02 * 10^{23}$ می‌کنیم سطح کل جامد بدست می‌آید

$$\frac{\text{تعداد نیتروژن جذب شده}}{\text{جرم مولکولی نیتروژن}} = \frac{m}{28} = \text{مول نیتروژن } n$$

$$\square = \text{تعداد مولکول‌های نیتروژن } n * 6{,}02 * 10^{23}$$

$$\square * \text{(بیضی با } N_2\text{)} = \bigcirc \text{ سطح کل جامد}$$

سطح یک مولکول نیتروژن

به این ترتیب ϕ_s با اندازه‌گیری بدست می‌آید.

برای کره، مکعب، استوانه با طول و قطر مساوی: $\phi_s = \lambda = 1$

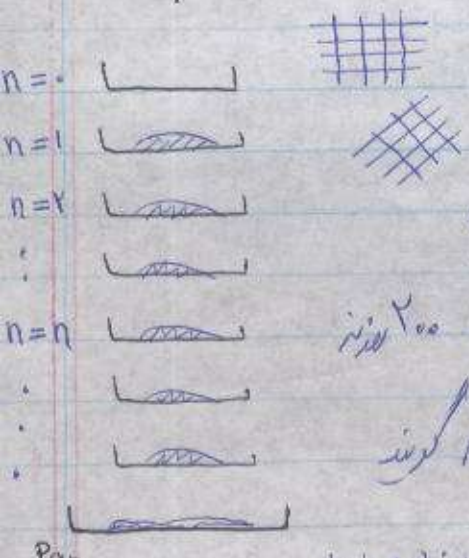
برای اکثر ذرات نامنظم: $\lambda = \frac{1}{\phi_s} > 1$

برای ذرات بکار رفته در صنایع شیمیایی: $\lambda = \frac{1}{\phi_s} = 1{,}5 \sim 1{,}7$

برای آکنه‌ها (Packing) $\lambda = 3 \sim 5$

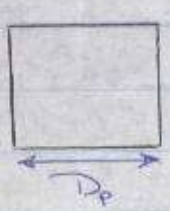
غربال کردن / Screen Analises

جهت جداکردن (توزیع اندازه ذرات با اندازه بین ۳۸ میکرومتر تا ۷۶ میلی‌متر بکار میرود)



برای هر غربال کیسه‌ره یا پیش برای هر غربال داده ریز ترین غربال را برای حالت مبنا در نظر گرفته که در هر اینچ از طول آن ۲۰۰ روزنه وجود دارد. و اصطلاحا آنچنان غربال با Mesh ۲۰۰ گویند

بنابراین Mesh تعداد روزنه در هر اینچ از هر غربال است و از طرفی در هر غربال هم تعداد روزنه Mesh نیم فلزی وجود دارد. هرچه سوراخ درشت‌تر باشد تعداد سیم کمتر و تعداد روزنه زیادتر می‌شود از این رو ضلع روزنه که اصطلاح تعداد روزنه نیز گفته می‌شود طبق زیر محاسبه می‌شود.



ذره‌ای از این روزنه عبور می‌کند که اندازه آن ضلع‌های این روزنه باشد پس در این روزنه تعداد آن‌ها را اضلاع گویند

$$\text{تعداد روزنه (in)} = \left(\frac{1}{\text{عدد مش}}\right) - \text{تعداد سیم (in)}$$

بنابراین اگر تعداد Mesh زیاد باشد تعداد روزنه‌ها بیشتر و تعداد کمتر می‌شود

پس در درجه بندی و تفکیک غربال Tyilor غربال بالایی طوری طراحی شده که سطح روزنه آن

۲ برابر سطح روزنه پایینی است

$$\text{سطح روزنه غربال بالایی} = 2\,(\text{سطح روزنه غربال پایینی})$$

$$D_{P_{n-1}}^{2} = 2\,D_{P_n}^{2}$$

$$\Rightarrow D_{P_{n-1}} = \sqrt{2}\,D_{P_n}$$

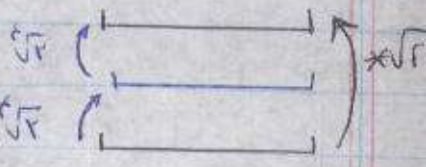
معرف غربال n ام است n

به منظور اندازه گیری دقیق تر از غربال هایی استفاده شده است که با علامت صلیب مشخص شده اند که در آن سطح روزنه غربال بالایی

$$\text{سطح روزنه غربال بالایی} = \sqrt[4]{2}\,(\text{سطح روزنه غربال پایینی})$$

$$\sqrt[4]{2} = 2^{\frac{1}{4}} = 2^{\frac{1}{2}} * 2^{\frac{1}{4}} = \sqrt{2}\sqrt[4]{2}$$

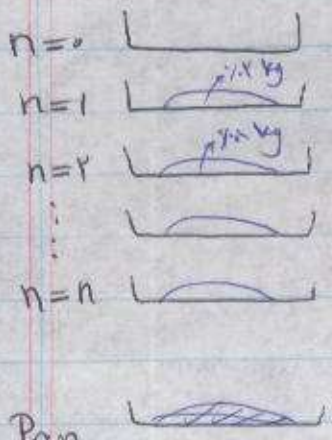
$1{,}4 \quad 1{,}2 \quad 1{,}17$



این غربال ها چه مزایایی دارند:

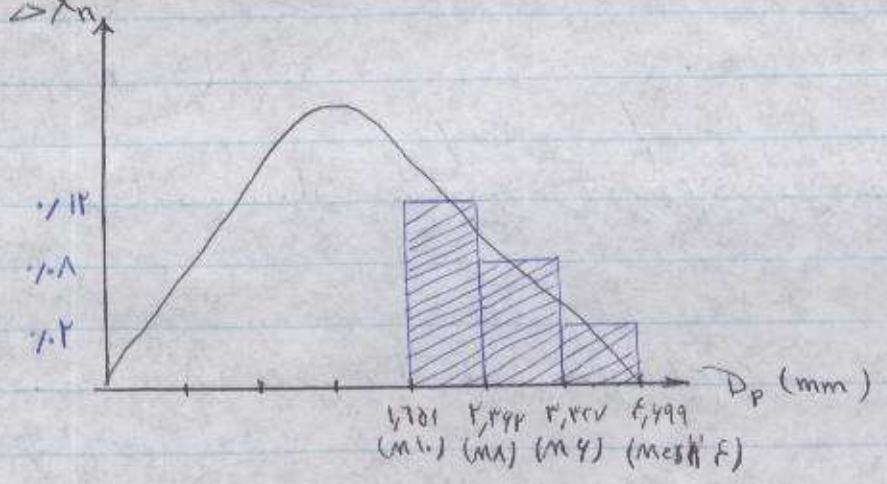
آنالیز اندازه ذرات: فرض کنیم که 1kg ماسه داریم و می‌خواهیم این غربال ها را استاندارد کنیم

و فرض کنیم که تقریبا مقدار ماسه روی غربال به شکل صفحه پخش باشد



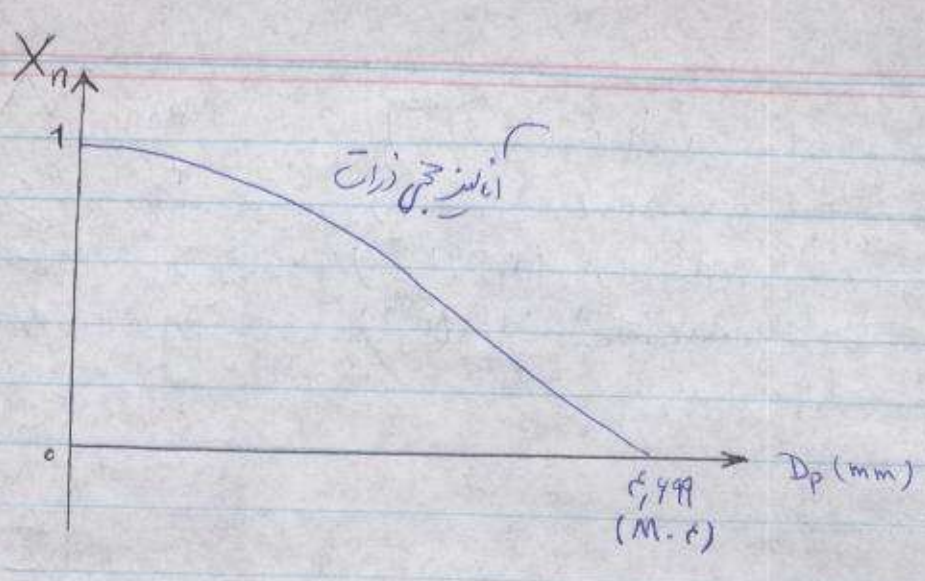
Mesh	ΔX_n
۴/۶	٪۲۰
۶/۸	٪۸۰
۸/۱۰	٪۱۲
⋮	⋮
	$\sum \Delta X_n = 1$

۶/۸ : خاصیت از روی غربال ۶ به روی غربال ۸ رفته شده است



در اینجا جمع زدن نتایج بدست آمده را بصورت زیر می نویسیم

n	Mesch	$X_n = \Delta X_1 + \Delta X_2 + \Delta X_3 \cdots + \Delta X_n$
۰	۴	۰
۱	۶	٪۰۲
۲	۸	٪۰۸ + ٪۰۲ = ٪۱
۳	۱۰	٪۱۲ + ٪۰۸ + ٪۰۲ = ٪۲۲
⋮	⋮	⋮
Pan	Pan	①



در این جدول عدد ۲۲٪ حزئی از ذرات است ٪۲۲ (که مطمئنا از مقدار غربال باقی (۱۰) دارند

محاسبه تعداد و سطح کل ذرات در یک خنوطی از ذرات با اندازه های متفاوت

— حالت خاص خنوطی از ذرات با اندازه یکسان یا هم اندازه : (مثلا گلوکز کاموکسا چه)

اگر : D_p قطر ذرات یک اندازه و یک نواخت
V_p حجم یک ذره
S_p سطح یک ذره
m جرم ذرات (جرم کل نمونه)
ρ_p چگالی (دانسیته) حقیقی ذرات باشند

$$\text{تعداد کل ذرات در نمونه} = \frac{m_{کل}}{\rho_p V_{p\,(یک دانه)}}$$

$$\text{سطح کل ذرات } A = N \cdot S_p = \frac{m}{\rho_p} \cdot \frac{S_p}{V_p} = \frac{6m}{\phi_s \cdot \rho_p \cdot D_p}$$

* حالت دوم:

مخلوط ذرات با اندازه های متفاوت:

بدین منظور مخلوط را بروی یک سری غربال استاندارد ریخته و پس از چند دقیقه لرزش کافی نمونه باقی مانده روی هر غربال را وزن کرده و سپس معمولاً غربال اول با انقدر درشت برگزیده که چیزی روی آن نماند از ΔX_1 ، ΔX_2 ، ..... ، اجزاء وزنی ذرات و $\bar{D}_{P_1}$ ، $\bar{D}_{P_2}$ ، $\bar{D}_{P_3}$ بعنوان قطر متوسط (حسابی) ذرات باقی مانده روی غربال ۱، ۲، ۳ و ..... باشند بطوری که از آنالیز جزئی ذرات را داشته باشیم خواهیم داشت:

$n=0$ $\Delta X_0 = 0$

$n=1$ ΔX_1 ، $\bar{D}_{P_1}$ $\rightarrow$ $A_{W_1} = \frac{6\Delta X_1}{\Phi_S \rho_P \bar{D}_{P_1}}$

$n=2$ ΔX_2 ، $\bar{D}_{P_2}$ $\rightarrow$ $A_{W_2} = \frac{6\Delta X_2}{\Phi_S \cdot \rho_P \cdot \bar{D}_{P_2}}$

$n=n$ ΔX_n ، $\bar{D}_{P_n}$ $\rightarrow$ $A_{W_n} = \frac{6\Delta X_n}{\Phi_S \rho_P \cdot \bar{D}_{P_n}}$

تعداد ذرات $N_{W_1} = \frac{\frac{6\Delta X_1}{S_P}}{(\frac{6}{D_P}\frac{V_P}{S_P})\rho_P \bar{D}_{P_1}} = \frac{\Delta X_1}{a\rho_P \bar{D}_{P_1}^3}$

($V_P = a D_P^3$)

$$N_{W_2} = \frac{\Delta X_2}{a\rho_P \bar{D}_{P_2}^3}$$

$$N_{W_n} = \frac{\Delta X_n}{a\rho_P \bar{D}_{P_n}^3}$$

۵۱

سطح کل ذرات

$$A_w = \frac{6\Delta x_1}{\phi_s \rho_p \bar{D}_{p_1}} + \cdots\cdots + \frac{6\Delta x_n}{\phi_s \rho_p \bar{D}_{p_n}} = \frac{6}{\phi_s \rho_p} \sum_{i=1}^{n} \frac{\Delta x_i}{\bar{D}_{p_i}}$$

تعداد کل ذرات

$$N_w = \frac{\Delta x_1}{a \rho_p \bar{D}_{p_1}^3} + \cdots\cdots + \frac{\Delta x_n}{a \rho_p \bar{D}_{p_n}^3} = \frac{1}{a \rho_p} \sum_{i=1}^{n} \frac{\Delta x_i}{\bar{D}_{p_i}^3}$$

در صورت داشتن آنالیز جمعی بجای دیفرانسیلی داریم:

$$A_w = \frac{6}{\phi_s \rho_p} \int_{x=0}^{x=1} \frac{dx}{\bar{D}_p}$$

$$N_w = \frac{1}{a \rho_p} \int_{x=0}^{x=1} \frac{dx}{\bar{D}_p^3}$$

تعیین قطر متوسط ذرات در یک مخلوط:

فرض کنید جرم معینی از ذرات غیرفیبرال موجود است (مثلاً یک خاک ماسه) و می‌خواهیم قطر متوسط ذرات در این مخلوط را تعیین کنیم. ۳ نوع قطر متوسط را که قبلاً تعریف نمودیم

۱- قطر متوسط جرمی: mass mean diameter

$$\bar{D}_w = \sum_{i=1}^{n} \frac{\Delta x_i}{\text{جزء وزنی ذرات غربال نه}} \cdot \underbrace{\bar{D}_{p_i}}_{\text{قطر متوسط ذرات نام}}$$

۲- قطر متوسط حسابی : Arithmatic mean diameter

$$\bar{D}_N = \frac{\sum (N_i \bar{D}_{P_i})}{\sum_{i=1}^{n} N_i}$$

$\bar{D}_{P_i}$: قطر متوسط هر رده

N_i: تعداد ذرات هر رده

۳- قطر متوسط حجم - سطح valum - Surface diameter

$$A_W = \frac{6(\Delta X)}{\phi_S \rho_P D_P} \qquad \bar{D}_{VS} = \frac{6}{\phi_S A_W \rho_P}$$

ΔX: 100%

تعیین اندازه ریزین ذره :

ذرات جامد موجود روی کف (Pan) اگرچه ممکن است درصد وزنی کمی را تشکیل دهد، اما چون حاوی ذرات فوق العاده ریز هستند، بنابراین سطح بسیار زیادی دارند و در بعضی موارد به ۱/۳ الی ۱/۴ برابر مجموع سطح ۴۶ جامدات غربالی بالایی برسد. از اینرو تعیین اندازه ریزترین ذره جهت محاسبه تعداد سطح مخصوص ضروری است. برای ذرات کوچکتر از ۲۸ میکرون رابطه تجربی زیر بین جزء وزنی ذرات و قطر ذره برقرار است

$$\frac{\partial X}{\partial D_P} = -B D_P^k$$

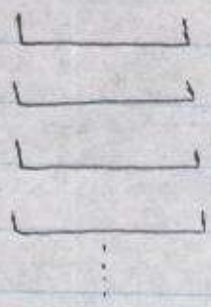
D_P : قطر ذره

x : جزء وزنی ذراتی که مقاومت تراز D_p دارند (تجزیه جمعی ذرات)

k, B : توابعی که بستگی به نوع ماده خورد شده دارند و با آنالیز غربالی برای هر ماده‌ای بدست می‌آیند.

B و k در هیچ کتابی موجود نمی‌باشد و باید آنرا با این ترتیب بدست آورد که

معادله فوق را روی هر غربال ثبت کنیم تا B و k بدست آید



$n-1$
n

$\Delta x_{n-1}, x_{n-1}, D_{p_{n-1}} \Rightarrow \int_{x_{n-1}}^{x_n} dx = \int_{D_{p_{n-1}}}^{D_{p_n}} -B D_p^k \, dD_p \Rightarrow$

$\Delta x_n, x_n, D_{p_n}$

$$\Longrightarrow \Delta x_n = x_n - x_{n-1} = \frac{B}{k+1}\left[D_{p_{n-1}}^{k+1} - D_{p_n}^{k+1}\right]$$

برای تجزیه‌های آزمایشگاهی استاندارد داریم

$$D_{p_{n-1}} = 2 D_{p_n}$$

که برای حالت خاص استاندارد تیلور داریم $r = \sqrt{2}$

درنتیجه :

$$\Delta x_n = \frac{B(r^{k+1}-1)}{k+1} D_{p_n}^{k+1}$$

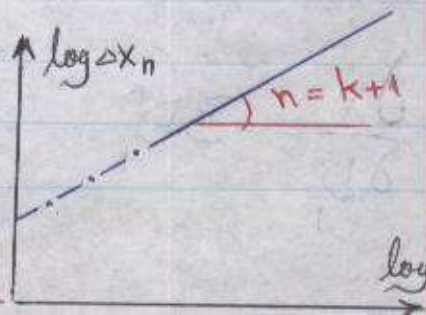
Δx_n: جزء وزنی ذرات روی غربال n

D_{p_n}: قطر غربال nام

حال از این رابطه log می‌گیریم

$$\log \Delta x_n = \log\left\{\frac{B(r^{k+1}-1)}{k+1}\right\} + (k+1)\log D_{p_n} \Rightarrow$$

$(\log \Delta x_n)$ V.S $(\log D_{p_n})$



نکته: برای بدست آوردن این عرض از مبدأ علاوه بر رگرسیون می‌توانیم مقدار مناسب از یک X و یک Y را در وسط بندازیم و عرض از مبدأ را حساب کنیم.

بدین ترتیب B و k بدست می‌آید سپس در معادله‌ی توانی و یا برون‌یابی اندازه‌ی ذرات روی کف را بدست می‌آوریم (البته این معادله برای ذرات کوچکتر از شن ۲۸ صادق است)

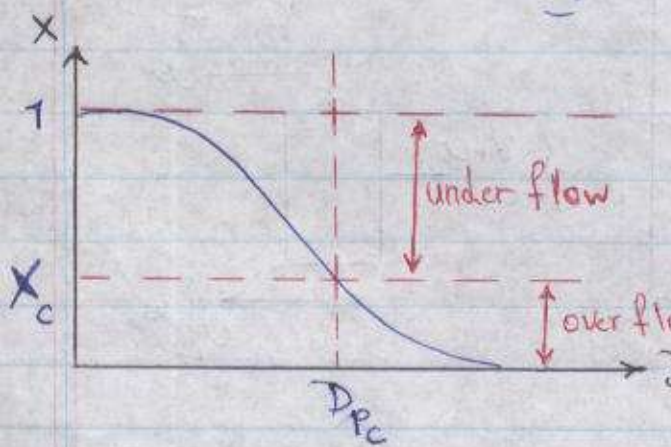
غربال‌های ایده‌آل و حقیقی:

اگر مقدار جامد خارج شده روی یک غربال بررسی شود به دو قسمت تقسیم می‌شود: ۱) جامدات روی غربال یا جامدات رونده over flow

۲) جامدات زیر غربال یا جامدات زیرنده under flow

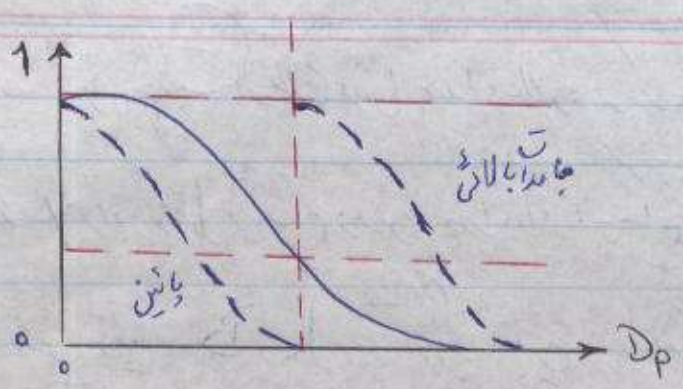
غربال ایده‌آل غربالی است که هیچ ذره‌ی جامدی درشت‌تر از سوراخ‌های غربال از آن عبور نکند و هیچ جامدی ریزتر از سوراخ‌های غربال روی آن نماند. به عبارتی اگر آنالیز جمعی جامد خارج شده را داشته باشیم و سوراخ غربال مورد نظر نیز D_{Pc} باشد خواهیم داشت

D_{Pc} → cut Diameter

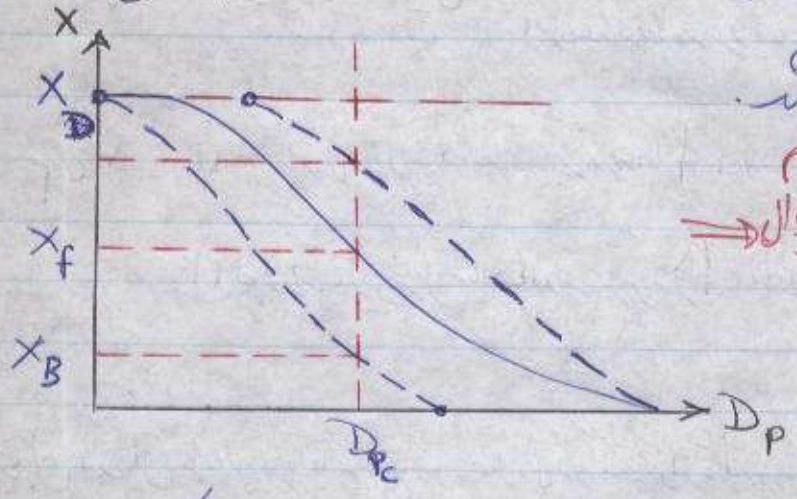


X_c: جزئی از جامد که روی غربال می‌ماند

$1-X_c$: جزئی از جامد که از غربال عبور کرده

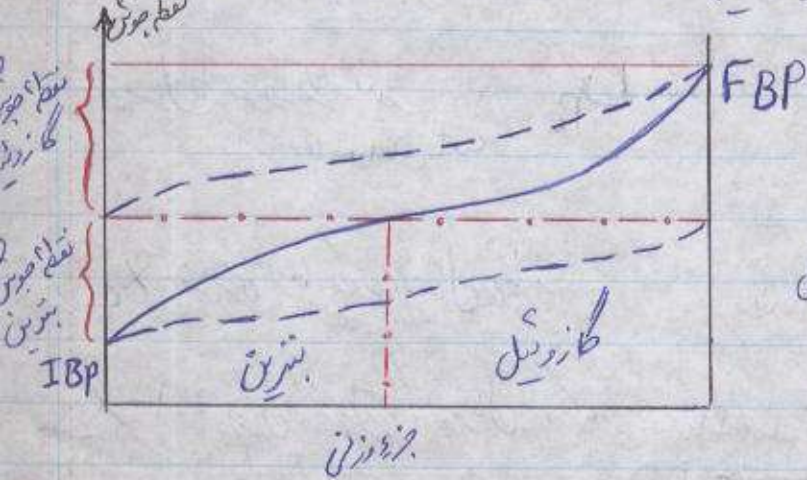


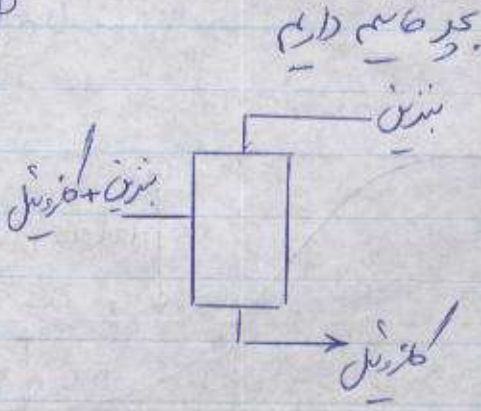
غربال غیر ایده آل : در عمل ممکن است ذرات بزرگتر از روزنه غربال همراه آن باقی بمانند و مقداری لرزش مکانیکی غربال خوب انجام شود و یا ذرات درشت تر از روزنه از آن عبور کنند به علت اینکه ماده سمیط غربال به طوری تغییر کرده باشد.



غربال غیر ایده آل ⟹

شبیه این نمودارها را در مقدمات پالایش داشتیم. اگر ۹۰ منفی های فوق را در جهت عکس عقربه های ساعت





اگر F وزن خوراک و D وزن جامد روگذر و B وزن جامد زیرگذر و

X_f جزئی از جامد خوراک که مطلوبتر از D_{Pc} دارند و $1-X_f$ جزئی از جامد خوراک که مطلوبتر از D_{Pc} دارند و X_D جزئی از جامد روگذر که مطلوبتر از D_{Pc} دارند و $1-X_D$ جزئی از جامد روگذر که مطلوبتر از D_{Pc} دارند و X_B جزئی از جامد زیرگذر که مطلوبتر از D_{Pc} دارند و

$1-X_B$ جزئی از جامد زیرگذر که مطلوبتر از D_{Pc} دارند

$$\begin{cases} F = D + B \\ FX_f = DX_D + BX_B \end{cases} \Rightarrow \frac{D}{F} = \frac{X_f - X_B}{X_D - X_B}, \quad \frac{B}{F} = \frac{X_D - X_f}{X_D - X_B}$$

راندمان غربال براساس جامدات درشت دانه بصورت زیر تعریف می‌شود:

$$E_A = \frac{\text{وزن جامد درشت دانه در جریان روگذر}}{\text{وزن جامد درشت دانه در خوراک}} = \frac{DX_D}{FX_f}$$

به همین ترتیب داریم: راندمان غربال براساس جامدات ریزدانه می‌شود:

$$E_B = \frac{B(1-X_B)}{F(1-X_f)}$$

بنابراین راندمان کلی غربال می‌شود:

$$E_A * E_B = \frac{(X_f - X_B)(X_D - X_f) X_D (1-X_B)}{(X_D - X_B)^2 X_f (1-X_f)}$$

۵۴

کاهش اندازه یا خردکن — Size Reduction

کاهش اندازه به روشهایی اطلاق می‌شود که در آنها ذرات جامد نسبتاً درشت به قطعات کوچکتر شکسته و خرد می‌شود. کاهش اندازه باعث افزایش سطح تماس واکنش‌پذیری جامدی می‌شود. کاربرد این عملیات بیشتر در صنایع شیمیایی معدنی است.

بنابراین جامدات در صنایع فرآیندی بسته به نوع کاربردشان به روشهای مختلفی خرد می‌شوند. چهار روش معمولی در ماشینهای خردکن عبارتند از:

- متراکم کردن Compression

- ضربه زدن Impact

- سایش Attrition or Rubbing

- بریدن Cutting ماشین بریدن کاغذ

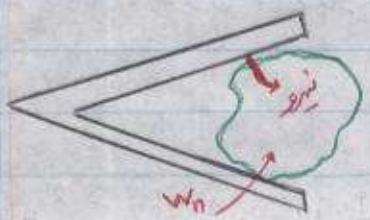
نوع روش اول طیف وسیعی از اندازه ذرات تولید می‌کند.

یک خردکن ایده‌آل باید ظرفیت بالایی داشته باشد و انرژی کمی برای واحد وزن محصول مصرف کند و محصول با اندازه یکنواخت نیز تولید کند. به عبارتی توزیع اندازه مناسب را فراهم کند. در یک خردکن واقعی اندازه بزرگترین ذره خروجی قابل کنترل اما اندازه ریزترین ذره تولیدی غیرقابل کنترل است.

هرچه مواد اولیه ورودی به خردکن از لحاظ شکل، اندازه، یا خصلت شیمیایی یکنواخت

حدود آن باشد، اندازه محصول تولیدی نیز کنترلت تر خواهد بود. مثلاً نسبت نقطه بزرگترین ذره به نقطه کوچکترین ذره حدود 1.4 است

انرژی (توان) لازم جهت خرد کردن:



توان مصرفی میلز از پارامترهای مهم در طراحی بوده و هزینه بالای مصرف نیز یکی از مهمترین فاکتور عملیات خردکردن می باشد. هنگام خردکردن کار انجام شده بر روی جامد بصورت انرژی مکانیکی (پتانسیل) در جامد ذخیره می شود. (جامد فنر) و در نهایت یکی از سه حالت که جامد خرد شده دچار می شود زیر با سطوح بیشتر حاصل می گردند از آنجایی که برای واحد سطح جامد انرژی سطحی Surface Energy یعنی راه بنابراین ایجاد سطح جدید نیاز مند صرف انرژی می باشد.

موازنه انرژی: کار انجام شده = انرژی مصرفی جهت ایجاد سطح جدید + حرارت

انرژی جذب شده توسط جامد

$$\text{راندمان خردکردن} = \frac{\text{انرژی سطحی ایجاد شده در جامد در اثر خردکردن}}{\text{انرژی جذب شده توسط جامد}}$$

اگر η راندمان خردکردن و e_s انرژی سطحی جامد به ازای واحد سطح جامد $\frac{ft\,lbf}{ft^2}$ Crushing

A_{wa} سطح بر واحد جرم خوراک اولیه $\frac{ft^2}{lb}$ و A_{wb} سطح بر واحد جرم محصول خرد شده $\frac{ft^2}{lb}$

باشد آنگاه:

$$\Rightarrow \eta_c = \frac{e_s(A_{wb} - A_{wa})}{W_n}$$

انرژی جذب شده توسط جامد

تنها مقدار اندکی از انرژی بصورت حرارت تلف می‌شود (حداقل ۹۸٪) بنابراین:

$$0.06\% < \eta_c < 1\%$$

همیشه مقداری انرژی بدلیل اصطکاک بین چرخ دنده‌ها و قطعات مختلف مکانیکی و محورهای متحرک خودکن تلف می‌شود بنابراین مقدار انرژی الکتریکی مصرفی خودکن بیشتر از انرژی جذب شده توسط جامد است. ازاینرو راندمان مکانیکی η_m Mechanical efficiency بصورت نسبت انرژی جذب شده توسط جامد به انرژی الکتریکی ورودی به خودکن تعریف می‌شود.

$$W_n = \frac{e_s(A_{wb} - A_{wa})}{\eta_c}$$

$$W = \frac{W_n}{\eta_m} = \frac{e_s(A_{wb} - A_{wa})}{\eta_m \eta_c}$$

انرژی ورودی به خودکن برای هر واحد

دبی جرمی خوراک

$$P = W * \dot{m} = \frac{\dot{m} e_s (A_{wb} - A_{wa})}{\eta_c \eta_m}$$

توان مصرفی خودکن (انرژی/زمان)

انرژی / جرم

جرم / زمان

$$A_{wa} = \frac{4\Delta x}{\phi_{sa} \overline{D}_{vsa} \rho_p} \xrightarrow{\leq 1} = \frac{4}{\phi_{sa} \rho_p \overline{D}_{vsa}}$$

سطح برای واحد جرم

کمترین فاصله قابل از خودکن

$$A_{w_b} = \frac{4\Delta x}{\phi_{sb}\,\bar{D}_{vsb}\,\rho_p} = \frac{4}{\phi_{sb}\,\rho_p \cdot \bar{D}_{vsb}}$$

کرویت ذرات بعد از خردشدن

$\bar{D}_{vsb}$ ، $\bar{D}_{vsa}$ به ترتیب قطر متوسط حجم سطح مواد اولیه و محصولات است

بنابراین توان لازم برای خردکردن ذرات از قطر $\bar{D}_{vsa}$ تا $\bar{D}_{vsb}$ عبارت خواهد بود از

$$\phi_p = \frac{4\dot{m}\,e_s}{\eta_c \eta_m \rho_p}\left(\frac{1}{\phi_{sb}\bar{D}_{vsb}} - \frac{1}{\phi_{sa}\bar{D}_{vsa}}\right)$$

روابط تجربی جهت محاسبه توان مصرفی :

- قانون ریتینگر Rittinger's law :

ریتینگر فرض کرده که کار لازم جهت خردکردن متناسب با سطح جدید ایجاد شده در جامد است.

به عبارتی برای یک خردکن و یک خوراک مشخص راندمان خردکن η_c راندمان مکانیکی η_m ، کرویت ϕ_{sa} و ϕ_{sb} را ثابت فرض کرد و همه ثوابت را در یک ثابت k_r قرار داد که بصورت تجربی تعیین می‌شود.

ضریب کرویت سنگ اولیه قبل از خردکردن با ضریب کرویت خرده سنگ بعد از خردکردن یکسان است

(زیرا ضریب کرویت به اندازه بستگی ندارد)

$$\frac{P}{\dot{m}} = k_r\left(\frac{1}{\bar{D}_{vsb}} - \frac{1}{\bar{D}_{vsa}}\right)$$

۵۹

این قانون با واقعیت کمی تفاوت داشت به همین علت قانون کیک آمد:

قانون کیک : kick's Law

براساس این قانون کار لازم جهت خردکردن مقدار مشخص ازماده برای یک نسبت کاهش اندازه، معین مقدار ثابت است.

$$\text{Reduction rate} = \frac{\bar{D}_{vsa}}{\bar{D}_{vsb}} \Rightarrow$$

(نسبت کاهش اندازه) — ($\bar{D}_{vsa}$: اندازه اولیه ذرات، $\bar{D}_{vsb}$: اندازه خردشده ذرات)

$$\Rightarrow \frac{P}{\dot{m}} = k_k \ln\left(\frac{\bar{D}_{vsa}}{\bar{D}_{vsb}}\right)$$

اگر در هردو قانون دقت کنیم هردو رابطه انتگرال معادله دیفرانسیل

$$d\left(\frac{P}{\dot{m}}\right) = -k\frac{d\bar{D}_{vs}}{\bar{D}_{vs}^{n}}$$

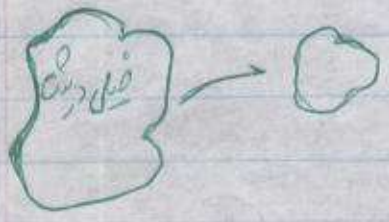
است

$$d\left(\frac{P}{\dot{m}}\right) = -k\frac{d\bar{D}_{vs}}{\bar{D}_{vs}^{n}} \begin{cases} n=2 \rightarrow \frac{P}{\dot{m}} = k_r\left(\frac{1}{\bar{D}_{vsb}} - \frac{1}{\bar{D}_{vsa}}\right) \\ n=1 \rightarrow \frac{P}{\dot{m}} = k_k \ln\left(\frac{\bar{D}_{vsa}}{\bar{D}_{vsb}}\right) \end{cases}$$

قانون باند Bond's Law

این شخص روش واقع گرایانه تری جهت محاسبه توان لازم ارائه داده است و فرض کرد که

لازم جهت تولید ذرات با قطر D_p از یک خوراک جامد با اندازه خیلی درشت مناسب باریشه‌ی مقدم نسبت سطح به حجم محصول $\frac{S_p}{V_p}$ می‌باشد.



$$\frac{P}{\dot{m}} \propto \sqrt{\frac{S_p}{V_p}} \propto \sqrt[2]{\frac{6}{\phi_s D_p}} \Rightarrow$$

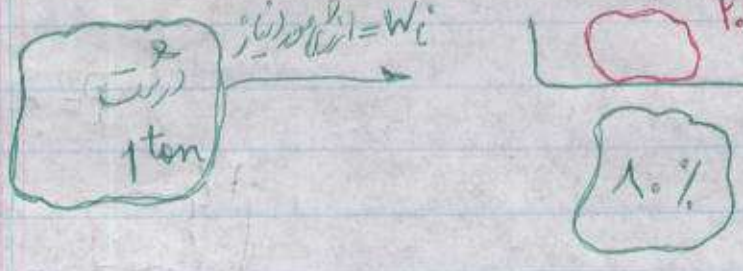
ثابت باند

$$\frac{P}{\dot{m}} = \frac{k_b}{\sqrt{D_p}}$$

k_b: یک ثابت تجربی است و به نوع خوراک و ماده‌ای که خرد می‌شود بستگی دارد. در واقع این معادله حل معادله دیفرانسیل به ازای $n = 1.5$ و خوراکی با اندازه‌ی بی‌نهایت درشت است.

شاخص کار: work Index (W_i)

انرژی مورد نیاز بر حسب کیلووات ساعت جهت خردکردن یک تن خوراک خیلی درشت به اندازه‌ای که به ازای آن ۸۰٪ محصول از یک غربال $100\,\mu m$ عبور کند.



اگر P توان بر حسب کیلووات و $\dot{m}$ دبی جرمی بر حسب $\frac{ton}{hr}$ و D_p قطر بر حسب mm باشد

آنگاه :

$$\frac{P}{\dot{m}} = w_i = \frac{k_b}{\sqrt{D_p}} \Rightarrow w_i = \frac{k_b}{\sqrt{10^{-1}}} \Rightarrow k_b = 0.3162\, w_i$$

(از طرفی) (تعریف)

10^{-1} mm = 100 میکرون

$$\Rightarrow \frac{P}{\dot{m}} = \frac{k_b}{\sqrt{D_p}} = \frac{0.3162\, w_i}{\sqrt{D_p}}$$

w_i در جداول آمده است : (تقریباً ثابت است)

Material	w_i
Baunite	⋮
سیمان	
خاک رس	
زغال سنگ	

مثلاً

ثابت شکنندگی

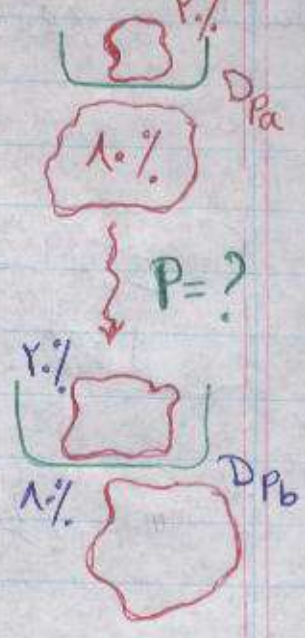
شاخص کار برای انواع خردکن‌های مورد استفاده رایج تقریباً ثابت است.

اگر ۸۰٪ خوراک آسیاب از مش ۲ mm و ۸۰٪ محصول از مش ۲ mm عبور کند آنگاه :

D_{Pa} بر حسب mm

D_{Pb}

$$\frac{P}{\dot{m}} = 0.316\, w_i \left[\frac{1}{\sqrt{D_{Pb}}} - \frac{1}{\sqrt{D_{Pa}}}\right]$$



تجهیزات کاهش اندازه:

این تجهیزات بسته به اندازه ماده جامد به چند دسته تقسیم می‌شوند:

۱) خردکن‌ها یا سنگ‌شکن‌ها Crusher

جامدات نسبتاً درشت را (در حد m^3) با اعمال نیرو به جامدات با ابعاد سانتی‌متر تبدیل می‌کند

مانند سنگ‌شکن فکی که خود شامل چند دسته تقسیم می‌شوند مثل:

- خردکن اولیه $15 \sim 25\ cm$ ← جامد ورودی بیابر درشت
- خردکن ثانویه $15-25\ cm$ ← $5-6\ mm$

۲) آسیاب‌ها (ساینده‌ها) Grinder

آسیاب‌ها با اعمال ضربه و سایش و گاهی با نیروی کوبش جامدات را خرد (پودر) می‌کند و خود

چند نوع هستند

- آسیاب نوع درشت مانند آسیاب گلوله‌ای $mm \sim$ ← $cm \sim$
- آسیاب نوع ریز $mm \sim$ ← $\simeq 1mm$
- آسیاب نوع فوق ریز $mm \sim$ ← $1 \sim 50\ \mu m$

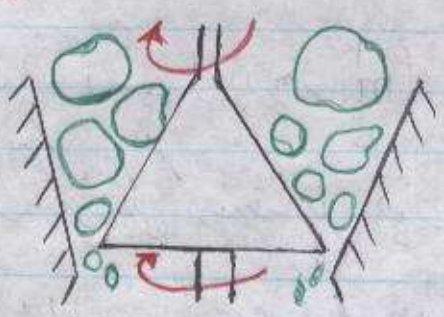
خردکن فکی:

این خردکن از دو تا فک تشکیل شده: فک ثابت و فک متحرک بر حسب

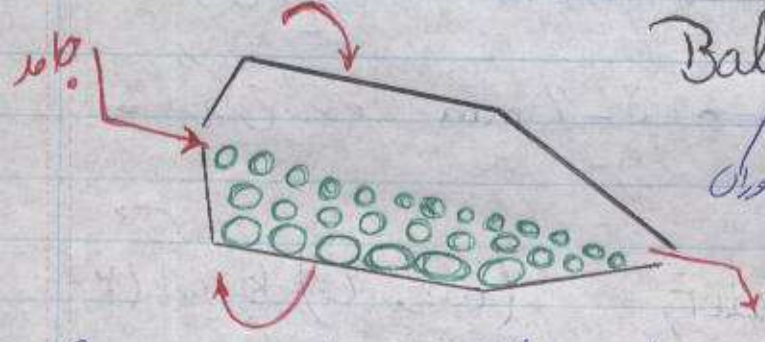
اینکه نقطه متحرک (A) کجا باشد دو حالت زیر را خواهیم داشت

اگر تک متحرک حول محور باشن حرکت کند اصل مسدود شدن خرد کن است و اگر تک متحرک حول محور بالا حرکت کند توزیع نامناسب محصول را می دهد

خرد کن دورانی :

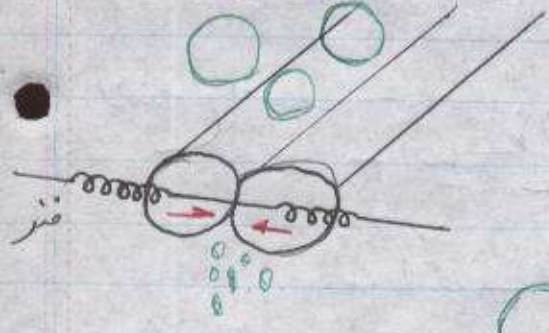


آسیاب گلوله ای : Ball Mill

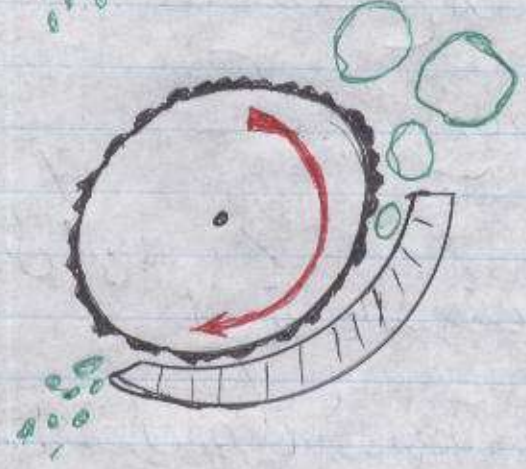


عمل خرد کن با ضربه و سایش انجام می شود. خوراک آسیاب حدود 2Cm و محصول آن حدود 10 میکرون است. این آسیاب ها می توانند همزمان کار خرد کن، شکل کردن و دانش را به عهده داشته باشند

خرد کن با غلتک صاف



خرد کن با غلتک دندانه دار :



عملیات صاف کردن یا فیلتراسیون : Filtration

عبارتست از جداسازی ذرات جامد از یک سیال با عبور آن از یک محیط صاف کننده.

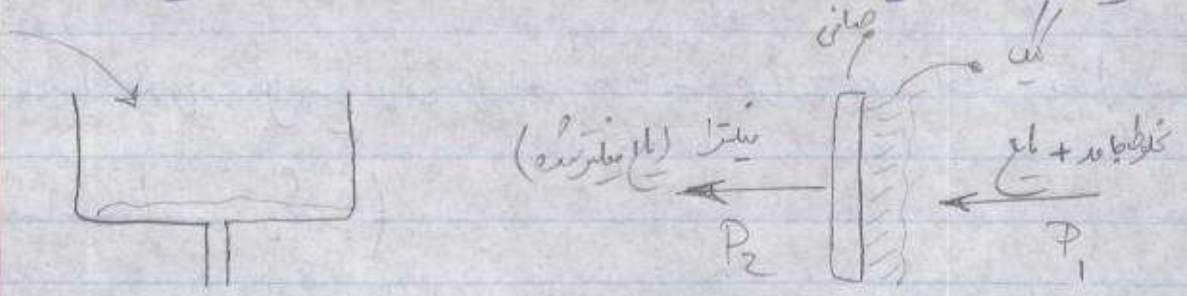
در فیلتراسیون جداسازی از نوع مکانیکی است زیرا استقال جرم بدلیل اختلاف فشار است

نه گرادیان غلظت در واقع این عملیات بعد از عملیات استخراج جامد از مایع و یا جذب سطحی بکار میرود.

برای فیلتر کردن ذرات جامد از گاز از سیکلون ها و فیلترهای کیسه ای و فیلترها الکترواستاتیکی استفاده می شود

فیلترها را میتوان به فیلترهای فشاری یا کیسه ای Pressure filter

و فیلترهای خلاء یا کیسه خلاء Vacuum filter تقسیم بندی نمود



نکته : در فیلترهای فشاری P_2 یا اتمسفر و P_1 بیشتر از 1atm

نکته : در فیلترهای خلاء $P_1 = 1atm$ ، P_2 کوچکتر از یک اتمسفر

هرکدام از این فیلترها از لحاظ مراحلی که کلاً بصورت پیوسته یا غیر پیوسته عمل کند.

در فیلترهای پیوسته جریان جامد و مایع بطور دائمی برقرار است و جامد و مایع بطور همزمان از فیلتر خارج می شوند

در فیلترهای غیر پیوسته پس از مدتی عملیات را قطع نموده و جامد ضخیم شده در فیلتر را تخلیه می کنند

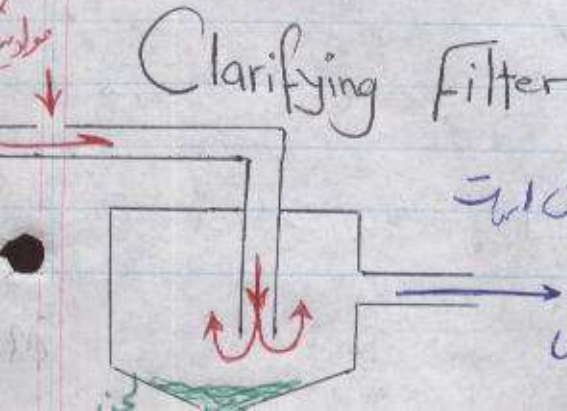
در عملیات فیلتراسیون جریان با ارزشی می تواند سیال جامد یا هر دو ی آنها و یا هیچ کدام از آنها باشد. برخی از انواع مهم فیلترها عبارتند از:

فیلترهای مشبکی یا آبگیرها «Strainer»:

یک شبکه فلزی در مقابل مسیر جریان قرار داده می شود و جهت جداسازی ذرات درشت (در تصفیه آب استفاده می شود)

فیلترهای رسوبی یا کلاریفایرها Clarifying Filter

در تصفیه آب نگهداری مدت کمی در ظرف ته نشینی نسبتاً بزرگ انجام



فیلترهای کیکی یا غالبی Cake filter

مهم‌ترین نوع آن فیلتر پرس Filter Press (Palte and frame)

کیک نوع فیلترهای عمیق بوده و در واقع همان‌طور که میزان جامد در مایع زیاد باشد از این فیلتر استفاده می‌شود بنابراین در این فیلترها پس از مدتی غالب جامد خود نقش فیلتر را دارد. مایع تحت فشار از یک طرف وارد فیلتر شده و به درون قاب‌ها هدایت شده پس از عبور از پارچه یا صافی وارد شکاف‌های روی سینی شده و از فیلتر خارج می‌شود

فشار مایع ورودی بین ۱۰-۳ atm و فشار مایع خروجی ۱ atm است

عمل فیلتراسیون تا زمانی که دیگر مایعی از آن بیرون نیاید و دبی صفر شود یا هم عملاً افت فشار چشمگیری زیاد شده ادامه می‌یابد

حدود ۶۵ تا ۷۰٪ جامد در آب مایع است. حال اگر هدف بازیابی جامد باشد جامد را توسط یک حلال شسته تا ناخالصی‌ها احتمالی و مایع از آن جدا گردند و پس از توسط چرخان از فیلتر یا همان مایع خشک می‌کنند بعد از این که این مراحل یک مرحله فیلتراسیون گویند معمولاً زمان صاف کردن چرخان حدود نیم ساعت زمان شستشوی کیک حدود ۲ ساعت و از این رو زمان هر Batch یا اصطلاح زمان باز

سیستم گردان فیلتر ۴ ساعت در گردش می‌شود

با ازلیس حداقل ۶ - ۵ دور در دقیقه ظرفیت را ازلیس داد

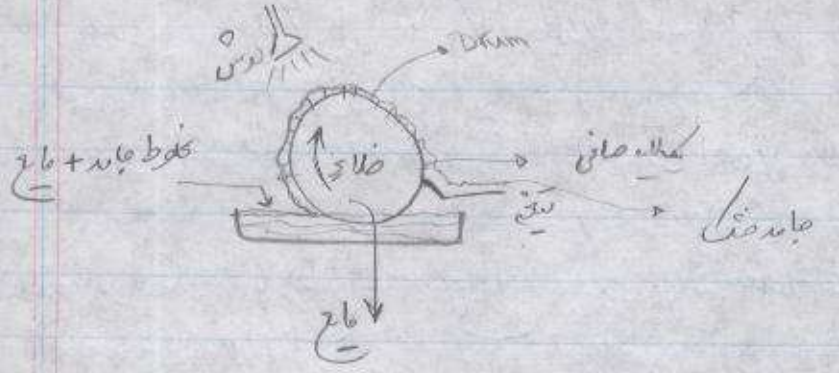
ابعاد: کوچکترین $15*15^{cm}$ ، 2^m*2^m

ضخامت از: $5^{mm}-5^{cm}$

ضخامت ۶ - ۵: $0/5^{cm}-20^{cm}$

در این فیلترها لفت فشار با ضخامت کیک از لیس می‌دهد اگر بخواهیم دبی را ثابت نگه داریم در این سیستم باید فشار ورودی را زیاد یا خروجی را کم یعنی افت فشار ثابت شود

فیلتر استوانه‌ای دوار Rotary Drum filter



رایج‌ترین فیلتر بین همه انواع خلاء می‌باشد وجهت جداسازی ذرات جامد بسیار ریز

استفاده می شود سرعت چرخش این اسکلت $0.1-2 \frac{m}{min}$ بطراین فیلترها

از $0.3-3 mm$ و ضخامت کیک ایجاد شده $3 mm - 4 cm$

فیلتر گریز از مرکز Centrifugal Filter

دراین فیلتر از نیروی گریز از مرکز از نیروی اضافه فشار استفاده می شود

طرز کار شبیه به کار دستگاه آب میوه گیری است

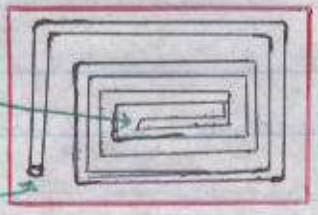
که معمولا بطراین فیلتر $75 cm - 120 cm$ و سرعت چرخش $600 - 1800 rpm$

و ضخامت کیک $5-15 cm$

فیلتر تغلیظ کننده Filter - thickener

ازاین فیلتر جهت تغلیظ یک محلول رقیق استفاده می شود بعنوان مثال تغلیظ محلول

۵٪ جامد به یک محلول ۱۰٪



مشخصات صافی فیلتر :

صافی باید بافت کاملا یکنواخت داشته باشد یا رجوع شود به الیاف مصنوعی این خاصیت

را دارند

۱۲ جامد باید به راحتی از صافی جدا شود این ویژگی را دارند

۱۳ قابل دسترس و ارزان هم باشند

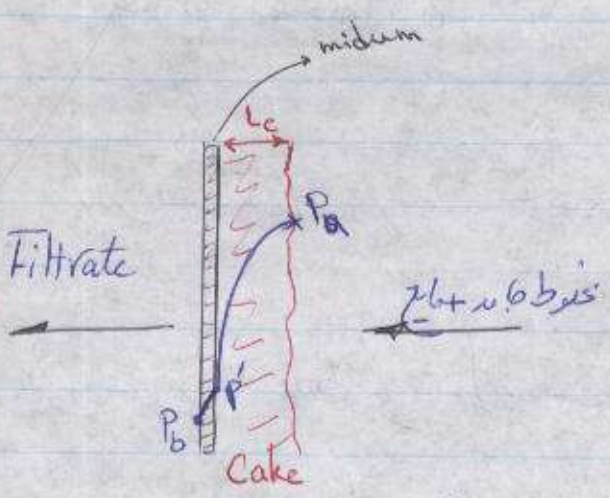
پارامتر طراحی در این فیلتراسیون افت فشار می باشد

دبی مایع و افت فشار ۲ پارامتر طراحی می باشند

در ابتدای عمل فیلتراسیون تنها مقاومت که در برابر صاف وجود دارد فقط صافی است

ولی پس از مدتی کیک (جامد ریز باقی مانده و متراکم شده بر روی صافی) یک مقاومت هم

مقاومت صافی اضافه می کند



افت فشار در صافی + افت فشار در کیک = افت فشار کل در هر لحظه

$$\Delta P = P_a - P_b = (P_a - P') + (P' - P_b)$$

ΔP_{cake} ΔP_m

مقاومت کل = مقاومت کیک + مقاومت صافی

فیلترهای غشایی به ۲ طریق کار می‌کنند :

۱- فیلتراسیون در فشار ثابت

یعنی اگر P_a و P_b مقداری معین و ثابت باشند با افزایش حجم تا کیک در طول زمان مقاومت در برابر عبور جریان نیز زیاد شده و حجم مایع فیلتر شده در واحد زمان (دبی) کاهش می‌یابد

۲- فیلتراسیون در دبی ثابت

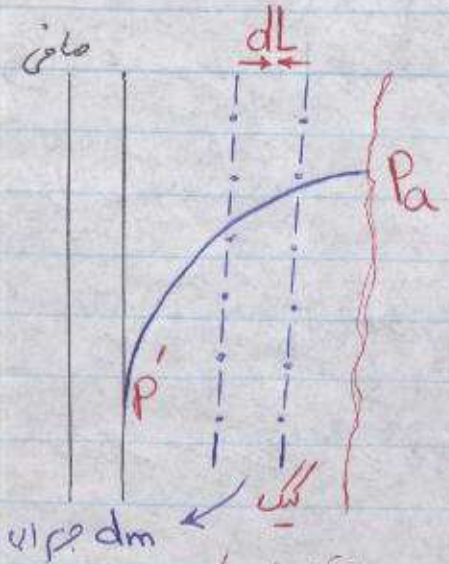
باید ثابت نگه داشته شود P_a در طول فیلتراسیون زیاد کرده یا P_b کم کنیم به‌طوری که ΔP راسب به زمان اولیه دهنه دبی ثابت بماند

در فیلترهای پیوسته نحوه عملیات طوری است که بلافاصله از اولین حجم تا کیک ساخته می‌شود

معادلات طراحی :

$$\text{Reate of Filteration} = f(\Delta P\uparrow; \mu\downarrow, C\downarrow, A\uparrow R_c\downarrow R_m\downarrow$$

جهت تعیین ارتباط بین ΔP و تغییر های پارامترهای مؤثر در فیلتراسیون رابطه انتقال جریان در بستر های متخلخل را برای یک المان از کیک به ضخامت



$$dm = A\,dL\,(1-\varepsilon)\rho_p$$

جرم ذرات — دانسیته حقیقی ذرات

$$\frac{dp}{dL} = \frac{150\,\mu u (1-\varepsilon)^2}{g_c (\phi_s D_p)^2 \varepsilon^3} = \frac{4.17\,\mu u (1-\varepsilon)^2 \left(\frac{V_p}{S_p}\right)^2}{g_c \varepsilon^3}$$

سرعت مستطیل یال و سکونیه — ضریب تخلخل

$$\phi_s = \frac{6}{D_p}\left(\frac{V_p}{S_p}\right)$$

کرویت ضریب ذرات — حجم ذره — سطح ذره

$$4.17 = k$$

$\frac{S_p}{V_p}$ سطح مخصوص ذرات

$$\int_{P'}^{Pa} dp = \frac{k_1 \mu \cdot u (1-\bar{\varepsilon})\left(\frac{S_p}{V_p}\right)^2}{g_c \rho_p \cdot A \bar{\varepsilon}^3} \int_0^{m_c} dm$$

جرم کل

$$\Delta P_c = \frac{k_1 \mu u (1-\bar{\varepsilon})\left(\frac{S_p}{V_p}\right)^2 m_c}{g_c \rho_p A \bar{\varepsilon}^3}$$

معادله ارگن هنگامی که ε در طول بستر ثابت باشد یا بستر متراکم نباشد صادق است البته باید یادآور شد که این فرض چندان صحیح نیست زیرا ε در طول بستر از دیواره تا مرکز تغییر کند

طبق تعریف مقاومت ویژه بستر عبارت است از :

$$\alpha = \frac{k_1 (1-\bar{\varepsilon})\left(\frac{S_p}{V_p}\right)}{\rho_p \cdot \bar{\varepsilon}^3}$$

رابطه افت فشار در بستر

$$\Delta P_c = \frac{\mu \cdot u \alpha m_c}{g_c A}$$

فشار را می‌توان بستر در واحد سطح مقطع آن تعریف می‌کند :

برای یک فشار مشخص مقادیر α و A و m_c معین و ثابت هستند بنابراین افت فشار در فشار

$$\Delta P_m = \frac{\mu \cdot u}{g_c} \times R_m$$

بنابراین کل افت فشار در فیلتر :

$$\Delta P = \Delta P_c + \Delta P_m = \frac{\mu . u}{g_c} \left(\frac{m_c . \alpha}{A} + R_m \right)$$

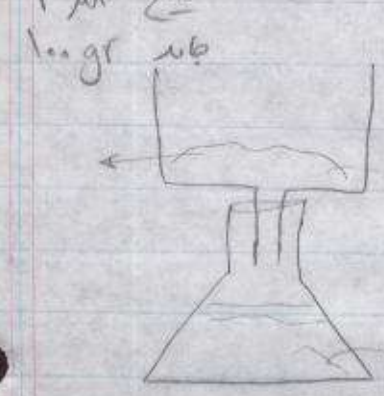
ارتباط افت فشار در فیلتر و حجم فیلترات :

اگر t زمان ، m_c جرم جامد رسوب شده ، V کل حجم مایع صاف شده از لحظه شروع تا لحظه t (حجم فیلترات) ، C جرم جامد جمع شده روی صافی به ازای واحد حجم مایع صاف شده ، Q دبی مایع ، u سرعت خطی سیال باشد

$$u = \frac{Q}{A} = \frac{\frac{dv}{dt}}{A}$$

$$m_c = V . C$$

نکته : C غلظت است



$$C = \frac{100}{0.8}$$

با کاربرد U و m_c در معادله اصلی

$$\Delta P = \frac{\mu}{g_c}\left(\frac{1}{A} * \frac{dv}{dt}\right)\left(\frac{U \cdot C \cdot \alpha}{A} + R_m\right)$$

فیلتر اسپول در فشار ثابت :

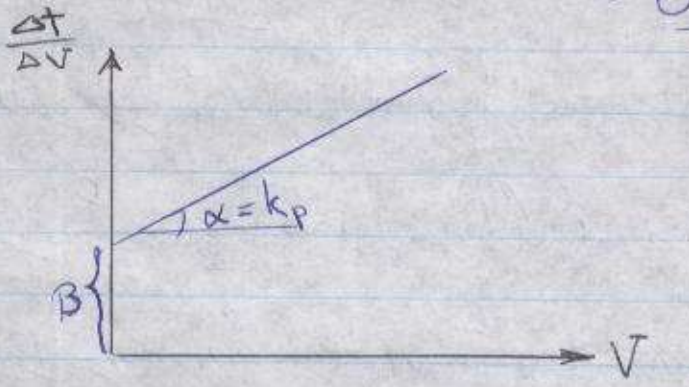
عملاً در فیلتر اسپول افت فشار ثابت است بنابراین با جایگذاری در معادله

$$\frac{dt}{dv} = \frac{\mu}{A g_c (\Delta P)}\left(\frac{\alpha \cdot C \cdot U}{A} + R_m\right)$$

$$\frac{dt}{dv} = k_p V + B$$

به عبارتی تغییرات حجم مایع صاف شده نسبت به زمان تابعی از حجم صاف شده‌ی باقیست

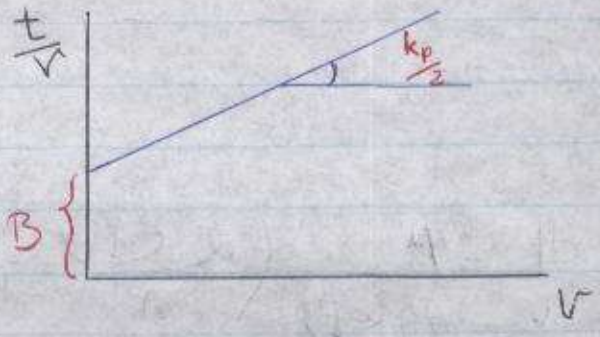
بنابراین با اندازه گیری میزان مایع صاف شده در زمان‌های مختلف می‌توان B و k_p و سپس α و R_m را تعیین نمود



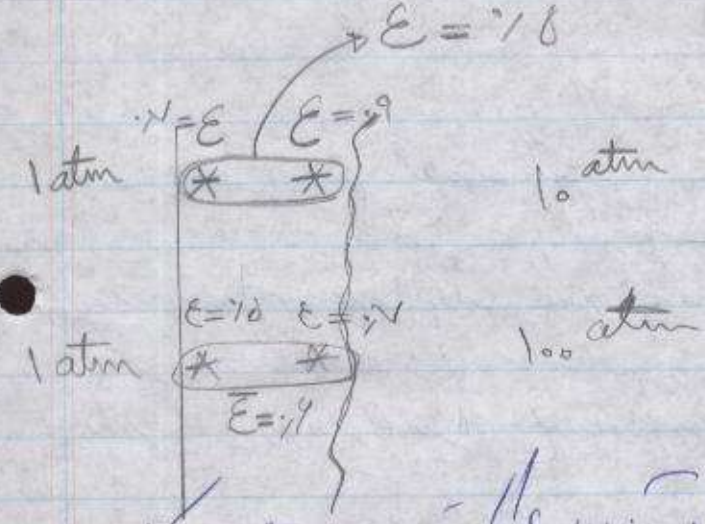
یا اینکه

$$\int_0^t dt = \int_0^V k_p V \cdot dv + \int_0^V B \cdot dv \Longrightarrow$$

$$t = \frac{k_p}{2} V^2 + BV \rightarrow \frac{t}{V} = \left(\frac{k_p}{2}\right) V + B$$



اثر فشار روی α :



اکثراً کیک تولید شده ضخامت و ضریب تخلخل آن از لبه کیک تا وسط تغییر می کند

علاوه بر این مقدار متوسط آن نیز بعلت فشار است و هرچه فشار بیشتر باشد ضریب تخلخل متوسط کیک کمتر خواهد شد از این رو با انجام آزمایشات متداول دقیق ثابت اما فشارهای متفاوت می توان تغییرات

α با Δp را از رابطه تجربی زیر تعیین نمود

$$\alpha = \alpha_0 (\Delta p)^S$$

S : ضریب تراکم پذیری کیک است و به کیک تراکم ناپذیر صفر است و برای کیک‌های تراکم پذیر بین ۰٫۲ تا ۰٫۸ است

چند α را برای چند Δp بدست آورده و از روی آن α_0 و S را بدست می‌آوریم