HARVEST 62

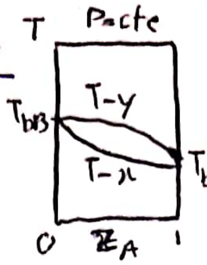
«عمل - تقطیر»

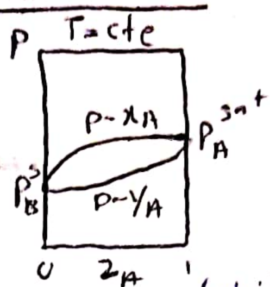
مقدمات ①

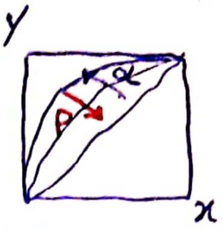
$K_i = \frac{y_i}{x_i} = \frac{P_i^{sat}}{P_t}$ ، $\alpha = \frac{k_i}{k_j} = \frac{y/1-y}{x/1-x}$

↓ ضریب توزیع - تعادل

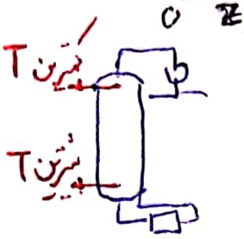
$y = \frac{\alpha x}{1+(\alpha-1)x}$







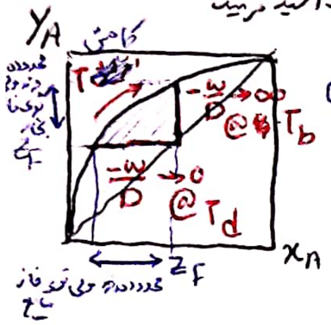
- اتانول - آب → $P=1^{atm}, T=78^{°C}, x_{et}=0.89$ → max P → زیر 60^{mmHg}، آزئوتروپ نه %
- استن - CS_2 → $T=39^{°C}, x_{CS_2}=0.64$ → max P
- اسید کلریدریک - آب
- استن - کلروفرم
- آب - اسید فرمیک



- انحراف → مثبت → سر دافعه (میل به تبخیر زیاد) → min T - max P → اگر فشار کم کنیم: $x_A^{az} \to 1$
- انحراف → منفی → max T - min P → " " زیاد " : $x_A^{az} \to 0$
- آزئوتروپ ← انحراف زیاد و فشار بخارهای نزدیک

Flash ②

- افزایش دما
- کاهش فشار
- دامنه جداسازی گازهای محلول توی نفت


Y_A
کاهش T
$-\frac{W}{D} \to \infty$
@ T_b
$-\frac{W}{D} \to 0$
@ T_d
x_A
z_F
محدوده جزء مولی توی فاز بخار
محدوده جزء مولی توی فاز مایع

- توی جهت فلش:
  - دبی فاز بخار کم می‌شه (دبی فاز مایع زیاد)
  - جزء مولی جزء فرار توی هر دو فاز زیاد می‌شه (غیر فرار کم)
  - دما کم می‌شه

$\frac{y_D - z_F}{x_W - z_F} = -\frac{W}{D}$

$\frac{(H_F \pm \frac{Q}{F}) - H_D}{(H_F \pm \frac{Q}{F}) - H_W} = -\frac{W}{D}$

میعان ناگهانی

- بیشتر چند جزئی: $\sum \frac{z_{F_i}}{\frac{W}{F}(1-k_i)+k_i} = 1.0$

محاسبات ابتدایی ③

بخار فوق داغ : $1 >$ | $\sum \frac{z_i}{k_i}$ ، $\sum z_i k_i$ | < 1 : مایع زیر سرد

بخار اشباع : $1 =$ | | $= 1$ نقطه حباب

↳ هر دو بزرگتر از 1 : (دوفازی)

$\sum \frac{y_i}{P_i^s} = \frac{1}{P_t}$

$\sum \frac{y_i}{k_i} = 1$

$\sum \frac{y_i}{\alpha_{ij}} = k_j$

- نقطه شبنم ($\sum x_i = 1$)

$\sum x_i P_i^{sat} = P_t$

$\sum k_i x_i = 1$

$\sum \alpha_{ij} x_i = \frac{1}{k_j}$

- نقطه حباب ($\sum y_i = 1$)

تقطیر دیفرانسیلی ④

$\ln \cancel{\frac{F}{D} = \int_{y_{AF}}^{y_{AD}}} \frac{dy_A}{y_A - x_A^*}$

میعان :

$\alpha \ln \cancel{\frac{F(1-y_{AD})}{D(1-y_{AF})}} = \ln \cancel{\frac{F y_{AD}}{D y_{AF}}}$ ، $\cancel{\left(\frac{F}{D}\right)^{\frac{k_A-1}{k_A}} = \frac{y_{AD}}{y_{AF}}}$

معادله ریلی ↓

$\ln \frac{F}{W} = \int_{x_{AW}}^{x_{AF}} \frac{dx_A}{y_A^* - x_A}$

$\xrightarrow{\alpha}$ $\alpha \ln \frac{F(1-x_{AF})}{W(1-x_{AW})} = \ln \frac{F x_{AF}}{W x_{AW}}$

$\xrightarrow{k_i}$ $\left(\frac{F}{W}\right)^{k_A-1} = \frac{x_{AF}}{x_{AW}}$

$F = D + W$, $F.x_{AF} = D.y_{AD,ave} + W.x_{AW}$ ، $y_{A,\text{ابتدا}} < y_{AD,ave} < y_{A,\text{انتها}}$

پانچون ⑤

$\frac{L_n}{G_n} < 1$ ، $\frac{\bar{L}_m}{\bar{G}_m} > 1$ ،

$Q_c = (R+1).D\lambda_D$

$Q_c = RD\lambda_D$

، $F.H_F + Q_B = D.H_D + Q_c + W.H_W$

$L = RD$

$G = (R+1)D = R(D+1)$

Δ_D: $= D$, $x_{\Delta_D} = x_D$, $H_{\Delta_D} = H_D + \frac{Q_c}{D}$

، Δ_W: $= W$, $x_{\Delta_W} = x_W$, $H_{\Delta_W} = H_W - \frac{Q_B}{W}$

، $\frac{L_n}{G_{n+1}} = \frac{H_{\Delta D} - H_{G_{n+1}}}{H_{\Delta D} - H_{L_n}}$

، $\frac{\bar{L}_m}{\bar{G}_{m+1}} = \frac{\bar{H}_{G_{m+1}} - H_{\Delta W}}{\bar{H}_{L_m} - H_{\Delta W}}$

- با افزایش R → شیب خط‌ها به یک نزدیک می‌شن (قطر برج زیاد، تعداد سینی کم)
- R→∞ → $D = F = W = 0$; N_{min} (مستقل از خوراک) (α, x_W, x_D)

$x_{\Delta_m} = \frac{n_A \text{ خروجی خالص}}{n \text{ خالص خروجی}}$

$H_{\Delta_m} = \frac{\text{انرژی خروجی خالص}}{n \text{ خروجی خالص}}$

$x_{\Delta_m} = \frac{n_A \text{ خالص ورودی}}{n \text{ '' ورودی}}$

$H_{\Delta_m} = \frac{\text{انرژی خالص ورودی}}{n \text{ خالص ورودی}}$

- مشخصات جریان برآیند → ورودی به CV : ... ; خروجی از CV :

$x_{\Delta W} = \frac{W x_W}{W - S}$

- بخار مستقیم
  - وقتی جزء غیر فرار حین آب باشه
  - تعداد سینی‌ها رو زیاد و در کل هزینه‌ها رو کم کنه
  - الکل پروپیلیک ×
  - استن، الکل متیلیک، آمونیاک ✓

تعداد منحنی‌های عملیاتی = تعداد کل جریان‌های ورودی و خروجی − 1

⑥ مک کیب

- براساس موازنه جرمی → در نتیجه ش → L و G ثابتن / $\bar{L}$ و $\bar{G}$ هم ثابتن
- فرضیات →
  - گرمای نهان مولی برابر اجزا
  - 〃 انحلال (اختلاط) ناچیز
  - بدون اتلاف حرارتی
  - فشار ثابت

$$y_{n+1}=\frac{R}{R+1}x_n+\frac{x_D}{R+1} \quad , \quad \frac{R}{R+1}=\frac{L}{G}$$

$$y=\frac{q}{q-1}x+\frac{z_F}{1-q}$$ خط خوراک

$$\frac{\bar{L}}{\bar{G}}=\frac{L+qF}{G+(1-q)F}$$ ← درصد مایع توی خوراک

$$q=\frac{H_V-H_F}{H_V-H_L}$$

R زیر سرد

$$C_L M_{ave}(T_{bp}-T_o)\cdot L_o=\Delta L(\lambda M)_{ave}$$

$$R=\frac{L_o}{D} \quad , \quad R'=\frac{L}{D} \quad (R'>R) \quad , \quad L=L_o\left(1+\frac{C_L M_{ave}(T_{bp}-T_o)}{(\lambda M)_{ave}}\right)$$

بخار فوق گرم

$$\bar{G}_{N_p+1}\cdot(H_{\bar{G}_{N_p+1}}-H_{\bar{G}})=\Delta l(\lambda M)_{ave}$$

$$\Delta l=\frac{\bar{G}\ \_\_\_\_}{(\lambda M)_{ave}}$$

- انباره‌های جریان برگشتی → حداکثر سرعت بخار در لوله جلوگیری از حمل ، $V=0.09\left(\frac{\rho_L-\rho_G}{\rho_G}\right)^{0.5}$
- ریبویلرهای صنعتی →
  - دیگی (ایده‌آل)
  - ترموسیفون (ایده‌آل نیست - همه‌ی مایع ورودی بهش، بخار نمیشه)

⑦ اضافات

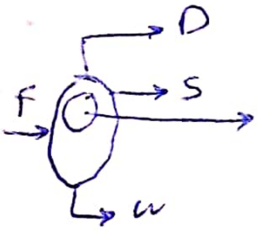
- معادله فنسک →

$$N_{tm}=\frac{\log\left(\frac{x_{AD}\times x_{BW}}{x_{BD}\times x_{AW}}\right)}{\log\sqrt{\alpha_{AB_{بالا}}\times\alpha_{AB_{پایین}}}}$$

$$N_{tm}=N_m+(0,1,2)$$

تعادلی

- تقطیر آزئوتروپی →
  - واسه سیستم‌های با R بالا or سطح مقطع بزرگ یعنی تعداد سینی زیاد
  - مثال استیک اسید - آب → بوتیل استات
  - ماده‌ی خارج‌کننده (Entrainer) → با ورودش، آزئوتروپ تشکیل میده
- تقطیر استخراجی → معمولاً بهتره
  - مشابه قبلی - واسه جداسازی محلول‌هایی که جداسازیشون سخته } (قطور و بلند)
  - حلالی میزنیم که فراریت نسبی سیستم رو زیاد کنه
  - مثال: تولوئن - ایزواوکتان → حلال فنل



$$y=\frac{L-S}{V}x+\frac{Dx_D+Sx_S}{V}$$

$$L=RD \quad , \quad V=(R+1)D$$

$$\Rightarrow y=\frac{RD-S}{(R+1)D}x+\frac{Dx_D+Sx_S}{(R+1)D}$$

- تقطیر توی خلاء → کاهش فشار بجای افزایش دما
- تقطیر مولکولی →
  - توی فشارهای خیلی پایین - واسه مواد حساس در برابر گرما
  - توش هم زدن شدید یا جوشش نیست
  - 〃 مایع بصورت یه لایه‌ی نازک روی سطح باید جریان پیدا کنه

Steam distillation : جداسازی آب - دی‌اتیل آنیلین

برج stabilizer : واسه جداسازی ترکیبات فرار از یه جریان مایع

Scanned with CamScanner

HARVEST 63

« عمل - استخراج »

① مقدمات

x, y | جزء جرمی C

x', y' | نسبت جرم C به جرم عاری از C

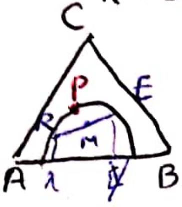
X, Y | نسبت جرم C به جرم عاری از B

R', E' | جرم جریان بدون در نظر گرفتن جزء B

N ← جرم جزء B توی محلول مورد نظر به جرم عاری از B ← R , E

$$E = E'(1+N)$$

- اگه A و B نسبتاً بهم نامحلول باشن ← از x' و y' استفاده می‌کنیم
- یه جفت، طور نسبی توی هم حل بشن
  - آب (A) - کلروفرم (B) - استون (C)
  - بنزن (A) - آب (B) - استیک اسید (C)
  - هرچی ناحیه دوفازی بزرگ‌تر ← جداسازی راحت‌تر
  - با افزایش دما، ناحیه دوفازی کوچیکتر می‌شه



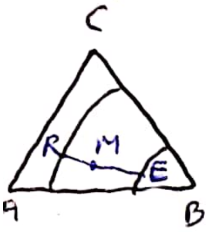
P → Plait point ($x=y, \beta=1$)

tieline وارون

سولوتروپیک ← جایی که شیب tie-line ها عوض می‌شه

ایجوره که یکدونه از E رو به سیستم برگردونیم.

- دو جفت، طور نسبی توی هم حل می‌شن
  - کلروبنزن (A) - آب (B) - متیل اتیل کتون (C)
  - توی جداسازی کامل A از C ممکن نیست
  - شیب تای‌لاین‌ها منفیه (یه کم)



- ضریب توزیع
  - نسبت $\frac{y^*}{x}$ تعادلی
  - می‌تونه هر مقداری داشته باشه
  - هرچی بیشتر، حلال کمتری نیاز داریم
- کشش بین سطحی
  - هرچی بیشتر ← جداسازی راحت‌تره
  - توی plait صفره
- ضریب انتخاب‌پذیری

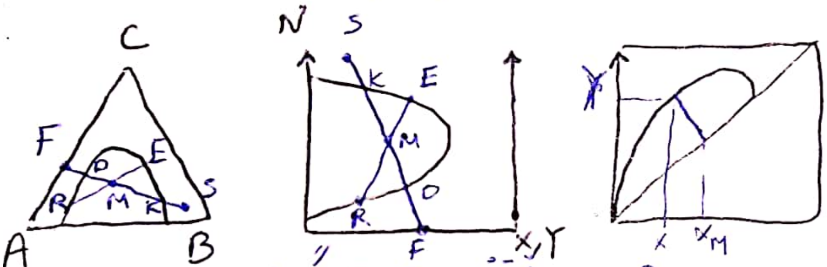
$$\beta = \frac{\left(\frac{C}{A}\right)_E}{\left(\frac{C}{A}\right)_R}$$

$$Y = \frac{\beta X}{1+(\beta-1)X}$$

  - باید بزرگتر از یک باشه
  - هرچی بزرگتر استخراج با بازدهی بیشتر
  - اگه ∞ باشه ← مختصات $x'y'$

② واحدهای عملیاتی

دو حلال امتزاج‌پذیر جزئی



- تک مرحله‌ای همسو

$$\frac{S_{min}}{F} = \frac{\overline{FD}}{\overline{SD}}$$

$$\frac{S_{max}}{F} = \frac{\overline{FK}}{\overline{SK}} , \quad E_1' = \frac{M_1'(X_{M1}-X_1)}{Y_1-X_1}$$

- چند مرحله‌ای ناهمسو

$$F+S = E_1 + R_{Np} = M$$

$$F x_F + S y_s = E_1 y_1 + R_{Np} x_{Np} = M x_M$$

- واسه چند مرحله‌ای باید پله بزنیم توی YX

ΔR
- موقعیتش به F و E_1 بستگی داره
- با افزایش میزان حلال می‌ره سمت چپ

ΔR_{min} ← پایین‌ترین خط تعادلی با امتداد tie-line SR_{Np}

دو حلال غیرقابل امتزاج

$$\frac{R_S}{E_S} = \frac{A}{B} = \frac{Y_1'-Y_2'}{x_1'-x_2'}$$

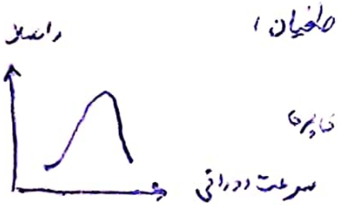
چند مرحله‌ای همسو / $-\frac{R_s}{E_s} = -\frac{A}{B} = \frac{Y_1'-Y_S'}{x_1'-x_0'}$

از نمودار $x'y'$ استفاده می‌کنیم : تک مرحله‌ای همسو :

③ دستگاه‌های عملیاتی

Mixer-Settler
- وقتی هر دو تا دیسپرس بشن (پاشش سطحی زیاد)
- فرض تعادل توشون OK ه (چون تماس داریم و انتقال جرم زیاد و زمان اقامت زیاد)
- امولسیون تشکیل می‌دن

• برج‌های پر شده
- اختلاط محوری کم
- دانه سطح برخوردها توسط فاز
  - پراکنده می‌شه : سطح تماس کم می‌شه
  - پیوسته " " : " " زیاد می‌شه
- انتقال جرم کم (کانالیزه - طغیان)



• CM ← پره‌دار با صفحات افقی ← کاهش اختلاط محوری

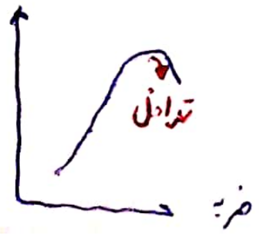
• RDC
- مثل CM با دیسک چرخان یا پره
- مصرف انرژی کمی میگیرد

• کارل
- پیستون‌های محور مشترک (کار پمپ رو هم می‌کنه)
- اختلاط محوری نداره - سرعت انتقال جرم بالا

• برج صفحه‌ای
- واسه محلول‌هایی که راحت امولسیون می‌دن (اختلاط خوبی نداره - انتقال جرم ضعیف)
- صفحه مشبک 0.05-0.1 [illegible] (کانالیزه X)

• برج‌های دارای سینی مشبک ↓ سرعت خطی قطرات مایع < 10 cm/s
- Nope
- واسه سیستم‌های با کشش سطحی کم و یا اونایی که نیروی زیادی واسه هم زدن نمی‌خوان
- پروفایل دما ≡ انتقال حرارت
- ماندگی فاز پراکنده > 0.2

ستون ضربه‌ای
- راندمان بالا و مصرف انرژی کم
- با افزایش ضربه انرژی
  - انتقال جرم ↑ (+)
  - ظرفیت ↓ (−)
- سینی دار و ضربه‌ای داره
- ارتفاع معادل یک مرحله تئوری کمتر از ⅓ ارتفاع معادل با دستگاه‌های دیگه‌ست



• برج‌های پاششی
- اختلاط محوری
- انتقال جرم توش کمه (به سختی می‌شه به یه مرحله تعادلی رسید)
- موثرترین ناحیه انتقال جرم
  - ناحیه تشکیل قطرات
  - به خاطر گرادیان غلظت
- فاز پراکنده دارای ویسکوزیته ↓ ↑ انتخاب می‌شه

- سانتریفیوژ
  - کاربرد
    - محصولات حساس (آنتی بیوتیک و ویتامین)
    - اختلاف دانسیته ی کم
  - گرون
  - زمان اقامت کم (انتقال جرم بالا)

HARVEST 01

«عمل - تبخیر»

① مقدمات

- عامل تبخیر: اختلاف نقطه‌ی جوش نه اختلاف فشار
- فاکتور اقتصادی، رابطه‌ی مستقیم داره با ← دمای خوراک / ← تعداد مراحل تبخیرکن

ظرفیت = kg بخار آب تولید شده

فاکتور اقتصادی = ظرفیت / بخار مصرفی

$$\text{فاکتور اقتصادی} = \frac{\text{kg} \ \text{بخار آب تولید شده}}{\text{kg} \ \text{بخار مصرف شده}}$$

1 ≥ اقتصاد ← که توی حالت‌های از نوع اشباع

- محلول‌های آبی ← فشار بخارشون از آب خالص کمتره / ← دمای جوششون 〃 〃 〃 بیشتره
- قاعده دورینگ ← توی فشار ثابت، نقطه‌ی جوش یه محلول معین، تابع خطیه از نقطه جوش حلال ناب بودن / ← توی فشارهای پایین و متوسط البته / ← به علاوه تابعیت B.P.E از [غلظت، قوی / دما، ضعیف]

- عوامل مؤثر بر نقطه‌ی جوش (T) ← BPE و (q↑) / ← هد مایع (q↑)

$T\uparrow \rightarrow \Delta T\downarrow$

$q = UA\Delta T$

- ضریب کلی انتقال حرارت (U) ← ویسکوزیته (μ↑) / ← ~~علت~~

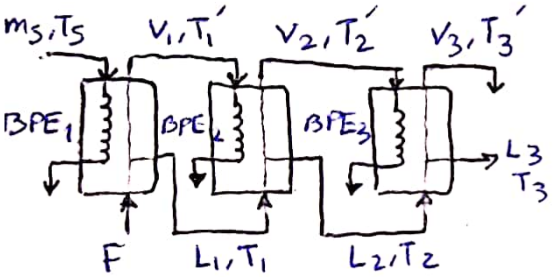
q ≡ نرخ تبخیر

- با افزایش ← غلظت: نقطه‌جوش محلول زیاد می‌شه و ΔT تبخیرکن کم / ← سرعت: افت فشار زیاد می‌شه و ΔT 〃 زیاد

↓P

② محاسبات

: دلگذاری در جهت افت فشار (مستقل از نحوه‌ی ورود محلول)



st.1
$$q_1 = U_1 A_1 \Delta T_1$$
$$\Delta T_1 = T_s - T_1$$
$$BPE_1 = T_1 - T_1'$$
$$\Delta T_1 = T_s - T_1' - BPE_1$$

st.2
$$q_2 = U_2 A_2 \Delta T_2$$
$$\Delta T_2 = T_1' - T_2$$
$$BPE_2 = T_2 - T_2'$$
$$\Delta T_2 = T_1' - T_2' - BPE_2$$

st.3
$$q_3 = U_3 A_3 \Delta T_3$$
$$\Delta T_3 = T_2' - T_3$$
$$BPE_3 = T_3 - T_3'$$
$$\Delta T_3 = T_2' - T_3' - B$$

$$U_i \Delta T_i = U_j \Delta T_j$$

$$\Delta T_i = \frac{\frac{1}{U_i}}{\sum \frac{1}{U_i}} \Delta T_{\text{کل}}$$

$$\Delta T_{\text{کل}} = \Delta T_1 + \Delta T_2 + \Delta T_3 = (T_s - T_1) + (T_1' - T_2) + (T_2' - T_3)$$
$$= T_s - T_3' - (BPE_1 + BPE_2 + BPE_3)$$

$$\dot m_{f_1} = \dot m_{v_1} + \dot m_{v_2} + \dot m_{v_3} + \dot m$$

$$\dot m_{f_1} x_1 = \dot m_{f_2} x_2 = \dot m_B x_3 = \dot m x$$

- ظرفیت واحد سطح تبخیرکن N مرحله‌ای، حدود $\frac{1}{N}$ ظرفیت یه تبخیرکن یه‌مرحله‌ای توی شرایط مشابه
- فاکتور اقتصادی واسه‌ی یه تبخیرکن N مرحله‌ای، کوچیکتر مساوی N ـه

- فاکتور اقتصادی ← BPE! تغییر نمی‌کنه (انتقال حرارت) / ← به موازنه انرژی بستگی داره نه شدت

- تأثیر افزایش هد مایع و BPE ← کاهش ظرفیت / ← افزایش اقتصاد / ← کاهش افت دمای در دسترس ← افزایش سطح تبخیرکن ← افزایش هزینه‌ها

③ دستگاه‌های عملیاتی

- گردش اجباری ← هزینه بالا / ← زمان ماندگاری کم / ← محلول‌های ویسکوز / ← حساسیت محلول به دما / ← کاربردها ← تغلیظ سود سوزآور توی تجهیزات نیکلی / ← 〃 محلول‌های دارای نمک / ← 〃 〃 با میل بالا به تشکیل کف / ← 〃 مایعات با گرانروی بالا / ← ~~محلول~~ 〃

توانایی کنترل کردن ← فیلم مایع

- نیلم بالارو ← تغلیظ محلول‌های نمک / ← واسه محلول‌های کف‌زا
- نیلم ریزان زیرگذر تک‌گذر ← واسه محلول‌های بسیار حساس به دما (عصاره پرتقال) / ← 〃 مایعات ویسکوز / ← مشکلی اصلی‌شون (hot spot) ← عدم توزیع مایع و حرارت به صورت یکنواخت توی لوله‌ها / ← تخریب ساختار مادی حساس به دما / ← صفحه‌ی فلزی مشبک یا توزیع‌کننده یا پاشنده واسه رفع‌ش

- تبخیرکن عمودی لوله‌کوتاه ← واسه محلول‌های رسوب‌زا
- تبخیرکن همزن‌دار ← مناسب‌ترین انتخاب برای مواد ویسکوز و حساس به دما (ژلاتین، لاتکس لاستیکی، مواد دارویی، عصاره‌های میوه‌ها) / ← 1000 cP - معایبش ← قیمت بالا - قطعات متحرک - ظرفیت پایین

پیشرو $U_{\text{همزن‌دار}} > U_{\text{اجباری}} > U_{\text{طبیعی}}$

$$A_1 = A_2 = A_3$$
$$q_1 = q_2 = q_3$$
$$U_1 > U_2 > U_3$$
$$P_1 > P_2 > P_3 \qquad T_1 > T_2 > T_3$$
$$\Delta T_1 < \Delta T_2 < \Delta T_3$$
$$\mu_1 < \mu_2 < \mu_3 \qquad \mu \propto x \quad \propto \frac{1}{T}$$
$$BPE_1 < BPE_2 < BPE_3$$

- ترکیبی ← توی محلول غلیظ توی بالاترین دما (تبخیرکن اول) خارج می‌شه / عیب گردشش راحت‌تره
- موازی ← کریستال‌زا یا رسوب‌زا
- عامل تعیین ← ویسکوزیته

④ پس‌کنش

- پیشرو ← محلول‌های حساس به دما / ← خوراک سرد و غیرویسکوز
- پسرو ← خوراک ویسکوز / ← ~~خوراک~~ خوراک سرد ← خوراک در جهت افزایش فشار و دما داره حرکت می‌کنه

Scanned with CamScanner

$$q=V\lambda=V\lambda_s+\underset{\downarrow}{S\lambda_s}$$

بخار جبرانی

- تراکم مجدد مکانیکی
  - با کمپرسور گریز از مرکز واسه ی بالا بردن فشار و دمای مقدار بخار ورودی
  - فاکتور اقتصادی یه مرحله‌ای در تا اندازه‌ی 10-15 مرحله‌ای [illegible]
  - روی فیلم ریزان بهتر جواب می ده
  - عامل اصلی هزینه‌هاش ، فشار بخار خروجی از کمپرسور
  - کاربردهاش : تغلیظ محلول‌های خیلی رقیق رادیواکتیو - تولید آب مقطر از آب دریا - تبخیر لیکور سیاه در صنعت کاغذسازی - تبخیر مواد حساس به گرما ، عصاره‌ی میوه‌جات - بلورسازی از محلول‌هایی که منحنی انحلال پذیری [illegible]

- تراکم مجدد حرارتی
  - با یه فواره (جت) - ارزون تره
  - فاکتور اقتصادی‌ش حدود 2 ه (بازدهی‌ش پایینه)
  - کاربرد توی تبخیر توی خلاء

$$\dot m_f h_f+\dot m_s\lambda_s=\dot m H+\dot m_v H_v$$

«کل - رطوبت»

① مقدمات

- رطوبت مطلق: $Y'_s = \frac{m_A}{m_B} = \frac{n_A M_A}{n_B M_B} = \frac{y_A M_A}{(1-y_A)M_B} = \frac{P_A^s M_A}{(P_t - P_A^s)M_B}$
- رطوبت مطلق مولی: $Y = \frac{n_A}{n_B} = \frac{y_A}{1-y_A}$

$$Y = Y'\frac{M_B}{M_A} , \quad y_A = \frac{Y'/M_A}{Y'/M_A + 1/M_B} = \frac{Y}{Y+1}$$

- رطوبت نسبی (اشباع نسبی): $Y'_R = R.H. = \frac{P_A}{P_A^s}\times 100$ → 0 : گاز خشک ، 100 : گاز اشباع
- رطوبت درصدی: $Y'_a = \frac{Y'}{Y'_s}\times 100 = \frac{P_A}{P_A^s}\times\frac{P_t - P_A^s}{P_t - P_A}\times 100$

بجز برای گاز خشک و گاز اشباع: $Y'_R \geq Y'_a$ (چون $P_A < P_A^s$)

$$V_H = \frac{RT}{P_t}\left(\frac{Y'}{M_A} + \frac{1}{M_B}\right) , \quad R = 0.7302\,\frac{ft^3.atm}{lbmol.°R} = 0.08206\,\frac{m^3.atm}{kgmol.K}$$

$$V_H = a + bY' \rightarrow \begin{cases} \text{if } Y' = 0 : V_H = V_D \\ \text{if } Y' = Y'_s : V_H = V_s \end{cases} \rightarrow V_H = V_D + \frac{Y'}{Y'_s}(V_s - V_D)$$

سرعت جرمی گاز مرطوب توی جریان: $G' = \frac{\dot m}{A} = \rho u = \frac{1+Y'}{V_H}u$

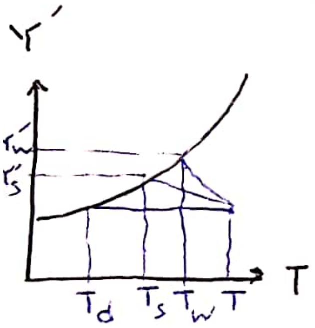
$$C_s = C_{P_B} + Y'.C_{P_A} , \quad H_V = Y'\lambda_0 + Y'C_{P_A}(T - T_0), \quad H_G = C_{P_B}(T - T_0), \quad H_\lambda = H_V + H_G = Y'\lambda_0 + C_s(T - T_0)$$

توی سیستم آب-هوا:
$T_w = T_s$

- دمای حباب مرطوب (T_w)
  - دمای پایدار غیر تعادلیه
  - دمای مایع روی پارچه‌ی خیس در گاز عبوری
  - پایین‌ترین دمایی که مایع می‌تونه بهش برسه
  - خطوط رطوبت سنجی

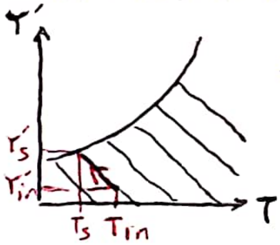
$$\frac{Y' - Y'_w}{T - T_w} = \frac{-h_y}{M_B\, k_y\, \lambda_w} = \frac{-C_s}{\lambda_w}\left(\frac{Sc}{Pr}\right)^m$$

- واسه‌ی اکثر سیستم‌ها
  - $\frac{Sc}{Pr} = Le > 1$
  - و شیب خط رطوبت سنجی از خط سرمایش آدیاباتیک بیشتره



- دمای اشباع آدیاباتیک (T_s)
  - هوای عبوری و جریان مایع واپسری (کولر آبی)
  - دمای مایع توش
  - به دمای حالت پایدار تعادلیه
  - خطوط سرمایش آدیاباتیک

$$\frac{Y'_s - Y'_{in}}{T_s - T_{in}} = -\frac{C_s}{\lambda_s}$$



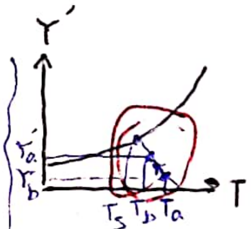
⇒ یعنی شرط کاهش دمای سیستم، افزایش رطوبته

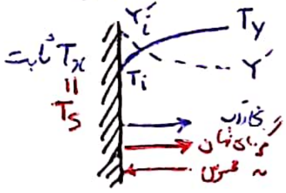
② رطوبت زنی و رطوبت زدایی

- رطوبت زنی آدیاباتیک ← هدف
  - رطوبت دهی به گاز
  - سرد کردن گاز
- تبخیر مایع در گردش با انرژی مخلوط گاز - بخار
- توی فاز مایع، گرادیان دما نداریم ($\uparrow\uparrow K$)
- اگه محفظه خیلی طولانی باشه، دمای مخلوط هم به T_s می‌رسه

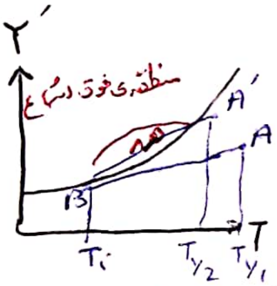
$$Z_T = H_{tG} \cdot N_{tG}$$

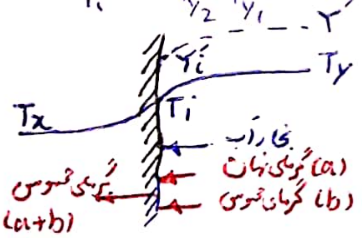
$$H_{tG} = \frac{G'_y C_s}{h_y a_H} , \quad N_{tG} = \ln\frac{(T_s - T_y)_{in}}{(T_s - T_y)_{out}}$$




Y'i
Ty
Y'
Ti
Tx ثابت
=
Ts
بخار آب
گرمای نهان
〃 محسوس

- رطوبت زدایی آدیاباتیک
  - میعان بخار (محلول) در تماس با مایع سرد
  - فقط توی فصل مشترک، حالت اشباع داریم
  - رطوبت زدایی بدون اینکه مخلوط تا نقطه‌ی اشباع سرد بشه انجام می‌شه




Y'
Y'i
Ty
Tx
Ti
بخار آب
گرمای نهان (a)
گرمای محسوس (b)
گرمای محسوس
(a+b)

③ برج خنک کننده

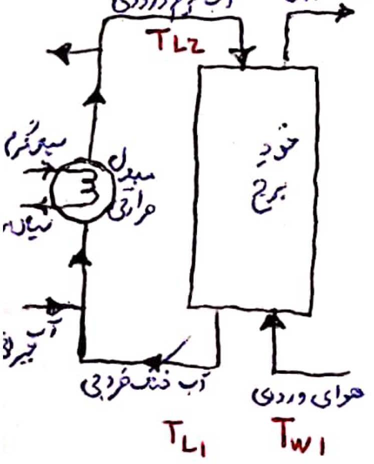
- خنک کردن مایع ورودی به وسیله‌ی هوا
- انرژی لازم در خود مایع تأمین می‌شه
- نزدیکی ← اختلاف دمای مایع خروجی با دمای حباب مرطوب مخلوط ورودی

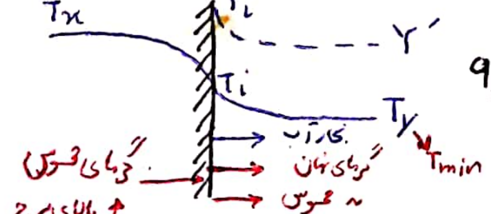
$$\Delta T_{approach} = T_{L_1} - T_{W_1}$$

- دامنه ← تغییرات دمای مایع توی برج

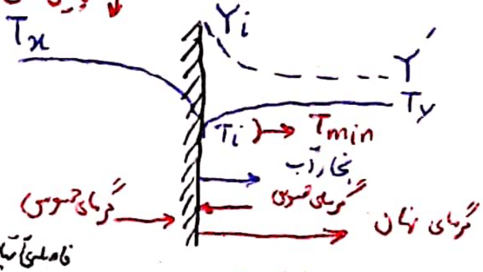
$$range = T_{L_2} - T_{L_1}$$

- سرمایش توی بالای برج بهتر انجام می‌شه


آب گرم ورودی
TL2
هوای خروجی
خود برج
3
مبدل حرارتی
سیال گرم
سیال
آب تبرید
آب خنک خروجی
هوای ورودی
TL1
TW1


Tx
Y'i
Y'
Ti
Ty
Tmin
بخار آب
گرمای نهان
〃 محسوس
گرمای محسوس
بالای برج
پایین برج

$$q_{s,L} = q_V + q_{s,V}$$


Tx
Y'i
Y'
Ty
Ti
Tmin
بخار آب
گرمای محسوس
گرمای محسوس
گرمای نهان

$$q_{s,L} + q_{s,V} = q_V$$

$$N_{tG} = \frac{H_{y_{out}} - H_{y_{in}}}{(H_i - H_y)_{ave.}} = \frac{\text{فاصله‌ی آنتالپی‌های ورودی و خروجی}}{\text{نیروی محرکه‌ی موجود}}$$

$$Z_T = H_{tG}\cdot N_{tG} , \quad H_{tG} = \frac{G'_y}{k'_y M_B a} , \quad N_{tG} = \int_{in}^{out}\frac{dH_y}{H_i - H_y}$$

HARVEST 66

«عمل - خشک کردن»

- نیروی محرکه‌ی خشک کردن جامدات، اختلاف فشار آب روی سطح جامد مرطوب و هوا

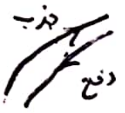
① مقدمات

- رطوبت مبنای تر (x):
  - $x = \frac{m_v}{m_v+m_s} = \frac{m_v}{m_w}$
  - $m_v+m_s=m_w$
  - $m_s=m_w(1-x)$
- رطوبت مبنای خشک:
  - $X=\frac{m_v}{m_s}=\frac{m_v}{m_w-m_v}$
  - $m_w=m_s(1+X)$

$X_c \propto \frac{\Delta T}{A}$

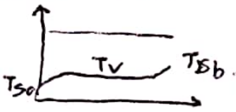
$\dot m_v=\dot m_s(X_a-X_b)$ ، $X=\frac{x}{1-x}$ ، $x=\frac{X}{1+X}$

- رطوبت ابتدایی (X_T)، رطوبت نهایی
- رطوبت تعادلی (X^*)
  - پایین ترین رطوبتی که با خشک کردن می‌شه بهش رسید
  - توی جذب و نیز کمی وابسته به اندازه‌ی ذره یا سطح ویژه‌ش
- رطوبت بحرانی (X_c)
  - رطوبتی که مکانیزم خشک شدن عوض می‌شه
  - خاصیت بهینه نیست و تابع ضخامت هم در سرعت خشک کردن
- رطوبت پیوندی ← رطوبت درونی
  - فشار بخار تعادلی کمتر از فشار بخار مایع خالص توی همون دما است
- غیرپیوندی ← رطوبت سطحی که با مکانیزم سرعت ثابت
- تفاوت بین اینا - خود ماده بستگی داره



Hysteresis [illegible]

$G=m_g(1+Y'_1)$



$\rightarrow T_{wb}$ گاز

- رطوبت آزاد
  - رطوبت آزاد $= X_T-X^*$ (نیروی محرکه انتقال جرم)
  - میزان رطوبتی که می‌شه ازش گرفت
  - وابسته به شرایط خشک کردن
  - هرچی هوا خشک‌تر باشه، مقدارش بیشتره

② مفاهیم

$\dot m_s(X_1-X_2)=\dot m_g(Y'_2-Y'_1)$

$R=-\frac{1}{A}\cdot\frac{dm_v}{dt} \Rightarrow R=-\frac{m_s}{A}\frac{dX}{dt}$ $[\frac{kg}{m^2.s}]=[\frac{lb}{ft^2.hr}]$

$R_c=\frac{q}{\lambda_i}=\frac{(h_c+U_k)(T_G-T_i)+h_R(T_R-T_i)}{\lambda_i}$

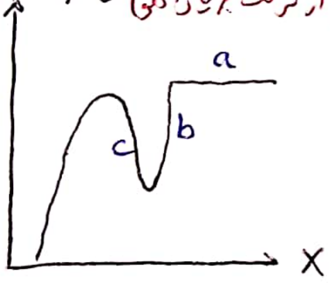
- دوره‌ی سرعت ثابت:

$h_c \propto R_c$
- $\propto G^{0.71-0.8} \Rightarrow R_c\propto V^{0.71-0.8}$ جریان موازی
- $\propto G^{0.37} \Rightarrow R_c\propto V^{0.37}$ " عمودی
- $\propto \frac{1}{t}\propto\frac{1}{s} \Rightarrow t\propto s$

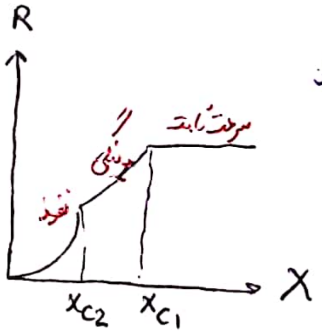
- دوره‌ی سرعت نزولی توی جامدات غیر متخلخل:

$R_c\propto\frac{1}{t}\propto\frac{1}{s^2}\Rightarrow t\propto s^2$ - نفوذ

Flux of drying مستقل از سرعت جریان هوا



- خمیرها
  - a ← سرعت ثابت
  - b ← وقتی رطوبت سطحی از بین بره
  - c ← جامد خورده می‌شه
    - مایع به جای اینکه با مویینگی بیاد سطح، با هوا جابجا می‌شه



- جامدات متخلخل
  - توی سرعت ثابت اول حفره‌های درشت‌تر خالی می‌کنه
  - توی قسمت مویینگی:

$R_c\propto\frac{1}{t}\propto\frac{1}{s}\Rightarrow t\propto s$

③ محاسبات

(A→2A : اگه جامد از دو طرف خشک می‌شه)

- دوره‌ی سرعت ثابت:

$t_c=\frac{\dot m_s}{R_cA}(X_1-X_2) \xrightarrow{\dot m_s=\rho SA} t_c=\frac{\rho s}{R_c}(X_1-X_2)$

- دوره‌ی ثابت و نزولی:

$t_L=\frac{m_s}{A}\left(\frac{X_1-X_c}{R_c}+\frac{X_c-\cancel{X'}}{\cancel{R_c-R'}}\ln\frac{R_c}{R_2}\right)$ R_c ؛ $R_c\rightarrow X_c$ ، $R_2\rightarrow X_2$

- خشک کن انجمادی (تصعیدی)
  - دارای مواد با حساسیت بالا به دما
  - دارویی دلایل درست کردن
  - معمولی چند ساعت طول می‌کشه ($t\propto s^2$)

- برج خشک کن ← با سرعت زیادی ~~[illegible]~~ چرخش (مواد بلور شکسته و رنگدانه‌های چسبی) (مواد شیمیایی و صنعتی شکل X)
- خشک کن های دوار (Rotary)
  - مناسب دانه‌ی مواد دانه‌ای تولید سیمان و مواد معدنی
  - شرایط عملیاتی
    - حرارت مستقیم (امکان آلودگی داره) در کارخانه‌های قند، شکر، نمک، [illegible]
    - " غیرمستقیم
    - فشار
      - گردن - مواد با ارزش دارویی
      - موادی که گرایش به پودر شدن دارن
  - $1.5<N_p<2.5$
  - ماندگی ذرات جامد

$\Phi_D=\Phi_{DO}\pm kG$

بدون ذرات گاز ؛ دانه‌هو

- نوار نقاله پیچی (Screw Conveyor)
  - پیوسته - حرارت غیرمستقیم - قابل کاربرد توی خلأ و متوسط
  - مناسب برای کریستال و حلال زدایی از جامدات

④ خشک کن های واسه جامدات و خمیرها

- سینی دار (Batch گردون)
  - کاربرد: مواد رنگی دارویی - کیک شیرینی
  - انواعش
    - انجمادی
      - مواد حساس به دما
      - با کاهش سازگاری کنه
    - تحت خلأ
  - + بودن های شکستنی و کمی بودن
  - مدت خشک شدن: $3-48^{hr}$
- تونلی
  - عملکردش مثه سینی‌دار ولی مداوم
  - معمولی هم
- تسمه نقاله
  - جهت جریان هوا: به سمت پایین
  - زمان: $5-120^{min}$
  - کاربرد
    - مواد درشت دانه‌ای، پلیمری و الیافی
    - خمیرها و کلوخه‌های ریز (با پیش نرم کردن)
  - هزینه و مصرف انرژیشون کمه

- بستر سیال
  - زمان ماند
    - فقط غیرپیوندی : 30-120s
    - پیوندی : 15-30 min
  - امروزه پرکاربردان
  - از سیکلون ها یا صافی های کیسه ای واسه بازیابی ذرات با اندازه مطلوب استفاده میشه

- آنی Flash
  - زمان ماند : 3-9s
  - بسیار مناسب واسه مواد حساس به دما
  - گاز ورودی : 650°C

⑤ خشک کن های واسه محلول ها و دوغاب ها

- پاششی (مهم‌ترین)
  - مشابه آنی - زمان
    - هم‌جهت : 3-6s
    - ناهم‌جهت : 25-30s
  - کاربرد
    - محلول های حساس به دما
    - تولید ذره ی کروی توخالی و متخلخل
    - مواد شیمیایی آلی و غیرآلی و شوینده
    - شیر، قهوه و کاکائو
  - می‌تونه کار تبخیرکن و بلورساز و خردکن رو هم بکنه
  - معایب
    - بازده ↓
    - گرمای اتلافی ↑ از گازهای خروجی
    - ماندگی ذرات با اندازه توی گازهای خروجی → استفاده از سیکلون ها

- فیلم نازک
  - مزایا
    - گاز ورودی کم
    - بازده حرارتی ↑
    - اتلاف حرارتی ↓
  - معایب
    - هزینه ↑
    - کم بودن سطح انتقال حرارت
  - کاربرد : بازیابی حلال از محلول جامد

- استوانه‌ای Drum
  - حاوی غلتک داخلی کاردک (زمان ماند : 6-15s)
  - کاربرد
    - محلول های حساس به دما رقیق
    - ~ غلیظ
    - ~ از مواد بسیار انحلال پذیر
    - دوغاب های با وزن متوسط مناسب
  - واسه ی مواد رسوب‌زا نباید استفاده شه

- در مورد خشک کن های [آدیاباتیک (مستقیم) / غیر " (غیر ")] ، از نظر هزینه [ارزون تر / گرون تر] و از نظر بازده گرمایی [کمتر / بیشتر]

- واسه ی جامدات و خمیرهایی که
  - هم زدن نمی‌خوان : سینی دار - نوار نقاله
  - هم زدن می‌خوان : برجی - دوار - بستر سیال - آنی

HARVEST 67

«عمل - جذب سطحی»

① مفاهیم

↑P و ↓T داده‌ی جذب بهتر

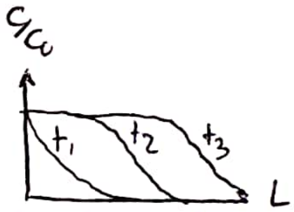
ضریب گزینش پذیری: $\gamma = \frac{\left(\frac{\text{جزء وزنی جذب شونده}}{\text{" " همراه}}\right)_{\text{جاذب}}}{\left(\frac{\text{" " جذب شونده}}{\text{" " همراه}}\right)_{\text{محلول}}} = \frac{\left(\frac{X_A}{X_B}\right)}{\left(\frac{Y_A}{Y_B}\right)}$ ، $\gamma > 1$

- یه روش غیر مستقیم
- عامل جداسازی: اختلاف قوی در وزن مولکولی، شکل و یا قطبیت
- شن‌های رس و خاک‌های فعال شده → داده رنگ‌بری از فرآورده‌های نفتی
- غربال‌های مولکولی → سطح گسترده‌ای دارن و مقدار زیاد جذب روی سطح شون انجام میشه
  → کاربرد: تهیه‌ی هیدروژن خالص
- هرچی قطر بزرگتر → جداسازی خوبی رو انجام میده
  → انرژی بیشتری هم می‌خواد
- در کل سرعت جذب از مایعات، از سرعت جذب از گازها کمتره
- هرچی حلالیت یه جزء توی حلال کمتر باشه، میزان جذبش بیشتره

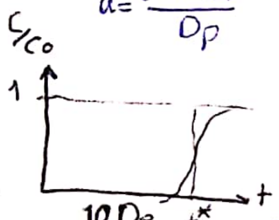
• هم دمای مطلوب تره که توی یه غلظت کمی از جذب شونده توی گاز یا سیال، بیشترین مقدار جذب رو توی واحد جرم جاذب داشته باشه

$W_i = W_{max}\left(\frac{k_iC_i}{1+\sum k_iC_i}\right)$: • هم دمای لانگمویر → با فرض اینکه یکنواخت بودن سطح جاذب
→ داده‌ی گازهایی که ضعیف جذب می‌شن

$Y = \overset{\downarrow}{m} X^{n\uparrow}$: • هم دمای فروندلیش → داده‌ی جذب سطحی از مایعات رقیق



$a = \frac{6(1-\varepsilon)}{D_p}$



$\frac{1}{k_c} = \frac{1}{k_{c,ext}} + \frac{1}{k_{c,int}}$ ، $k_{c,int} = \frac{10 D_e}{D_p}$

ضریب نفوذ

قطر ذره‌ی جاذب

$\overset{\longleftrightarrow}{t^*}$ MTZ

② اصول

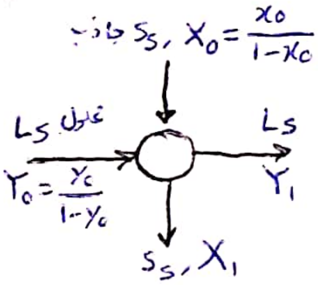
- MTZ → منطقه‌ای که توش بیشترین انتقال و تغییر غلظت وجود داره
  → حالت ایده‌آل‌ترش (باریک) → انتقال جرم سریع (منجر به سرعت انتقال بالا شده)
  → شیب منحنی زیاده

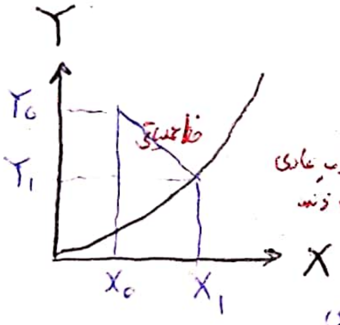
$LUB = 1-\frac{W_D}{W_{sat}}$ ← طول بستر مصرف نشده
← تا چه حد با طول کل بستر تغییر می‌کنه

- داده‌ی تغییر مقیاس باید → شکل و اندازه‌ی ذرات جاذب
  → و سرعت ظاهری شون → یکی باشن

③ عملیات ← مقادیر جرمی

• یه مرحله متقاطع





$L_s = L_0(1-y_0) = L_1(1-y_1)$

$S_s = S_0(1-x_0) = S_1(1-x_1)$

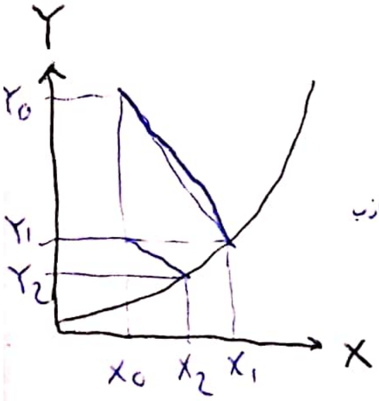
جرم جاذب عاری از جذب شونده

جرم جاذب همراه جذب شونده

$$\frac{Y_0-Y_1}{X_0-X_1} = \frac{-S_s}{L_s}$$

فروندلیش و جاذب تمیز → $\frac{S_s}{L_s} = \frac{Y_0-Y_1}{\left(\frac{Y_1}{m}\right)^{\frac{1}{n}}}$

• چند مرحله متقاطع

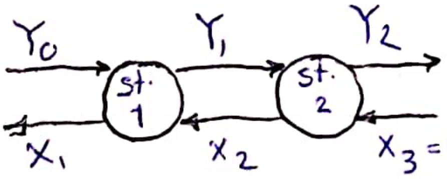


$$\frac{S_{s_1}+S_{s_2}}{L_s} = m^{1/n}\left(\frac{Y_0-Y_1}{Y_1^{1/n}} + \frac{Y_1-Y_2}{Y_2^{1/n}}\right) *$$

حداقل جاذب: $\frac{d}{dY_1}\left(\frac{S_{s_1}+S_{s_2}}{L_s}\right)=0 \Longrightarrow \left(\frac{Y_1}{Y_2}\right)^{\frac{1}{n}} - \frac{1}{n}\cdot\frac{Y_0}{Y_1} = 1-\frac{1}{n}$

داده‌ی فروندلیش $n=1$! : $Y_1=\sqrt{Y_0Y_2} \Longrightarrow \frac{S_{s_1}}{L_s} = \frac{S_{s_2}}{L_s} = \left(\sqrt{\frac{Y_0}{Y_2}}-1\right)m^{1/n}$

• چند مرحله‌ای ناهمسو



$$\frac{S_s}{L_s} = \frac{Y_0-Y_1}{X_1-X_2} = \frac{Y_0-Y_1}{\left(\frac{Y_1}{m}\right)^{\frac{1}{n}} - \left(\frac{Y_2}{m}\right)^{\frac{1}{n}}}$$

$$\frac{S_s}{L_s} = \frac{Y_1-Y_2}{X_2-0} = \frac{Y_1-Y_2}{\left(\frac{Y_2}{m}\right)^{\frac{1}{n}}}$$

$$\Rightarrow \frac{Y_0}{Y_2}-1 = \left(\frac{Y_1}{Y_2}\right)^{\frac{1}{n}}\cdot\left(\frac{Y_1}{Y_2}-1\right)$$

- عواملی که زمان نقطه‌ی شکست رو کم می‌کنن
  → ↑ شدت جریان
  → ↓L
  → ↓ ظرفیت جاذب
  → ↑ اندازه‌ی ذرات جاذب
  → ↑ غلظت اولیه‌ی حل شونده در خوراک

• Elution: دفع کردن

HARVEST 68

«عمل - لیچینگ»

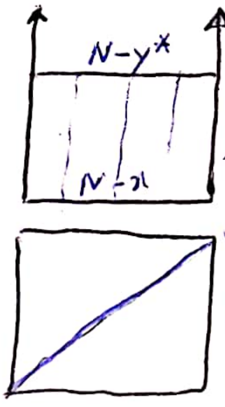
① مقدمات

- $\uparrow T$ (بجز چغندر قند و اونایی که تجزیه می‌شن)
- واسه‌ی حلال فراره ← مخازن سربسته تحت فشار

- استخراج توده‌ای واسه‌ی سنگ معدن های با درصد خیلی کم

$\downarrow \mu$

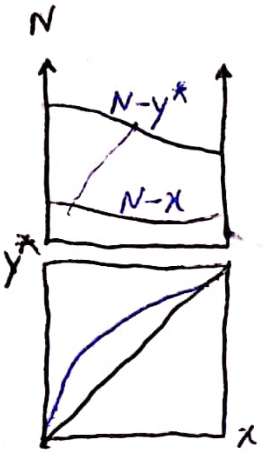
② منحنی های تعادلی



تغییرات ماندگی X

محلول خروجی و محلول همراه جامد، غلظت های یکسانی دارن (پس tie ها عمودین)

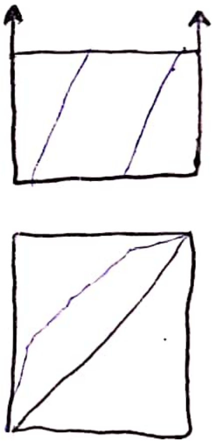
$\frac{y^*}{x} = 1$



جذب سطحی ✓

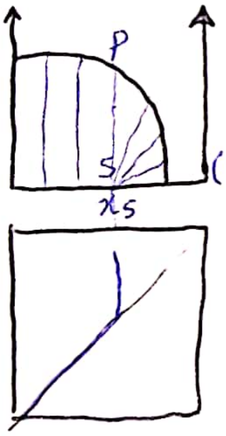
زمان تماس ناکافی

تغییرات ماندگی ✓



جذب سطحی ✓

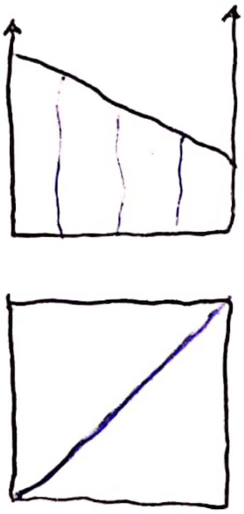
تغییرات ماندگی X



- حلالیت حل‌شونده توی حلال محدوده
- سمت چپ PS

← جذب سطحی نداریم (tie ها عمودی)

← $y^* = x$



جذب سطحی X

تغییرات ماندگی ✓

$\frac{y^*}{x} = 1$

- کی $\frac{y^*}{x} > 1$
  - ← زمان تماس ناکافی
  - ← جذب سطحی حل‌شونده
  - ← توزیع نامساوی حل‌شونده بین نازهای ایجاد شده

- کی tie عمودی نیست
  - ← زمان ناکافی تماس
  - ← حل‌شونده به طور Selective جذب شه
  - ← وقتی جذب سطحی باشه

- اگه تغییرات ماندگی نباشه، $N-y$ و $N-x$ ثابت و موازی

HARVEST 69

«عمل - تبلور»

- مراحل ایجاد بلور : خوشه ← جنین ← هسته ← بلور
  cluster Embiyo Nucleus Crystal

- معمولی گرمازا (تابع دما و غلظت)

- هسته‌زایی
  - اولیه ← هسته‌زایی توی فضا بی بلور (20% [فوق اشباعیت])
    - دو نوعه
      - همگن ← مربوط به تشکیل ذرات جدید توی یه فاز (توی برخی واکنش‌های رسوبی)
        - نیروی محرکش : فوق اشباعیت محلول
      - ناهمگن ← بخاطر وجود کاتالیست یا ناخالصی توی محلول
  - ثانویه ← یعنی تشکیل هسته توی حضور بلورهایی که از قبل درست شده)
    - دو نوعه
      - با قطع سیال ← از تنش برشی سیال ناشی می‌شه
      - تماسی ← از برخورد بلور با دیواره‌ی کریستال‌ساز، همزن یا دیگر بلورها ایجاد می‌شه
        - رایج‌ترین نوع توی ظروف تبلور صنعتی

← α [فوق اشباعیت]

- رشد بلور
  - نفوذ تا سطح ← جذب سطحی
  - وابستگی‌ها
    - فوق اشباعیت $\Delta T = T - T^{sat}$
    - دما
    - اندازه کریستال
    - عنصر ناخالص

  → ↑ دیفیوزیته

$\Delta T < 9^{\circ C}$: رشد خوب

$1 < \Delta T < 8^{\circ C}$: ″ پوشیده

$8^{\circ C} < \Delta T$: ″ خاردارتر

- توزیع اندازه‌ی بلور C.S.D.
  - اولین پارامتری که کنترلش می‌کنه : سرعت هسته‌زایی
  - مهم‌ترین عامل توی تبلور
  - با برهم‌کنش سرعت‌های هسته‌زایی و رشد تعیین می‌شه
  - مستقل از موازنه‌ی انرژی و مواد
  - اختلاط یکنواختی ذرات بلور، توی یکنواختی می‌ده
  - دامنه محدود گردش می‌شه جریان برگشتی نزد

- قانون ΔL : «اگر همه‌ی بلورها توی یه میدان فوق اشباعیت یکسان باشند و آنگاه، با سرعتی تحت تأثیر فوق اشباعیت رشد کنن، رشد همه‌ی بلورها به یه اندازه‌ست که مستقل از اندازه‌ی بلوره»

- اندازه‌ی بلور غالب (L_{pr}) :

$L_{pr} = 3G\tau$ ← زمان اقامت

- روش‌ها ش
  - سرد کردن (وقتی حلالیت ↑↑ دما)
  - تبخیر کردن (″ ″ ربطی به دما نداره)
  - تبخیر تحت خلأ
  - نمک‌دار کردن (اضافه کردن جزء سوم و ترکیب فیزیکی‌ش با املاح)
  - ایجاد رسوب (″ ″ ″ ″ داشتن‌ش با اجزاء حل‌شونده)

- پدیده‌ی تکامل استوالد
  - یه بلور کوچیک می‌تونه با یه محلول فوق اشباع توی تعادل (البته ناپایدار) باشه
  - زمین بلور کوچیک توی حضور بلور بزرگتر متلاشی می‌شه تا جایی که بلور کوچیک ناپدید بشه، رشد کنه

$\frac{C}{C_{sat}} =$ درجه‌ی فوق اشباعیت ←

- معادله کلوین : $$\ln\alpha = \frac{4V_m\sigma}{\nu RTL} \Rightarrow \ln\alpha \propto \frac{\sigma}{T}$$

HARVEST 70

«کیک - فیلتر»

$$\Delta P_T = P_{in} - P_{out} = \underset{\text{cake}}{\Delta P_c} + \underset{\text{medium}}{\Delta P_m}$$

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

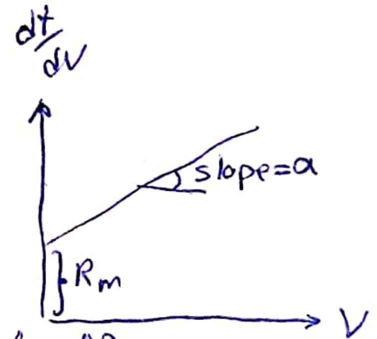
ΔP_c با گذشت زمان زیاد میش

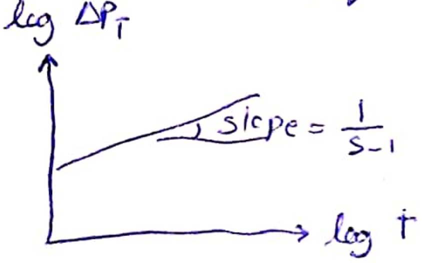
$$\underset{\substack{\downarrow \\ \text{مقاومت ویژه کیک}}}{\alpha} = \frac{g_c A(-\Delta P_c)}{\boxed{\mu u} m_c} = \frac{k_1 \left(\frac{S_p}{V_p}\right)^2 (1-\varepsilon)}{\rho_p \varepsilon^3} \quad \Big| \Rightarrow \Delta P_c = \frac{\boxed{\mu u} m_c \alpha}{g_c A}$$

مقاومت ویژه محیط صافی (اکثراً ثابت)

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

$$\Rightarrow \Delta P_T = \frac{\mu u}{g_c} \left(\frac{m_c \alpha}{A} + R_m \right)$$





ضریب تراکم پذیری کیک (0.2<S<0.8)

- کیک های تراکم پذیر :

$$\alpha = \alpha_0 (\Delta P)^{s}$$