

## انتقال جرم و عملیات واحد ۱ و ۲

۱ - بر اساس تئوری نوشوندگی سطح:

(۱) ضریب انتقال جرم متناسب با توان یکم ضریب نفوذ است.

(۲) مدت زمان اقامت گردانه‌ها در جوار فصل مشترک متغیر است.

(۳) سیستم پایدار (steady state) می‌باشد.

(۴) تقریباً می‌توان سیستم را در حالت تعادل فرض کرد.

۲ - تشابه چیلتون - کالبرن در کدام یک از موارد زیر قابل استفاده می‌باشد؟

(۱) جریان آرام و درهم درون لوله

(۲) جریان آرام در لوله و صفحه

(۳) جریان آرام روی صفحه و درهم درون لوله

(۴) همواره قابل استفاده است.

۳ - محاسبه ضرایب انتقال جرم به کمک تشابه با انتقال حرارت در کدام یک از حالات زیر نتیجه بهتری می‌دهد؟

(۱) محاسبه  $k'_y$  برای هر شدت انتقال جرم (خواه زیاد، خواه کم)

(۲) محاسبه  $k_y$  برای شدت‌های کم انتقال جرم

(۳) در صورتی که واکنش شیمیایی به کندی رخ دهد.

(۴) موارد ۱ و ۲

۴ - اگر  $D_{AB}$  ضریب نفوذ،  $\theta$  زمان تماس و  $Z_b$  سائز eddy باشد، در چه صورت می‌توان از تئوری فیلم استفاده کرد؟

$$(1) \frac{D_{AB}\theta}{Z_b^2} > 0.6 \quad (2) \frac{D_{AB}\theta}{Z_b^2} < 0.6 \quad (3) \frac{Z_b^2}{D_{AB}\theta} > 9 \quad (4) \frac{Z_b^2}{D_{AB}\theta} < 9$$

۵ - می‌خواهیم رطوبت یک جسم جامد با جرم خشک  $160 \text{ kg}$  را از  $50\%$  به  $20\%$  برسانیم. اگر سطح جسم  $4 \text{ m}^2$  باشد و در منطقه شدت ثابت

عملیات صورت گیرد و  $N_c = 3 \times 10^{-3} \frac{\text{kg}}{\text{m}^2 \cdot \text{s}}$  باشد. زمان خشک کردن چقدر است؟ (رطوبت‌ها بر مبنای مرطوب هستند)

(۱)  $2000 \text{ s}$  (۲)  $4000 \text{ s}$  (۳)  $5000 \text{ s}$  (۴)  $10000 \text{ s}$

۶ - در شرایطی که گرما از یک سمت به جامد داده می‌شود و خشک شدن از سمت دیگر صورت می‌گیرد، مکانیزم حرکت رطوبت در داخل جامد

کدام است؟

(۱) نفوذ بخار (۲) نفوذ مایع (۳) حرکت موینگی (۴) چروکیدگی لایه‌های خارجی

۷ - با ..... دما و ..... ویسکوزیته مایع، شدت استخراج از جامدات افزایش می‌یابد.

(۱) کاهش - افزایش (۲) افزایش - کاهش (۳) کاهش - کاهش (۴) افزایش - افزایش

۸ - اگر  $H_R$  اشباع نسبی (رطوبت نسبی) و  $H_A$  درصد اشباع (درصد رطوبت مطلق) و  $Y_s$  رطوبت مطلق مولی اشباع باشد. کدام رابطه صحیح

است؟ (با فرض برابر بودن وزن مولکولی گاز خشک و مایع تبخیر شده)

$$(1) H_R = \frac{H_A}{1 + Y_s(1 + H_A)} \quad (2) H_A = \frac{H_R}{1 + Y_s(1 + H_R)} \quad (3) H_R = \frac{H_A(1 + Y_s)}{1 + Y_s H_A} \quad (4) H_A = \frac{H_R(1 + Y_s)}{1 + Y_s H_R}$$

۹ - خطوط رابط (tie line) در عملیات استخراج از جامدات معمولاً دارای شیب ..... هستند.

(۱) صفر (۲) بی‌نهایت (۳) مثبت (۴) منفی

۱۰ - در صورتی خطوط بست (tie line) در فرآیند leaching عمودی و به موازات هم هستند که:

(۱) منحنی تعادل و تبادل با هم موازی باشند.

(۲) غلظت فازها در هر مرحله ثابت باشد.

(۳) غلظت جسم حل شونده در هر دو فاز برابر باشد.

(۴) درجه حرارت و فشار بالا باشد.

۱۱ - مخلوط بخار آب - هوا در فشار مشخصی دارای دمای خشک  $60^\circ \text{C}$  می‌باشد. در این شرایط دمای حباب مرطوب  $35^\circ \text{C}$ ، رطوبت

هوا  $0.02$ ، گرمای نهان تبخیر  $693 \frac{\text{kcal}}{\text{kg}}$  و رطوبت اشباع در دمای  $35^\circ \text{C}$  برابر  $0.03$  است. در این شرایط شیب خط رطوبت سنجی برابر با

کدام گزینه است؟

(۱)  $-5 \times 10^{-4}$  (۲)  $-3/33 \times 10^{-4}$  (۳)  $0.3 \times 10^{-4}$  (۴) اطلاعات مسئله کافی نمی‌باشد.

۱۲ - کدام یک از گزینه‌های زیر نادرست است؟

- (۱) در ناحیه خشک کردن ثابت، زمان خشک کردن به ضخامت جسم خشک شونده مربوط نمی‌شود.  
 (۲) در صورتی که مکانیزم خشک کردن جابه‌جایی باشد شدت خشک کردن مستقل از ضخامت خشک شونده می‌باشد.  
 (۳) در ناحیه خشک کردن نزولی زمان خشک کردن متناسب با مجذور ضخامت جسم خشک شونده می‌باشد. (برای جامدات غیرمتخلخل)  
 (۴) همه موارد صحیح می‌باشند.

۱۳ - تحت چه شرایطی معادلات جرم، حرارت و مومنتوم مشابه خواهند بود؟

- (۱) واکنش هموژن و تولید گرما نداشته باشیم اما گرادیان فشار موجود باشد.  
 (۲) تلفات لزجی ناچیز باشد اما شتاب جاذبه وجود داشته باشد.  
 (۳) واکنش هموژن نداشته باشیم اما تولید گرما و گرادیان فشار موجود باشد.  
 (۴) در هیچ شرایطی معادلات جرم، حرارت و مومنتوم مشابه نخواهند بود.

۱۴ - بر طبق نظریه (Penetration Depth) (نفوذ عمقی) ضریب انتقال جرم:

- (۱) با جذر ضریب نفوذ مولکولی مرتبط است.  
 (۲) با توان  $\frac{1}{3}$  ضریب نفوذ مولکولی مرتبط است.  
 (۳) با توان سوم ضریب نفوذ مولکولی مرتبط است.  
 (۴) با  $\frac{2}{3}$  ضریب نفوذ مولکولی مرتبط است.

۱۵ - طبق تئوری فیلم نفوذ چرخانه‌ای در بالک سیال:

- (۱) بی‌نهایت است.  
 (۲) صفر است.  
 (۳) با شیب خطی برحسب عمق سیال تغییر می‌کند.  
 (۴) در برخی موارد بی‌نهایت است و در برخی موارد یک می‌باشد.

۱۶ - در کدام یک از مدل‌های انتقال جرم سیستم در حالت پایا فرض شده است؟

- (۱) تئوری فیلم (۲) تئوری تجدید سطح (۳) تئوری نفوذی (۴) تئوری لایه

۱۷ - اگر نسبت عدد ..... باشد، ..... و اگر ..... باشد، ..... در انتقال جرم غالب است.

- (۱)  $\frac{Gr}{Re^2}$ ، بیشتر از ۱، جابجایی آزاد، کمتر از ۱، جابجایی اجباری (۲)  $\frac{Gr}{Pr^2}$ ، کمتر از ۱، جابجایی اجباری، بیشتر از ۱، جابجایی آزاد  
 (۳)  $\frac{Gr}{Sc^2}$ ، بیشتر از ۱، جابجایی اجباری، کمتر از ۱، جابجایی آزاد (۴)  $\frac{Gr}{Sh^2}$ ، کمتر از ۱، جابجایی آزاد، بیشتر از ۱، جابجایی اجباری

۱۸ - اگر عدد شروود متوسط برای یک صفحه مسطح در جریان آرام از روی آن برابر ۷۰ باشد، عدد شروود در انتهای صفحه چه مقداری خواهد بود؟

- (۱) ۲۰ (۲) ۱۴۰ (۳) ۳۵ (۴) ۷۰

۱۹ - در انتقال جرم در جریان درهم سیالات، نسبت ضریب نفوذ مولکولی (D) به کل ضریب نفوذ (D + E<sub>D</sub>) به کدام صورت صحیح است؟

(E<sub>D</sub> ضریب نفوذ eddy)

- (۱)  $\frac{1}{1 + Sh \cdot \frac{E_D}{K}}$  (۲)  $\frac{1}{1 + Sc \cdot \frac{E_D}{v}}$  (۳) ۱ (۴)  $\frac{1}{1 + \frac{E}{v}}$

۲۰ - در تئوری لایه آرام همراه با انتقال جرم، حرارت و مومنتوم چه رابطه‌ای بین ضخامت‌های لایه مرزی سرعت (σ)، لایه مرزی حرارتی (σ<sub>T</sub>) و لایه

مرزی غلظت (σ<sub>C</sub>) وجود دارد؟

- (۱)  $\frac{\sigma}{\sigma_T} = Pr^{\frac{1}{3}}$  (۲)  $\frac{\sigma}{\sigma_C} = Sc^{\frac{1}{3}}$  (۳)  $\frac{\sigma}{\sigma_C} = \left(\frac{Sc}{Pr}\right)^{\frac{1}{3}}$  (۴) گزینه‌های ۱ و ۲

## انتقال جرم و عملیات واحد ۱ و ۲

۱ - گزینه «۲»

تئوری نوشوندگی سطح (Surface Renewal)

این تئوری شبیه تئوری رسوخ می باشد با این تفاوت که زمان باقی ماندن ذرات مایع در سطح مشترک مساوی در نظر گرفته نمی شود. اگر  $S$  را سرعت جایگزینی ذرات در نظر بگیریم، بر اساس این تئوری نتیجه زیر برای شار متوسط حاصل می شود:

$$N_{A,av} = \sqrt{D_{AB} \cdot S} (C_{Ai} - C_{Ao}) \quad , \quad K_{L,av} = \sqrt{D_{AB} \cdot S}$$

در این تئوری هم مثل تئوری رسوخ (Penetration)  $K_{L,av}$  متناسب با  $D_{AB}^{1/5}$  می باشد.  
نکته: دانستن فرضیات و احکام تئوری های انتقال جرم در کنکور ارشد الزامی است.

۲ - گزینه «۳»

تشابه رینولدز - کلبرن و تشابه چیلتون - کلبرن

در انتقال حرارت از تشابه حرارت و سیالات داریم (آنالوژی رینولدز - کلبرن):  
 $J_H = St_H \cdot Pr^{1/3} = \frac{C_f}{2} \quad (1)$

که  $C_f$  ضریب اصطکاک سیال با سطح جامد است و از مباحث سیالات می دانیم که تابع عدد رینولدز است. (البته در جریان های درهم تابع زبری نسبی هم است) مطابق معادله فوق ضریب انتقال حرارت  $h$  که در عدد استانتون  $St_H$  نهفته است با ضریب اصطکاک مربوط می شود یعنی اگر بتوانیم به طریقی ضریب اصطکاک را محاسبه کنیم مطابق معادله فوق می توانیم ضریب انتقال حرارت را محاسبه کنیم. البته رابطه فوق در تمام حالات به جز جریان آرام درون لوله ها برقرار است.

مشابه معادله فوق در انتقال جرم تشابه چیلتون کلبرن است:

$$J_D = St_D \cdot Sc^{1/3} = \frac{C_f}{2} \quad (2)$$

ملاحظه می شود که ضریب انتقال جرم  $k$  (یا  $F$ ) در عدد استانتون  $St_D$  مستتر است و با ضریب اصطکاک  $C_f$  (که فقط تابع عدد رینولدز است) رابطه مستقیم دارد. یعنی اگر بتوانیم ضریب اصطکاک را به طریقی حساب کنیم، طبق معادله چیلتون - کلبرن می توانیم ضریب انتقال جرم را هم محاسبه کنیم. از ترکیب معادلات ۱ و ۲ داریم:

در تشابه انتقال جرم و حرارت گروه های بدون بعد  $J_H$  و  $J_D$  با هم برابرند و فقط تابعی از عدد رینولدز می باشند.

نکته: تشابه چیلتون - کلبرن ( $J_D$ ) را در جریان آرام و درهم روی صفحه و جریان درهم درون لوله می توان به کار برد اما برای جریان آرام درون لوله قابل استفاده نیست.

### ۳ - گزینه «۴»

تشابه انتقال جرم و حرارت (روابط مربوط به  $Sh$  و  $Nu$ )

رابطه زیر برای  $Nu$  زمانی صحیح است که این رابطه از روش ون کارمن بدست آمده و به انتقال حرارت از  $x=0$  شروع شود. شرطی صحیح است که انتقال جرم از  $x=0$  شروع شود.

$$\begin{aligned} 1- \text{جابجایی اجباری، جریان آرام، به موازات صفحه افقی (دما ثابت دیواره - غلظت ثابت دیواره)} \\ Nu_x = 0.332 Re_x^{1/2} Pr^{1/3} \quad Sh_x = 0.332 Re_x^{1/2} Sc^{1/3} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 2- \text{جابجایی اجباری، جریان درهم، به موازات صفحه افقی (دما ثابت دیواره - غلظت ثابت دیواره)} \\ Nu_x = 0.0296 Re_x^{4/5} Pr^{1/3} \quad Sh_x = 0.0296 Re_x^{4/5} Sc^{1/3} \end{aligned}$$

$$Nu = Sh = 3/66$$

۳- جابجایی اجباری، جریان آرام، درون لوله‌ها (توسعه یافته) (شار ثابت دیواره، شار انتقال جرم ثابت دیواره - دما ثابت دیواره، غلظت ثابت دیواره)

$$Nu = Sh = 4/364$$

۴- جابجایی اجباری، جریان درهم، درون لوله‌ها  
۵- سیال ساکن در اطراف کره ( $Sh = Nu = 2$ )

$$6 \text{ سیال متحرک در اطراف کره } (Nu = 2 + a(Gr_H \cdot Pr)^n) \text{ و } (Sh = 2 + a(Gr_D \cdot Sc)^n)$$

۷- انتقال جرم از یک گاز به درون یک لایه مایع ریزان  
۸- جریان سیال درون ذرات بستر ثابت

**نکته:** محاسبه ضرایب انتقال جرم به کمک تشابه با انتقال حرارت برای محاسبه  $k'_y$  برای هر شدت انتقال جرم (کم یا زیاد) و محاسبه  $k_y$  فقط برای شدت‌های کم انتقال جرم بهترین نتیجه را می‌دهد.

قسمتی از پاسخ از کتاب انتقال جرم دکتر بهمنیار و کتاب انتقال حرارت هولمن نقل شده است. برای کسب اطلاعات کامل‌تر در این زمینه به فصل ششم کتاب انتقال جرم نامبرده و فصل پنجم کتاب انتقال حرارت هولمن مراجعه شود.

**نکته:** تمامی کلیات، فرضیات، شرایط و نتایج مربوط به تشابه پدیده‌های انتقال (جرم - حرارت - مومنتوم) و تفاوت‌های آنها در رابطه با ضریب انتقال، معادلات و روابط اعداد بدون بعد باید کاملاً و به درستی در ذهن دانشجو شکل گرفته باشد.

### ۴ - گزینه «۱»

تئوری لایه (Film)

در این تئوری فرض می‌شود که مقاومت انتقال جرم در یک لایه خاص خلاصه می‌شود که مکانیسم انتقال جرم در این لایه فقط به صورت نفوذ است. کاربرد این تئوری زمانی است که ضخامت لایه ( $Z_f$ ) بسیار نازک فرض می‌شود به طوری که مقدار ماده حل شده موجود در لایه در مقایسه با آنچه از لایه عبور می‌کند بسیار کم باشد یا به عبارت دیگر گرادینان غلظت به سرعت برقرار شود. به علاوه زمان تماس دو فاز به اندازه‌ای زیاد در نظر گرفته می‌شود که پروفایل غلظت شبیه به حالت پایدار می‌گردد. بنابراین در این تئوری می‌توان از قانون اول فیک استفاده کرد:

$$\frac{\partial^2 C_A}{\partial Z^2} = 0 \quad N_A = -D_{AB} \frac{\partial C_A}{\partial Z} = -D_{AB} \frac{C_{A_2} - C_{A_1}}{Z_f} \Rightarrow$$

$$N_A = \frac{D_{AB}}{Z_f} (C_{A_1} - C_{A_2}) = K \Delta C \Rightarrow \text{در تئوری لایه، } K = \frac{D_{AB}}{Z_f} \text{ یعنی } K \text{ متناسب با } D_{AB} \text{ است.}$$

نکته: اگر  $\frac{D_{AB}\theta}{Z_b^2} > 0.6$  باشد از تئوری فیلم می‌توان استفاده کرد.

\* شرایط و نتایج تئوری Film مهم و کاربردی در کنکور می‌باشد.

## ۵ - گزینه «۴»

اگر جامد مرطوبی در تماس با هوای داغ قرار گیرد، رطوبت آن خارج شده و وارد فاز گازی می‌شود. خشک کردن آخرین مرحله در عملیات انتقال جرم محسوب شده و بعد از خشک کردن، مرحله بسته‌بندی محصول قرار دارد.

### انواع رطوبت

از آن جایی که جرم جامد مرطوب ( $m_{wet}$ ) شامل جامد خشک ( $L_s$ ) و جرم آب ( $m_w$ ) می‌باشد داریم:

$$\left. \begin{array}{l} \text{(۱) مبنای مرطوب (wet Basis): } x = \frac{\text{kg of } H_2O}{\text{kg of wet solid}} \\ \text{(۲) مبنای خشک (Dry Basis): } X = \frac{\text{kg of } H_2O}{\text{kg of Dry solid}} \end{array} \right\} \Rightarrow \begin{cases} x = \frac{X}{1+X} \Rightarrow X = \frac{x}{1-x} \\ m_s = m_{wet}(1-x) \\ m_{wet} = m_s(1+X) \end{cases}$$

$$\text{جرم آب تبخیر شده} \quad N = \frac{\text{جرم آب تبخیر شده}}{\text{سطح} \times \text{زمان}} = \frac{\text{kg}}{\text{m}^2 \cdot \text{s}} \quad \text{یا} \quad \frac{\text{lb}}{\text{ft}^2 \cdot \text{hr}}$$

نکته: وقتی که فرآیند خشک شدن در منطقه سرعت ثابت انجام شود، محاسبه زمان کل خشک شدن از رابطه زیر به دست می‌آید:

$A$  سطح جامدی است که خشک می‌شود.  $t$  مدت زمان خشک شدن

$$t = \frac{m_s}{AN_c}(X_1 - X_2)$$

$R_c$  یا  $N_c$  سرعت خشک شدن در دوره شدت ثابت

$m_s$  جرم جامد خشک

## ۶ - گزینه «۱»

جامدات غیر متخلخل و نظریه نفوذ

۱- در جامدات نامتخلخل، عامل رسیدن رطوبت به سطح، پدیده نفوذ است و وقتی که گرما از یک سمت جامد داده شده و خشک شدن از سمت دیگر صورت گیرد، مکانیزم حرکت رطوبت در داخل جامد نفوذ بخار است. نفوذ در جامد سرعت کل خشک شدن را کنترل می کند و چون مکانیزم نفوذ کنترل کننده عمل خشک شدن است لذا قانون دوم فیک برقرار است. در اینجا چون با افزایش دما قابلیت نفوذ افزایش می یابد، سرعت خشک شدن نیز با افزایش دمای جامد افزایش می یابد.

۲- طبق تئوری نفوذ رابطه کلی به صورت  $\frac{\partial^2 X}{\partial z^2} = \frac{1}{D} \frac{\partial X}{\partial t}$  می باشد که با توجه به شرایط مرزی و حل معادله دیفرانسیل، توزیع رطوبت محاسبه خواهد شد.

۳- نفوذ، از خاصیت اجسامی است که به شکل آهسته خشک می شوند.

۴- زمان خشک شدن متناسب با مجذور ضخامت می باشد و از آنجا که زمان خشک شدن متناسب با عکس سرعت خشک شدن است در نتیجه سرعت خشک شدن متناسب با عکس مجذور ضخامت است: (نفوذ)

$$t \sim \frac{1}{R} \sim S^2$$

$$t \sim \frac{1}{R} \sim S$$

۵- در جامدات متخلخل مکانیزم خشک شدن بر اساس نیروهای موئینگی است و داریم:

نکته: در بحث عملیات واحد، دانستن روابط پارامتری و ارتباط زمان، سرعت و سایر آیت‌های محاسباتی در کنار شرایط و مسائل نسبتاً ساده محاسباتی اهمیت به سزایی دارد.

## ۷ - گزینه «۲»

استخراج از جامدات

هرگاه جزء C توسط حلال A از جامد B استخراج گردد، این عمل leaching نامیده می شود. فاز شامل حلال را جریان سرریز یا over flow گویند و فاز شامل ذرات جامد را under flow گویند. جریان over flow عمدتاً شامل حلال و حل شونده است. البته ممکن است مقدار کمی از جامد (B) هم در آن حضور داشته باشد و جریان under flow عموماً شامل ذرات جامد (B) محلول تجمع یافته در آن است. این روش جزء روش های غیرمستقیم جداسازی می باشد و از جمله مهم ترین کاربردهای استخراج از جامد، استفاده از این فرآیند در صنایع استخراج فلزات، جداسازی روغن موجود در سویا توسط حلال هگزان و جداسازی دانه های رنگی چای می باشد.

۱- اثر دما بر فرآیند

افزایش دما باعث افزایش سرعت استخراج می شود زیرا با افزایش دما، سرعت انتقال جرم زیاد می شود. با افزایش دما ویسکوزیته محلول کاهش می یابد که این مسئله منجر به افزایش سرعت استخراج می شود بنابراین عمل استخراج از جامدات (بر خلاف استخراج از مایعات که در دمای پایین انجام می شود) در دمای بالا انجام شده و در این حالت مقدار بیشتری جز حل شونده از جامد به حلال منتقل می شود.

۲- ویسکوزیته حلال

در فرآیند استخراج از جامد، ویسکوزیته حلال تا حد ممکن باید کم باشد زیرا در ویسکوزیته پایین، هم سرعت انتقال جرم و هم سرعت انتقال حرارت افزایش می یابد.

۳- مقاومت های موجود در فرآیند

الف - مقاومت ناشی از انتقال جزء C به سطح جامد B

ب - مقاومت ناشی از انتقال جزء C به درون حلال

ج - مقاومت ناشی از تغییر فاز جزء جامد به مایع

۴- مکانیزم های استخراج از جامد

الف - پاشیدن یا چکیدن مایع روی جامد

ب - فرو بردن جامد به طور کامل در مایع

## ۸ - گزینه «۲»

رطوبت‌دهی و رطوبت‌زدایی

اگر گاز خشک B در تماس با مایع A قرار گیرد، مایع در گاز تبخیر خواهد شد تا فشار جزئی A در مخلوط به فشار بخار اشباع A در دمای مخلوط برسد. این فشار مستقل از جنس گاز و فشار کل است و فقط به نوع ماده و دمای آن بستگی دارد. به عنوان مثال به سیستم آب و هوا می‌توان اشاره کرد که آب (A) تبخیر شده و وارد هوا (B) می‌شود.

۱- رطوبت مطلق (Absolute Humidity)

رطوبت مطلق عبارت است از جرم مایع A به ازای واحد جرم گاز B یعنی:

$$Y = \frac{\text{کیلوگرم‌های A}}{\text{کیلوگرم B}} = \frac{M_A}{M_B} \cdot \frac{P_A}{P_t - P_A}$$

$M_A$  جرم مولکولی مایع تبخیر شده /  $M_B$  جرم مولکولی گاز خشک /  $P_A$  فشار بخار /  $P_t$  فشار کل /  $y_A$  جز مولی مایع A  $P_A = y_A P_t$

۲- رطوبت اشباع (Saturated Humidity)

اگر مایع A آن قدر تبخیر شود تا گاز B از مایع A اشباع شود، این میزان رطوبت را رطوبت اشباع می‌گوییم یعنی:

$$Y_s = \frac{M_A}{M_B} \cdot \frac{P_A^{\text{sat}}}{P_t - P_A^{\text{sat}}}$$

$P_A^{\text{sat}}$  فشار بخار اشباع مایع A در دمای مربوطه

۳- رطوبت نسبی (Relative Humidity)

نسبت فشار جزئی مایع به فشار بخار مایع در دمای مخلوط را رطوبت نسبی گویند یعنی:

$$H_R = \frac{P_A}{P_A^{\text{sat}}}$$

۴- رطوبت درصدی

به نسبت رطوبت مطلق به رطوبت اشباع در دمای مخلوط، رطوبت درصدی گفته می‌شود:

$$H_A = \frac{Y}{Y_s} = \frac{P_A}{P_A^{\text{sat}}} \times \frac{P_t - P_A^{\text{sat}}}{P_t - P_A} = H_R \frac{P_t - P_A^{\text{sat}}}{P_t - P_A}$$

نکته: با توجه به روابط فوق اگر  $H_R$  و  $Y_s$  را در گزینه ۲ جاگذاری کنیم داریم:

$$H_A = \frac{H_R}{1 + \frac{P_A^{\text{sat}}}{P_t - P_A} \left(1 + \frac{P_A}{P_A^{\text{sat}}}\right)} = \frac{H_R}{1 + \frac{P_A^{\text{sat}}}{P_t - P_A} + \frac{P_A}{P_t - P_A}} = H_R \frac{P_t - P_A^{\text{sat}}}{P_t - P_A} \quad (M_A = M_B \text{ فرض})$$

انواع غلظت‌ها و مفاهیم عملیات leaching

غلظت جامد نامحلول B در هر مخلوط یا دوغاب را با  $N = \left[ \frac{B}{A+C} \right]$  نشان می‌دهند که جامد می‌تواند از محلول مایع مرطوب باشد یا نباشد. غلظت حل شونده C برحسب جزء وزنی در مخلوط عاری از B بیان می‌شود و عبارت است از:

$$x = \left( \frac{C}{A+C} \right)_{\text{over flow}} \Rightarrow \text{جزء وزنی C در محلول خروجی از یک مرحله بر مبنای عاری از B}$$

$$y = \left( \frac{C}{A+C} \right)_{\text{under flow}} \Rightarrow \text{جزء وزنی C در جامد یا دوغاب بر مبنای عاری از B}$$

#### نکته

۱- در عملیات استخراج از جامدات، معمولاً خطوط رابطه (Tie) عمودی هستند یعنی دارای شیب  $\infty$  مگر زمانی که: الف - زمان تماس ناکافی برای حل شدن تمام حل شونده به حلال داده شود.

ب - حل شونده به طور انتخابی جذب شود.

ج - جامد حل شونده به طور نامساوی بین فازها توزیع شود.

۲- هر چه جامد ریزتر باشد، سطح انتقال جرم بیشتر شده که این مسئله منجر به افزایش سرعت leaching می‌شود.

۳- در محاسبات فرآیند leaching، فرض می‌نماییم که استخراج ایده‌آل است.

۴- مشابه فرآیند تقطیر به جای H-xy در اینجا منحنی‌های N-xy را داریم که به شکل زیر تعریف می‌شود:

$$N_E = \left( \frac{B}{A+C} \right)_{\text{under flow}}, N_R = \left( \frac{B}{A+C} \right)_{\text{over flow}}$$

۵- در جداسازی کامل داریم:  $N_R = 0$

طبق توضیحات آمده در پاسخ سوال قبل

در فرآیند leaching معمولاً خطوط Tie line عمودی و به موازات هم هستند که این در صورتی است که غلظت جسم حل شونده در هر دو فاز برابر باشد و در غیر این صورت (موارد الف - ب - ج در سوال قبل) این خطوط عمودی و با شیب  $\infty$  نخواهند بود.

دمای حباب مرطوب (Wetted Bulb Temperature)

دمای حباب مرطوب دمای حالت پایدار غیرتعادلی (Steady state Nonequilibrium) می‌باشد که عبارت است از دمای پایایی که در نتیجه تبخیر مقدار اندکی مایع در حجم زیادی از یک مخلوط بخار و گاز اشباع نشده حاصل می‌شود. دماسنجی را در نظر بگیرید که پارچه خشکی به دور آن پیچیده شده و در هوایی به دمای  $T_G$  قرار گرفته است. اگر پارچه دور دماسنج را خیس کنیم و دماسنج را در هوا بچرخانیم، مقداری از آب پارچه تبخیر می‌شود. گرمایی که صرف تبخیر این مقدار آب شده باعث کاهش دمای دماسنج می‌شود. که این دما را دمای حباب مرطوب  $T_W$  می‌گوییم.



در درجه حرارت مرطوب، سرعت انتقال گرما از گاز به مایع برابر است با حاصل ضرب سرعت تبخیر در مجموع گرمای نهان تبخیر و گرمای محسوس که البته با در نظر گرفتن فرضیاتی در نهایت می توان رابطه زیر را معرفی کرد:

$$q = h_G \Delta T = m \lambda \Rightarrow h_G (T_G - T_W) = N_A \cdot M_A \cdot \lambda_w \Rightarrow h_G (T_G - T_W) = M_B K_y \lambda_w (Y_w - Y)$$

در معادله فوق نسبت  $\frac{h_y}{k_y}$  بیانگر نسبت رطوبت سنجی است در نتیجه:

$$\frac{Y - Y_w}{T_G - T_w} = \frac{-h_G}{M_B k_y \lambda_w}$$

تغییرات رطوبت بر حسب دما تابعی خطی و با شیب  $\frac{-h_G}{M_B k_y \lambda_w}$  می باشد خطوطی که با این شیب در نمودار رطوبت رسم می شوند، خطوط رطوبت سنجی (خطوط دمای حباب مرطوب) نامیده می شود.  
 $Y$  رطوبت مطلق هوا (گاز) /  $Y_w$  رطوبت اشباع /  $T_G$  دمای هوا (گاز) /  $T_w$  دمای حباب مرطوب /  $h_G$  ضریب انتقال حرارت /  $k_y$  ضریب انتقال جرم /  $\lambda_w$  گرمای نهان تبخیر در دمای حباب مرطوب  
 نکته

$$\text{Slope} = \frac{Y - Y_w}{T_G - T_w} = \frac{0.02 - 0.03}{60 - 35} = -3/35 \times 10^{-4}$$

اطلاعات مساله نه تنها کافی است بلکه بیش از اندازه هم می باشد.

## ۱۲ - گزینه «۱»

طبق توضیحات آمده در پاسخ شماره ۱۰۰

۱- در ناحیه خشک کردن ثابت، زمان خشک کردن به ضخامت جسم خشک شونده مربوط می شود.

نکته:

اگر  $m_s$  برابر حاصل ضرب جرم حجمی جامد در حجم جامد و حجم جامد نیز برابر مساحت در ضخامت ( $S$ ) باشد، چون در جامد متخلخل، زمان ( $t$ ) متناسب با  $m_s$  است با ضخامت جسم نیز متناسب خواهد بود:

$$\Rightarrow \frac{t_r}{t_1} = \frac{s_r}{s_1}$$

معمولاً  $S$  نصف ضخامت جسم جامد می باشد.

۲- گزینه های ۲ و ۳ نیز درست می باشد.

برای اطلاعات کامل تر به کتاب انتقال جرم Treybal فصل ۱۲ مراجعه شود.

### ۱۳ - گزینه «۴»

شرایط برقراری تشابه تئوری

تحت شرایط زیر معادلات جرم، حرارت، مومنتوم مشابه هستند:

۱- هیچ گونه واکنش شیمیایی بین A و سایر اجزا وجود ندارد.  $R_A = 0$

۲- تولید گرما وجود ندارد  $\dot{q} = 0$

۳- تلفات لزجی ناچیز باشد  $\phi = 0$

۴- شتاب جاذبه وجود ندارد  $g = 0$

۵- گرادیان فشار وجود ندارد  $\nabla P = 0$

نکته: اساساً چون انتقال در سه پدیده جرم، حرارت و مومنتوم فقط با دو مکانیزم نفوذ (Diffusion) و جابجایی (Convection) مطرح می‌شود، می‌توان مبنا و علت استفاده از تشابه را توجیه نمود.

### ۱۴ - گزینه «۱»

تئوری رسوخ (Penetration)

از این مدل وقتی استفاده می‌شود که سطح انتقال جرم آشفته است. در این تئوری زمان واقع شدن سیال در معرض انتقال جرم کوتاه است و این زمان تماس آن قدر نیست که توزیع غلظت بتواند مانند تئوری لایه فیلم کاملاً توسعه پیدا کند. بر اساس این تئوری هر ذره مایع به هنگام رسیدن به سطح مشترک به اندازه زمان  $\theta$  در آن توقف می‌کند و طی این مدت ( $\theta$ ) عمل انتقال جرم انجام می‌شود. در این تئوری زمان تماس با فاز گاز برای تمام ذرات مایع یکسان و به اندازه  $\theta$  در نظر گرفته می‌شود که  $\theta$  زمانی است که حباب گاز جذب شده در مایع به اندازه قطر خودش در مایع صعود کند. در مورد این تئوری می‌توان قانون دوم فیک را به طور تقریبی به کار برد:

$$\frac{\partial C_A}{\partial \theta} = D_{AB} \frac{\partial^2 C_A}{\partial z^2} \xrightarrow{\text{از حل معادله}} \begin{cases} N_{A,av} = \sqrt{\frac{D_{AB}}{\pi \theta}} (C_{Ai} - C_{Ao}) \\ C_{Ao} = K_{L,av} \times \Delta C \\ K_{L,av} = \sqrt{\frac{D_{AB}}{\pi \theta}} \end{cases}$$

$C_{Ai}$  غلظت تعادلی در سطح مشترک

$C_{Ao}$  غلظت در فاز مایع

نکته: در این تئوری K متناسب با  $D_{AB}^{0.5}$  است ولی از لحاظ تجربی توان  $D_{AB}$  در حالت تلاطم بین نزدیک به صفر تا ۰/۸ یا ۰/۹ قرار دارد. در

$$N_A \sim \frac{1}{\sqrt{\theta}}$$

این تئوری شدت انتقال جرم با جذر زمان توقف نسبت عکس دارد.

## ۱۵ - گزینه «۲»

طبق توضیحات سوال ۹۹ در مورد تئوری فیلم

- ۱- طبق تئوری فیلم، نفوذ چرخانه‌ای در بالک سیال صفر است یعنی سرعت سیال روی سطح جامد صفر است.
- ۲- این تئوری در برآورد شارهای بالای انتقال جرم و همچنین در محاسبات اثر انتقال جرم بر انتقال حرارت و پیش‌بینی اثر واکنش شیمیایی بر شدت انتقال جرم مفید است.
- ۳- از این تئوری زمانی می‌توان استفاده کرد که یکی از مرزها ثابت و دارای سرعت صفر باشد. اگر حالتی داشته باشیم که حداقل یکی از مرزها ثابت نباشد، از این تئوری نمی‌توان استفاده کرد و باید از تئوری‌های دیگر استفاده نمود. در کل تئوری فیلم برای جریان آشفته خیلی مناسب نمی‌باشد.
- ۴- در این تئوری فرض بر این است که کل انتقال جرم در لایه نازکی نزدیک سطح (صفحه جامد) به ضخامت  $Z_f$  و به شکل نفوذ مولکولی انجام می‌شود. زیرا جریان در این لایه به صورت آرام است. این تئوری فقط زمانی صادق است که ضخامت لایه بسیار نازک باشد تا گرادیان غلظت به سرعت برقرار شود و بتوان تحول را پایا فرض کرد.
- ۵- تئوری فیلم برای حالتی که زمان تماس طولانی باشد نیز صادق است زیرا این حالت نیز بیانگر حالت پایا می‌باشد.

## ۱۶ - گزینه «۱»

با توجه به توضیحات گذشته فقط در تئوری لایه (Film) سیستم در حالت پایا Steady state فرض می‌شود.  
\* مفاهیم ۳ تئوری که بیش از بقیه در کنکور سوال دارند (فیلم - رسوخ - تجدید سطح) بسیار مهم است.

## ۱۷ - گزینه «۱»

در شرایط مشابه پروفایل‌های بدون بعد دما و غلظت و گروه‌های بدون بعد ضرایب انتقال حرارت و جرم با توابع یکسانی داده می‌شوند. برای تبدیل معادلات یا روابط بین انتقال حرارت و دما به معادلات یا روابط بین انتقال جرم و غلظت باید گروه‌های بدون بعد مربوط به هر کدام را با یکدیگر تعویض کرد. در هنگام استفاده از این تشابهات باید ضرایب نفوذ چرخانه‌ای یکسان، شکل هندسی یکسان، شرایط حدی یکسان برقرار باشد و معادله نیز از اعداد بدون بعد تشکیل شده باشد.

- ۱- عدد گرافش (Gr) در حالتی که جابجایی طبیعی در همان فاز وجود داشته باشد، ظاهر می‌شود.
- ۲- نقش عدد شروود (Sh) در انتقال جرم مشابه نقش عدد ناسلت (Nu) در انتقال حرارت است که روابط مربوط به Nu در جابجایی، ضریب انتقال حرارت کنوکسیون (h) را به ما می‌دهند و روابط مربوط به Sh در انتقال جرم کنوکسیون ضریب انتقال جرم نوع F یا K را به ما می‌دهند.
- ۳- مشابه انتقال حرارت در انتقال جرم هم در جریان‌های اجباری داریم:  

$$Sh = f(Re, Sc), Nu = f(Re, Pr)$$
- ۴- در جابجایی طبیعی داریم:  

$$Sh = f(Gr_D, Sc), Nu = f(Gr_H, Pr)$$

۵- این که کدام یک از انواع انتقال جرم اجباری یا آزاد، غالب است بستگی به نسبت  $\frac{Gr}{Re^2}$  دارد به طوری که:

جابجایی آزاد غالب است.  $\Rightarrow \frac{Gr}{Re^2} > 1$

هر دو جابجایی نقش دارند.  $\Rightarrow$  (نزدیک به ۱)  $\frac{Gr}{Re^2} \sim 1$

جابجایی اجباری غالب است.  $\Rightarrow \frac{Gr}{Re^2} < 1$

## ۱۸ - گزینه «۳»

ضرایب انتقال جرم برای جریان روی صفحات تخت و کره و تشابه با انتقال حرارت

$$Sh_x = \frac{h_x D}{k_f} = \frac{1}{3.32} Re_x^{\frac{1}{2}} Sc^{\frac{1}{3}}$$

۱- جریان آرام روی صفحه تخت و شرایط غلظت ثابت در دیواره

نکته

برای محاسبه  $k_{av}$  و  $Sh_{av}$  چنانچه بتوان تناسب  $k$  یا  $Sh$  را با  $x^n$  مشخص کرد همواره می‌توان از روابط زیر استفاده نمود.

$$k \sim x^n \text{ یا } Sh \sim x^n \Rightarrow \frac{k_{av}}{k} = \frac{1}{n+1}, \frac{Sh_{av}}{Sh} = \frac{1}{n+1}$$

$$Sh = \frac{h_x D}{k_f} = \frac{1}{0.664} Re_x^{\frac{1}{2}} Sc^{\frac{1}{3}} \Rightarrow Sh \sim x^{\frac{1}{2}}, k \sim x^{-\frac{1}{2}}$$

۲- جریان درهم روی صفحه تخت

۳- انتقال جرم از کره

$$Sh = Sh_o + f(Re, Sc), Sh_o = 2 + g(Gr_D, Sc)$$

الف) حالتی که جریان سیال از روی یک کره را داریم (جریان اجباری)

$$Sh = Sh_o = 2$$

ب) حالتی که کره در یک سیال ساکن قرار داشته باشد (جریان طبیعی و آزاد)

$$\Rightarrow \begin{cases} k_{L_{av}} = 2k_{x=L} \\ Sh_{av} = 2Sh_{x=L} \end{cases} \Rightarrow \gamma_o = 2Sh_L \Rightarrow \boxed{Sh_L = 35}$$

$x = L$  انتهای صفحه

$av$  متوسط

## ۱۹ - گزینه «۲»

$$\frac{D}{D + E_D} = \frac{1}{\frac{D + E_D}{D}} = \frac{1}{1 + \frac{E_D}{D}} = \frac{1}{1 + \frac{v}{D} \cdot \frac{E_D}{v}} = \frac{1}{1 + Sc \cdot \frac{E_D}{v}}$$

$$Sc = \frac{\mu}{\rho D} = \frac{v}{D}$$

نکته عدد اشمیت  $Sc$  در انتقال جرم عبارت است از:

در تئوری لایه آرام وقتی که انتقال حرارت و انتقال جرم به موازات صفحه افقی با مکانیزم جابجایی اجباری اتفاق می افتد، روابط زیر برقرار است:

$$Nu = 0.664 Re^{1/2} Pr^{1/3} \quad (\sigma, \sigma_T)$$

$$Sh = 0.664 Re^{1/2} Sc^{1/3} \quad (\sigma, \sigma_c)$$

بنابراین طبق فرضیه لایه مرزی (Boundary layer) ارتباط بین لایه های انتقال جرم و حرارت با لایه مومنتوم توسط اعداد Pr و Sc بیان

$$\frac{\sigma}{\sigma_T} = Pr^{1/3}, \quad \frac{\sigma}{\sigma_c} = Sc^{1/3}$$

می شود که با توجه به روابط فوق نتیجه می گیریم:

\* دانستن ارتباط بین اعداد بدون بعد در پدیده های انتقال بسیار مهم است.