

# سوالات استخدای : انتقال جرم

استفاده از ماشین حساب ساده ، ماشین حساب مهندسی مجاز است

۱(۱۰۱۰) هدف از قرار دادن غشاء بین دو فاز چیست؟ مکانیزم های انتقال جرم در غشاء را توضیح دهید.

۲(۱۰۱۰) نشان دهید رابطه زیر برای جزء مولی A برقرار است.

$$dx_A = \frac{d\omega_A}{M_A M_B \left( \frac{\omega_A}{M_A} + \frac{\omega_B}{M_B} \right)^2}$$

۳(۱۰۱۰) گاز A از درون لایه ساکن گازی به سمت کاتالیست استوانه ای شکل نفوذ کرده و واکنش  $2A \xrightarrow{k'} B$  روی آن صورت می گیرد. واکنش فوق العاده سریع است. مطلوب است:

الف) پروفایل غلظت A درون لایه انتقال جرم

ب) فلاکس جرمی انتقال جرم A درون لایه

ضخامت لایه انتقال جرم را  $\delta$  در نظر بگیرید.

۴(۱۰۱۰) در یک ستون دیواره مرطوب و در موضعی خاص، غلظت جزء A در فاز مایع  $x_{AL} = 0.05$  و در فاز گاز  $y_{AG} = 0.01$  می باشد. عدد شروود گاز  $Sh_G = 12$  است. فشار اتمسفر و دما  $25^\circ C$  است. ضریب انتقال جرم در فاز مایع  $k = 1.2 \times 10^{-3} m^2 / s$  و معادله منحنی تعادلی A بین هوا و آب  $y = 2x$  فرض می شود. فلاکس در آن موضع خاص چقدر است؟

$$d = 2cm, \quad M_L = 18.02kg / kmol, \quad M_A = 17kg / kmol, \quad \rho_L = 1000kg / m^3$$

$$D_{A-Air} = 2 \times 10^{-5} m^2 / s$$

$T = 0^\circ C$

۵(۱۰۱۰) ماده جاذب رطوبت که حاوی 2 درصد وزنی رطوبت است، به طور موازی و همسو در تماس با

$5m^3 / s$  هوا در دمای  $25^\circ C$  و فشار کل اتمسفر قرار میگیرد. هوا حاوی رطوبت با فشار جزئی

20mmHg است. رابطه تعادلی رطوبت بین هوا و جاذب به صورت  $y = x$  است. مطلوبست:

الف) حداقل فشار جزئی رطوبت موجود در هوا پس از تماس کامل دو فاز.

ب) حداکثر رطوبت در جامد پس از تماس کامل.

$$M_{H_2O} = 18.02kg / kmol, \quad 1atm = 760mmHg$$

۱(۱۰۱۰) انواع واحدهای عملیاتی که در تقسیم بندی دو فاز غیر قابل امتزاج جامد- گاز و جامد- مایع قرار می گیرند را نام برده و جهت انتقال جرم را در آنها مشخص نمایید.

۲(۱۰۱۰) آمونیاک از مخلوط گازی نیتروژن و هیدروژن نفوذ می نماید، در حالیکه نیتروژن و هیدروژن انتقال نمی یابند. مقدار نیتروژن و هیدروژن در مخلوط به ترتیب  $1/3$  و  $2/3$  از کل مخلوط نیتروژن و هیدروژن می باشد. در صورتیکه دمای لایه انتقال جرم  $25^\circ\text{C}$  و ضرایب نفوذ آمونیاک (A) در نیتروژن (B) و آمونیاک در هیدروژن (C) به ترتیب  $2.3 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$  و  $7.83 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$  باشد، مطلوب است ضریب نفوذ آمونیاک در مخلوط.

۳(۱۰۱۰) گاز A از درون لایه ساکن گازی به سمت کاتالیست استوانه ای شکل نفوذ کرده و واکنش  $2A \xrightarrow{k'} B$  روی آن صورت می گیرد. واکنش فوق العاده سریع است. مطلوب است:

الف) پروفایل غلظت A درون لایه انتقال جرم

ب) فلاکس جرمی انتقال جرم A درون لایه

ضخامت لایه انتقال جرم را  $\delta$  در نظر بگیرید.

۴(۱۰۱۰) در یک محلول رقیق از سیستم هوا-  $\text{SO}_2$  - آب، رابطه فشار جزئی  $\text{SO}_2$  بر حسب جزء مولی آن در فاز مایع به صورت  $p_A = 2.5x_A$  ارائه شده است که  $p_A$  بر حسب اتمسفر و فشار کل اتمسفری می باشد. در توده گاز و در توده مایع و در موضعی خاص، غلظت  $\text{SO}_2$  به دست آمده است ( $y_{AG} = 0.01$  و  $x_{AL} = 0$ ). ضریب انتقال جرم برای این فرآیند و در موضعی خاص به صورت  $k'_x = 10 \text{ kmol}/\text{m}^2 \cdot \text{hr}$  و  $k'_y = 8 \text{ kmol}/\text{m}^2 \cdot \text{hr}$  داده شده است. فرض کنید انتقال جرم مساوی و متقابل صورت می گیرد.

الف) مطلوب است محاسبه  $K'_x$

ب) غلظت  $\text{SO}_2$  در فصل مشترک ( $y_{Ai}, x_{Ai}$ )

ج) محاسبه فلاکس موضعی A

۵(۱۰۱۰) از حرکت سیالی عمود بر یک سیلندر، رابطه زیر در انتقال حرارت از سیلندر به محیط اطراف به دست آمده است:

$$Nu_{av} = 0.43 + 0.532 Re^{0.5} Pr^{0.31}$$

مطلوب است سرعت تصعید یک استوانه جامد هگزا فلوراید اورانیوم ( $UF_6$ ) به قطر 6mm وقتی در مقابل جریان هوایی با سرعت 3m/s قرار می گیرد. فشار هوا اتمسفری و دمای آن  $60^\circ C$  است. دمای سطح جامد  $43^\circ C$  و فشار بخار  $UF_6$  در این دما، 400mmHg است. خصوصیات فیزیکی لایه انتقال جرم در دمای متوسط به صورت زیر است:

$$\rho = 4.1 \text{ kg/m}^3, \quad \mu = 2.7 \times 10^{-5} \text{ kg/m} \cdot \text{s}, \quad D_{UF_6-Air} = 9.04 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$$

سایر داده های مسأله:

$$R = 8314 \text{ J/kmol} \cdot \text{K}, \quad N_{AZ} = F_{av} \ln \frac{1 - y_{A2}}{1 - y_{A1}}, \quad 1 \text{ atm} = 760 \text{ mmHg} = 101.33 \text{ kPa}$$

۶(۱۰۱۰) نمونه ای از صابون در معرض هوایی با دمای  $75^\circ C$  و فشار اتمسفر قرار می گیرد. توزیع تعادلی رطوبت بین صابون و هوا به شرح زیر است:

| درصد رطوبت در<br>صابون          | ۰ | ۲/۴ | ۳/۷۶ | ۴/۷۶ | ۶/۱۰ | ۷/۸۳ | ۹/۹۰ | ۱۲/۶۳ | ۱۵/۴ | ۱۹/۰۲ |
|---------------------------------|---|-----|------|------|------|------|------|-------|------|-------|
| فشار جزئی بخار در<br>هوا (mmHg) | ۰ | ۹/۶ | ۱۹/۲ | ۲۸/۴ | ۳۷/۲ | ۴۶/۴ | ۵۵   | ۶۳/۲  | ۷۱/۹ | ۷۹/۵  |

10kg صابون مرطوب که 16.7% رطوبت دارد، در ظرفی محتوی  $10 \text{ m}^3$  هوای مرطوب که فشار جزئی بخار آن 12mmHg است، قرار می گیرد. زمانی که رطوبت صابون به 13% برسد، هوای ظرف با هوای جدید تحت همان شرایط جایگزین می شود تا به حالت تعادل برسند. رطوبت نهایی صابون چقدر خواهد شد؟

$$M_{H_2O} = 18.02 \text{ kg/kgmol}, \quad M_{air} = 29.02 \text{ kg/kgmol}$$

۱(۱۰۱۰) نمونه ای از صابون در معرض هوایی با دمای  $75^{\circ}\text{C}$  و فشار اتمسفر قرار می گیرد. توزیع تعادلی رطوبت بین صابون و هوا به شرح زیر است:

| درصد رطوبت در صابون          | ۰ | ۲/۴ | ۳/۷۶ | ۴/۷۶ | ۶/۱۰ | ۷/۸۳ | ۹/۹۰ | ۱۲/۶۳ | ۱۵/۴ | ۱۹/۰۲ |
|------------------------------|---|-----|------|------|------|------|------|-------|------|-------|
| فشار جزئی بخار در هوا (mmHg) | ۰ | ۹/۶ | ۱۹/۲ | ۲۸/۴ | ۳۷/۲ | ۴۶/۴ | ۵۵   | ۶۳/۲  | ۷۱/۹ | ۷۹/۵  |

10kg صابون مرطوب که 16.7% رطوبت دارد، در ظرفی محتوی  $10\text{m}^3$  هوای مرطوب که فشار جزئی بخار آن 12mmHg است، قرار می گیرد. زمانی که رطوبت صابون به 13% برسد، هوای ظرف با هوای جدید تحت همان شرایط جایگزین می شود تا به حالت تعادل برسند. رطوبت نهایی صابون چقدر خواهد شد؟

$$M_{\text{H}_2\text{O}} = 18.02\text{kg} / \text{kgmol}, \quad M_{\text{air}} = 29.02\text{kg} / \text{kgmo}$$

۲(۱۰۱۰) سطح داخلی لوله ای به قطر داخلی 3cm از نفتالین (A) پوشیده شده است. هوا (B) با سرعت 5m/s از داخل لوله عبور می کند. دما  $25^{\circ}\text{C}$  و فشار اتمسفر است. طول لوله 2m می باشد. غلظت نفتالین در هوای خروجی چقدر است؟

$$R = 8314\text{J} / \text{kgmol.K}, \quad \mu_B = 1.8 \times 10^{-5} \text{kg} / \text{m.s}, \quad D_{AB} = 7.03 \times 10^{-6} \text{m}^2 / \text{s}, \quad p_{\text{Ai}}|_{T=25^{\circ}\text{C}} = 38\text{N} / \text{m}^2$$

$$\text{Sh} = 0.023 \text{Re}^{0.83} \text{Sc}^{\frac{1}{3}}, \quad \bar{k}_G L = \frac{Ud}{4RT} \ln \frac{p_{\text{Ai}}}{p_{\text{Ai}} - \bar{p}_{\text{A2}}}, \quad 1\text{atm} = 101.3\text{kPa}$$

۳(۱۰۱۰) در یک ستون دیواره مرطوب و در موضعی خاص، غلظت جزء A در فاز مایع  $x_{AL} = 0.05$  و در فاز گاز  $y_{AG} = 0.01$  می باشد. عدد شروود گاز  $Sh_G = 12$  است. فشار اتمسفر و دما  $25^\circ C$  است. ضریب انتقال جرم در فاز مایع  $k = 1.2 \times 10^{-3} m^2 / s$  و معادله منحنی تعادلی A بین هوا و آب  $y = 2x$  فرض می شود. فلاکس در آن موضع خاص چقدر است؟

$$d = 2cm, \quad M_L = 18.02kg / kmol, \quad M_A = 17kg / kmol, \quad \rho_L = 1000kg / m^3$$

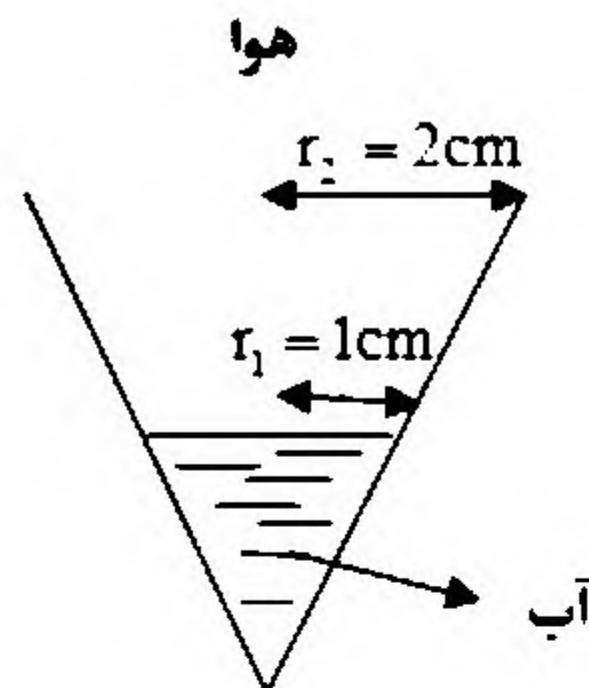
$$D_{A-Air} = 2 \times 10^{-5} m^2 / s$$

$T = 0^\circ C$

۴(۱۰۱۰) مقدار دبی جرمی ( $m^\circ$ ) را در لحظات نخست و در شرایط یکنواخت در شکل زیر را بدست آورید.

$$D_{H_2O-air} = 2.5 \times 10^{-5} m^2 / s, \quad T = 25^\circ C, \quad P = 101330Pa, \quad P_A^\circ = 23.8mmHg$$

$$R = 8314J / kmol.K, \quad M_{H_2O} = 18kg / kmol$$



۵(۱۰۱۰) آمونیاک از مخلوط گازی نیتروژن و هیدروژن نفوذ می نماید، در حالیکه نیتروژن و هیدروژن انتقال نمی یابند. مقدار نیتروژن و هیدروژن در مخلوط به ترتیب  $1/3$  و  $2/3$  از کل مخلوط نیتروژن و هیدروژن می باشد. در صورتیکه دمای لایه انتقال جرم  $25^\circ C$  و ضرایب نفوذ آمونیاک (A) در نیتروژن (B) و آمونیاک در هیدروژن (C) به ترتیب  $2.3 \times 10^{-5} m^2 / s$  و  $7.83 \times 10^{-5} m^2 / s$  باشد، مطلوب است ضریب نفوذ آمونیاک در مخلوط.

۶(۱۰۱۰) عملیات مرحله ای و دیفرانسیلی را تعریف کرده، برای هر یک مثالی بزنید.

۱- الف) عملیات مرحله ای و دیفرانسیلی را تعریف کرده، برای هر یک مثالی بزنید.

ب) هدف از قرار دادن غشاء بین دو فاز چیست؟ مکانیزم انتقال جرم در آنها را دقیقاً بنویسید.

۲- آمونیاک از مخلوط گازی نیتروژن و هیدروژن نفوذ می نماید، در حالیکه نیتروژن و هیدروژن انتقال نمی یابند. مقدار نیتروژن و هیدروژن در مخلوط به ترتیب  $1/3$  و  $2/3$  از کل مخلوط نیتروژن و هیدروژن می باشد. در صورتیکه دمای لایه انتقال جرم  $25^\circ\text{C}$  و ضرایب نفوذ آمونیاک (A) در نیتروژن (B) و آمونیاک در هیدروژن (C) به ترتیب  $2.3 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$  و  $7.83 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$  باشد، مطلوب است ضریب نفوذ آمونیاک در مخلوط.

۳- گاز A از درون لایه ساکن گازی به سمت کاتالیست استوانه ای شکل نفوذ کرده و واکنش  $2A \xrightarrow{k'} B$  روی آن صورت می گیرد. واکنش فوق العاده سریع است. مطلوب است:

الف) پروفایل غلظت A درون لایه انتقال جرم

ب) فلاکس جرمی انتقال جرم A درون لایه

ضخامت لایه انتقال جرم را  $\delta$  در نظر بگیرید.

۴- در یک محلول رقیق از سیستم هوا- $\text{SO}_2$  - آب، رابطه فشار جزئی  $\text{SO}_2$  بر حسب جزء مولی آن در فاز مایع به صورت  $p_A = 2.5x_A$  ارائه شده است که  $p_A$  بر حسب اتمسفر و فشار کل اتمسفری می باشد. در توده گاز و در توده مایع و در موضعی خاص، غلظت  $\text{SO}_2$  به دست آمده است ( $y_{AG} = 0.01$  و  $x_{AL} = 0$ ). ضریب انتقال جرم برای این فرآیند و در موضعی خاص به صورت  $k'_x = 10 \text{ kmol/m}^2 \cdot \text{hr}$  و  $k'_y = 8 \text{ kmol/m}^2 \cdot \text{hr}$  داده شده است. فرض کنید انتقال جرم مساوی و متقابل صورت می گیرد.

الف) مطلوب است محاسبه  $K'_x$

ب) غلظت  $\text{SO}_2$  در فصل مشترک ( $y_{Ai}, x_{Ai}$ )

ج) محاسبه فلاکس موضعی A

۵- از حرکت سیالی عمود بر یک سیلندر، رابطه زیر در انتقال حرارت از سیلندر به محیط اطراف به دست آمده است:

$$Nu_{av} = 0.43 + 0.532 Re^{0.5} Pr^{0.31}$$

مطلوب است سرعت تصعید یک استوانه جامد هگزا فلوراید اورانیوم ( $UF_6$ ) به قطر 6mm وقتی در مقابل جریان هوایی با سرعت 3m/s قرار می گیرد. فشار هوا اتمسفری و دمای آن  $60^\circ C$  است. دمای سطح جامد  $43^\circ C$  و فشار بخار  $UF_6$  در این دما، 400mmHg است. خصوصیات فیزیکی لایه انتقال جرم در دمای متوسط به صورت زیر است:

$$\rho = 4.1 \text{ kg/m}^3, \quad \mu = 2.7 \times 10^{-5} \text{ kg/m} \cdot \text{s}, \quad D_{UF_6-Air} = 9.04 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$$

سایر داده های مسأله:

$$R = 8314 \text{ J/kmol} \cdot \text{K}, \quad N_{AZ} = F_{av} \ln \frac{1 - y_{A2}}{1 - y_{A1}}, \quad 1 \text{ atm} = 760 \text{ mmHg} = 101.33 \text{ kPa}$$

۶- ماده جاذب رطوبت که حاوی 2 درصد وزنی رطوبت است، به طور موازی و همسو در تماس با  $5 \text{ m}^3/\text{s}$  هوا در دمای  $25^\circ C$  و فشار کل اتمسفر قرار می گیرد. هوا حاوی رطوبت با فشار جزئی 20mmHg است. رابطه تعادلی رطوبت بین هوا و جاذب به صورت  $y = x$  است. مطلوبست:

الف) حداقل فشار جزئی رطوبت موجود در هوا پس از تماس کامل دو فاز.

ب) حداکثر رطوبت در جامد پس از تماس کامل.

$$M_{H_2O} = 18.02 \text{ kg/kgmol}, \quad M_{Air} = 29.02 \text{ kg/kgmol}$$

۱- آمونیاک از مخلوط گازی نیتروژن و هیدروژن نفوذ می نماید، در حالیکه نیتروژن و هیدروژن انتقال نمی یابند. مقدار نیتروژن و هیدروژن در مخلوط به ترتیب  $1/3$  و  $2/3$  از کل مخلوط نیتروژن و هیدروژن می باشد. در صورتیکه دمای لایه انتقال جرم  $25^{\circ}\text{C}$  و ضرایب نفوذ آمونیاک (A) در نیتروژن (B) و آمونیاک در هیدروژن (C) به ترتیب  $2.3 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$  و  $7.83 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$  باشد، مطلوب است ضریب نفوذ آمونیاک در مخلوط.

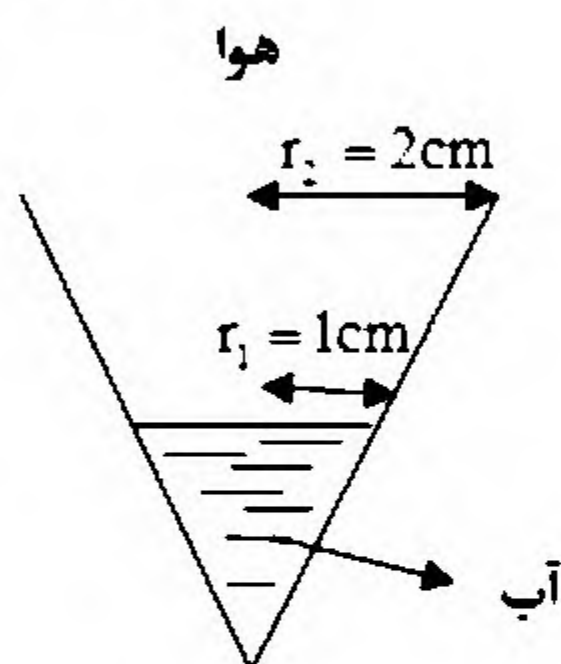
۲- سطح داخلی لوله ای به قطر داخلی  $3\text{cm}$  از نفتالین (A) پوشیده شده است. هوا (B) با سرعت  $5\text{m/s}$  از داخل لوله عبور می کند. دما  $25^{\circ}\text{C}$  و فشار اتمسفر است. طول لوله  $2\text{m}$  می باشد. غلظت نفتالین در هوای خروجی چقدر است؟

۳- هدف از قرار دادن غشاء بین دو فاز چیست؟ مکانیزم های انتقال جرم در غشاء را توضیح دهید.

۴- مقدار دبی جرمی ( $\text{m}^{\circ}$ ) را در لحظات نخست و در شرایط یکنواخت در شکل زیر را بدست آورید.

$$D_{\text{H}_2\text{O}-\text{air}} = 2.5 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}, \quad T = 25^{\circ}\text{C}, \quad P = 101330\text{Pa}, \quad P_A^{\circ} = 23.8\text{mmHg}$$

$$R = 8314\text{J/kgmol.K}, \quad M_{\text{H}_2\text{O}} = 18\text{kg/kgmol}$$



۵- در یک ستون دیواره مرطوب و در موضعی خاص، غلظت جزء  $\Lambda$  در فاز مایع  $x_{AL} = 0.05$  و در فاز گاز  $y_{AG} = 0.01$  می باشد. عدد شروود گاز  $Sh_G = 12$  است. فشار اتمسفر و دما  $25^\circ C$  است. ضریب انتقال جرم در فاز مایع  $k = 1.2 \times 10^{-3} m^2 / s$  و معادله منحنی تعادلی  $\Lambda$  بین هوا و آب  $y = 2x$  فرض می شود. فلاکس در آن موضع خاص چقدر است؟

$$d = 2cm, \quad M_L = 18.02kg / kmol, \quad M_A = 17kg / kmol, \quad \rho_L = 1000kg / m^3$$

$$D_{A-Air}^{T=0^\circ C} = 2 \times 10^{-5} m^2 / s$$

۶- ماده جاذب رطوبت که حاوی 2 درصد وزنی رطوبت است، به طور موازی و همسو در تماس با  $5m^3 / s$  هوا در دمای  $25^\circ C$  و فشار کل اتمسفر قرار می گیرد. هوا حاوی رطوبت با فشار جزئی  $20mmHg$  است. رابطه تعادلی رطوبت بین هوا و جاذب به صورت  $y = x$  است. مطلوبست:

(الف) حداقل فشار جزئی رطوبت موجود در هوا پس از تماس کامل دو فاز.

(ب) حداکثر رطوبت در جامد پس از تماس کامل.

$$M_{H_2O} = 18.02kg / kmol, \quad 1atm = 760mmHg$$

۱- الف : فرق بین Adsorption و Absorption چیست ؟

ب : عملیات مرحله ای و دیفرانسیلی را تعریف کرده و برای هر یک مثالی بزنید.

۲- سطح داخلی لوله ای به قطر داخلی ۳cm از نفتالین (A) پوشیده شده است. هوا (B) با دمای ۲۵ درجه و فشار یک اتمسفر با سرعت ۵m/s از داخل لوله ای به طول ۲ متر عبور می کند. مطلوب است محاسبه غلظت نفتالین در هوای خروجی؟

$$R=8314\text{J/kgmol.K}, \quad \mu_B=1.8\times 10^{-5}\text{kg/m.s}, \quad D_{AB}=7.03\times 10^{-6}\text{m}^2/\text{s},$$
$$P_{Ai}|_{T=25^\circ\text{C}}=38\text{N/m}^2, \quad \overline{Sh}=0.023\text{Re}^{0.83}\text{Sc}^{\frac{1}{3}}, \quad \overline{K_G}L=\frac{UD}{4RT}\ln\frac{P_{Ai}}{P_{Ai}-\overline{P_{A2}}}$$
$$, \quad 1\text{atm}=101.3\text{kPa}$$

۳- در چه حالتی  $D_{im} \approx D_{ij}$  (ضریب نفوذ جز i در مخلوط m برابر ضریب جز i در هر یک از اجزا دیگر j) خواهد شد؟ آیا وابستگی  $D_{AB}$  به دما همواره از رابطه  $D_{AB} \propto T^{\frac{3}{2}}$  قابل پیش بینی است؟

۴- قطعه ای از کریستال سولفات مس ( $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ) در تانک بزرگی حاوی آب قرار دارد. حساب کنید در لحظات ابتدایی در هر ثانیه چه جرمی از کریستال به ازای واحد سطح کریستال، در آب حل می شود. جز مولی سولفات در محلول اشباع برابر ۰.۰۲۲۹ است.

$$D_{\text{CuSO}_4-\text{H}_2\text{O}}=7.3 \times 10^{-10} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$$

ضخامت لایه انتقال جرم ۰.۰۳ میلی متر است ( $Z=0.03\text{mm}$ )

$$\rho=1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \quad \text{آب خالص}$$

$$\rho=1193 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \quad \text{آب اشباع از سولفات}$$

۵- چرا ضریب انتقال جرم موضعی و متوسط تعریف می شود؟ فرق بین آنها چیست؟

۶- الف) تحت چه شرایطی می توان از قیاس جرم و حرارت استفاده نمود؟ چرا قیاس بین این دو پدیده صورت می گیرد؟

ب) تئوری فیلمی را توضیح داده و کاربرد آن را در جریان متلاطم بیان نمایید.

۷- نمونه ای از صابون در معرض هوایی با دمای  $75^{\circ}\text{C}$  و فشار اتمسفر قرار می گیرد. توزیع تعادلی رطوبت بین صابون و هوا به شرح زیر است.

| درصد رطوبت در<br>صابون          | . | ۲/۴ | ۳/۷۶ | ۴/۷۶ | ۶/۱۰ | ۷/۸۳ | ۹/۹۰ | ۱۲/۶۳ | ۱۵/۴ | ۱۹/۰۲ |
|---------------------------------|---|-----|------|------|------|------|------|-------|------|-------|
| فشار جزئی بخار در<br>هوا (mmHg) | . | ۹/۶ | ۱۹/۲ | ۲۸/۴ | ۳۷/۲ | ۴۶/۴ | ۵۵   | ۶۳/۲  | ۷۱/۹ | ۷۹/۵  |

ده کیلوگرم صابون مرطوب که ۱۶،۷ درصد رطوبت دارد در ظرفی با حجم ۱۰ متر مکعب هوای مرطوب با فشار جزئی بخار ۱۲mmHg قرار می گیرد. زمانی که رطوبت صابون به ۱۳ درصد برسد، هوای ظرف با هوای جدید تحت همان شرایط جایگزین می شود تا به حالت تعادل برسند. رطوبت نهایی صابون چقدر خواهد شد؟ راندمان هر یک از مراحل چقدر بوده است؟

۱- انواع واحدهای عملیاتی که در تقسیم بندی دو فاز غیر قابل امتزاج جامد- گاز و جامد- مایع قرار می گیرند را نام برده و جهت انتقال جرم را در آنها مشخص نمایید.

۲- آمونیاک از مخلوط گازی نیتروژن و هیدروژن نفوذ می نماید، در حالیکه نیتروژن و هیدروژن انتقال نمی یابند. مقدار نیتروژن و هیدروژن در مخلوط به ترتیب  $1/3$  و  $2/3$  از کل مخلوط نیتروژن و هیدروژن می باشد. در صورتیکه دمای لایه انتقال جرم  $25^\circ\text{C}$  و ضرایب نفوذ آمونیاک (A) در نیتروژن (B) و آمونیاک در هیدروژن (C) به ترتیب  $2.3 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$  و  $7.83 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$  باشد، مطلوب است ضریب نفوذ آمونیاک در مخلوط.

۳- گاز A از درون لایه ساکن گازی به سمت کاتالیست استوانه ای شکل نفوذ کرده و واکنش  $2A \xrightarrow{k'} B$  روی آن صورت می گیرد. واکنش فوق العاده سریع است. مطلوب است:

الف) پروفایل غلظت A درون لایه انتقال جرم

ب) فلاکس جرمی انتقال جرم A درون لایه

ضخامت لایه انتقال جرم را  $\delta$  در نظر بگیرید.

۴- در یک محلول رقیق از سیستم هوا-  $\text{SO}_2$  - آب، رابطه فشار جزئی  $\text{SO}_2$  بر حسب جزء مولی آن در فاز مایع به صورت  $p_A = 2.5x_A$  ارائه شده است که  $p_A$  بر حسب اتمسفر و فشار کل اتمسفری می باشد. در توده گاز و در توده مایع و در موضعی خاص، غلظت  $\text{SO}_2$  به دست آمده است ( $y_{AG} = 0.01$  و  $x_{AL} = 0$ ). ضریب انتقال جرم برای این فرآیند و در موضعی خاص به صورت  $k'_x = 10 \text{ kmol}/\text{m}^2 \cdot \text{hr}$  و  $k'_y = 8 \text{ kmol}/\text{m}^2 \cdot \text{hr}$  داده شده است. فرض کنید انتقال جرم مساوی و متقابل صورت می گیرد.

الف) مطلوب است محاسبه  $K'_x$

ب) غلظت  $\text{SO}_2$  در فصل مشترک ( $y_{Ai}, x_{Ai}$ )

ج) محاسبه فلاکس موضعی A

۵-  $5 \text{ kg/s}$  ماده جاذب رطوبت که حاوی 2 درصد وزنی رطوبت است، به طور موازی و همسو در تماس با  $5 \text{ m}^3/\text{s}$  هوا در دمای  $25^\circ\text{C}$  و فشار کل اتمسفر قرار میگیرد. هوا حاوی رطوبت با فشار جزئی  $20 \text{ mmHg}$  است. رابطه تعادلی رطوبت بین هوا و جاذب به صورت  $y = x$  است. مطلوب است:

الف) حداقل فشار جزئی رطوبت موجود در هوا پس از تماس کامل دو فاز.

ب) حداکثر رطوبت در جامد پس از تماس کامل.

$$M_{\text{H}_2\text{O}} = 18.02 \text{ kg}/\text{kgmol}, \quad 1 \text{ atm} = 760 \text{ mmHg}$$

۱- انواع واحدهای عملیاتی که در تقسیم بندی دو فاز غیر قابل امتزاج جامد- گاز و جامد \_ مایع قرار می گیرند را نام برده و جهت انتقال جرم را در آنها مشخص نمایید.

۲- تصعید یک قطعه استوانه ای به شعاع  $R$  به نقطه ای به فاصله  $r$  از مرکز استوانه صورت می گیرد. نشان دهید در این قطعه، دبی انتقال جرم از رابطه  $m_{Ar}^0 = N_{Ar} \bar{S}_{av} M_A$  به دست خواهد آمد. مقادیر  $N_{Ar}$  و  $\bar{S}_{av}$  را به صورت پارامتری به دست آورید. تغییرات شعاع استوانه را با گذشت زمان به دست آورید.

۳- در یک محلول رقیق از سیستم هوا-  $SO_2$  - آب، رابطه فشار جزئی  $SO_2$  بر حسب جزء مولی آن در فاز مایع به صورت  $p_A = 2.5x_A$  ارائه شده است که  $p_A$  بر حسب اتمسفر و فشار کل اتمسفری می باشد. در توده گاز و در توده مایع و در موضعی خاص، غلظت  $SO_2$  به دست آمده است ( $y_{AG} = 0.01$  و  $x_{AL} = 0$ ). ضریب انتقال جرم برای این فرآیند و در موضعی خاص به صورت  $k'_x = 10 \text{ kmol/m}^2 \cdot \text{hr}$  و  $k'_y = 8 \text{ kmol/m}^2 \cdot \text{hr}$  داده شده است. فرض کنید انتقال جرم مساوی و متقابل صورت می گیرد.

الف) مطلوب است محاسبه  $K'_X$

ب) غلظت  $SO_2$  در فصل مشترک ( $y_{Ai}, x_{Ai}$ )

ج) محاسبه فلاکس موضعی  $A$

۴- سطح داخلی لوله ای به قطر داخلی  $3 \text{ cm}$  از نفتالین (A) پوشیده شده است. هوا (B) با سرعت  $5 \text{ m/s}$  از داخل لوله عبور می کند. دما  $25^\circ \text{C}$  و فشار اتمسفر است. طول لوله  $2 \text{ m}$  می باشد. غلظت نفتالین در هوای خروجی چقدر است؟

۵-  $5 \text{ kg/s}$  ماده جاذب رطوبت که حاوی 2 درصد وزنی رطوبت است، به طور موازی و همسو در تماس با  $5 \text{ m}^3/\text{s}$  هوا در دمای  $25^\circ \text{C}$  و فشار کل اتمسفر قرار می گیرد. هوا حاوی رطوبت با فشار جزئی  $20 \text{ mmHg}$  است. رابطه تعادلی رطوبت بین هوا و جاذب به صورت  $y = x$  است. مطلوب است:

الف) حداقل فشار جزئی رطوبت موجود در هوا پس از تماس کامل دو فاز.

ب) حداکثر رطوبت در جامد پس از تماس کامل.

$$M_{H_2O} = 18.02 \text{ kg/kgmol}, \quad 1 \text{ atm} = 760 \text{ mmHg}$$

۱- انواع واحدهای عملیاتی که در تقسیم بندی دو فاز غیر قابل امتزاج جامد- گاز و جامد- مایع قرار می گیرند را نام برده و جهت انتقال جرم را در آنها مشخص نمایید.

۲- آمونیاک از مخلوط گازی نیتروژن و هیدروژن نفوذ می نماید، در حالیکه نیتروژن و هیدروژن انتقال نمی یابند. مقدار نیتروژن و هیدروژن در مخلوط به ترتیب  $1/3$  و  $2/3$  از کل مخلوط نیتروژن و هیدروژن می باشد. در صورتیکه دمای لایه انتقال جرم  $25^{\circ}\text{C}$  و ضرایب نفوذ آمونیاک (A) در نیتروژن (B) و آمونیاک در هیدروژن (C) به ترتیب  $2.3 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$  و  $7.83 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$  باشد، مطلوب است ضریب نفوذ آمونیاک در مخلوط.

۳- تصعید یک قطعه استوانه ای به شعاع R به نقطه ای به فاصله r از مرکز استوانه صورت می گیرد. نشان دهید در این قطعه، دبی انتقال جرم از رابطه  $m_{Ar}^0 = N_{Ar} \bar{S}_{av} M_A$  به دست خواهد آمد. مقادیر  $N_{Ar}$  و  $\bar{S}_{av}$  را به صورت پارامتری به دست آورید. تغییرات شعاع استوانه را با گذشت زمان به دست آورید.

۴- ستون دیواره مرطوبی برای جداسازی  $\text{SO}_2$  موجود در هوا توسط آب صورت می گیرد. غلظت  $\text{SO}_2$  در گاز و مایع در موضع خاص به ترتیب  $y_{AG} = 0.12$  و  $x_{AL} = 0.001$  می باشد. ضریب انتقال جرم فیلمی بر مبنای فاز گاز و مایع  $k_L = 2.5 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$  و  $k_G = 1.6 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$  و منحنی تعادلی هوا-  $\text{SO}_2$ -آب به صورت  $y = 80.6x$  داده شده است.

الف) مطلوب است مقدار انتقال جرم صورت گرفته در موضع خاص.

ب) مقدار مقاومت هر یک از فازها.

۵-  $5 \text{ kg/s}$  ماده جاذب رطوبت که حاوی 2 درصد وزنی رطوبت است، به طور موازی و همسو در تماس با  $5 \text{ m}^3/\text{s}$  هوا در دمای  $25^{\circ}\text{C}$  و فشار کل اتمسفر قرار میگیرد. هوا حاوی رطوبت با فشار جزئی  $20 \text{ mmHg}$  است. رابطه تعادلی رطوبت بین هوا و جاذب به صورت  $y = x$  است. مطلوبست:

الف) حداقل فشار جزئی رطوبت موجود در هوا پس از تماس کامل دو فاز.

ب) حداکثر رطوبت در جامد پس از تماس کامل.

$$M_{\text{H}_2\text{O}} = 18.02 \text{ kg/kgmol}, \quad 1 \text{ atm} = 760 \text{ mmHg}$$

۱- قطعه نفتالینی کروی در دمای  $30^{\circ}\text{C}$ ، در معرض جریان هوای خالص قرار گرفته است. سرعت هوا  $5\text{m/s}$  و فشار کل سیستم اتمسفر می باشد. مطلوب است:

الف) مقدار ضریب انتقال جرم متوسط با استفاده از رابطه زیر در لحظه ای که قطر نفتالین  $5\text{cm}$  است.

$$\text{Sh} = 0.43 \text{Re}^{0.56} \text{Sc}^{0.33}$$

ب) ضخامت لایه انتقال جرم در این حالت.

ج) مقدار انتقال جرم به ازای واحد زمان در لحظه ای که قطر نفتالین  $5\text{cm}$  است. فشار بخار نفتالین در  $30^{\circ}\text{C}$  برابر  $25\text{Pa}$  است.

$$M_{\text{air}} = 29\text{kg/kgmol}, \quad R = 8314\text{J/kgmol.K}, \quad D_{\text{Naph-air}} = 0.7 \times 10^{-5} \text{m}^2/\text{s}$$

$$\mu = 1.8 \times 10^{-5} \text{kg/m.s}, \quad 1\text{atm} = 101325\text{Pa}, \quad M_{\text{Naph}} = 128\text{kg/kgmol}$$

۲- نفوذ مولکولی به سمت کاتالیست جامد در واکنش سریع  $2A_{(g)} \rightarrow 2B_{(g)}$  صورت می گیرد. کسر مولی جزء A در توده سیال  $0.2$ ، فشار اتمسفری و دما  $22^{\circ}\text{C}$  است. اگر میزان انتقال جرم جزء A به ازاء واحد زمان و واحد سطح (فلاکس جرمی)  $2.92 \times 10^{-2} \text{kg/m}^2.\text{s}$  باشد. ضخامت لایه انتقال جرم چقدر است؟

$$D_{AB} = 1.2 \times 10^{-5} \text{m}^2/\text{s}, \quad M_A = 150\text{kg/kgmol}, \quad R = 8314\text{J/kgmol.K}, \quad 1\text{atm} = 101330\text{Pa}$$

۳-  $5\text{kg/s}$  ماده جاذب رطوبت که حاوی  $2$  درصد وزنی رطوبت است، به طور موازی و همسو در تماس با  $5\text{m}^3/\text{s}$  هوا در دمای  $25^{\circ}\text{C}$  و فشار کل اتمسفر قرار می گیرد. هوا حاوی رطوبت با فشار جزئی  $20\text{mmHg}$  است. رابطه تعادلی رطوبت بین هوا و جاذب به صورت  $y = x$  است. مطلوبست:

الف) حداقل فشار جزئی رطوبت موجود در هوا پس از تماس کامل دو فاز.

ب) حداکثر رطوبت در جامد پس از تماس کامل.

$$M_{\text{H}_2\text{O}} = 18.02\text{kg/kgmol}, \quad 1\text{atm} = 760\text{mmHg}$$

۴- در هر یک از واحدهای عملیاتی زیر انتقال جرم بین چه فازهایی صورت می گیرد؟ جهت انتقال جرم را مشخص نمایید.

الف) تقطیر      ب) لیچینگ      ج) جذب سطحی      د) خشک کردن

۵- نشان دهید:  $U - u = x_A(u_A - u) + x_B(u_B - u)$

۶- مطلوبست رابطه بین  $k_y$  و  $F_G$  در حالتی که انتقال جرم جزئی A در میان جزء ساکن B ( $N_B = 0$ ) انجام شود.

۱- انواع واحدهای عملیاتی که در تقسیم بندی دو فاز غیر قابل امتزاج جامد- گاز و جامد- مایع قرار می گیرند را نام برده و جهت انتقال جرم را در آنها مشخص نمایید.

۲- نشان دهید در یک سیستم دو جزئی با غلظت کل ثابت،  $D_{AB} = D_{BA}$  می باشد.

۳- تصعید یک قطعه استوانه ای به شعاع  $R$  به نقطه ای به فاصله  $r$  از مرکز استوانه صورت می گیرد. نشان دهید در این قطعه، دبی انتقال جرم از رابطه  $m_{Ar}^0 = N_{Ar} \bar{S}_{av} M_A$  به دست خواهد آمد. مقادیر  $N_{Ar}$  و  $\bar{S}_{av}$  را به صورت پارامتری به دست آورید. تغییرات شعاع استوانه را با گذشت زمان به دست آورید.

۴- در یک محلول رقیق از سیستم هوا-  $SO_2$  - آب، رابطه فشار جزئی  $SO_2$  بر حسب جزء مولی آن در فاز مایع به صورت  $p_A = 2.5x_A$  ارائه شده است که  $p_A$  بر حسب اتمسفر و فشار کل اتمسفری می باشد. در توده گاز و در توده مایع و در موضعی خاص، غلظت  $SO_2$  به دست آمده است ( $y_{AG} = 0.01$  و  $x_{AL} = 0$ ). ضریب انتقال جرم برای این فرآیند و در موضعی خاص به صورت  $k'_x = 10 \text{ kmol/m}^2 \cdot \text{hr}$  و  $k'_y = 8 \text{ kmol/m}^2 \cdot \text{hr}$  داده شده است. فرض کنید انتقال جرم مساوی و متقابل صورت می گیرد.

الف) مطلوب است محاسبه  $K'_x$

ب) غلظت  $SO_2$  در فصل مشترک ( $y_{Ai}, x_{Ai}$ )

ج) محاسبه فلاکس موضعی  $A$

۵- سطح داخلی لوله ای به قطر داخلی 3cm از نفتالین (A) پوشیده شده است. هوا (B) با سرعت 5m/s از داخل لوله عبور می کند. دما  $25^\circ\text{C}$  و فشار اتمسفر است. طول لوله 2m می باشد. غلظت نفتالین در هوای خروجی چقدر است؟

$$R = 8314 \text{ J/kgmol.K}, \quad \mu_B = 1.8 \times 10^{-5} \text{ kg/m.s}, \quad D_{AB} = 7.03 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}, \quad p_{Ai}|_{T=25^\circ\text{C}} = 38 \text{ N/m}^2$$

$$\text{Sh} = 0.023 \text{ Re}^{0.83} \text{ Sc}^{\frac{1}{3}}, \quad \bar{k}_G L = \frac{Ud}{4RT} \ln \frac{p_{Ai}}{p_{Ai} - \bar{p}_{A2}}, \quad 1 \text{ atm} = 101.3 \text{ kPa}$$

۱- در هر یک از واحدهای عملیاتی زیر انتقال جرم بین چه فازهایی صورت می گیرد؟ جهت انتقال جرم را مشخص نمایید.

الف) تقطیر      ب) لیچینگ      ج) جذب سطحی      د) خشک کردن

۲- نشان دهید:  $U - u = x_A(u_A - u) + x_B(u_B - u)$

۳- نفوذ مولکولی به سمت کاتالیست جامد در واکنش سریع  $2A_{(g)} \rightarrow 2B_{(g)}$  صورت می گیرد. کسر مولی جزء A در توده سیال 0.2، فشار اتمسفری و دما  $22^\circ C$  است. اگر میزان انتقال جرم جزء A به ازاء واحد زمان و واحد سطح (فلاکس جرمی)  $2.92 \times 10^{-2} \text{ kg/m}^2 \cdot \text{s}$  باشد. ضخامت لایه انتقال جرم چقدر است؟

$D_{AB} = 1.2 \times 10^{-5} \text{ m}^2 / \text{s}$ ,  $M_A = 150 \text{ kg/kgmol}$ ,  $R = 8314 \text{ J/kgmol.K}$ ,  $1 \text{ atm} = 101330 \text{ Pa}$

۴- مطلوبست رابطه بین  $k_y$  و  $F_G$  در حالتی که انتقال جرم جزئی A در میان جزء ساکن B ( $N_B = 0$ ) انجام شود.

۵- قطعه نفتالینی کروی در دمای  $30^\circ C$ ، در معرض جریان هوای خالص قرار گرفته است. سرعت هوا  $5 \text{ m/s}$  و فشار کل سیستم اتمسفر می باشد. مطلوب است:

الف) مقدار ضریب انتقال جرم متوسط با استفاده از رابطه زیر در لحظه ای که قطر نفتالین  $5 \text{ cm}$  است.

$$\text{Sh} = 0.43 \text{Re}^{0.56} \text{Sc}^{0.33}$$

ب) ضخامت لایه انتقال جرم در این حالت.

ج) مقدار انتقال جرم به ازای واحد زمان در لحظه ای که قطر نفتالین  $5 \text{ cm}$  است. فشار بخار نفتالین در  $30^\circ C$  برابر  $25 \text{ Pa}$  است.

$M_{\text{air}} = 29 \text{ kg/kgmol}$ ,  $R = 8314 \text{ J/kgmol.K}$ ,  $D_{\text{Naph-air}} = 0.7 \times 10^{-5} \text{ m}^2 / \text{s}$

$\mu = 1.8 \times 10^{-5} \text{ kg/m.s}$ ,  $1 \text{ atm} = 101325 \text{ Pa}$ ,  $M_{\text{Naph}} = 128 \text{ kg/kgmol}$

۶-  $5 \text{ kg/s}$  ماده جاذب رطوبت که حاوی 2 درصد وزنی رطوبت است، به طور موازی و همسو در تماس با  $5 \text{ m}^3 / \text{s}$  هوا در دمای  $25^\circ C$  و فشار کل اتمسفر قرار می گیرد. هوا حاوی رطوبت با فشار جزئی  $20 \text{ mmHg}$  است. رابطه تعادلی رطوبت بین هوا و جاذب به صورت  $y = x$  است. مطلوبست:

الف) حداقل فشار جزئی رطوبت موجود در هوا پس از تماس کامل دو فاز.

ب) حداکثر رطوبت در جامد پس از تماس کامل.

$M_{\text{H}_2\text{O}} = 18.02 \text{ kg/kgmol}$ ,  $1 \text{ atm} = 760 \text{ mmHg}$

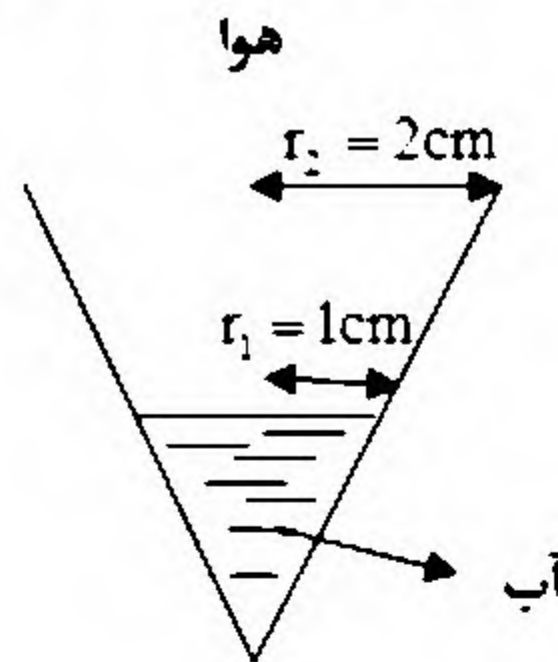
۱- واحدهای عملیاتی گاز- مایع را نام ببرید.

۲- آمونیاک از مخلوط گازی نیتروژن و هیدروژن نفوذ می نماید، در حالیکه نیتروژن و هیدروژن انتقال نمی یابند. مقدار نیتروژن و هیدروژن در مخلوط به ترتیب  $1/3$  و  $2/3$  از کل مخلوط نیتروژن و هیدروژن می باشد. در صورتیکه دمای لایه انتقال جرم  $25^\circ\text{C}$  و ضرایب نفوذ آمونیاک (A) در نیتروژن (B) و آمونیاک در هیدروژن (C) به ترتیب  $2.3 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$  و  $7.83 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$  باشد، مطلوب است ضریب نفوذ آمونیاک در مخلوط.

۳- مقدار دبی جرمی ( $\text{m}^\circ$ ) را در لحظات نخست و در شرایط یکنواخت در شکل زیر را بدست آورید.

$$D_{\text{H}_2\text{O}-\text{air}} = 2.5 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}, \quad T = 25^\circ\text{C}, \quad P = 101330 \text{ Pa}, \quad P_A^\circ = 23.8 \text{ mmHg}$$

$$R = 8314 \text{ J/kgmol.K}, \quad M_{\text{H}_2\text{O}} = 18 \text{ kg/kgmol}$$



۴- ستون دیواره مرطوبی برای جداسازی  $\text{SO}_2$  موجود در هوا توسط آب صورت می گیرد. غلظت  $\text{SO}_2$  در گاز و مایع در موضع خاص به ترتیب  $y_{\text{AG}} = 0.12$  و  $x_{\text{AL}} = 0.001$  می باشد. ضریب انتقال جرم فیلمی بر مبنای فاز گاز و مایع  $k_L = 2.5 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$  و  $k_G = 1.6 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$  و منحنی تعادلی هوا-  $\text{SO}_2$ - آب به صورت  $y = 80.6x$  داده شده است.

الف) مطلوب است مقدار انتقال جرم صورت گرفته در موضع خاص.

ب) مقدار مقاومت هر یک از فازها.

۱- واحدهای عملیاتی گاز- مایع را نام برده، مشخص نمایید کدامیک نسبی هستند؟

۲- نشان دهید در یک سیستم دو جزئی با غلظت کل ثابت:  $D_{AB} = D_{BA}$ .

۳- انتقال جرم از یک قطعه کروی به شعاع  $R$  به نقطه ای به فاصله  $r$  از مرکز کره صورت می گیرد. ثابت کنید دبی انتقال جرم از سطح کره به محیط اطراف از رابطه زیر به دست می آید. کره از جنس  $A$  و محیط اطراف  $B$  می باشد.  $N_B = 0$  فرض شود.

$$\dot{m}_A = M_A 4\pi Rr \frac{D_{AB}C}{r-R} \ln \frac{1 - \frac{C_{A2}}{C}}{1 - \frac{C_{A1}}{C}}$$

۴- داده های تعادلی سیستم شیمیایی به صورت رابطه  $y = 3.95x$  ارائه شده است. در موضعی خاص، غلظت جزء  $A$  در توده گاز  $B$ ،  $0.6$  مولی و در فاز مایع  $0.05$  مولی می باشد. در این موضع،  $k_L = 1.7 \times 10^{-5} \text{ m/s}$  و  $F_G = 1.2 \times 10^{-3} \text{ kmol/m}^2 \cdot \text{s}$  است. مطلوب است:

الف) فلاکس موضعی در آن موضع خاص.

ب) بررسی مقدار مقاومت ها در آن موضع خاص

$$p_t = 1 \text{ atm}, \quad R = 8314, \quad T = 25^\circ \text{C}, \quad \rho_L = 1000 \text{ kg/m}^3$$

$$M_A = 18.02, \quad M_B = 17$$

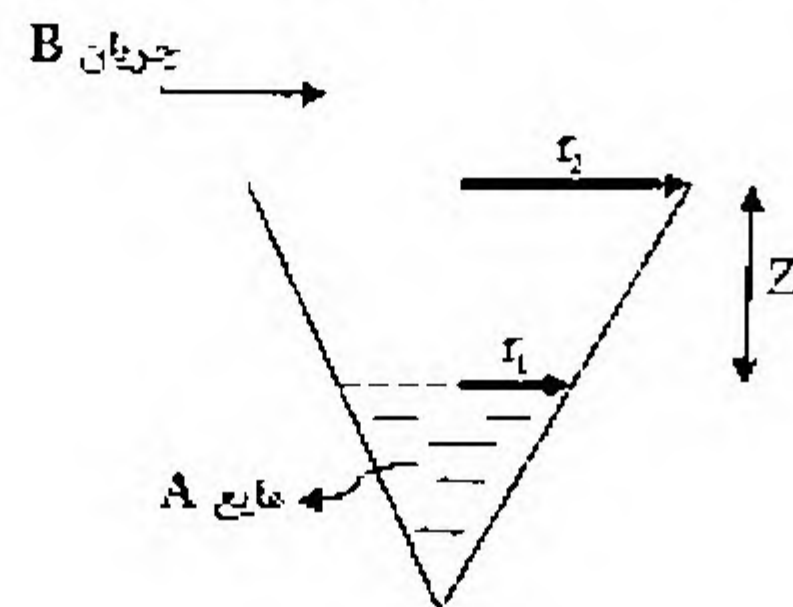
۱- واحدهای عملیاتی در تقسیم بندی گاز - جامد را نام برده، مشخص نمایید کدامیک نسبی هستند؟

۲- نشان دهید:

$$U - u = x_A(u_A - u) + x_B(u_B - u)$$

۳- نشان دهید دبی انتقال جرم در ظرف مخروطی شکل زیر از رابطه  $m_{AZ}^0 = N_{AZ} \bar{S}_{av} M_A$  که در آن:  $N_{AZ} = 0$  و

$$\bar{S}_{av} = \pi r_1 r_2 \text{ و } N_{AZ} = \frac{D_{AB} C}{Z} \ln \frac{1 - y_{A_2}}{1 - y_{A_1}} \text{ قابل دستیابی است.}$$



۴- رابطه بین ضریب کلی انتقال جرم بر مبنای فاز گاز را با ضرائب موضعی تئوری فیلمی بدست آورید. در چه شرایطی مقاومت کلی انتقال جرم با مقاومت فیلم گاز برابر خواهد بود.

۵-  $4 \text{ kg/s}$  ماده جاذب رطوبت که حاوی 1 درصد وزنی رطوبت است، بطور موازی و همسو در تماس با  $2 \text{ m}^3/\text{s}$  هوا در دمای  $25^\circ \text{C}$  و فشار کل اتمسفر قرار می گیرد. هوا حاوی رطوبت با فشار جزئی  $15 \text{ mmHg}$  است. رابطه تعادلی رطوبت بین هوا و جسم جامد به صورت  $y = x$  است. مطلوب است حداقل فشار جزئی رطوبت موجود در هوا پس از تماس کامل دو فاز.

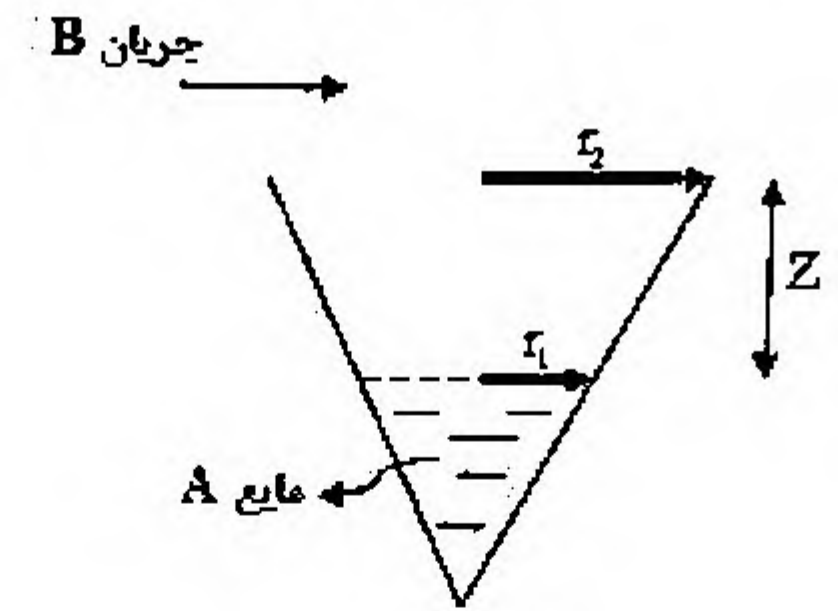
$$P_t = 101330 \text{ N/m}^2, \quad R = 8314 \text{ J/kmol.K}, \quad M_{\text{Air}} = 29.02, \quad M_{\text{H}_2\text{O}} = 18.02$$

۱- واحدهای عملیاتی در تقسیم بندی گاز - جامد را نام برده، مشخص نمایید کدامیک نسبی هستند؟

۲- آمونیاک (A) از میان مخلوط گازی نیتروژن (B) و هیدروژن (C) نفوذ می کند. در حالی که نیتروژن و هیدروژن نفوذ نمی کنند. مقدار نیتروژن، هیدروژن و آمونیاک در لایه به ترتیب  $\frac{1}{3}$ ،  $\frac{1}{2}$  و  $\frac{1}{6}$  مول می باشند. ضریب نفوذ آمونیاک در مخلوط چقدر است؟

$$D_{AB} = 2.3 \times 10^{-5} \text{ m}^2 / \text{s}, \quad D_{AC} = 7.83 \times 10^{-5} \text{ m}^2 / \text{s}$$

۳- نشان دهید دبی انتقال جرم در ظرف مخروطی شکل زیر از رابطه  $m_{AZ}^0 = N_{AZ} \bar{S}_{av} M_A$  که در آن:  $N_{AZ} = 0$  و  $N_{AZ} = \frac{D_{AB} C}{Z} \ln \frac{1-y_{A_2}}{1-y_{A_1}}$  قابل دستیابی است.  $\bar{S}_{av} = \pi r_1 r_2$



۴- جذب  $\text{SO}_2$  از مخلوط گازی در یک ستون دیواره مرطوب به قطر 2cm صورت می گیرد. در موضعی خاص، غلظت  $\text{SO}_2$  در فاز مایع و گاز برابر با  $x_{AL} = 0.001$  و  $y_{AG} = 0.1$  می باشند (محلول مایع رقیق از  $\text{SO}_2$  فرض می شود). ضریب انتقال جرم در فاز مایع  $k_L = 2.25 \times 10^{-5} \text{ m/s}$  و  $\text{Sh}_G = 40.8$  داده شده است. رابطه تعادلی به صورت  $y = 83.5x$  است. مطلوب است تعیین فلاکس موضعی در آن موضع خاص.

$$P_t = 101.3 \text{ kPa}, \quad T = 25^\circ \text{C}, \quad R = 8314 \text{ J/kmol.K}, \quad \rho_{\text{water}} = 1000 \text{ kg/m}^3$$

$$D_{\text{SO}_2-\text{Air}} = 2 \times 10^{-5} \text{ m}^2 / \text{s}, \quad D_{\text{SO}_2-\text{H}_2\text{O}} = 1.2 \times 10^{-9} \text{ m}^2 / \text{s}, \quad M_{\text{H}_2\text{O}} = 18.02 \text{ kg/kmol}$$

$$F_L = k_L x_{B,M} C, \quad \left( \frac{1-y_A}{1-y_{AG}} \right) = \left( \frac{1-x_{AL}}{1-x_A} \right)^{\frac{F_L}{F_G}}$$

۵- یک صفحه نفتالینی در معرض جریان هوا قرار گرفته است. سرعت جریان هوا  $2\text{ m/s}$  است. فشار کل اتمسفر و دما  $25^\circ\text{C}$  می باشد. ضریب انتقال جرم متوسط در طول  $35\text{ cm}$  از ابتدای صفحه را بدست آورید.

$$1\text{ atm} = 101.3\text{ kPa}, \quad R = 8314\text{ J/kmol.K}, \quad M_{\text{Air}} = 29.02\text{ kg/kmol}$$

$$D_{\text{Naph-Air}(T=25^\circ\text{C})} = 5.87 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}, \quad \mu_{\text{at } 25^\circ\text{C}} = 1.8 \times 10^{-5} \text{ kg/m.s}, \quad \overline{Sh} = 0.664(\text{Re}_x)^{\frac{1}{2}}(\text{Sc})^{\frac{1}{3}}$$

۶- ماده جاذب رطوبت که حاوی یک درصد وزنی رطوبت است، بطور موازی و همسو در تماس با  $2\text{ m}^3/\text{s}$  هوا در دمای  $25^\circ\text{C}$  و فشار کل اتمسفر قرار می گیرد. هوا حاوی رطوبت با فشار جزئی  $15\text{ mmHg}$  است. رابطه تعادلی رطوبت بین هوا و جسم جامد بصورت  $y = x$  است. حداقل فشار جزئی رطوبت موجود در هوا پس از تماس کامل دو فاز را محاسبه کنید.

$$1\text{ atm} = 760\text{ mmHg}, \quad R_s = R_1(1 - x_1), \quad E_s = E_1(1 - y_1)$$

۱- نشان دهید:

$$U - u = x_A(u_A - u) + x_B(u_B - u)$$

۲- مطلوب است محاسبه سرعت نفوذ NaCl در دمای  $18^\circ\text{C}$  از میان لایه ساکن آب به ضخامت 1mm وقتی که غلظت NaCl در دو طرف لایه به ترتیب 20% و 10% وزنی است.

$$A : \text{NaCl}, \quad B : \text{H}_2\text{O}$$

$$D_{AB} = 1.26 \times 10^{-9} \text{ m}^2 / \text{s}, \quad M_A = 58.5 \text{ kg / kmol}, \quad M_B = 18.02 \text{ kg / kmol},$$

$$\rho_A = 1148 \text{ kg / m}^3, \quad \rho_B = 1075 \text{ kg / m}^3, \quad N_{AZ} = \frac{D_{AB}}{Z} \left( \frac{\rho}{M} \right)_{\text{av}} \frac{x_{A1} - x_{A2}}{x_{B,M}}$$

۳- در یک محلول رقیق از سیستم هوا-  $\text{SO}_2$  - آب، رابطه فشار جزئی  $\text{SO}_2$  بر حسب جزء مولی آن در فاز مایع به صورت  $P_A = 2.5x_A$  ارائه شده است که  $P_A$  بر حسب اتمسفر و فشار کل اتمسفریک است. در توده گاز و توده مایع و در موضعی خاص، غلظت  $\text{SO}_2$  بدست آمده است ( $y_{AG} = 0.01$  و  $x_{AL} = 0$ ). ضریب انتقال جرم برای این فرآیند و در موضع خاص به صورت زیر داده شده است:

$$k'_x = 10 \frac{\text{kmol}}{\text{m}^2 \cdot \text{hr}(\text{mole fraction})}, \quad k'_y = 8 \frac{\text{kmol}}{\text{m}^2 \cdot \text{hr}(\text{mole fraction})}$$

فرض کنید انتقال جرم مساوی و متقابل صورت می گیرد:

الف) مطلوب است محاسبه  $K'_x$

ب) غلظت  $\text{SO}_2$  در فصل مشترک ( $y_{Ai}, x_{Ai}$ )

ج) مطلوب است محاسبه فلاکس موضعی A

۴- یک صفحه نفتالینی در معرض جریان هوا قرار گرفته است. سرعت جریان هوا  $2 \text{ m/s}$  است. فشار کل اتمسفر و دما  $25^\circ\text{C}$  می باشد. مطلوب است محاسبه ضریب انتقال جرم متوسط ( $\bar{F}$ ) در طول 35cm از ابتدای سطح. ضریب نفوذ نفتالین در هوا در فشار اتمسفر و دمای  $0^\circ\text{C}$  برابر  $5.15 \times 10^{-6} \text{ m}^2 / \text{s}$  و فشار جزئی نفتالین در دمای  $25^\circ\text{C}$  برابر  $10.6 \text{ N/m}^2$  است.

$$M_{\text{air}} = 29.02 \text{ kg / kmol}, \quad R = 8314 \text{ J / kmol.K}, \quad 1 \text{ atm} = 101330 \text{ Pa}, \quad \mu_{\text{air}} = 1.8 \times 10^{-5} \text{ kg / m.s}$$

$$\text{Sh} = 0.664 \text{ Re}^{\frac{1}{2}} \text{ Sc}^{\frac{1}{3}}$$

۵- واحدهای عملیاتی گاز- مایع را نام برده و جهت انتقال جرم را در آنها مشخص نمایید.

۱- در هر یک از واحدهای عملیاتی زیر انتقال جرم بین چه فازهایی صورت می گیرد؟ جهت انتقال جرم را مشخص نمایید.

الف) تقطیر      ب) لیچینگ      ج) جذب سطحی      د) خشک کردن

۲- نفوذ مولکولی چیست؟ اثر دما بر ضریب نفوذ در گازها و مایعات را مقایسه نمایید.

۳- اسید استیک از لایه ای به ضخامت  $2\text{mm}$  از میان آب نفوذ می کند. آب ساکن است و نفوذ نمی کند. غلظت اسید استیک در دو طرف لایه به ترتیب  $6\%$  و  $2\%$  مولی است. مطلوبست مقدار دبی انتقال جرم اسید وقتی سطح انتقال جرم  $4\text{m}^2$  باشد.  $D_{AB} = 0.9 \times 10^{-9} \text{m}^2/\text{s}$ .  
 $M_{\text{acid}} = 60.03 \text{kg/kgmol}$ ,  $M_{\text{water}} = 18.02 \text{kg/kgmol}$ ,  $\rho_{\text{acid}} = 1012 \text{kg/m}^3$ ,  $\rho_{\text{water}} = 1003 \text{kg/m}^3$

۴- رابطه بین ضریب کلی انتقال جرم بر مبنای فاز گاز را با ضرائب موضعی تئوری فیلمی بدست آورید. در چه شرایطی مقاومت کلی انتقال جرم با مقاومت فیلم گاز برابر خواهد بود.

۵- قطعه نفتالینی کروی در دمای  $30^\circ\text{C}$ ، در معرض جریان هوای خالص قرار گرفته است. سرعت هوا  $5\text{m/s}$  و فشار کل سیستم اتمسفر می باشد. مطلوبست:

الف) مقدار ضریب انتقال جرم متوسط با استفاده از رابطه  $Sh = 0.43 Re^{0.56} Sc^{0.33}$ ، در لحظه ای که قطر نفتالین  $2\text{cm}$  است.

ب) ضخامت لایه انتقال جرم در این حالت

ج) مقدار انتقال جرم به ازای واحد زمان در لحظه ای که قطر نفتالین  $2\text{cm}$  است. فشار تعادلی هوا در سطح نفتالین  $44\text{Pa}$  در نظر بگیرید.

$$T = 30^\circ\text{C}, \quad M_{\text{air}} = 29 \text{gr/mol}, \quad R = 8.314 \frac{\text{Pa.m}^3}{\text{mol.}^\circ\text{C}}, \quad D_{\text{naph-air}} = 0.7 \times 10^{-5} \text{m}^2/\text{s}$$
$$\mu_{\text{air}} = 1.8 \times 10^{-5} \text{kg/m.s}, \quad 1 \text{atm} = 101325 \text{Pa}, \quad Sh = \frac{\bar{F}d}{CD} = \frac{\bar{k}_c P_{B,M} d}{RTCD}$$

۶-  $5\text{kg/s}$  ماده جاذب رطوبت که حاوی  $2\%$  وزنی رطوبت است به طور موازی و همسو در تماس با  $5\text{m}^3/\text{s}$  هوا در دمای  $25^\circ\text{C}$  و فشار کل اتمسفر قرار می گیرد. هوا حاوی رطوبت با فشار جزئی  $20\text{mmHg}$  است. رابطه تعادلی رطوبت بین هوا و جاذب به صورت  $y = x$  است. مطلوبست:

الف) حداقل فشار جزئی رطوبت موجود در هوا پس از تماس کامل دو فاز.

ب) حداکثر رطوبت در جامد پس از تماس کامل

۱- مکانیسمهای حاکم بر انتقال جرم را توضیح دهید و روابط مربوط به آن را بنویسید.

۲- نفوذ مولکولی به سمت کاتالیست جامد در واکنش سریع  $2A_{(g)} \rightarrow 3B_{(g)}$  صورت می گیرد. کسر مولی جزء A در توده سیال 0.2، فشار کل اتمسفری و دما  $22^\circ C$  است. اگر میزان انتقال جرم جزء A به ازاء واحد زمان و واحد سطح (فلاکس جرمی)  $2.92 \times 10^{-3} \text{ kg/m}^2 \cdot \text{s}$  باشد. ضخامت لایه انتقال جرم چقدر است؟

$$\text{at } T = 50^\circ C: D_{AB} = 1.2 \times 10^{-5} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$$

$$M_A = 150 \frac{\text{gr}}{\text{mol}}, R = 8.314 \frac{\text{pa} \cdot \text{m}^3}{\text{mol} \cdot ^\circ C}, 1 \text{ atm} = 101330 \text{ pa}$$

۳- تئوری دو فیلمی یا دو مقاومتی در انتقال جرم را با رسم شکل توضیح دهید

۴- مطلوبست رابطه بین  $k_y$  و  $F_G$  در حالتی که انتقال جرم جزئی A در میان جزء ساکن B ( $N_B = 0$ ) انجام شود.

۵- در یک ستون دیواره مرطوب و در موضعی خاص غلظت جزء A در فاز مایع  $x_{AL} = 0.05$  و در فاز گاز  $y_{AG} = 0.01$  می باشد. عدد شروود گاز برابر با  $sh_G = 12$ ، فشار اتمسفری و دما  $25^\circ C$  است. ضریب انتقال جرم در فاز مایع  $k = 1.2 \times 10^{-3} \text{ m/s}$  و معادله منحنی تعادلی A بین هوا و آب  $y = 2x$  فرض می شود. فلاکس انتقال جرم در آن موضع خاص چقدر است؟

$$\text{at } T = 0^\circ C: D_{A-Air} = 2 \times 10^{-5} \text{ m}^2 / \text{s}$$

$$\rho_L = 1000 \text{ kg/m}^3, d = 2 \text{ cm}, M_A = 17 \text{ gr/mol}$$

۶- قانون دوم فیک تحت چه شرایطی از معادله پیوستگی حاصل می شود؟

۷- جریان هوا (ماده A) با سرعت  $4 \text{ m/s}$  از روی یک صفحه نفتالینی (ماده B) به طول  $50 \text{ cm}$  و عرض  $4 \text{ cm}$  عبور می کند. در دمای  $25^\circ C$  و فشار اتمسفری مطلوبست:

الف) ضریب انتقال جرم متوسط روی صفحه

ب) مقدار کل انتقال جرم صورت گرفته در یک ساعت

$$D_{B-A} = 5.15 \times 10^{-6} \text{ m}^2 / \text{s}, P_B = 10.6 \text{ pa}, M_A = 29 \text{ gr/mol}, M_B = 128 \text{ gr/mol}$$

$$\mu_A = 1.82 \times 10^{-5} \text{ kg/m} \cdot \text{s}, sh = 0.0027 \text{ Re Sc}^{0.43}$$

۱- نشان دهید در یک سیستم دو جزئی با غلظت کل ثابت  $D_{AB} = D_{BA}$ . همچنین نشان دهید در یک سیستم  $n$

$$\sum_{i=A}^n J_{iZ} = 0 \quad \text{جزئی}$$

۲- مطلوب است محاسبه سرعت نفوذ NaCl در دمای  $18^\circ\text{C}$  از میان لایه ساکن آب به ضخامت 1mm و قتیکه غلظت NaCl در دو طرف لایه به ترتیب 20% و 10% وزنی باشد.

۳- در یک محلول رقیق از سیستم هوا-  $\text{SO}_2$  - آب، رابطه فشار جزئی  $\text{SO}_2$  بر حسب جزء مولی آن در فاز مایع به صورت  $P_A = 2.5x_A$  ارائه شده است که  $P_A$  بر حسب اتمسفر و فشار کل یک اتمسفر می باشد. در توده گاز و توده فاز مایع و در موضعی خاص، غلظت  $\text{SO}_2$  بدست آمده است ( $x_{AL} = 0, y_{AG} = 0.01$ ). ضریب انتقال جرم برای این فرآیند و در موضع خاص به صورت زیر داده شده است.

$$k'_x = 10 \frac{\text{kmol}}{\text{m}^2 \cdot \text{h}(\text{mole fraction})}, k'_y = 8 \frac{\text{kmol}}{\text{m}^2 \cdot \text{h}(\text{mole fraction})}$$

فرض کنید انتقال جرم مساوی و متقابل صورت می گیرد. مطلوب است:

الف- محاسبه  $K'_x$  ب- غلظت  $\text{SO}_2$  در فصل مشترک ( $y_{Ai}, x_{Ai}$ ) ج- محاسبه فلاکس موضعی A

۴- قطعه نفتالینی کروی در دمای  $40^\circ\text{C}$  در معرض جریان هوای خالص قرار گرفته است. سرعت هوا  $10\text{m/s}$  و فشار کل سیستم یک اتمسفر است. مطلوب است:

الف- مقدار ضریب انتقال جرم متوسط در لحظه ای که قطر نفتالین 2cm است.

ب- ضخامت لایه انتقال جرم در این حالت.

$$= 29\text{kg / kgmol}, \mu_{\text{air}} = 1.85 \times 10^{-5} \text{kg / m.s}, R = 8314 \text{J / kgmol.K}, D_{T=40^\circ\text{C}, P=1\text{atm}} = 0.688 \times 10^{-5} \text{m}^2 / \text{s}$$

$$= 101.3\text{kPa}, \bar{Sh} = 0.43 \text{Re}^{0.56} \text{Sc}^{\frac{1}{3}}, \bar{Sh} = \frac{\bar{F}d}{CD} = \frac{\bar{k}_c P_{B,M} d}{RTCD}$$

۱- در هر یک از واحدهای عملیاتی زیر انتقال جرم بین چه فاز هایی صورت می گیرد؟ جهت انتقال جرم را مشخص نمایید.

تقطیر (Distillation) ، استخراج جامد - مایع (Leaching) ، خشک کردن (Drying) ، استخراج مایع - مایع ،  
Adsorption ، Absorption

۲- ضریب نفوذ  $CO_2$  در هلیوم در دمای  $3/2$  درجه سانتیگراد و فشار اتمسفر  $5.31 \times 10^{-5} \frac{m^2}{s}$  گزارش شده است. مطلوبست ضریب نفوذ  $CO_2$  در هلیوم در فشار اتمسفر و دمای  $225$  درجه سانتیگراد (مقدار تجربی گزارش شده برابر است با:  $14.14 \times 10^{-5} \frac{m^2}{s}$ ).

۳- ضریب نفوذ بروموفرم در محلول رقیق استن در دمای  $25$  درجه سانتیگراد برابر با  $2.9 \times 10^{-5} \frac{cm^2}{s}$  گزارش شده است. مطلوبست ضریب نفوذ بنزوئیک اسید در محلول رقیق استن در دمای  $25$  درجه سانتیگراد. مقدار تجربی ضریب نفوذ بنزوئیک اسید در استن  $2.269 \times 10^{-9} \frac{m^2}{s}$  گزارش شده است. از رابطه تجربی ویلک چانگ استفاده کنید.

۴- اسید استیک از لایه ای به ضخامت  $1$  میلی متر از میان آب نفوذ می کند. غلظت اسید در دو طرف لایه به ترتیب  $9\%$  و  $3\%$  وزنی است. دما  $17$  درجه سانتیگراد و آب نفوذ نمی کند. ضریب نفوذ اسید استیک در لایه  $0.95 \times 10^{-9} \frac{m^2}{s}$  است. مطلوبست:

الف- مقدار انتقال جرم اسید وقتی سطح انتقال جرم  $2m^2$  باشد.

ب- چه درصدی از انتقال جرم صورت گرفته در اثر نفوذ بوده است؟

۵- در موضع خاص از یک سیستم گازی و در لایه انتقال جرم، واکنش شیمیایی هتروژنی بسیار سریع  $A \rightarrow 2B$

صورت می گیرد. مطلوبست رابطه بین  $F_G$  با  $K : [\frac{kmol}{m^2 s \frac{N}{m^2}}]$  در چنین سیستمی.

۶- تحت چه شرایطی می توان از قیاس بین جرم و حرارت استفاده کرد؟ چرا قیاس بین این دو پدیده صورت می گیرد. بطور کامل توضیح دهید.

- ۱- ضریب نفوذ بروموفرم ( $\text{CHBr}_3$ ) در محلول رقیق استن ( $\text{CH}_3\text{COCH}_3$ ) در دمای  $25^\circ\text{C}$  برابر با  $2.9 \times 10^{-5} \text{ cm}^2/\text{s}$  گزارش شده است. مطلوب است ضریب نفوذ بنزوئیک اسید ( $\text{C}_6\text{H}_5\text{COOH}$ ) در محلول رقیق استن در  $25^\circ\text{C}$ .

$$D_{AB} = \frac{117.3 \times 10^{-18} (\phi M_B)^{0.5} T}{\mu V_A^{0.6}}$$

| Compound                                                       | Carbon | Hydrogen | Bromine | Oxygen | Benzene ring |
|----------------------------------------------------------------|--------|----------|---------|--------|--------------|
| Atomic volume<br>$\text{m}^3 / 1000 \text{ atoms} \times 10^3$ | 14.8   | 3.7      | 27      | 7.4    | subtract 15  |

- ۲- تبخیر از سطح یک قطعه کروی به محیط اطراف را در نظر بگیرید. برای لحظه ای که شعاع قطعه ثابت و برابر  $r_1$  است، انتقال جرم را به اطراف کره بررسی کنید. سطح انتقال جرم در لایه اطراف ثابت نمی باشد. شرایط عملیاتی دما، فشار در لایه انتقال جرم ثابت فرض می شود.

- ۳- در یک محلول رقیق از سیستم هوا- $\text{SO}_2$ -آب، رابطه فشار جزئی  $\text{SO}_2$  بر حسب جزء مولی آن در فاز مایع به صورت  $P_A = 2.5x_A$  ارائه شده است که  $P_A$  بر حسب اتمسفر و فشار کل اتمسفر می باشد. در توده گاز و توده مایع و در موضعی خاص، غلظت  $\text{SO}_2$  بدست آمده است ( $x_{AL} = 0, y_{AG} = 0.01$ ). ضریب انتقال جرم برای این فرآیند و در موضع خاص به صورت  $k'_x = 10 \frac{\text{kmol}}{\text{m}^2 \cdot \text{hr}(\text{mole fraction})}$ ،  $k'_y = 8 \frac{\text{kmol}}{\text{m}^2 \cdot \text{hr}(\text{mole fraction})}$  فرض کنید. انتقال جرم مساوی و متقابل است. الف) مطلوب است محاسبه  $K'_x$ . ب) غلظت  $\text{SO}_2$  در فصل مشترک ( $y_{Ai}, x_{Ai}$ ) مطلوب است محاسبه فلاکس موضعی A

- ۴- آب در یک ستون دیواره مرطوب به سمت پایین و هوا به سمت بالا در جریان است. قطر داخلی ستون 25mm و ارتفاع آن 1m است. دمای آب در سرتاسر بستر  $21^\circ\text{C}$  و دمای هوا  $36^\circ\text{C}$  فرض می شود. هوای ورودی به ستون تقریباً خشک است و فلاکس هوا  $7 \text{ kg}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$  می باشد. ضریب انتقال جرم در طول دیواره ثابت است. مطلوب است فشار جزئی رطوبت در هوای خروجی. از جذب هوا توسط آب صرف نظر می شود.

۱- هدف از قرار دادن غشاء بین دو فاز چیست؟ مکانیزم انتقال جرم در آنها را به طور کامل شرح دهید.

۲- اثر دما و فشار بر سرعت نفوذ را شرح دهید.

۳- نشان دهید:  $U - u = x_A(u_A - u) + x_B(u_B - u)$

۴- گاز آمونیاک روی سطح کاتالیست به شکل  $2NH_3 \rightarrow N_2 + 3H_2$  شکسته می شود. فشار کل یک اتمسفر و دما  $200^\circ C$  است. آنالیز جریان گاز (توده گاز)، 33.33% آمونیاک، 16.67% نیتروژن و 50% حجمی هیدروژن را نشان می دهد. شرایط به گونه ای است که گاز آمونیاک از میان نیتروژن و هیدروژن نفوذ و محصولات حاصل در خلاف جهت بر می گردند. در صورتی که ضخامت لایه آرام 1mm باشد، مطلوبست محاسبه سرعت شکست آمونیاک بر حسب  $kg/m^2 \cdot s$  (سرعت واکنش بسیار سریع است و لذا نفوذ مولکولی کنترل کننده مکانیزم انتقال جرم است). مقادیر ضریب نفوذ در شرایط مسأله  $D_{NH_3-N_2} = 5.39 \times 10^{-5} m^2/s$  و  $D_{NH_3-H_2} = 1.66 \times 10^{-4} m^2/s$  می باشند.

۵- در یک برج جذب دیواره مرطوب به قطر داخلی 2.54cm مایع آب به صورت فیلمی نازک روی دیواره به سمت پایین و مخلوط آمونیاک و هوا از وسط برج به سمت بالا در حرکت است. در مقطع خاصی از برج، آنالیز گاز و مایع (در توده گاز و مایع) غلظت آمونیاک را 0.8 مولی در گاز و 0.05 مولی در مایع نشان می دهد (لذا می توان محلول مایع را رقیق از آمونیاک فرض کرد). دما  $26.7^\circ C$  و فشار کل یک اتمسفر است. ضریب انتقال جرم در فیلم مایع  $k_L = 2.87 \times 10^{-5} m/s$  و عدد شروود موضعی در فاز گاز  $Sh_G = 40$  به دست آمده است. ضریب نفوذ آمونیاک در هوا در شرایط مسأله  $D_{NH_3-Air} = 2.29 \times 10^{-5} m^2/s$  است. از تبخیر آب می توان صرف نظر کرد. مطلوبست: الف) مقدار انتقال جرم موضعی آمونیاک. ب) ضخامت لایه موثر در فیلم گاز و فیلم مایع در موضع خاص.

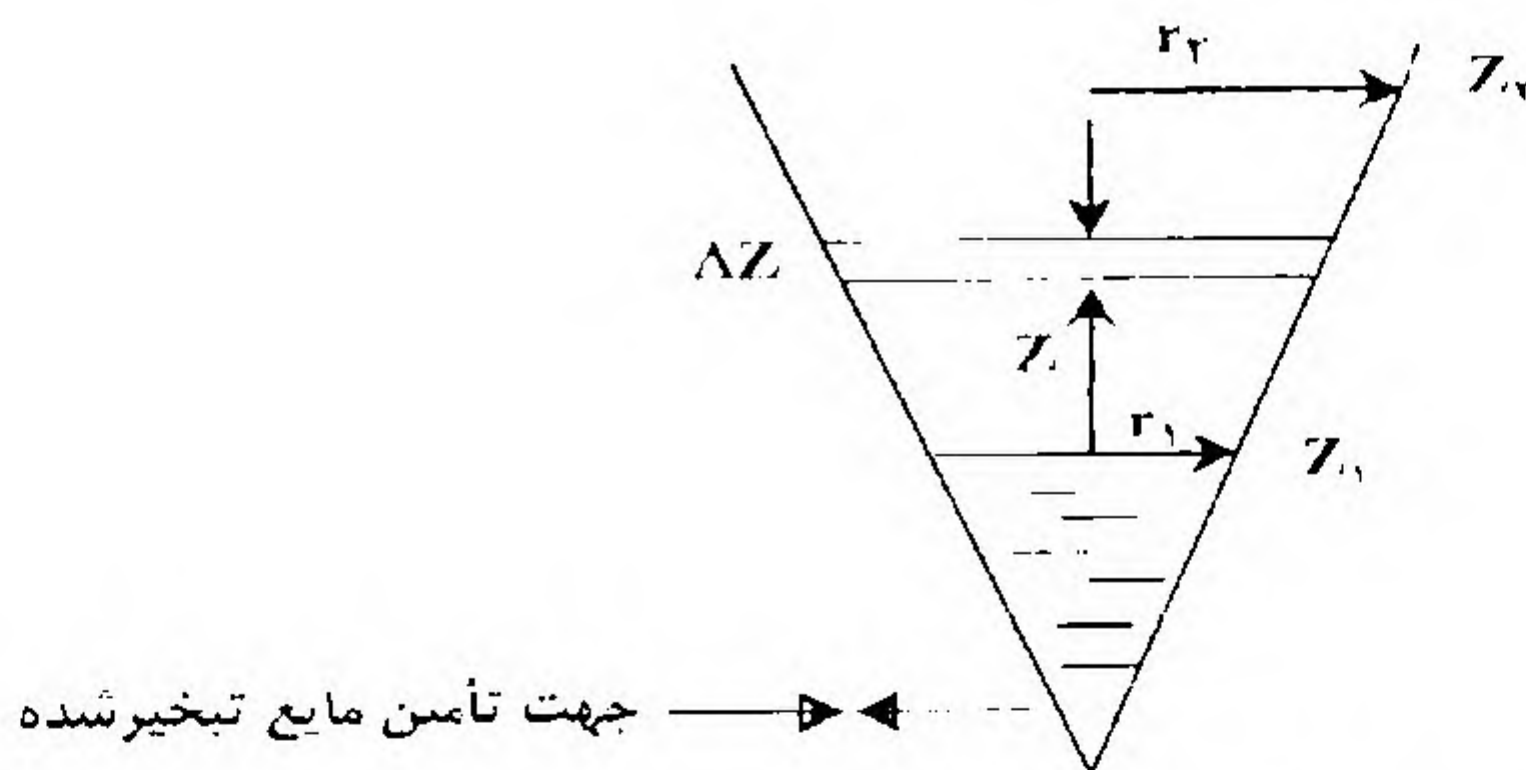
۶- داده های تعادلی مربوط به جذب بخارات بنزن از مخلوط بنزن-نیتروژن توسط کربن فعال در دمای  $33.3^\circ C$  موجود است. مخلوطی از نیتروژن- بنزن حاوی 1 درصد حجمی بنزن به طور موازی و همسو از روی جریان کربن فعال عبور داده می شود. دبی مخلوط گاز  $4.72 \times 10^{-2} m^3/s$  است. هدف جذب 95 درصد بنزن از مخلوط گازی است. کربن فعال ورودی  $15 cm^3$  بخارات بنزن در شرایط STP به ازای یک گرم کربن را دارد. دما  $33.3^\circ C$  و فشار کل اتمسفر و ثابت است. نیتروژن جذب نمی شود. حداقل کربن فعال مورد نیاز در واحد زمان چقدر است؟ اگر دو برابر حداقل کربن استفاده شود، غلظت بنزن به همراه کربن خروجی چقدر خواهد بود؟

۱- واحدهای عملیاتی که در تماس دو فاز گاز-مایع مورد استفاده قرار می‌گیرند را به اختصار شرح دهید.

۲- نشان دهید در یک سیستم دو جزئی با غلظت کل ثابت:  $D_{AB} = D_{BA}$ ، همچنین نشان دهید در یک سیستم  $n$

$$\sum_{i=A}^n J_{iz} = 0 \text{ جزئی رابطه ی زیر برقرار است:}$$

۳- تبخیر آب درون ظرف مخروطی مطابق شکل زیر را در نظر بگیرید. سطح آب درون ظرف ثابت فرض می‌شود (تبخیر آب تأمین می‌شود). لایه انتقال جرم  $Z_2 - Z_1$  در شکل ثابت و مشخص شده است. شرایط عملیاتی، دما و فشار، در لایه انتقال جرم ثابت است اما سطح مقطع در لایه انتقال جرم از نقطه  $Z_1$  تا  $Z_2$  در حال تغییر و افزایش است.



با استفاده از رابطه کلی انتقال جرم در اثر نفوذ مولکولی و حرکت توده‌ای برای شرایط پایا

$$N_{AZ} = J_{AZ} + x_A \sum_{i=A}^n N_{iz} \text{ رابطه‌ای برای فلاکس انتقال جرم } N_{AZ} \text{ و دبی انتقال جرم } m_{AZ}^0 \text{ و همچنین سطح}$$

متوسط انتقال جرم  $\bar{S}_{av}$  در لایه  $Z_2 - Z_1$  به دست آورید.

۴- در یک ستون دیواره مرطوب، جذب دی اکسید گوگرد از هوا توسط آب صورت می گیرد. در نقطه‌ای از دستگاه، جزء حجمی  $\text{SO}_2$  در توده گاز 0.1 و درصد  $\text{SO}_2$  در مایع 0.4% می باشد. دانسیته مایع در این نقطه  $990 \text{ kg/m}^3$  است. دما  $50^\circ\text{C}$  و فشار سیستم، اتمسفر است. ملاحظه شده که 47% از کل مقاومت در فاز گازی و 53% از کل مقاومت در فاز مایع قرار دارد. ضریب کلی انتقال جرم برمبنای گاز به صورت  $K_G = 7.36 \times 10^{-10} \frac{\text{kmol}}{\text{m}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{pa}}$  است. نتایج مربوط به داده‌های تعادلی  $\text{SO}_2$  بین آب و هوا به شرح زیر ارائه شده است.

|                                     |     |     |     |     |
|-------------------------------------|-----|-----|-----|-----|
| $\text{kgSO}_2 / 100\text{kgwater}$ | 0.2 | 0.3 | 0.5 | 0.7 |
| $P_{\text{SO}_2} (\text{mmHg})$     | 29  | 46  | 83  | 119 |

مطلوبست:

الف - ضریب کلی انتقال جرم برمبنای فاز مایع  $K_L$

ب - ضرایب فیلمی انتقال جرم  $k_G, k_y, k_C, k_x, k_L$

۵-  $4 \text{ kg/s}$  ماده جاذب رطوبت که حاوی 1 درصد وزنی رطوبت است به طور موازی و همسو در تماس با  $2 \text{ m}^3/\text{s}$  هوا در دمای  $25^\circ\text{C}$  و فشار کل اتمسفر قرار می گیرد. هوا حاوی رطوبت با فشار جزئی  $15 \text{ mmHg}$  است. رابطه تعادلی بین هوا و جسم جامد به صورت  $y = x$  داده شده است. مطلوبست:

الف) حداقل فشار جزئی رطوبت موجود در هوا پس از تماس کامل دو فاز

ب) حداکثر رطوبت در جامد پس از تماس کامل

۶- مراحل طراحی یک سینی مشبک (۱۴ مرحله) در ستون‌های سینی دار دستگاه‌های عملیاتی گاز - مایع را نام ببرید.

۷- پارامترهای مهم در انتخاب پکینگ مناسب برای ستون‌های پر شده را شرح دهید.

۱- واحدهای عملیاتی که در تماس دو فاز مایع - جامد قرار مورد استفاده قرار می گیرند را شرح دهید.

۲- ضریب نفوذ CO2 در هلیوم در دمای ۳۰۲°C و فشار اتمسفر برابر  $5.31 \times 10^{-5} \frac{m^2}{s}$  گزارش شده است. ضریب

نفوذ CO2 در هلیوم در فشار ۱۰ atm و دمای ۲۲۵°C را محاسبه کنید؟

$$\frac{D_{AB(1)}}{D_{AB(2)}} = \left[ \frac{T_1}{T_2} \right]^{\frac{3}{2}} \left[ \frac{P_1}{P_2} \right] \left[ \frac{\Omega_2}{\Omega_1} \right]$$

$$T = 3.2^\circ C \Rightarrow \Omega = 0.8078, \quad T = 225^\circ C \Rightarrow \Omega = 0.7334$$

۳- دو ظرف بزرگ توسط لوله ای مطابق شکل به یکدیگر متصل شده اند. در یکی از ظرفها مقدار ۸۰٪ N2 و ۲۰٪ O2 و در ظرف دیگر ۳۰٪ N2 و ۷۰٪ O2 میباشد. فشار کل ثابت و از هرگونه جابجایی صرف نظر می شود.

کانال به قطر ۱۲ cm و به طول ۵۰ cm است. دما ۲۵°C و فشار کل اتمسفری می باشد. ضریب نفوذ نیتروژن در

اکسیژن در شرایط مسئله برابر  $D_{N_2-O_2} = 1.81 \times 10^{-5} \frac{m^2}{s}$  در نظر بگیرید.  $R = 8314 \text{ J/kg mole K}$

الف) مطلوبست مقدار انتقال جرم نیتروژن برحسب kmol/s.

ب) اگر کانال به صورت مخروطی باشد (شکل ۲)؛ در این صورت مقدار انتقال جرم نیتروژن چقدر می شود.

ج) اگر کانال به صورت مخروطی و برعکس در مسیر قرار داده شود. در اینصورت مقدار انتقال جرم نیتروژن چقدر خواهد شد؟



شکل ۱- کانال با سطح مقطع ثابت



شکل ۲- کانال مخروطی

۴- در یک ستون دیواره مرطوب، جذب دی اکسید گوگرد از هوا توسط آب صورت می گیرد. در نقطه ای از دستگاه، جزء حجمی SO<sub>2</sub> در توده گاز ۰.۱٪ و درصد SO<sub>2</sub> در مایع ۰.۴٪ می باشد. دانسیته مایع در این نقطه برابر  $\rho = 990 \text{ kg/m}^3$  است. دما ۵۰°C و فشار سیستم اتمسفر است. ملاحظه شده که ۴۷٪ از کل مقاومت در فاز گازی و ۵۳٪ از کل مقاومت در فاز مایع قرار دارد. ضریب کلی انتقال جرم برمبنای گاز به صورت

$$K_G = 7.36 \times 10^{-10} \frac{\text{kmol}}{\text{m}^2 \text{h} \left( \frac{N}{m^2} \right)}$$

است.

نتایج مربوط به داده های تعادلی SO<sub>2</sub> بین آب و هوا به شرح زیر ارائه شده است.

| کیلوگرم SO <sub>2</sub><br>۱۰۰ کیلوگرم آب | ۰.۲ | ۰.۳ | ۰.۵ | ۰.۷ |
|-------------------------------------------|-----|-----|-----|-----|
| فشار جزئی SO <sub>2</sub><br>[mmHg]       | ۲۹  | ۴۶  | ۸۳  | ۱۱۹ |

مطلوبست:

الف- ضریب کلی انتقال جرم برمبنای فاز مایع KL

ب- ضرایب فیلمی انتقال جرم kL ، kx ، kC ، ky ، kG

۵- تماس مخلوط هوا و گاز SO<sub>2</sub> با آب صورت گرفته است. پس از انجام آزمایشات خاص مختلف، نتایج تعادلی زیر بدست آمده است.

| کیلوگرم SO <sub>2</sub><br>۱۰۰ کیلوگرم آب خالص | ۰.۲ | ۰.۳ | ۰.۵ | ۰.۷ |
|------------------------------------------------|-----|-----|-----|-----|
| فشار جزئی SO <sub>2</sub> بر حسب میلیمتر جیوه  | ۲۹  | ۴۶  | ۸۳  | ۱۱۹ |

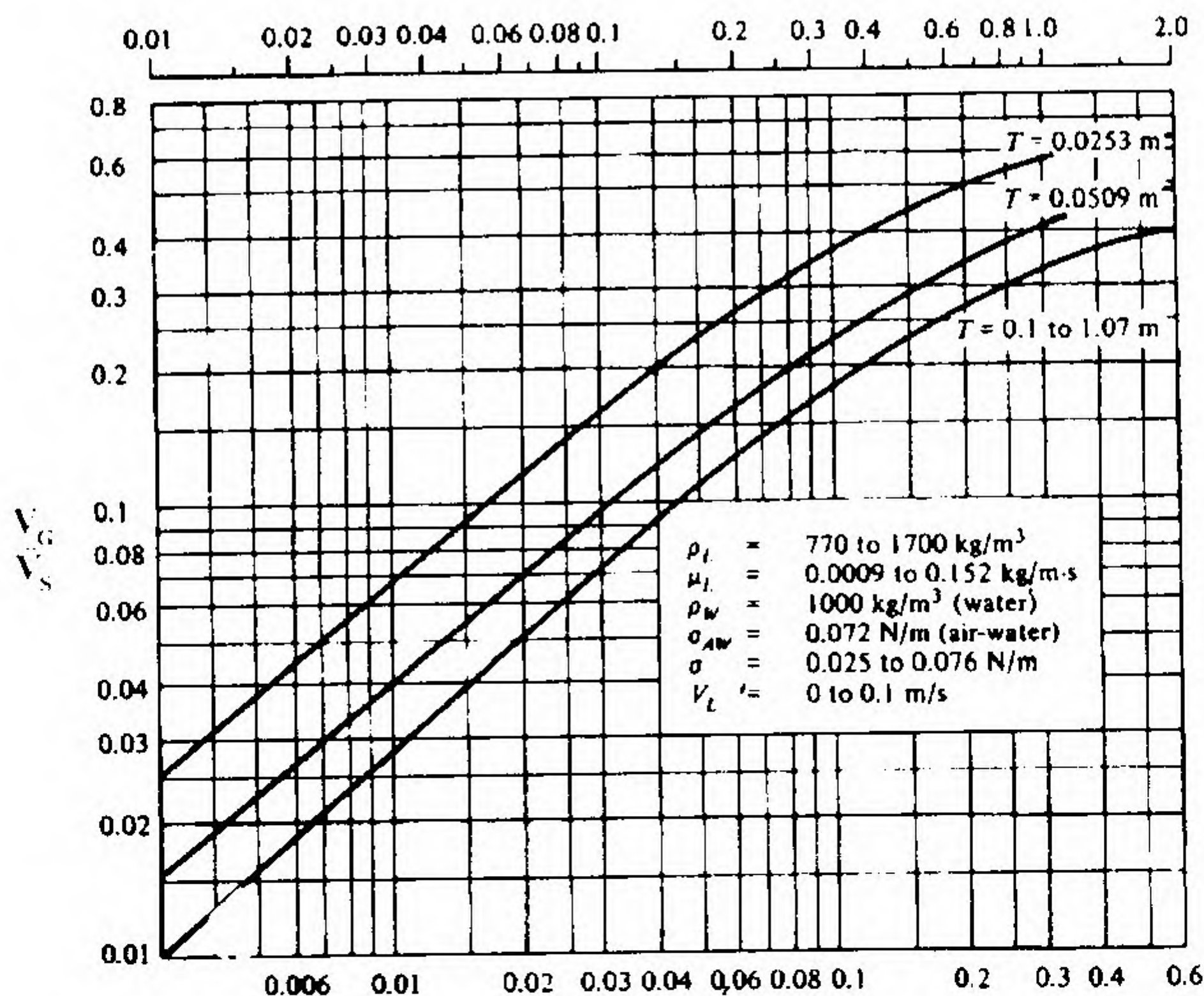
مطلوبست: الف- مقادیر منحنی تعادلی XY بر حسب مولی. فشار کل اتمسفر است.

ب- مقادیر منحنی تعادلی XY بر حسب جرمی.

۶- ستونی به قطر ۱m متر برای جداسازی کالر موجود در آب با استفاده از جریان هوا از طریق یک sparger موجود است. ارتفاع ستون ۳m متر، جریان هوا و آب به صورت موازی و غیرهمسویمی باشد. دبی مایع  $10 \times 8 - m^3/s$  و دبی جرمی گاز  $0.55 kg/s$  است. Sparger مورد استفاده دارای ۵۰ سوراخ و قطر هر سوراخ  $mm^3$  می باشد. مطلوبست محاسبه سطح ویژه  $a = \frac{6\phi}{d_p}$  و ضریب انتقال جرم فیلم مایع، فشار محیط اتمسفر و دما  $25^\circ C$  است.

$$d_p = 0.0071 Re_0^{-0.05} \quad \dot{V}_G = \frac{\dot{V}_{mG}}{\rho_G} \quad Re_0 = \frac{\rho_G V_0 d_0}{\mu_G} \quad R = 8314 J/kg \text{ mole } K$$

$$\mu_G = 1.8 \times 10^{-5} \frac{kg}{ms} \quad V_L = \frac{\dot{V}_L}{A_C} \quad V_S = \frac{V_G}{\phi} - \frac{V_L}{1-\phi} \quad \dot{\gamma} = 0.072 \frac{N}{m} \quad V_0 = \frac{\dot{V}_G}{n_0 \pi d_0^2 / 4}$$



شکل ۸-۲ سرعت لغزشی در ظروف مجهز به Sparger

۷- پارامترهای مهم در انتخاب پکینگ مناسب برای ستون های پر شده را شرح دهید.

۱- واحدهای عملیاتی که در تماس دو فاز گاز - جامد قرار مورد استفاده قرار می گیرند را شرح دهید.

۲- ضریب نفوذ بروموفرم ( $\text{CHBr}_3$ ) در محلول رقیق استن ( $\text{C}_3\text{H}_6\text{O}$ ) در دمای  $25^\circ\text{C}$  برابر با  $10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$  گزارش شده است. مطلوبست ضریب نفوذ بنزوئیک اسید ( $\text{C}_6\text{H}_5\text{-COOH}$ ) در محلول رقیق استن در دمای  $25^\circ\text{C}$  و مقایسه آن با مقدار تجربی.

مقدار تجربی ضریب نفوذ بنزوئیک اسید در استن  $10^{-10} \times 2.269 \text{ m}^2/\text{s}$  گزارش شده است. از رابطه تجربی ویلک - چانگ استفاده کنید.

$$D_{AB}^0 = \frac{(117.3 \times 10^{-18}) (\phi M_B)^{1/2} T}{\mu V_A^{0.6}}$$

حجم اتمی عناصر به صورت زیر میباشد:

$$V_C = 14.8 \times 10^{-3}, V_H = 3.7 \times 10^{-3}, V_{Br} = 27 \times 10^{-3}, V_O = 7.4 \times 10^{-3}, V_{ring} = 15 \times 10^{-3}$$

در صورتیکه ویسکوزیته استن در دمای  $25^\circ\text{C}$  برابر با  $10^{-3} \times 0.33 \text{ kg/ms}$  باشد، فاکتور تجمع حلال استن (j) را تعیین کنید.

۳- تصعید یک قطعه جامد کروی از جنس A و به شعاع R در محیطی بسیار ساکن از جنس B صورت می گیرد. ضخامت لایه انتقال جرم در حدی نیست که از مختصات کارتزین بجای کروی استفاده کنید. میزان تصعید بسیار کم است (شرایط عملیاتی دما و فشار و غیره باعث میزان تصعید بسیار کم شده است). لذا از حرکت توده‌ای

صرف نظر نموده و با توجه به تعریف، عدد شروود در این حالت برابر است با:  $Sh = \frac{k_c d}{D_{AB}}$  که d قطر کره است. مقدار عددی عدد شروود را وقتی انتقال جرم از سطح کره به محیط اطراف و به نقطه‌ای به فاصله R22 از مرکز کره صورت می گیرد بدست آورید.

۴- در یک برج جذب دیواره مرطوب به قطر داخلی 1) ۲.۵۴cm (اینچ) آب مایع به صورت فیلمی نازک روی دیواره به سمت پایین و مخلوط آمونیاک و هوا از وسط برج به سمت بالا در حرکت است. در مقطع خاصی از برج، آنالیز گاز و مایع (در توده گاز و مایع) غلظت آمونیاک را ۰.۸ مولی (در گاز) و ۰.۰۵ مولی (در مایع) نشان می‌دهد (لذا می‌توان محلول مایع را رقیق از آمونیاک فرض نمود). درجه حرارت ۲۶.۷°C و فشار کل اتمسفر است. ضریب انتقال جرم در فیلم مایع  $k_L = 2.87 \times 10^{-5} \text{ m/s}$  و عدد شرود موسی در فاز گاز  $Sh_G = 40$  بدست آمده

است. ضریب نفوذ آمونیاک در هوا در شرایط مسئله و  $D_{NH_3-Air} = 2.29 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$

می‌باشد. دانسیته آب ۱۰۰۰ kg/m<sup>3</sup> و جرم مولکولی آن ۱۸ kg/kmol است. از  $D_{NH_3-H_2O} = 1.84 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$

تبخیر آب می‌توان صرف نظر کرد.  $Sh_G = \frac{F_G d}{CD}$  ,  $R = 8314$

معادله منحنی عملیاتی وقتی که جزء A (آمونیاک) نفوذ می‌کند با رابطه زیر داده شده است:

$$\left[ \frac{1-y_A}{1-y_{AG}} \right] = \left[ \frac{1-x_{AL}}{1-x_A} \right]^{F_L/F_G}$$

غلظت‌های آمونیاک در فصل مشترک فاز گاز و مایع در موضع خاص برابر با:

$$x_{Ai} = 0.274 , y_{Ai} = 0.732$$

مطلوبست: الف- مقدار انتقال جرم موضعی آمونیاک.

ب- ضخامت لایه موثر در فیلم گاز و فیلم مایع در موضع خاص.

۵- ۴ kg/s ماده جاذب رطوبت که حاوی ۱ درصد وزنی رطوبت است به طور موازی و همسو در تماس با ۲ m<sup>3</sup>/s هوا در

دمای ۲۵°C و فشار کل اتمسفر قرار می‌گیرد. هوا حاوی رطوبت با فشار جزئی ۱۵ mmHg است. رابطه تعادلی

بین هوا و جسم جامد به صورت  $y=x$  داده شده است. مطلوبست:

الف) حداقل فشار جزئی رطوبت موجود در هوا پس از تماس کامل دو فاز

ب) حداکثر رطوبت در جامد پس از تماس کامل

ج) اگر واحد عملیاتی با راندمان ۸۰ درصد کار میکرد، فشار جزئی رطوبت در هوای خروجی چقدر می‌شد.

۶- مراحل طراحی یک سینی مشبک در ستون‌های سینی‌دار را به ترتیب نام ببرید.

۷- پارامترهای موثر بر انتخاب حلال در فرآیند جذب را نام ببرید.

- ۱- صفحه ۴ کتاب انتقال جرم تریبال چاپ هفتم
- ۲- صفحه ۴۷-۴۸ کتاب انتقال جرم تریبال چاپ هفتم
- ۳- صفحه ۱۰۷-۱۰۸ کتاب انتقال جرم تریبال چاپ هفتم
- ۴- صفحه ۲۰۵-۲۰۶ کتاب انتقال جرم تریبال چاپ هفتم
- ۵- صفحه ۳۴۷-۳۴۸ کتاب انتقال جرم تریبال چاپ هفتم
- ۶- صفحه ۴۱۸-۴۱۹ کتاب انتقال جرم تریبال چاپ هفتم
- ۷- صفحه ۴۷۵-۴۷۶ کتاب انتقال جرم تریبال چاپ هفتم