

بنام خدا



دانشگاه علم و صنعت ایران
دانشکده مهندسی شیمی

عنوان درس

عملیات انتقال جرم

Mass Transfer Operation

دکتر قائمی

نیمسال اول ۹۱-۱۳۹۰

Email: ahadghaemi@yahoo.com



مشخصات درس

تعداد واحد: ۳ واحد

نوع درس: نظری

پیش نیاز: انتقال حرارت

فهرست مراجع:

- 1) Mass-Transfer Operations, R.A. Treybal
- 2) Transport Phenomena, Bird, Stewart, Lightfoot
- 3) Unit Operations of Chemical Engineering, MC. Cabe, Smith, Harriot
- 4) Mass Transfer Principles and Applications, Diran Basmadjian

ارزیابی	
نمره (%)	بارم
۱۰	تکلیف
۱۰	کوئیز
۱۰	حضور غیاب
۲۵	میان ترم
۴۵	پایان ترم

Mass Transfer
Autumn 1390
A. Ghaemi (ahadghaemi@yahoo.com)

فهرست مطالب	
هفته اول:	اصول و مقدمات انتقال جرم، تقسیم بندی عملیات انتقال جرم، فرآیندهای جداسازی،
هفته دوم:	روش های تماس فازها، عملیات پایا و ناپایا، عملیات مرحله ای
هفته سوم:	نفوذ مولکولی در سیالات، قانون اول فیک، محاسبه فلاکس انتقال جرم
هفته چهارم:	معادله پیوستگی؛ قانون بقای جرم و محاسبه شارهای انتقال جرمی
هفته پنجم:	نفوذ پذیری و ضرائب نفوذ مولکولی در گازها و مایعات و موارد کاربرد آنها
هفته ششم:	محاسبه ضرایب انتقال جرم در مایعات، جامدات و گازها،

Mass Transfer
Autumn 1390
A. Ghaemi (ahadghaemi@yahoo.com)

فهرست مطالب	
هفته هفتم:	تئوری های موجود، حالات ساده انتقال جرم، آنالوگی پدیده های انتقال، لایه مرزی
هفته هشتم:	انتقال جرم بین فازها، ضرایب جمعی انتقال جرم
هفته نهم:	حل مسائل نمونه، امتحان میان ترم، از مطالب ارائه شده تا هفته هفتم
هفته دهم:	فرآیندهای تماس فازها، موازنه جرم
هفته یازدهم:	محاسبه تعداد مراحل تئوری و راندمان عملکرد واحد های انتقال
هفته دوازدهم:	دستگاه های انتقال جرم، مخازن مولد حباب، مخازن همزن دار
هفته سیزدهم:	اصول عملکرد برج های سینی دار و پر شده

Mass Transfer Autumn 1390 A. Ghaemi (ahadghaemi@yahoo.com)

فهرست مطالب	
هفته چهاردهم:	اصول طراحی برج های سینی دار و پر شده، محاسبه واحد های انتقال
هفته پانزدهم:	فرآیندهای جذب و دفع، سیستم های دو گانه و چندگانه
هفته شانزدهم:	جریان های معکوس، تعیین حداقل نسبت مایع بر گاز
هفته هفدهم:	برج های خنک کننده، سیستم های هوا و آب و دستگاه های دیگر
	امتحان پایان ترم - از کل جزوه


Mass Transfer Autumn 1390 A. Ghaemi (ahadghaemi@yahoo.com)


**هفته اول**

مقدمه ای بر عملیات انتقال جرم



Mass Transfer Autumn 1390 A. Ghaemi (ahadghaemi@yahoo.com)

**واحد شیمیایی**



واحد شماره یک : تغییرات فیزیکی

- تغییر در غلظت مواد
- تغییر در دمای خوراک
- تغییر در فشار سیال

واحد شماره دو : تغییرات شیمیایی


- واکنش بین واکنشگرها

واحد شماره سه : تغییرات فیزیکی و شیمیایی

- خالص سازی و جدا سازی محصول ناخواسته

Mass Transfer Autumn 1390 A. Ghaemi (ahadghaemi@yahoo.com)

واحد شیمیایی



پیشرو در علم و صنعت ایران

Contact process (DCDA)

مثال: تولید اسید سولفوریک H_2SO_4

$$S(s) + O_2(g) \rightarrow SO_2(g)$$

گاز SO_2 تا $450^\circ C$ درجه گرم شده و از روی کاتالیست عبور داده می شود:

$$2SO_2(g) + O_2(g) \xrightarrow{V_2O_5} 2SO_3(g) \quad \text{در حضور پنتاکسید وانادیوم}$$

$$SO_3(g) + H_2O(L) \rightarrow H_2SO_4(L)$$

حل کردن مستقیم گاز SO_3 عملی نبوده چون خیلی گرمازا و خورنده می باشد. لذا از واکنش زیر استفاده می کنند:

$$H_2SO_4(L) + SO_3(g) \rightarrow H_2SO_7(L)$$

تری اکسید سولفور در دو ستون با اسید سولفوریک شستشو داده شده و تولید Oleum می شود.


$$H_2SO_7(L) + H_2O(L) \rightarrow 2H_2SO_4(L)$$

Mass Transfer

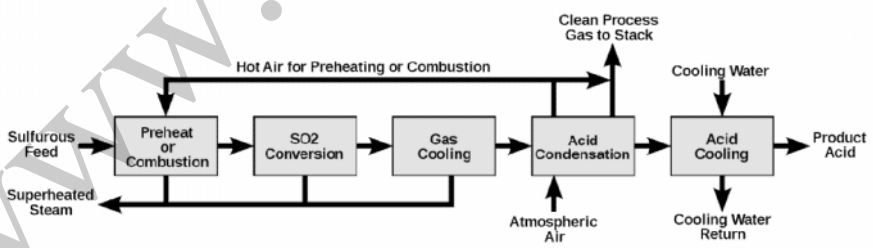
Autumn 1390

A. Ghaemi (ahadghaemi@yahoo.com)

واحد شیمیایی



پیشرو در علم و صنعت ایران



Combustion: $H_2S + 1.5 O_2 = H_2O + SO_2$

Oxidation: $SO_2 + \frac{1}{2}O_2 = SO_3 + 99 \text{ kJ/mole}$
(in the presence of a vanadium (V) oxide catalyst)

Hydration: $SO_3 + H_2O = H_2SO_4 (g)$

Condensation: $H_2SO_4 (g) = H_2SO_4 (l)$

Mass Transfer

Autumn 1390

A. Ghaemi (ahadghaemi@yahoo.com)

انتقال جرم

در اغلب عملیات مهندسی شیمی با تغییرات غلظت سرو کار داریم. مثلاً در تولید مواد شیمیائی که به همراه ناخالصی می باشد. برای خالص کردن مواد تولید شده لازم است ناخالصی ها جداسازی شوند. بنابراین باید در ترکیب مواد تولید شده تغییراتی اعمال شود. انجام این عملیات را انتقال جرم می نامیم.



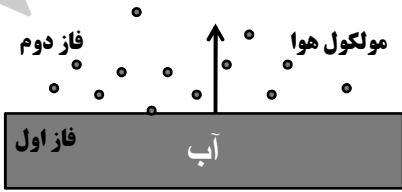
The flowchart illustrates the mass transfer process. It starts with a box on the left labeled 'مواد اولیه و ناخالصی' (Initial materials and impurities) and 'مواد تولید شده همراه با ناخالصی' (Produced materials with impurities). An arrow points from this box to a central circle labeled 'عملیات جداسازی و خالص سازی مواد' (Separation and purification operations) and 'عملیات انتقال جرم' (Mass transfer operations). From the central circle, two arrows point to boxes on the right: 'مواد خالص یا با ترکیب درصد دلخواه' (Pure materials or with desired percentage composition) and 'مواد ناخالص یا مزاحم' (Impure or interfering materials). Below the flowchart, a text box states: 'به ندرت یک عملیات شیمیائی را می توان یافت که نیاز به خالص سازی مواد اولیه و یا جداسازی محصولات از محصولات جانبی نداشته باشد.' (It is rarely found that a chemical operation does not require the purification of raw materials or the separation of products from by-products.)

Mass Transfer Autumn 1390 A. Ghaemi (ahadghaemi@yahoo.com)

انتقال جرم

انتقال جرم یعنی : انتقال یک جزء از یک فاز به فاز دیگر و یا از نقطه ای به نقطه دیگر را می گویند.

عملیات انتقال یک ماده به داخل ماده دیگر در مقیاس مولکولی می باشد.



The diagram shows a rectangular container labeled 'آب' (Water) at the bottom. Above the container, there are two regions: 'فاز اول' (Phase 1) on the left and 'فاز دوم' (Phase 2) on the right. An upward arrow indicates the movement of 'مولکول هوا' (Air molecules) from the water surface into the air phase.

وقتی آب از درون یک استخر به درون جریان هوایی که بر روی آب در حرکت است تبخیر می گردد مولکول های بخار آب از میان مولکول های سطح هوا روی سطح به درون توده هوا نفوذ می کنند.

Mass Transfer Autumn 1390 A. Ghaemi (ahadghaemi@yahoo.com)

انتقال جرم

هدف از انتقال یک جزء در مخلوط می باشد. عامل اصلی انتقال جرم، اختلاف پتانسیل شیمیائی یا اختلاف غلظت است.

(ب) عوامل انتقال :

- تغییر فشار
- تغییر دما
- تغییر ارتفاع
- تغییر غلظت
- و ...

برای تعیین نوع انتقال باید نوع نیروی وارد بر ماده را مشخص کنیم.

Mass Transfer Autumn 1390 A. Ghaemi (ahadghaemi@yahoo.com)

عامل انتقال حرارت

اختلاف دما

$\Delta Q = c \Delta T$
 $c = \text{heat capacity}$

Object #1 T_1 Heat Q Object #2 T_2

در این فرآیند حرارت از محیط گرم تر به محیط سردتر منتقل می شود تا به تعادل ترمودینامیکی برسد. در تعادل ترمودینامیکی انتقال حرارت صفر می باشد.

اغلب در فرآیندهای مهندسی شیمی پدیده های انتقال جرم و حرارت همزمان اتفاق می افتد.

عوامل انتقال منتوم :

- اختلاف فشار
- اختلاف ارتفاع
- اختلاف سرعت

Mass Transfer Autumn 1390 A. Ghaemi (ahadghaemi@yahoo.com)



پدیده انتقال جرم

فرآیندهای انتقال جرم عموماً بر اثر تماس نزدیک دو فاز بوجود می آید.




مرحله اول: جذب آمونیاک در آب

مرحله دوم: افزایش غلظت آمونیاک در آب با گذشت زمان

مرحله سوم: همزمان با مرحله دوم آمونیاک در جهت عکس وارد هوا می شود (شروع Rate بازگشت)

مرحله چهارم: برابری Rate ورود و خروج آمونیاک در آب (تعادل سیستم)

Mass Transfer
Autumn 1390
A. Ghaemi (ahadghaemi@yahoo.com)



حالت تعادل

پایان تمامی فرآیندهای انتقال جرم حالت تعادل می باشد.
در حالت تعادل عملیات انتقال صورت می گیرد ولی حالت تعادل حفظ می شود.
شرط تعادل ترمودینامیکی:

پتانسیل شیمیایی آمونیاک در فاز مایع = پتانسیل شیمیایی آمونیاک در فاز گاز

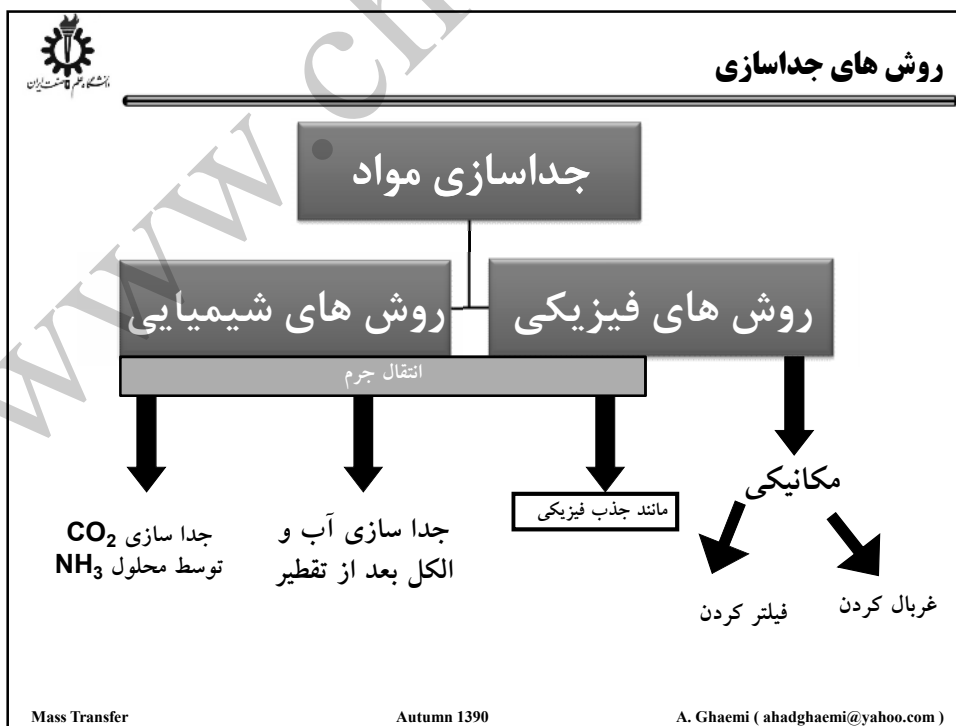
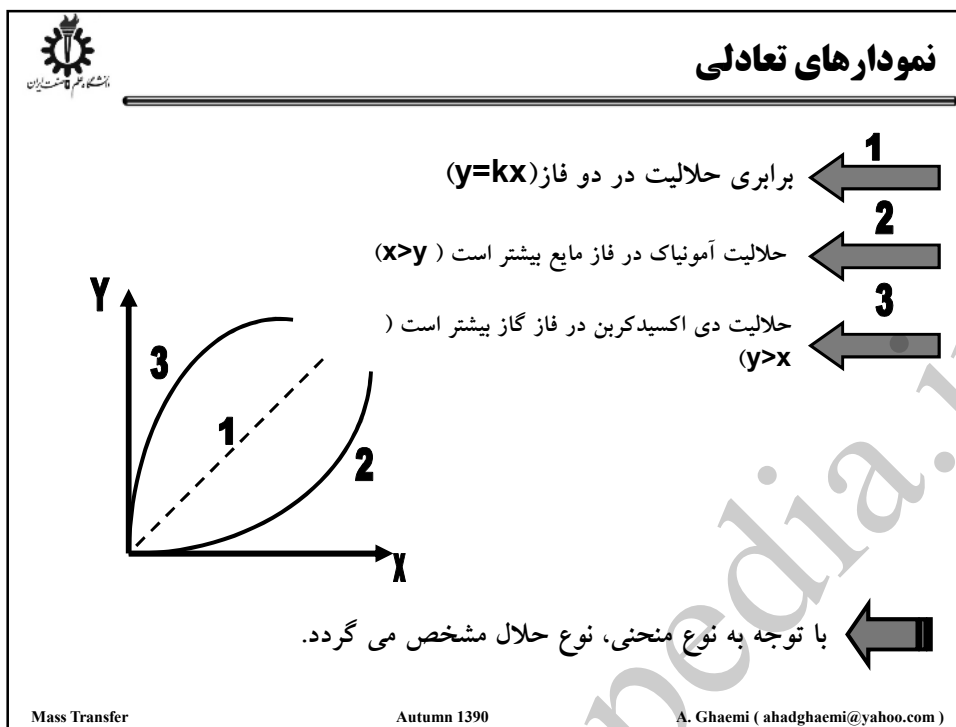
$$(\mu_i)_{\text{gas}} = (\mu_i)_{\text{liquid}}$$

مثلاً در یک محلول ایده آل پتانسیل شیمیایی جزء i بصورت زیر می باشد.

$$\mu_i = \mu_i^* + RT \ln x_i$$

که μ_i^* پتانسیل شیمیایی جز i خالص است.

Mass Transfer
Autumn 1390
A. Ghaemi (ahadghaemi@yahoo.com)



مشخصات عملیات انتقال جرم

خوراک باید حداقل شامل دو جزء باشد (A,B)

فصل مشترک

ماده ای غیر از دو فاز

از جنس دو فاز

ویژگی های عملیات انتقال جرم

عدم خلوص فاز ها در حالت تعادل

انجام عملیات به صورت تدریجی

تعادل غلظتی = توقف عملیات

دو فاز باید در تماس با یکدیگر باشند

مستقیم

غیرمستقیم

Mass Transfer Autumn 1390 A. Ghaemi (ahadghaemi@yahoo.com)

انتقال یک ماده به درون ماده ای دیگر در مقیاس مولکولی

انتقال جز i در فاز α در اثر.....

انتقال جز i بین دو فاز در اثر.....

انتقال جز i در فاز β در اثر.....

interface

Bulk

حالت تعادل: $(\mu_i)^\alpha = (\mu_i)^\beta$ $(c_i)^\alpha = \text{Constant}$

Mass Transfer Autumn 1390 A. Ghaemi (ahadghaemi@yahoo.com)

 **تقسیم بندی فرآیندهای انتقال جرم classification of the mass transfer operations**

فرآیندهای انتقال جرم براساس نوع تماس به سه قسمت تقسیم می شوند.

۱- تماس مستقیم دو فاز غیر محلول در هم **Direct contact of two immiscible phases**
شامل فرآیندهای گاز-مایع، گاز-جامد، مایع-مایع، مایع-جامد
این گروه از بقیه گروه ها مهم تر بوده و غالب عملیات در این تقسیم بندی قرار می گیرند.

۲- تماس مستقیم دو فاز محلول در هم **Direct contact of two miscible phases**

۳- تماس غیر مستقیم فازها (فرآیندهای غشائی) **Phases separated by a membrane**
فرآیندهای گاز-گاز، گاز-مایع، مایع-مایع

دسته اول بیشترین کاربرد را دارند، مخصوصا در برج های تقطیر، جذب، دفع و دسته دوم کمترین کاربرد را دارند زیرا به محض رسیدن دو فاز به هم، مخلوط شده و به تعادل می رسند و از انتقال جرم جلوگیری می شود.

Mass Transfer Autumn 1390 Ahad Ghaemi (ahadghaemi@yahoo.com)

تماس فازها

وجود سه فاز مختلف جامد، مایع و گاز امکان مجاور شدن دو فاز را با یکدیگر در ۶ حالت فراهم می نماید.

روش های تماس فازها

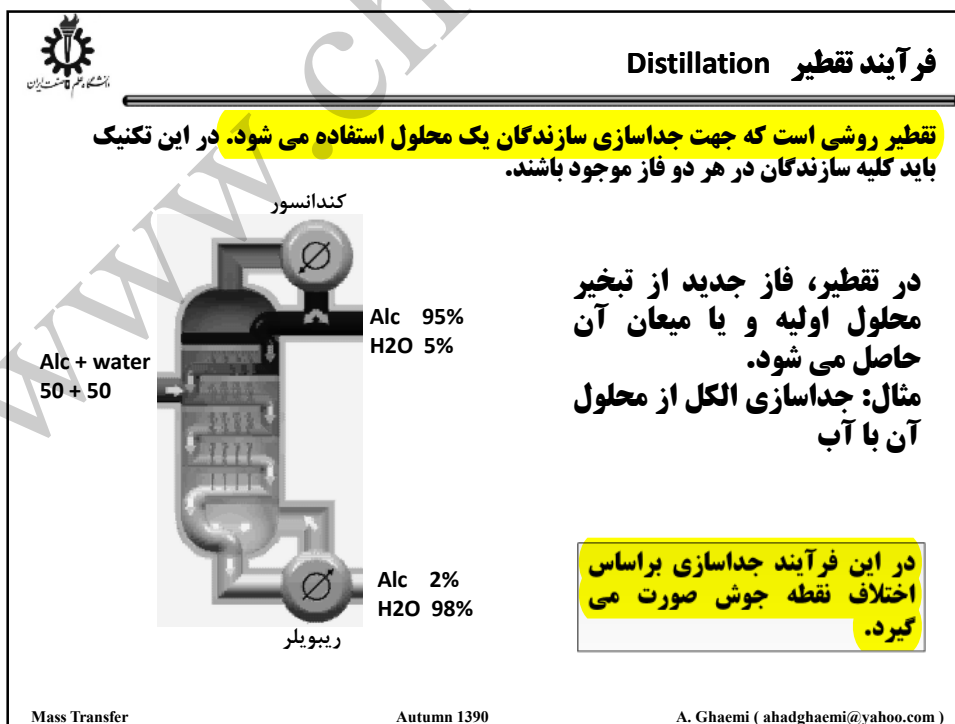
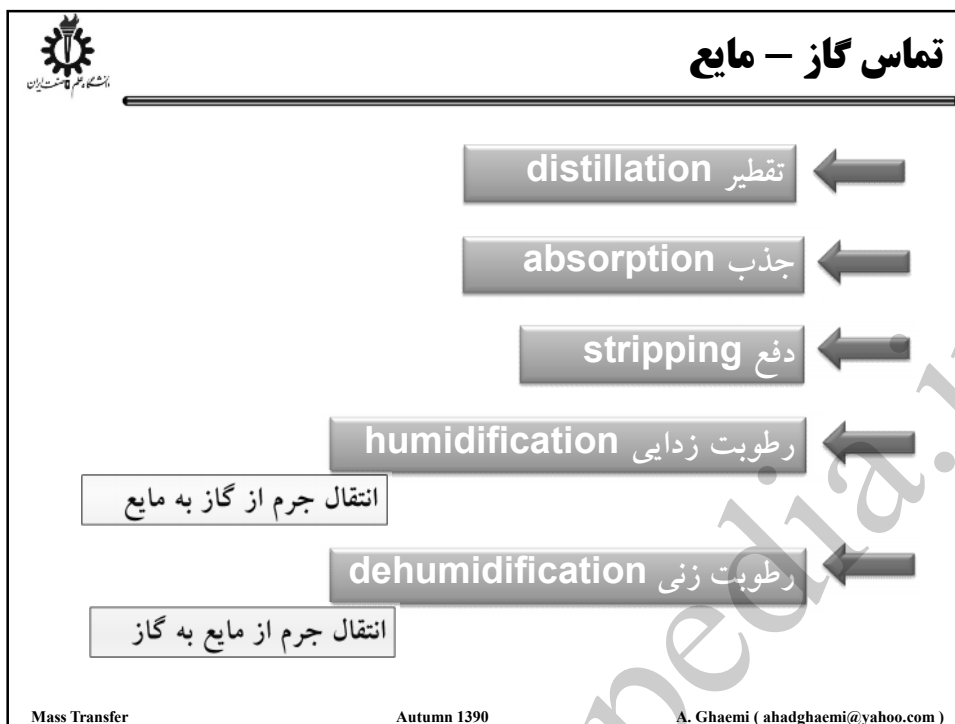
- روش مستقیم
 - گاز - گاز
 - گاز - مایع
 - گاز - جامد
 - مایع - مایع
 - مایع - جامد
 - جامد - جامد
- روش غیر مستقیم

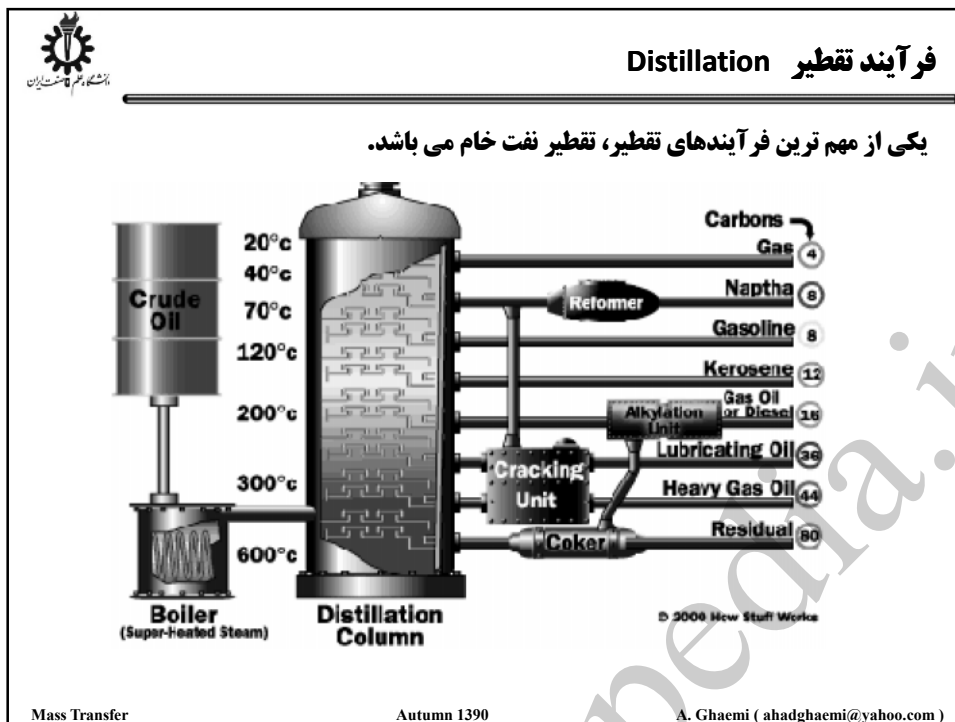
حرکت بسیار کند مولکول ها

تحرك بیش از حد

در درس انتقال جرم بیشتر به فرآیندهای گاز - مایع خواهیم پرداخت.

Mass Transfer Autumn 1390 A. Ghaemi (ahadghaemi@yahoo.com)







فرآیند تقطیر Distillation

ویژگی های فرایند تقطیر :

نبود حلال: نبود حلال ممکن است هم محدودیت باشد و هم مزیت محدودیت: عدم امکان انتخاب حلال مناسب برای جداسازی موثر مزیت: نیازی به هزینه جهت تهیه حلال نیست.


ایجاد فاز جدید: توسط مبدل های حرارتی

فرایند مستقیم: تماس فازهای گاز و مایع بطور مستقیم

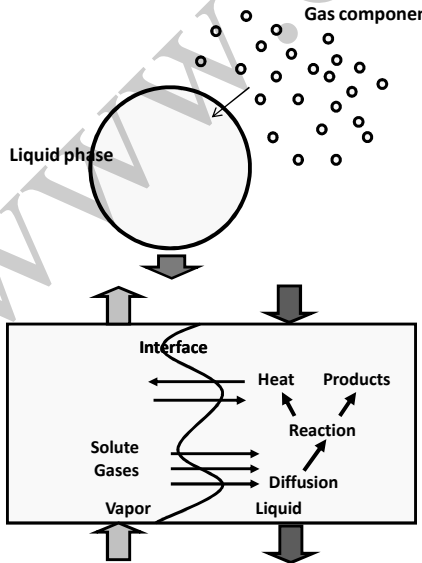
کاربرد بیشتر به علت کاهش مقدار ناخالصی

قسمت اعظم هزینه های عملیاتی صرف انجام جداسازی می گردد.

Mass Transfer
Autumn 1390
A. Ghaemi (ahadghaemi@yahoo.com)



فرآیند جذب Absorption



در این فرآیند جزء مورد نظر توسط مایع مناسب از فاز گاز جذب فاز مایع می شود. این عمل در ستون یا برج جذب انجام می گیرد.


این فرآیند در دو حالت انجام می گیرد:

- ۱- جذب فیزیکی
- ۲- جذب واکنش دار

اغلب فرآیندهای صنعتی جذب واکنش دار می باشد. از واکنش برای افزایش انتقال جرم استفاده می کنند.

مانند: شیرین سازی گاز طبیعی، حذف دی اکسیدکربن با محول آمونیاک

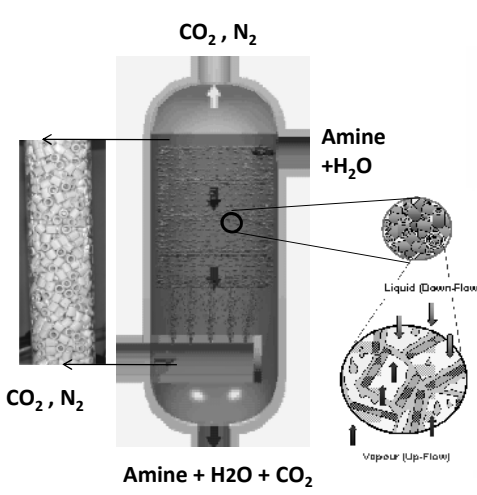
Mass Transfer
Autumn 1390
A. Ghaemi (ahadghaemi@yahoo.com)



دانشگاه علم و صنعت ایران

فرآیند جذب Absorption

ویژگی های فرآیند جذب:



نیاز به حلال: می توان با انتخاب حلال های آلی مناسب راندمان جداسازی را افزایش داد.


تماس مستقیم فازها: فازهای گاز و مایع بطور مستقیم در تماس می باشند.

کاربرد در تولید مواد شیمیایی، و اغلب واحدهای شیمیایی، حذف **آلاینده ها**

Mass Transfer

Autumn 1390

A. Ghaemi (ahadghaemi@yahoo.com)



دانشگاه علم و صنعت ایران

فرآیند جذب Absorption

۱. حلالیت گاز: **حلالیت گاز باید بالا باشد** تا شدت جذب گاز، زیاد و مقدار حلال مورد نظر کم شود. معمولاً حلالی که از نظر طبیعت شیمیایی مشابه با ماده حل شونده باشد، امکانات زیادی را جهت انحلال حل شونده فراهم می‌سازد. مثلاً برای جداسازی بنزن از گازهای کوره کک از روغن هیدروکربن استفاده می‌شود و آب که یک ماده شدیداً قطبی است، بکار نمی‌رود.
۲. فراریت: **فشار بخار حلال باید کم باشد**، زیرا گاز خروجی از فرآیند جذب از بخار حلال اشباع می‌باشد و لذا اتلاف حلال در صورت زیاد بودن فشار بخار آن، بیشتر خواهد بود.
۳. خوردگی: **حلال نباید اثر خورنده روی مواد داشته باشد** و موادی که در ساختمان دستگاهها بکار می‌روند، نباید غیر معمول و گران باشند.
۴. بهای حلال: حلال بکار رفته نباید گران قیمت باشد تا اتلاف آن هزینه زیادی را ایجاد کند.
۵. ویسکوزیته: **همواره کم بودن ویسکوزیته حلال بدلیل تسریع سرعت جذب**، افت فشار کم در تلمبه‌ها و خواص خوب در انتقال حرارت ترجیح داده می‌شود.
۶. خواص متفرقه: در صورت امکان، حلال نباید سمی و آتشگیر باشد. باید از نظر شیمیایی پایدار بوده، نقطه انجماد آن هم، پایین باشد.

Mass Transfer

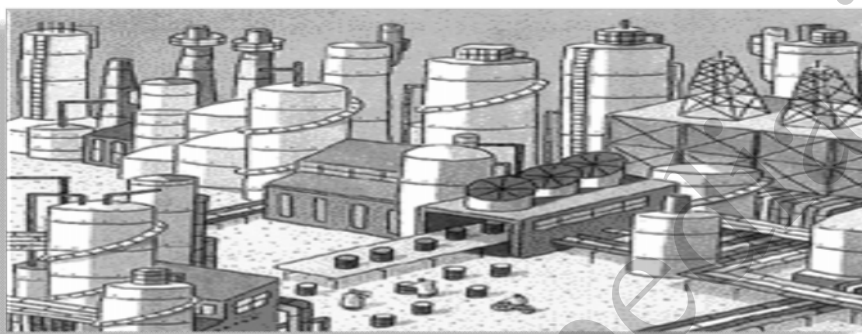
Autumn 1390

A. Ghaemi (ahadghaemi@yahoo.com)



هفته دوم

فرآیندهای جداسازی و عملیات مرحله ای



Mass Transfer

Autumn 1390

A. Ghaemi (ahadghaemi@yahoo.com)

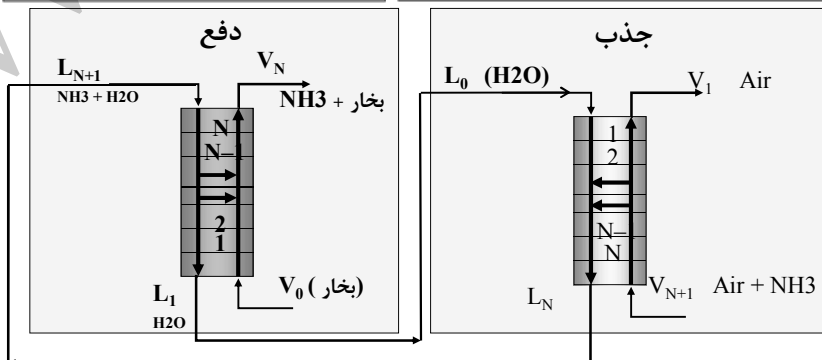


فرآیند دفع Stripping

برای احیاء حلال برج جذب از برج دفع یا striper استفاده می کنند. جهت انتقال جرم از فاز مایع به فاز گاز می باشد. به این برج desorption نیز گفته می شود. معمولاً در صنایع برج دفع با برج جذب باهم استفاده می شوند.

عملیات جذب: مسیر انتقال جرم از گاز به مایع
عملیات دفع: مسیر انتقال جرم از مایع به گاز

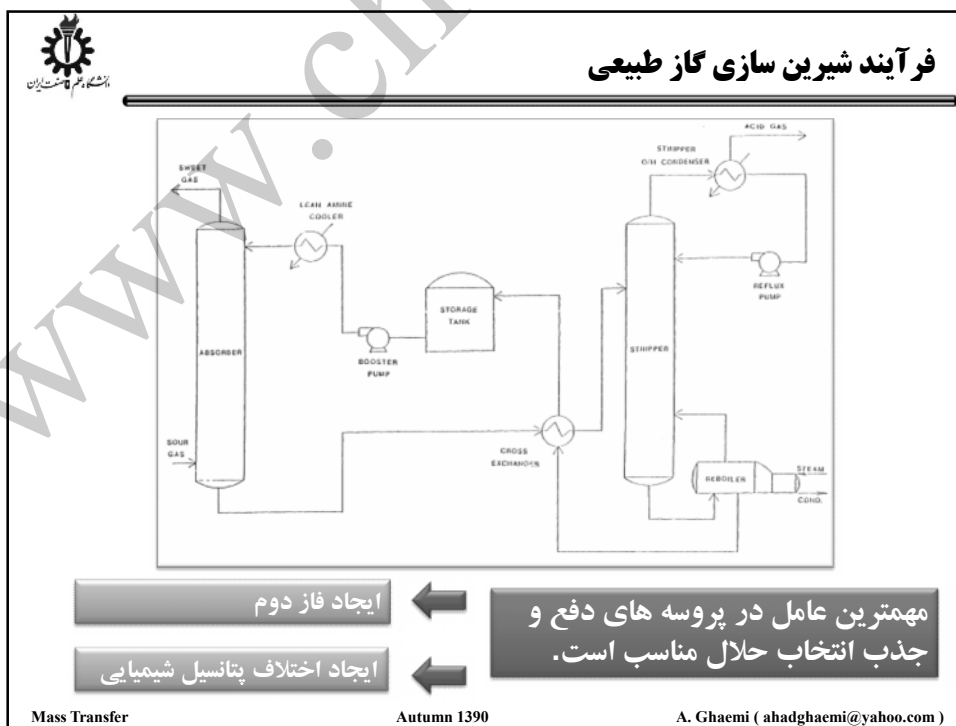
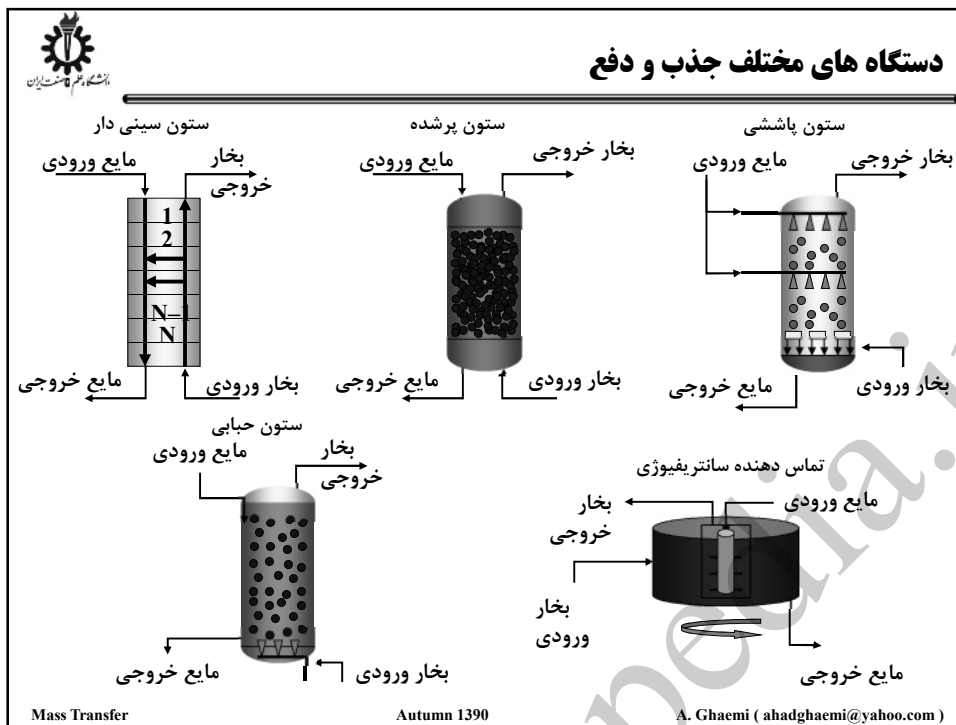
معمولاً فشار در برج جذب بالا و در برج دفع پایین است زیرا جذب در فشار بالا بهتر صورت می گیرد.



Mass Transfer

Autumn 1390

A. Ghaemi (ahadghaemi@yahoo.com)



تماس گاز - جامد

۱- تصعید (Sublimation)

اگر یک مخلوط جامد شامل چند سازنده بطور نسبی تبخیر شود، بدون آنکه فاز مایعی بوجود بیاید بخارات حاصله و جامد باقیمانده هر یک حاوی کلیه سازندهها اما با غلظت های متفاوتی خواهد گردید.

۲- خشک کردن (Drying or Desorption)

در برخی از عملیات این گروه ممکن است که کلیه سازنده ها در دو فاز موجود نباشد مثلا اگر جامدی که با یک مایع فرار مرطوب شده باشد، در مجاورت گاز خشک قرار گیرد، رطوبت موجود در آن خارج شده و بدرون گاز نفوذ می کند. این عملیات را خشک کردن می گویند.

مانند: خشک کردن میوه جات، حبوبات، خشک کردن الوار

Mass Transfer

Autumn 1390

A. Ghaemi (ahadghaemi@yahoo.com)

تماس گاز - جامد

۳- جذب سطحی (Adsorption)

حذف ذرات موجود در فاز گاز توسط یک جاذب را جذب سطحی گویند. مثلا اگر مخلوطی از هوای مرطوب در معرض سیلیکاژل قرار گیرد ذرات بخار آب به درون فاز جامد نفوذ نموده و هوا خشک می شود.

Mass Transfer

Autumn 1390

A. Ghaemi (ahadghaemi@yahoo.com)

فرآیند استخراج Extraction

عملیات جداسازی که در آنها دو فاز نامحلول مایع با یکدیگر تماس داده می شوند عملیات استخراج مایع نامیده می شود.

معمولا دو فاز یکی آبی بوده و دیگری آلی می باشد. جزء مورد نظر از فاز آبی به فاز آلی منتقل می شود: مانند استخراج اورانیوم از فاز آبی همراه با ناخالصی،

استخراج استن از آب در این عملیات تتراکلرید کربن استون را بهتر از آب در خود حل می کند.

Mass Transfer Autumn 1390 A. Ghaemi (ahadghaemi@yahoo.com)

تماس جامد-مایع: جذب سطحی Adsorption

در این فرآیند جزء مورد نظر بوسیله ماده جاذب جذب شده و انتقال جرم از فاز مایع به جامد انجام می گیرد.

مانند حذف فلزات سنگین موجود در پساب ها توسط جاذب های طبیعی و سنتزی

Mass Transfer Autumn 1390 A. Ghaemi (ahadghaemi@yahoo.com)

تماس جامد - مایع: فروشوئی Leaching

جداسازی انتخابی یک جزء از یک مخلوط جامد توسط یک حلال مایع leaching یا بعضی موارد استخراج با حلال و یا فروشوئی می گویند. این فرآیند برعکس جذب سطحی adsorption می باشد.

- جداسازی طلا از سنگ معدن توسط محلول سیانید
- جداسازی روغن از پنبه دانه بوسیله هگزان
- جداسازی شیره شکر از چغندر

Mass Transfer Autumn 1390 A. Ghaemi (ahadghaemi@yahoo.com)

تماس مستقیم دو فاز محلول در هم Direct contact of two miscible phases

برای این فرآیندها که به حالت تعادل رسیده اند با ایجاد اختلاف دما، یک سری از مولکول ها به سمت ناحیه گرمتر حرکت کرده و از هم جدا می شوند و یا از نیروی گریز از مرکز برای جداسازی استفاده می کنیم.

نفوذ حرارتی Thermal diffusion در این نوع سیستم ها اختلاف دما باعث انتقال جرم می شوند نه اختلاف غلظت : جدا کردن ایزومرهای یک عنصر از همدیگر - مانند جدا کردن He3 از He4

نفوذ جاروئی-sweep diffusion در این روش در یک مخلوط چند جزئی یک جت بخار قرار می دهند و جزئی که آب دوست است همراه با جت بخار از مخلوط خارج می شود.

Mass Transfer Autumn 1390 A. Ghaemi (ahadghaemi@yahoo.com)



گریز از مرکز Centrifugation



در این روش با استفاده از نیروی گریز از مرکز و بر اساس اختلاف وزن مولکولی اجزاء آنها از یکدیگر جدا می شوند و هر چه جرم مولکولی اجزاء به هم نزدیکتر باشد باید دور دستگاه را زیادتر کنیم. مثل جداسازی گلوبول های قرمز خون (سنگین تر) از پلاسمای خون


$A > B > C$

جداسازی ایزوتوپ های اورانیوم

Mass Transfer

Autumn 1390

A. Ghaemi (ahadghaemi@yahoo.com)



تماس غیر مستقیم فازها (فرآیندهای غشائی) Phases separated by a membrane

Gas 1

UF_6^{238}

UF_6^{235}

UF_6^{238}

UF_6^{235}

Gas 2

UF_6^{235}

UF_6^{235}

گاز - گاز

در این روش غشاء نسبت به مولکول های خاص دارای تراوایی است. و مواد بر اساس اختلاف وزن مولکولی و اندازه مولکولی از هم جدا می شوند مثل جداسازی اورانیوم ۲۳۸ از ۲۳۵ و یا غشاء پلیمری که می تواند گازی را در خود حل کند یعنی **solubility** نقش بسزایی دارد به این حالت تراوش یا **permeation** گویند.

Liq.

H₂O ,

CH₃OH

غشاء پلیمری

Gas

CH₃OH

گاز - مایع

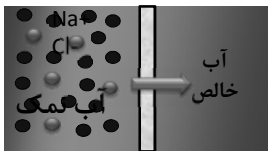
در این روش حلالیت نقش مهمی دارد مثل انتقال اکسیژن از دیواره شش به داخل خون

Mass Transfer

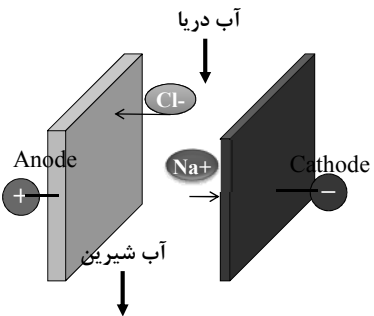
Autumn 1390

A. Ghaemi (ahadghaemi@yahoo.com)

غشاهای مایع - مایع



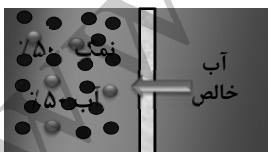
۱- دیالیز : در این روش غشاء نسبت به یک سری یون ها و مولکول ها تراوش دارد.



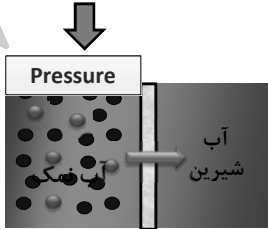
۲- الکترودیالیز : اساس آن مانند دیالیز است با این تفاوت که از قطب های الکتریکی برای افزایش تراوش استفاده می شود و در شیرین کردن آب دریا کاربرد دارد.

Mass Transfer Autumn 1390 A. Ghaemi (ahadghaemi@yahoo.com)

غشاهای مایع - مایع



۳- اسمز : osmosis غشاء فقط نسبت به مولکول های حلال تراواست.



۴- اسمز معکوس Reverse osmosis : برای شیرین سازی آب دریا استفاده می شود. و در این روش با ایجاد نیروی خارجی جهت تراوایی را عکس می کنند.

Mass Transfer Autumn 1390 A. Ghaemi (ahadghaemi@yahoo.com)

طبقه بندی عملیات انتقال جرم

Use of surface phenomena استفاده از پدیده های سطحی

در بعضی فرآیندها برای انتقال جرم از پدیده های سطحی استفاده می شود. در این روش موادی را به محلول اضافه می کنند که در محلول حل می گردد و باعث کاهش کشش سطحی بین فاز گاز و مایع در فصل مشترک دو فاز می شود و باعث جدا سازی اجزاء می گردد. مثل جداسازی آرسنیک از آب یا جداسازی صابون از آب

Mass Transfer Autumn 1390 Ahad Ghaemi (ahadghaemi@yahoo.com)

عملیات انتقال جرم

عملیات انتقال جرم
(دیدگاه اولیه)

پایا

Steady state

تغییر پارامتر با زمان وجود ندارد

ناپایا

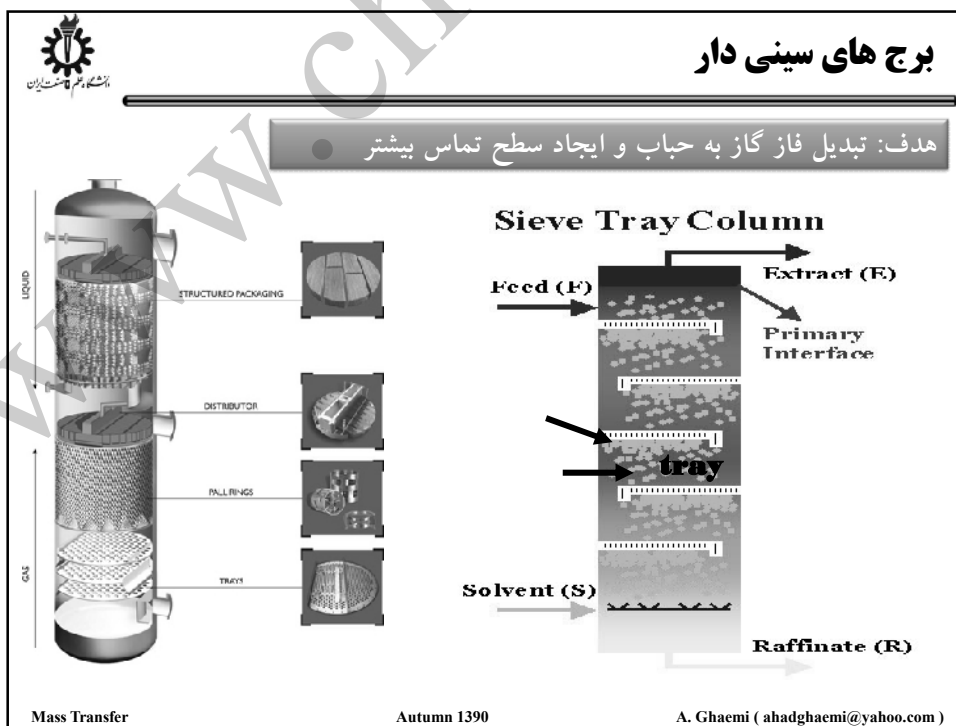
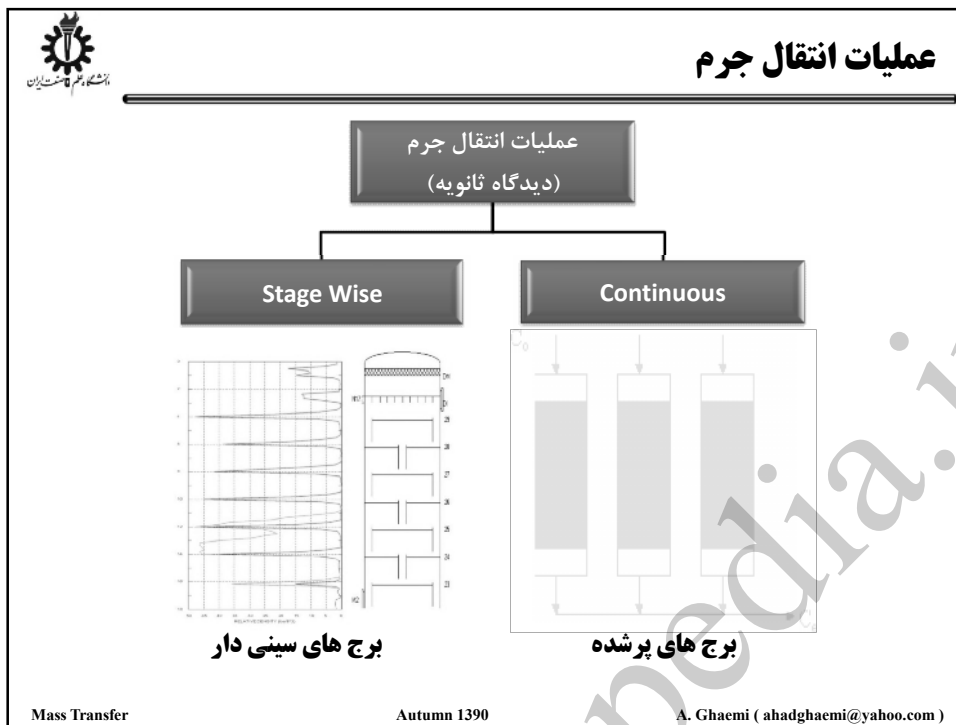
Un steady state


متغیرها با زمان در حال تغییرند

$M_0 = m_1 + m_2 + m_3 + m_4$

Input ≠ Output

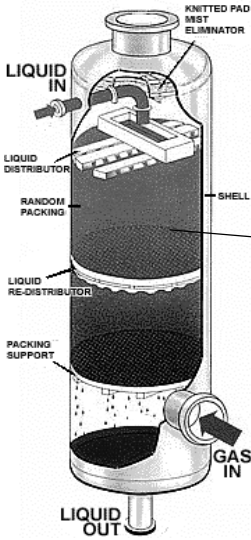

Mass Transfer Autumn 1390 A. Ghaemi (ahadghaemi@yahoo.com)





برج های پرشده


حرکت مختلف الجهت فازها و تبدیل فاز مایع به یک سری فیلم نازک در طول ستون پرشده

Mass Transfer

Autumn 1390


A. Ghaemi (ahadghaemi@yahoo.com)



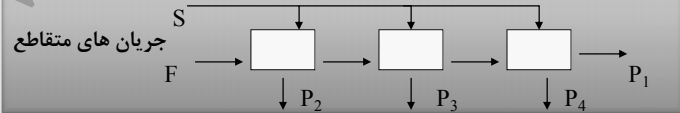
عملیات مرحله ای Stage - wise

تماس دو فاز نامحلول بصورت تک مرحله ای و چند مرحله ای می تواند انجام گیرد. روش چند مرحله ای برای افزایش انتقال جرم استفاده می شود و چند نوع تماس چند مرحله ای وجود دارد.

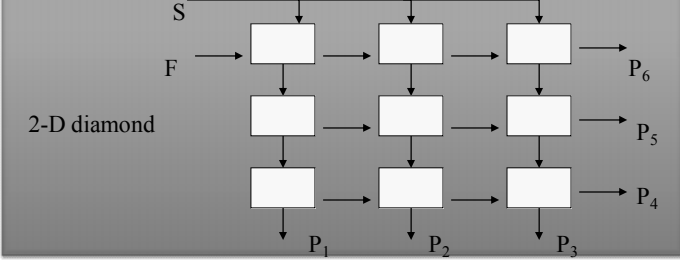
جریان ناهمسو



جریان های متقاطع



2-D diamond



Mass Transfer

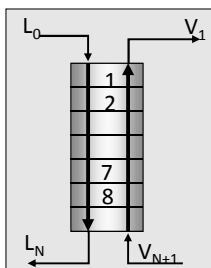
Autumn 1390

A. Ghaemi (ahadghaemi@yahoo.com)



عملیات تماس پیوسته - تماس دیفرانسیلی

در این عملیات فازها بصورت پیوسته در دستگاه با یکدیگر تماس حاصل می نمایند. این عملیات برخلاف عملیات مرحله ای است که در آنها در هر مرحله جداسازی فازها از یکدیگر انجام می شود.



در عملیات مرحله ای انتقال جرم بین دو فاز باعث کاهش اختلاف غلظت شده و اگر زمان تماس افزایش یابد تعادل بین دو فاز برقرار خواهد شد و سپس نفوذ بین دو فاز متوقف خواهد گردید.

در عملیات تماس پیوسته، دو فاز همواره دور از تعادل بوده و نفوذ بین فازها بطور مرتب و در سرتاسر دستگاه انجام می گیرد.

اگر بازده مرحله ای زیاد باشد واحد نسبتاً ارزان و قابل اطمینان تری ضروری بوده و عملیات مرحله ای مطلوب تر است. در صورت کم بودن بازده مرحله ای تماس پیوسته از لحاظ اقتصادی مناسب خواهد بود.

Mass Transfer

Autumn 1390

A. Ghaemi (ahadghaemi@yahoo.com)



طراحی برج ها

عوامل اصلی در طراحی واحدهای انتقال جرمی

- زمان تماس

زمان تعیین کننده حجم و یا طول دستگاه می باشد.
- شدت جریان فازها

جهت تعیین سطح مقطع
- تعیین تعداد مراحل ایده ال

مشخصات تعادلی و موازنه های جرم
- انرژی مکانیکی و حرارتی مورد نیاز

انرژی حرارتی برای ایجاد اختلاف درجه حرارت، انرژی مکانیکی برای انتقال سیالات و جامدات، پخش کردن مایعات و گازها و همچنین بکار انداختن قسمت های متحرک ماشین آلات

Mass Transfer

Autumn 1390

A. Ghaemi (ahadghaemi@yahoo.com)




دانشگاه علم و صنعت ایران

عملیات انتقال جرم

هفته سوم

مکانیسم های انتقال جرم

Mass Transfer Autumn 1390 A. Ghaemi (ahadghaemi@yahoo.com)



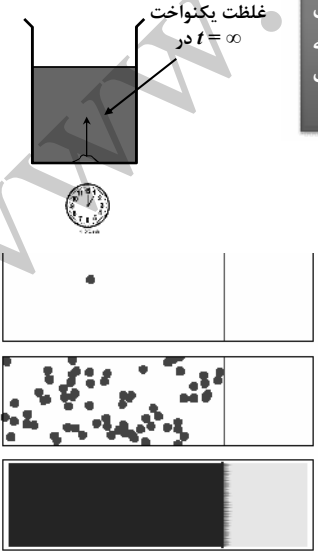
دانشگاه علم و صنعت ایران

نفوذ مولکولی

در یک مخلوط غیر یکنواخت، در اثر نفوذ مولکولی، باعث یکنواخت شدن غلظت مخلوط خواهد شد. مواد از محلی که دارای غلظت بالاتری بوده به مکانی که غلظت آن کمتر است حرکت خواهد نمود.

- حل شدن سولفات مس در آب

غلظت یکنواخت در $t = \infty$



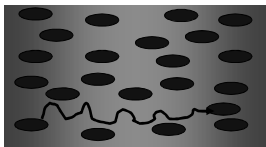
براساس تئوری جنبشی گازها می توان نفوذ مولکولی را بیان کرد. در این تئوری فرض بر این است که هر مولکول در مسیر مستقیم و با سرعت ثابت حرکت نموده و پس از طی مسافتی به مولکول دیگر برخورد کرده و سرعت و جهت آن تغییر می کند.

Mass Transfer Autumn 1390 A. Ghaemi (ahadghaemi@yahoo.com)



نفوذ مولکولی

مسیر آزاد متوسط



مقدار مسافتی که یک مولکول طی می کند تا با مولکول دیگر برخورد نماید مسیر آزاد متوسط **mean free path** مولکول نامیده می شود.

مسافت خالصی را که مولکول در زمان معین و در جهت معین طی می نماید شدت نفوذ آن می نامند. نفوذ مولکولی پدیده بسیار کندی می باشد. البته با کاهش فشار که سبب کاهش تعداد برخوردها می شود و افزایش دما که سرعت مولکولی را زیادتر می کند سرعت عمل را افزایش داد.

$$D_{AB} = f(T, P, \dots)$$

نکته: در یک مخلوط گازی هر چه فشار پائین تر و دما بالاتر باشد متوسط مسیری که مولکول طی می کند کوتاه تر است.

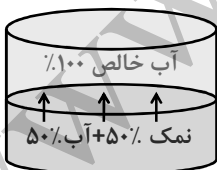
Mass Transfer

Autumn 1390

Ahad Ghaemi (ahadghaemi@yahoo.com)



نفوذ مولکولی




برای مثال: فرض کنیم یک محلول ۵۰٪ آب و نمک داریم و لایه ای از آب خالص روی آن داریم و برای یکنواختی غلظت ظرف نیاز به مدت زمان طولانی است. برای اینکه انتقال به سرعت انجام گیرد از یک همزن استفاده می کنند که بر اثر ایجاد گرداب ها، غلظت ظرف به سرعت یکنواخت می شود (به گردابها بسته های کوچک سیال **eddy** گویند و به این پدیده **eddy diffusion** می گویند).

ده سال طول می کشد به ۸۷.۵ درصد مقدار نهائی و پس از ۲۸ سال به ۹۹ درصد نهائی خود خواهد رسید.
اگر از یک همزن با سرعت ۲۲ دور بر دقیقه در مدت ۶۰ ثانیه می توان غلظت نمک را در تمام نقاط مخزن بصورت یکسان در آورد.

Mass Transfer

Autumn 1390

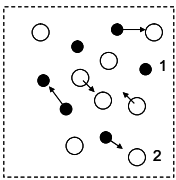
A. Ghaemi (ahadghaemi@yahoo.com)



نفوذ مولکولی

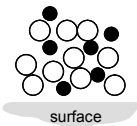
– فاز گاز

- مولکول ها باهم برخورد داشته ولی اغلب بصورت گاز ایده آل مدل می شود. ضریب نفوذ در گازها بالا می باشد.



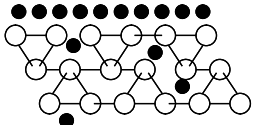
– فاز مایع

- مولکول ها با هم در تماس بوده ولی متحرک می باشند.




– فاز جامد

- مولکول ها به هم پیوسته بوده و در داخل شبکه ثابت می باشند.



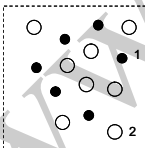
Mass Transfer Autumn 1390 A. Ghaemi (ahadghaemi@yahoo.com)



انتقال جرم: ترکیب های چند جزئی

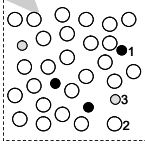
– ترکیب دو جزئی (۲+۱)

- فقط دو جزء در سیستم



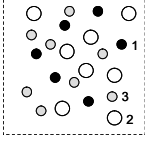
– ترکیب شبه دو جزئی (1 in 2, 3 in 2)

- سیستم چند جزئی با یک جزء غالب



– ترکیب چند جزئی (1+2+3)

- هیچ یک از اجزاء غالب نیستند.



Mass Transfer Autumn 1390 A. Ghaemi (ahadghaemi@yahoo.com)

نفوذ مولکولی در سیالات

در جریان آرام یا ساکن

در انتقال حرارت

q → **Heat flux * Area = Rate of Heat Transfer**
 $\text{J/m}^2 \text{ s} \quad \text{m}^2 \quad \text{J/s}$

N → **Mass flux * Area = Rate of mass Transfer**
 $\text{Mole/m}^2 \text{ s} \quad \text{m}^2 \quad \text{Mole/s}$

Mass Transfer Autumn 1390 A. Ghaemi (ahadghaemi@yahoo.com)

مبنای انتقال جرم


مبنای انتقال جرم

مبنای جرمی مبنای مولی

در عملیات انتقال جرم، غلظت ها به ازای واحد حجم مخلوط یا محلول بیان می شوند.

مقدار ماده = Kg	مقدار ماده = mol
$\rho_i \text{ Kg/m}^3$ = غلظت جرمی	$C_i \text{ Mol/m}^3$ = غلظت مولی
$\rho_i / \sum \rho_i = w_i$ = کسر جرمی	$C_i / \sum C_i = x_i$ = کسر مولی
$V = \sum \rho_i V_i / \sum \rho_i$ = سرعت مولکولی m/s	$V^* = \sum C_i V_i / \sum C_i$ = سرعت مولکولی m/s

Mass Transfer Autumn 1390 A. Ghaemi (ahadghaemi@yahoo.com)



مشخصه های سیستم

- تمایز بین مشخصه های اجزاء با کل سیستم
- مشخصه کل سیستم مانند غلظت C: کل مول بر حجم
- مشخصه اجزاء مانند C_i: مول i بر حجم

کسر مولی ها

x_i in liquid phase
 y_i in gas phase

$$x_i, y_i = \frac{\text{moles of } i}{\text{moles of everything}}$$


$$C_i = \frac{\text{moles of species } i}{\text{unit volume}} = x_i C$$

$$C = \frac{\text{moles of everything}}{\text{unit volume}}$$

$$C = \sum_i C_i$$

$$\sum_i x_i = 1$$

Mass Transfer Autumn 1390 A. Ghaemi (ahadghaemi@yahoo.com)



مشخصه های سیستم

- غلظت ها و کسر جرمی

$$\rho = \frac{\text{mass of everything}}{\text{unit volume}}$$

$$\rho_i = \frac{\text{mass of species } i}{\text{unit volume}} = w_i \rho$$

$$w_i = x_i M_i$$

$$M = \sum_i x_i M_i$$

$$\sum_i w_i = 1$$


$$\rho = \sum_i \rho_i$$

Species molecular weight (e.g. kg/kgmole)

- تبدیل بین واحدهای مولی و جرمی

$$C_i = \frac{\rho_i}{M_i} = \left[\frac{\text{kg/m}^3}{\text{kg / kgmole}} \right] = \left[\frac{\text{kgmole}}{\text{m}^3} \right]$$

Mass Transfer Autumn 1390 A. Ghaemi (ahadghaemi@yahoo.com)



سرعت متوسط جرمی و مولی

$$v = \frac{1}{\rho} \sum_i \rho_i v_i = \sum_i w_i v_i$$

$$v^* = \frac{1}{C} \sum_i C_i v_i = \sum_i x_i v_i$$


- **سرعت متوسط جرمی**
- **سرعت متوسط مولی**

سرعت متوسط برای اجزاء در دو مبنا دارای مقادیر متفاوت می باشد. ←

Mass Transfer

Autumn 1390

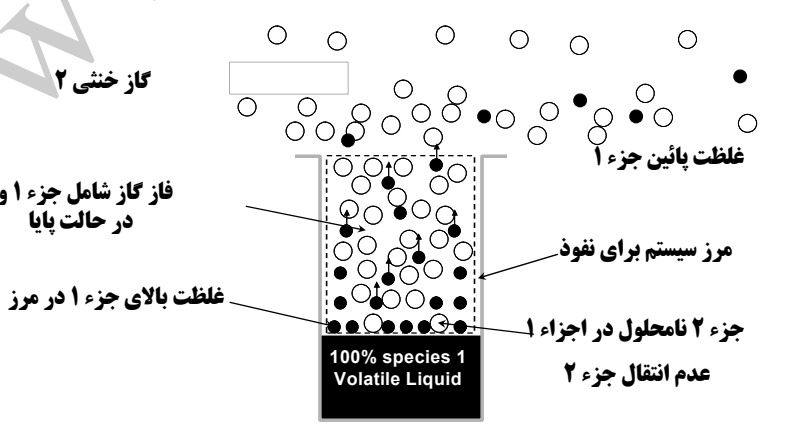
A. Ghaemi (ahadghaemi@yahoo.com)



تعریف فلاکس یا شار

فلاکس یا شار: سرعت انتقال جرم یک جزء از مرز یک منبع به یک فاز دیگر را می گویند.

واحد فلاکس یا شار انتقال جرم: مول یا جرم بر زمان بر سطح



Mass Transfer

Autumn 1390

A. Ghaemi (ahadghaemi@yahoo.com)

فلاکس انتقال جرم

(واحد سطح. واحد زمان) / مقدار ماده = فلاکس انتقال جرم

سرعت * غلظت = فلاکس انتقال جرم

$\text{Kg/m}^2 \text{ S}$

$n = \rho V = \sum \rho_i V_i$

فلاکس انتقال جرم ساکن (مبنای جرمی)

$\text{mol /m}^2 \text{ S}$

$N = CV^* = \sum C_i V_i$

فلاکس انتقال جرم ساکن (مبنای مولی)

Mass Transfer Autumn 1390 A. Ghaemi (ahadghaemi@yahoo.com)

فلاکس انتقال جرم در مختصات متحرک

بدست آوردن روابط شار انتقال جرم

رودخانه

$V_i - V^* = V_d^*$

سرعت نفوذ در مبنای مولی

$V_i - V = V_d$

سرعت نفوذ در مبنای جرمی

فلاکس انتقال جرم نفوذی در مبنای جرمی
در مختصات متحرک

$J_i = \rho_i (V_i - V)$
 $J_i^* = \rho_i (V_i - V^*)$

فلاکس انتقال جرم نفوذی در مبنای مولی
در مختصات متحرک

$J_i = C_i (V_i - V)$
 $J_i^* = C_i (V_i - V^*)$

Mass Transfer Autumn 1390 A. Ghaemi (ahadghaemi@yahoo.com)

بررسی معادلات

رابطه $N_i = J_i$:

$$J_i^* = C_i V_i - C_i V^* = N_i - C_i \sum C_i V_i / C = N_i - x_i \sum N_i$$

- 1 $C_i (V_i = V^* + V_d^*)$
- 2 $N_i = C_i V^* + C_i V_d^*$
- 3 $N_i = C_i V^* + J_i^*$
- 4 $N_i = x_i \sum N_i + J_i^*$

در طراحی تجهیزات از شار N_i استفاده می شود.

→ Total flux = Convective Flux + Diffusion Flux

→ $N_A = X_A(N_A + N_B) + J_A^*$ برای محلول دوجزئی

Mass Transfer Autumn 1390 A. Ghaemi (ahadghaemi@yahoo.com)

مجموع فلاکس های نفوذی

معادلات مجموع در سیستم های چند جزئی:

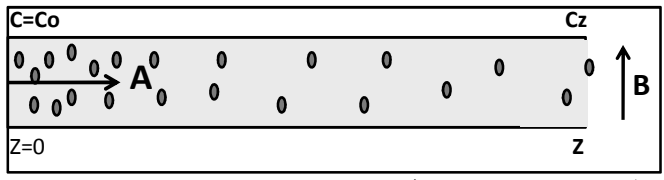
$$\sum J_i^* = \sum N_i - \sum x_i \sum N_i = \sum N_i - \sum N_i = 0 \Rightarrow \sum J_i^* = 0$$

$$\sum n_i - \sum \rho_i V_i = \sum n_i - \sum n_i = 0 \Rightarrow \sum z_i = 0$$

$$\sum J_i = \sum \rho_i V_i - V \sum \rho_i = \sum n_i - V \rho$$

Mass Transfer Autumn 1390 A. Ghaemi (ahadghaemi@yahoo.com)

قانون اول فیک



شار نفوذی با اختلاف غلظت متناسب بوده و با فاصله نسبت معکوس دارد:

$$J_A^* \propto \frac{1}{L} \quad J_A^* \propto \Delta C_A \quad \longrightarrow \quad J_A^* = -D_{AB} \frac{\Delta C_A}{L}$$

Fick's First Law

$$J_A^* = -D_{AB} \frac{\partial C_A}{\partial z}$$

مبنای مولی

$$J_A^* = -CD_{AB} \frac{\partial x_A}{\partial z}$$

مبنای جرمی

$$J_A = -\rho D_{AB} \nabla \cdot w_A$$

Mass Transfer Autumn 1390 A. Ghaemi (ahadghaemi@yahoo.com)

قانون اول فیک

$$J_A^* = - C D_{AB} \nabla \cdot x_A$$

$$\begin{matrix} \downarrow & \downarrow & \downarrow & \downarrow & \downarrow \\ 1 & 5 & 3 & 4 & 2 \end{matrix}$$

1 فلاکس نفوذی جزء A

2 اختلاف غلظت

3 غلظت کل

4 ضریب نفوذی A در B ، مشخصه سازنده A بوده و تابع شرایط محیط اطراف می باشد (دما، فشار، غلظت، نوع فاز و همچنین طبیعت سایر اجزاء).

5 علامت منفی نشان دهنده انتقال جرم از غلظت بیشتر به کمتر است

Mass Transfer Autumn 1390 A. Ghaemi (ahadghaemi@yahoo.com)

شباهت قوانین فیک و فوریه

تشابه انتقال حرارت و انتقال جرم:

$$J_A^* = -C D_{AB} \nabla x_A$$

قانون فیک ←

$$q = -K \nabla T$$

قانون فوریه ←

در انتقال جرم نفوذ جرم مشابه پدیده نفوذ حرارتی در انتقال حرارت می باشد.

⇒

$$\nabla x_A = \left(\frac{\partial x_A}{\partial x} \right) i + \left(\frac{\partial x_A}{\partial y} \right) j + \left(\frac{\partial x_A}{\partial z} \right) k$$

اگر مخلوط گازی در درجه حرارت و فشار ثابت باشد قانون اول فیک به این صورت است:

$$J_A^* = -D_{AB} \nabla C_A$$

ضریب نفوذ تابع دما، فشار، جرم مولکولی اجزاء و ... می باشد.

Mass Transfer Autumn 1390 A. Ghaemi (ahadghaemi@yahoo.com)

شار انتقال جرم در سیستم های چند جزئی

برای سیستم دو جزئی

$$J_A^* = -C D_{AB} \nabla x_A$$

}

$$N_A = -C D_{AB} \nabla x_A + x_A (N_A + N_B)$$

$$N_A = x_A (N_A + N_B) + J_A^*$$

برای سیستم چند جزئی

ضریب نفوذ در مخلوط

برای سیستم n جزئی

⇒

$$N_A = -C D_{A,M} \nabla x_A + x_A (\sum N_i)$$

اگر فرض کنیم جهت نفوذ در راستای Z باشد

$$N_A = -C D_{A,M} (dx_A/dz) + x_A (\sum N_i)$$

برای حل معادله دیفرانسیل فوق باید رابطه بین شارها محاسبه شود.

Mass Transfer Autumn 1390 A. Ghaemi (ahadghaemi@yahoo.com)




عملیات انتقال جرم

هفته چهارم

ضرائب نفوذ مولکولی در گازها و مایعات

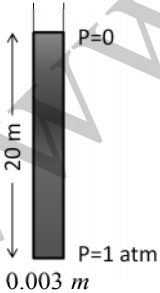
Mass Transfer Autumn 1390 Ahad Ghaemi (ahadghaemi@yahoo.com)



مثال قانون فیک

برای جلوگیری از افزایش فشار آمونیاک در اتمسفر، از یک لوله ای به قطر سه میلیمتر و طول ۲۰ متر استفاده شده است. شار نفوذی آمونیاک در لوله را محاسبه کنید.

$D = 0.28 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}, M = 17 \text{ kg/kg mole}$



$$J_{NH_3} = -D \frac{dC_{NH_3}}{dz} \quad C_{NH_3} = \frac{P_{NH_3}}{RT}$$
$$J_{NH_3} = D.A \frac{P_{NH_3}^1 - P_{NH_3}^2}{L}$$

$$J_{NH_3} = 0.28 \times 10^{-4} \times \frac{\pi}{4} (0.003)^2 \times \frac{(1.013 \times 10^5 - 0)}{20} \times 3600 / 8315$$
$$J_{NH_3} = 4.34 \times 10^{-7} \text{ kmol/hr}$$

Mass Transfer Autumn 1390 A. Ghaemi (ahadghaemi@yahoo.com)

نفوذ مولکولی

جعبه زیر توسط صفحه P به دو قسمت تقسیم شده است. اگر صفحه P را برداریم نفوذ دو مایع در یکدیگر انجام خواهد شد. A بسمت راست نفوذ کرده و B بسمت چپ نفوذ می کند. برای محاسبه شار سمت راست را جهت مثبت فرض می کنیم.

A= Water B= Ethanol

$N_A + N_B = N$

در حالت پایا شار خالص برابر است با

حرکت ناشی از دو حرکت است، حرکت توده N و جزء XA مربوط به N و شار نفوذی JA:

$N_A = N x_A + J_A$

Mass Transfer Autumn 1390 Ahad Ghaemi (ahadghaemi@yahoo.com)

نفوذ مولکولی

برای جزء A: $N_A = (N_A + N_B) \frac{c_A}{c} - D_{AB} \frac{\partial c_A}{\partial z}$

برای جزء B: $N_B = (N_A + N_B) \frac{c_B}{c} - D_{BA} \frac{\partial c_B}{\partial z}$


$-D_{AB} \frac{\partial c_A}{\partial z} = D_{BA} \frac{\partial c_B}{\partial z}$

$J_A = -J_B$

if $(C_A + C_B) = \text{Cont} \xrightarrow{\text{at } T, C} D_{AB} = D_{BA}$

در بدست آوردن این معادلات فرض شده که نفوذ فقط در جهت Z انجام می گیرد. ولی عموماً گرادیان غلظت، سرعت و شارهای نفوذی در کلیه جهات وجود دارند و لذا معادلات بدست آمده را در هر سه جهت محورهای مختصات کارتزین می توان نوشت.

Mass Transfer Autumn 1390 Ahad Ghaemi (ahadghaemi@yahoo.com)



نفوذ مولکولی

در برخی جامدات DAB ممکن است تابع جهت باشد در آن صورت باید این مسئله را مد نظر داشت ولی در سیالاتی که محلول های حقیقی تشکیل می دهند چنین نیست.

نتایج نفوذ در یک سیستم دو جزئی بعد از انجام عملیات

	I		II	
	kg	kmol	kg	kmol
Initially:				
H ₂ O	100	5.55	EtOH	100
				2.17
Finally:				
H ₂ O:	44.08	2.45	55.92	3.10
EtOH:	44.08	0.96	55.92	1.21
Total	88.16	3.41	Total:	111.84
				4.31

Mass Transfer Autumn 1390 A. Ghaemi (ahadghaemi@yahoo.com)



معادله پیوستگی

قدم اول : المان گیری

- المان گیری در نقطه ای عمومی است یعنی از مرزهای سیستم دور باشد
- شکل المان بستگی به شکل جسم دارد.
- مختصات المان به شکل جسم بستگی دارد (کارتزین، کروی، استوانه ای)
- معادله اصلی:

$$\text{Input} + \text{Generation} = \text{Output} + \text{Accumulation}$$

- به المان هایی که سیال جریان داشته باشد حجم کنترل می گویند.
- در سیستم های پایا مقدار تجمع برابر صفر است
- مقدار ماده ورودی را از روی فلاکس انتقال جرم معین می کنند

Mass Transfer Autumn 1390 A. Ghaemi (ahadghaemi@yahoo.com)

قدم اول : المان گیری

انتخاب المان موازنه جرم:

Mass Transfer Autumn 1390 A. Ghaemi (ahadghaemi@yahoo.com)

قدم دوم : نوشتن معادلات

مبدأ: مولی یا جرمی
 N_A or n_A

Input=Flux.Area

- 1 $Input = n_{Ax} \cdot \Delta y \cdot \Delta z + n_{Ay} \cdot \Delta x \cdot \Delta z + n_{Az} \cdot \Delta x \cdot \Delta y$
- 2 $Output = n_{Ax+\Delta x} \cdot \Delta y \cdot \Delta z + n_{Ay+\Delta y} \cdot \Delta x \cdot \Delta z + n_{Az+\Delta z} \cdot \Delta x \cdot \Delta y$
- 3 $Generation = r \cdot \Delta x \cdot \Delta y \cdot \Delta z$

r_A : مقدار جرم تولیدی در واحد زمان

Mass Transfer Autumn 1390 A. Ghaemi (ahadghaemi@yahoo.com)

قدم دوم : نوشتن معادلات

$(\partial \rho_A / \partial t) =$ تغییرات جرم A در واحد زمان

4 **Accumulation = $(\partial \rho / \partial t) \cdot \Delta x \cdot \Delta y \cdot \Delta z$**

Main equation

Input + Generation = Output + Accumulation

معادله کلی موازنه جرم بر اساس شار جرمی:

$n_{Ax} \cdot \Delta y \Delta z + n_{Ay} \cdot \Delta x \Delta z + n_{Az} \cdot \Delta x \Delta y + r_A \cdot \Delta x \Delta y \Delta z =$
 $n_{Ax+\Delta x} \cdot \Delta y \Delta z + n_{Ay+\Delta y} \cdot \Delta x \Delta z + n_{Az+\Delta z} \cdot \Delta x \Delta y + \partial \rho_A / \partial t \cdot \Delta x \Delta y \Delta z$

تقسیم طرفین به $\Delta x \Delta y \Delta z$

Mass Transfer
Autumn 1390
A. Ghaemi (ahadghaemi@yahoo.com)

قدم سوم : حل معادلات

محاسبه r_A :

$r_A = [(n_{Ax+\Delta x} - n_{Ax}) / \Delta x] + [(n_{Ay+\Delta y} - n_{Ay}) / \Delta y] + [(n_{Az+\Delta z} - n_{Az}) / \Delta z] + \partial \rho_A / \partial t$

$\Delta x \rightarrow 0, \Delta y \rightarrow 0, \Delta z \rightarrow 0$

موازنه جرم کلی سیستم \rightarrow **$r_A = (\partial n_A / \partial x) + (\partial n_A / \partial y) + (\partial n_A / \partial z) + \partial \rho_A / \partial t$**

$r_A = \nabla n_A + \frac{\partial \rho_A}{\partial t}$

$r_B = \nabla n_B + \frac{\partial \rho_B}{\partial t}$

\vdots

$r_n = \nabla n_n + \frac{\partial \rho_n}{\partial t}$

در یک سیستم n جزئی دارای n+1 معادله هستیم

$\sum r_i = \nabla (n_A + n_B + \dots) + \frac{\partial (\rho_A + \rho_B + \dots)}{\partial t}$

↓


n کل

↓

ρ کل

Mass Transfer
Autumn 1390
A. Ghaemi (ahadghaemi@yahoo.com)

قدم چهارم : بررسی فرض ها



$$\sum r_i = 0$$

فرض اول : با فرض مجموع شدت های جرمی تولید اجزاء صفر باشد :

$$\rightarrow 0 = \nabla n + \frac{\partial \rho}{\partial t} \quad n = \rho v$$

این معادله پیوستگی و یا موازنه جرم برای کل مواد است.

$$\rightarrow \rho \nabla \cdot v + v \cdot \nabla \rho + \frac{\partial \rho}{\partial t} = 0$$

$$\rightarrow \nabla \cdot v = 0$$

فرض دوم با ثابت بودن جرم حجمی مخلوط : $\rho = \text{Const}$

اگر در سه جهت تغییرات داشته باشیم. معادله پیوستگی در حالت ثابت بودن جرم حجمی مخلوط:

$$\frac{\partial v_x}{\partial x} + \frac{\partial v_y}{\partial y} + \frac{\partial v_z}{\partial z} = 0$$

Mass Transfer
Autumn 1390
A. Ghaemi (ahadghaemi@yahoo.com)

قدم چهارم : بررسی فرض ها

$$r_A = \nabla n_A + \frac{\partial \rho_A}{\partial t}$$

$$r_A = R_A M_A \quad n_A = N_A M_A \quad \rho_A = C_A M_A$$

$$\rightarrow R_A = \nabla N_A + \frac{\partial C_A}{\partial t}$$

اگر همین معادلات را در مبنای مولی بررسی کنیم:

$$\rightarrow R_n = \nabla N_n + \frac{\partial C_n}{\partial t}$$

$$\sum R_i = \nabla(N_A + N_B + \dots) + \frac{\partial(C_A + C_B + \dots)}{\partial t}$$

در این مبنا مجموع تولید برابر صفر نمی باشد مگر اینکه ضرایب استیکیومتری به گونه ای باشد که مجموع تولید برابر صفر شود.

Mass Transfer
Autumn 1390
A. Ghaemi (ahadghaemi@yahoo.com)

قدم پنجم: محاسبه قانون دوم فیک



پنجم قدم محاسبه فیک

1 با در نظر گرفتن قانون فیک:

$$r_A = \nabla n_A + \frac{\partial \rho_A}{\partial t}$$

2

$$n_A = -\rho D_{AB} \nabla W_A + W_A (n_A + n_B)$$

3

$$(n_A + n_B) = n = \rho v$$

1,2,3

$$r_A = (\rho_A \nabla \cdot v + v \cdot \nabla \rho_A) - D_{AB} (\nabla^2 \rho_A) + \frac{\partial \rho_A}{\partial t}$$

با فرض سرعت صفر و واکنش وجود نداشته باشد:

$$\frac{\partial \rho_A}{\partial t} = D_{AB} (\nabla^2 \rho_A)$$

اگر شار بر مبنای مول باشد:


$$\frac{\partial C_A}{\partial t} = D_{AB} (\nabla^2 C_A)$$

اگر شار در سه جهت وجود داشته باشد:

$$\frac{\partial C_A}{\partial t} = D_{AB} \left(\frac{\partial^2 C_A}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 C_A}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 C_A}{\partial z^2} \right)$$

Mass Transfer
Autumn 1390
A. Ghaemi (ahadghaemi@yahoo.com)

فرض سوم: V=0, No Reaction



پنجم قدم محاسبه فیک

قوانین دوم فیک

$$D_{AB} (\nabla^2 \rho_A) = \frac{\partial \rho_A}{\partial t} \longrightarrow$$

مبنای جرمی

$$D_{AB} (\nabla^2 C_A) = \frac{\partial C_A}{\partial t} \longrightarrow$$

مبنای مولی

این معادله اکثراً برای جامدات بکار می رود ولی در شرایط محدودی برای سیالات نیز قابل کاربرد می باشد.

فرض چهارم: شرایط Steady State

$$(\nabla^2 \rho_A) = 0$$

$$(\nabla^2 C_A) = 0$$

سیستم پایا، ساکن، بدون واکنش، دما و فشار ثابت

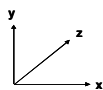
معادله برای سه جهت:

$$\frac{\partial^2 C_A}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 C_A}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 C_A}{\partial z^2} = 0$$

Mass Transfer
Autumn 1390
A. Ghaemi (ahadghaemi@yahoo.com)

معادلات بقاء جرم در سیستم های مختلف

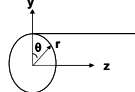
Rectangular Coordinates



$$- \left[\frac{\partial n_{1,x}}{\partial x} + \frac{\partial n_{1,y}}{\partial y} + \frac{\partial n_{1,z}}{\partial z} \right] + r_1 = \frac{\partial C_1}{\partial t}$$

$$D_1 \left[\frac{\partial^2 C_1}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 C_1}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 C_1}{\partial z^2} \right] - \left[v_x \frac{\partial C_1}{\partial x} + v_y \frac{\partial C_1}{\partial y} + v_z \frac{\partial C_1}{\partial z} \right] + r_1 = \frac{\partial C_1}{\partial t}$$

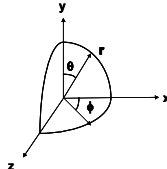
Cylindrical Coordinates



$$- \left[\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} (r n_{1,r}) + \frac{1}{r} \frac{\partial n_{1,\theta}}{\partial \theta} + \frac{\partial n_{1,z}}{\partial z} \right] + r_1 = \frac{\partial C_1}{\partial t}$$

$$D_1 \left[\frac{\partial^2 C_1}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial C_1}{\partial r} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 C_1}{\partial \theta^2} + \frac{\partial^2 C_1}{\partial z^2} \right] - \left[v_r \frac{\partial C_1}{\partial r} + \frac{v_\theta}{r} \frac{\partial C_1}{\partial \theta} + v_z \frac{\partial C_1}{\partial z} \right] + r_1 = \frac{\partial C_1}{\partial t}$$

Spherical Coordinates



$$- \left[\frac{1}{r^2} \frac{\partial}{\partial r} (r^2 n_{1,r}) + \frac{1}{r \sin \theta} \frac{\partial}{\partial \theta} (n_{1,\theta} \sin \theta) + \frac{1}{r \sin \theta} \frac{\partial n_{1,\phi}}{\partial \phi} \right] + r_1 = \frac{\partial C_1}{\partial t}$$

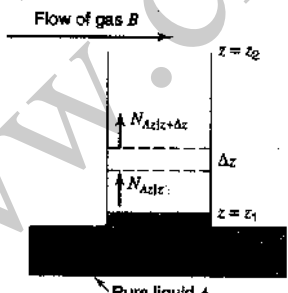
$$D_1 \left[\frac{1}{r^2} \frac{\partial}{\partial r} \left[r^2 \frac{\partial C_1}{\partial r} \right] + \frac{1}{r^2 \sin \theta} \frac{\partial}{\partial \theta} \left[\sin \theta \frac{\partial C_1}{\partial \theta} \right] + \frac{1}{r^2 \sin^2 \theta} \frac{\partial^2 C_1}{\partial \phi^2} \right] - \left[v_r \frac{\partial C_1}{\partial r} + \frac{v_\theta}{r} \frac{\partial C_1}{\partial \theta} + \frac{v_\phi}{r \sin \theta} \frac{\partial C_1}{\partial \phi} \right] + r_1 = \frac{\partial C_1}{\partial t}$$

Mass Transfer Autumn 1390 A. Ghaemi (ahadghaemi@yahoo.com)

نفوذ تک مولکولی

اندازه گیری نفوذ گاز در یک لوله

فرضیات:
نفوذ پایا
بدون واکنش
نفوذ در جهت Z



موازنه روی جزء A:

$$N_{A,z+dz} - N_{A,z} = \left(N_{A,z} + \frac{dN_{A,z}}{dz} dz \right) - N_{A,z} = \frac{dN_{A,z}}{dz} dz = 0$$

یا از معادلات استخراج شده می توان استفاده کرد:

$$R_A = \nabla N_A + \frac{\partial C_A}{\partial t} = 0$$

جزء B ساکن بوده:

$$\frac{dN_{B,z}}{dz} = 0 \quad N_{B,z} = 0$$

Mass Transfer Autumn 1390 A. Ghaemi (ahadghaemi@yahoo.com)

نفوذ در جزء ساکن

$N_{A,z} = \text{const.}$ بنابراین شار مولی ثابت می باشد:

$$N_A = (N_A + N_B)y_A - cD_{AB} \frac{dy_A}{dz}$$

at $z = z_1, y_A = y_{A1}$
at $z = z_2, y_A = y_{A2}$

$$N_{A,z} = -\frac{cD_{AB}}{1-y_A} \frac{dy_A}{dz}$$

شرایط مرزی

$$\frac{N_{A,z}}{cD_{AB}} \int_{z_1}^{z_2} dz = - \int_{y_{A1}}^{y_{A2}} \frac{dy_A}{1-y_A}$$

با انتگرال گیری از رابطه

$$N_{A,z} = \frac{cD_{AB}}{(z_2 - z_1)} \ln \frac{(1-y_{A2})}{(1-y_{A1})}$$

Mass Transfer Autumn 1390 A. Ghaemi (ahadghaemi@yahoo.com)

نفوذ در جزء ساکن

غلظت متوسط لگاریتمی B برابر است با

$$y_{B,lm} = \frac{y_{B2} - y_{B1}}{\ln(y_{B2}/y_{B1})} = \frac{y_{A1} - y_{A2}}{\ln[(1-y_{A2})/(1-y_{A1})]}$$

بدست خواهیم آورد:

$$N_{A,z} = \frac{cD_{AB}}{z_2 - z_1} \frac{(y_{A1} - y_{A2})}{y_{B,lm}}$$

این عبارت نفوذ پایای یک گاز در یک گاز ساکن دوم می باشد:

$$c = \frac{P}{RT}$$

$$\frac{(y_{A1} - y_{A2})}{y_{B,lm}} = \frac{(p_{A1} - p_{A2})}{p_{B,lm}}$$

➔

$$N_{A,z} = \frac{D_{AB}P}{RT(z_2 - z_1)} \frac{(p_{A1} - p_{A2})}{p_{B,lm}}$$

Mass Transfer Autumn 1390 A. Ghaemi (ahadghaemi@yahoo.com)

نفوذ در جزء ساکن

• برای تئوری فیلمی با فرض آرام بودن ضخامت فیلم δ می باشد:

- then, $z_2 - z_1 = \delta$
- and

$$N_{A,z} = \frac{D_{AB}P}{RTp_{B,lm}\delta} (p_{A_1} - p_{A_2})$$

• می دانیم که:

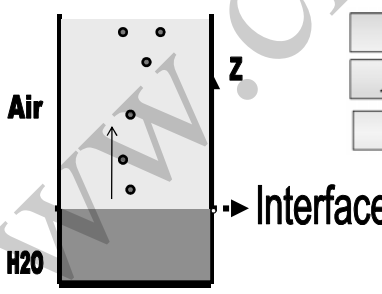
$$N_{A,z} = \frac{k_c}{RT} (p_{A_1} - p_{A_2})$$

• بنابراین ضریب انتقال جرم فیلمی برابر است با:

$$k_c = \frac{D_{AB}P}{p_{B,lm}\delta}$$

Mass Transfer Autumn 1390 A. Ghaemi (ahadghaemi@yahoo.com)

نفوذ در جزء ساکن



هدف : محاسبه فلاکس انتقال جرم مولکول های آب

نقطه شروع انتقال جرم : واقع در فصل مشترک قسمت گاز

جهت انتقال جرم : از مبدا به سمت محور z ها

بررسی انتقال جرم در یک فاز

در فاز مایع خلوص برقرار است

در فاز گاز دارای اختلاف غلظت هستیم

$N_B = 0$ → $N_A = -CD_{AB} (dx_A/dz) + x_A N_A$

$$N_A = -\frac{CD_{AB}}{1-x_A} \frac{dx_A}{dz}$$

برای حل معادله نیاز به شرایط مرزی می باشد.

Mass Transfer Autumn 1390 A. Ghaemi (ahadghaemi@yahoo.com)

نفوذ در جزء ساکن

شرایط مرزی:

$Z=0, X_{A1}=\text{Constant}$

$Z \rightarrow \infty, X_{A2}=0$

غلظت در فصل مشترک تعادلی است

C, D_{AB} ثابت است

N_A در این مثال تابعیتی از Z ندارد

N_A تابعی از dx_A است نه تابعی از x_A

$$N_A = - \frac{CD_{AB}}{1-x_A} \frac{dx_A}{dz}$$

$$N_A \int dz = -CD_{AB} \int \frac{dx_A}{1-x_A}$$

$$N_A \cdot Z + K_1 = CD_{AB} \ln(1-x_A)$$

@ $Z=0, X_A=X_{A1} \rightarrow K_1 = CD_{AB} \ln(1-x_{A1})$

Mass Transfer Autumn 1390 A. Ghaemi (ahadghaemi@yahoo.com)

نفوذ در جزء ساکن

معادله کلی شار $\rightarrow N_A = \frac{CD_{AB}}{Z} \ln \frac{(1-x_A)}{(1-x_{A1})}$

از معادله فوق دو مورد قابل محاسبه است:

$N_A = ?$

$\frac{1-x_A}{1-x_{A1}} = \exp\left(\frac{N_A \cdot Z}{CD_{AB}}\right)$

فلاکس انتقال جرم \leftrightarrow

پروفایل تغییر غلظت \leftrightarrow

معادله روبرو را بدست آورید.

$N_A = \frac{CD_{AB}}{Z} \ln \frac{(P_t - P_{A2})}{(P_t - P_A)}$

نفوذ در جزء ساکن

Mass Transfer Autumn 1390 A. Ghaemi (ahadghaemi@yahoo.com)

نفوذ در خلاف جهت یکدیگر

مراحل محاسبه فلاکس انتقال جرم:

$$N_A = -CD_{AB} \nabla x_A + x_A (N_A + N_B)$$

$$N_A = -CD_{AB} \frac{dx_A}{dz} + x_A (N_A + N_B)$$

$$N_A = -N_B \rightarrow N_A = -CD_{AB} \frac{dx_A}{dz}$$

$$-CD_{AB} \int_{x_{A1}}^{x_{A2}} dx_A = N_A \int_{z_1}^{z_2} dz$$

$$N_A (Z_2 - Z_1) = -CD_{AB} (X_{A2} - X_{A1})$$

$$N_A = \frac{CD_{AB}}{(Z_2 - Z_1)} (X_{A1} - X_{A2})$$

- انتقال جرم دو طرفه
- نفوذ با مول های برابر
- $N_A = -N_B$

شار کلی انتقال جرم:

Mass Transfer Autumn 1390 A. Ghaemi (ahadghaemi@yahoo.com)

مقایسه دو نوع فلاکس ذکر شده

خلاف جهت

1 →

ساکن

2 →

$$N_A = \frac{CD_{AB}}{(Z_2 - Z_1)} (X_{A1} - X_{A2})$$

$$N_A = \frac{CD_{AB}}{Z} \ln \frac{(1 - x_A)}{(1 - x_{A1})}$$

در رابطه 1 فلاکس مستقیماً به اختلاف غلظت مربوط است

↕

↕

رابطه 2 فلاکس را به یک لگاریتم از غلظت مربوط ساخته است

↕

↕

صورت و مخارج کسر را در $(X_{A1} - X_{A2})$ ضرب کنید

↕


↕

$$N_A = \frac{CD_{AB}}{(Z_2 - Z_1)} \frac{(X_{A1} - X_{A2})}{\ln \left[\frac{(1 - X_{A2})}{(1 - X_{A1})} \right]}$$

$$X_{B,M} = \frac{(X_{A1} - X_{A2})}{\ln \left[\frac{(1 - X_{A2})}{(1 - X_{A1})} \right]}$$

$$N_A = \frac{CD_{AB}}{(Z_2 - Z_1)} \frac{(X_{A1} - X_{A2})}{X_{B,M}}$$

Mass Transfer Autumn 1390 A. Ghaemi (ahadghaemi@yahoo.com)




مراحل محاسبه فلاکس انتقال جرم

- نوشتن معادله کلی فلاکس انتقال جرم
- استفاده از فرض های ابتدائی
- یافتن رابطه بین N_A, N_B و جای گذاری در رابطه کلی
- مشخص نمودن مرزهای ابتدائی و انتهایی انتقال جرم
- بررسی وابستگی فلاکس به بعدها و سطح ها
- حل معادله دیفرانسیل حاصله از موارد فوق

معادله کلی فلاکس انتقال جرم

$$N_A = \frac{CD_{AB}}{Z_2 - Z_1} \frac{N_A}{N_A + N_B} \ln \left\{ \frac{\frac{N_A}{N_A + N_B} - X_{A2}}{\frac{N_A}{N_A + N_B} - X_{A1}} \right\}$$

Mass Transfer Autumn 1390 A. Ghaemi (ahadghaemi@yahoo.com)



نفوذ جزء A درون جزء ساکن B در حالت پایا

$$N_B = 0, \quad N_A = \text{const}, \quad \frac{N_A}{N_A + N_B} = 1$$

$$N_A = \frac{N_A}{N_A + N_B} \frac{D_{AB} P_t}{RTz} \ln \frac{[N_A / (N_A + N_B)] P_t - \bar{p}_{A2}}{[N_A / (N_A + N_B)] P_t - \bar{p}_{A1}} = \frac{D_{AB} P_t}{RTz} \ln \frac{P_t - \bar{p}_{A2}}{P_t - \bar{p}_{A1}}$$

با توجه به شرایط مسئله:

$$p_t - \bar{p}_{A2} = \bar{p}_{B2}, \quad p_t - \bar{p}_{A1} = \bar{p}_{B1}, \quad p_{B2} - \bar{p}_{B1} = \bar{p}_{A1} - \bar{p}_{A2}$$

بنابراین:

$$N_A = \frac{D_{AB} P_t}{RTz} \frac{\bar{p}_{A1} - \bar{p}_{A2}}{\bar{p}_{B2} - \bar{p}_{B1}} \ln \frac{\bar{p}_{B2}}{\bar{p}_{B1}}$$

و با در نظر گرفتن:

$$\frac{\bar{p}_{B2} - \bar{p}_{B1}}{\ln(\bar{p}_{B2} / \bar{p}_{B1})} = \bar{p}_{B,M}$$

$$N_A = \frac{D_{AB} P_t}{RTz \cdot \bar{p}_{B,M}} (\bar{p}_{A1} - \bar{p}_{A2})$$

Mass Transfer Autumn 1390 Ahad Ghaemi (ahadghaemi@yahoo.com)

نفوذ جزء A درون جزء ساکن B در حالت پایا

معادله و منحنی ها نشان می دهد که تغییرات فشار جزئی با z بصورت لگاریتمی است.

$$A = NH_3 \quad B = air$$

$$N_A = \frac{D_{AB} P_t}{RTz \cdot \bar{p}_{B,M}} (\bar{p}_{A1} - \bar{p}_{A2})$$

نفوذ جزء A درون جزء ساکن B

Mass Transfer Autumn 1390 Ahad Ghaemi (ahadghaemi@yahoo.com)

نفوذ متقابل با شار مولی مساوی در حالت پایا

این حالت اکثرا در مسائل تقطیر مشاهده می شود.

$$N_A = -N_B = const.$$

$$N_A = (N_A + N_B) \frac{\bar{p}_A}{p_t} - \frac{D_{AB}}{RT} \frac{d\bar{p}_A}{dz}$$

$$N_A = - \frac{D_{AB}}{RT} \frac{d\bar{p}_A}{dz}$$

در این حالت خاص:

$$\int_{z_2}^{z_1} dz = - \frac{D_{AB}}{RTN_A} \int_{\bar{p}_{A1}}^{\bar{p}_{A2}} d\bar{p}_A$$

$$N_A = - \frac{D_{AB}}{RTz} (\bar{p}_{A1} - \bar{p}_{A2})$$

نفوذ متقابل با مول های مساوی

Mass Transfer Autumn 1390 Ahad Ghaemi (ahadghaemi@yahoo.com)



نفوذ در مخلوط های چند جزئی در حالت پایا

نفوذ در مخلوط های چند جزئی را می توان با استفاده از یک ضریب نفوذ موثر در معادله زیر محاسبه کرد.

$$N_A = \frac{N_A}{N_A + N_B} \frac{D_{AB} P_t}{RTz} \ln \frac{[N_A / (N_A + N_B)] P_t - \bar{p}_{A2}}{[N_A / (N_A + N_B)] P_t - \bar{p}_{A1}} = \frac{D_{AB} P_t}{RTz} \ln \frac{P_t - \bar{p}_{A2}}{P_t - \bar{p}_{A1}}$$

ضریب نفوذ موثر هر جزء بستگی به ضرایب نفوذ آن جزء در سایر اجزاء مخلوط خواهد داشت.

$$D_{A,m} = \frac{N_A - y_A \sum_{i=A}^n N_i}{\sum_{i=A}^n \frac{1}{D_{A,i}} (y_i N_A - y_A N_i)}$$

$$D_{A,m} = \frac{1 - y_A}{\sum_{i=B}^n \frac{y_i}{D_{A,i}}} = \frac{1}{\sum_{i=B}^n \frac{y'_i}{D_{A,i}}}$$

که در آن y'_i جزء مولی سازنده i بر مبنای مخلوط فاقد A است

Mass Transfer

Autumn 1390

Ahad Ghaemi (ahadghaemi@yahoo.com)



مثال: اکسیژن تحت شرایط پایا درون منواکسید کربن ساکن نفوذ می کند. فشار کل $1.013 \times 10^5 \text{ N/m}^2$ و درجه حرارت صفر درجه سانتیگراد است. در صورتیکه در دو صفحه به فاصله دو میلیمتر از یکدیگر فشار جزئی اکسیژن به ترتیب برابر 1300 و 6500 N/m^2 باشد، شدت نفوذ اکسیژن را بر حسب کیلو مول بر ثانیه بازاء هر متر مربع از صفحات بدست آورید.

$$D_{AB} = 1.87 \times 10^{-5} \text{ m}^2 / \text{s}$$

$$p_i = 10^5 \text{ N/m}^2$$

$$z = 0.002 \text{ m}$$

$$R = 8314 \text{ N.m / kmol.K} \quad T = 273 \text{ K}$$

$$p_{A1} = 13 \times 10^3, \quad p_{B1} = 10^5 - 13 \times 10^3 = 87 \times 10^3$$

$$p_{A2} = 6500, \quad p_{B2} = 10^5 - 6500 = 93.5 \times 10^3 \text{ N/m}^2$$

$$\bar{p}_{B,M} = \frac{\bar{p}_{B1} - \bar{p}_{B2}}{\ln(\bar{p}_{B1} / \bar{p}_{B2})} = \frac{(87 - 93.5)(10^3)}{\ln(87 / 93.5)} = 90200 \text{ N/m}^2$$

$$N_A = \frac{D_{AB} P_t}{RTz \bar{p}_{B,M}} (\bar{p}_{A1} - \bar{p}_{A2}) = \frac{(1.87 \times 10^{-5})(10^5)(13 - 6.5)(10^3)}{8314(273)(0.002)(90.2 \times 10^3)} = 2.97 \times 10^{-5} \text{ kmol m}^2 \text{ s}$$

Mass Transfer

Autumn 1390

Ahad Ghaemi (ahadghaemi@yahoo.com)

ضریب نفوذ در مخلوط های چند جزئی

$$\Rightarrow D_{i,M} = \frac{-N_i + (x_i \cdot \sum N_j)}{(CD_{ij} \cdot \nabla X_i)}$$

$$\Rightarrow D_{i,M} = \frac{N_i - (x_i \cdot \sum N_j)}{\sum (1/D_{ij}) \cdot (x_j \cdot N_i - X_i \cdot N_j)}$$

طبق رابطه فوق فلاکس هیچ اثری بر روی ضریب نفوذ ندارد

با توجه به فرض های زیر نفوذ جزء A را در مخلوط ساکن حساب کنید؟
 $N_j = 0, j \neq A$

$x'_j = x_j / (1 - X_A)$ غلظت در محلول فاقد A $D_{A,M} = \frac{1}{\sum (x'_j / D_{Aj})}$

Mass Transfer Autumn 1390 A. Ghaemi (ahadghaemi@yahoo.com)

مثال: ضریب نفوذ اکسیژن در مخلوطی از متان و هیدروژن چقدر است. در این مخلوط ۳ جزئی فقط اکسیژن نفوذ می کند و نسبت حجمی متان به هیدروژن ۲ به ۱ است.

$D_{O_2-H_2} = 0.69 \text{ Cm}^2 / \text{s}$
 $D_{O_2-CH_4} = 0.184 \text{ Cm}^2 / \text{s}$

از جدول ضرایب نفوذ داریم:

$$y'_{CH_4} = \frac{2}{1+2} = 0.667$$

$$y'_{H_2} = \frac{1}{1+2} = 0.333$$

ضریب نفوذ اکسیژن در مخلوط برابر است با:

$$D_{O_2-M} = \frac{1}{\frac{y'_{H_2}}{D_{O_2-H_2}} + \frac{y'_{CH_4}}{D_{O_2-CH_4}}} = \frac{1}{\frac{0.667}{0.184} + \frac{0.333}{0.69}}$$

$$D_{O_2-M} = 0.224 \text{ Cm}^2 / \text{s}$$

Mass Transfer Autumn 1390 Ahad Ghaemi (ahadghaemi@yahoo.com)



Illustration 2.2 Recalculate the rate of diffusion of oxygen (A) in Illustration 2.1, assuming that the nondiffusing gas is a mixture of methane (B) and hydrogen (C) in the volume ratio 2 : 1. The diffusivities are estimated to be $D_{O_2-H_2} = 6.99 \times 10^{-5}$, $D_{O_2-CH_4} = 1.86 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$.

SOLUTION Equation (2.25) will become Eq. (2.30) for this case. $p_i = 10^5 \text{ N/m}^2$, $T = 273 \text{ K}$, $\bar{p}_{A1} = 13 \times 10^3$, $\bar{p}_{A2} = 6500$, $\bar{p}_{iM} = 90.2 \times 10^3$, all in N/m^2 ; $z = 0.002 \text{ m}$, $R = 8314 \text{ N} \cdot \text{m}/\text{kmol} \cdot \text{K}$, as in Illustration 2.1. In Eq. (2.36), $y'_B = 2/(2 + 1) = 0.667$, $y'_C = 1 - 0.667 = 0.333$, whence

$$D_{A,m} = \frac{1}{y'_B/D_{AB} + y'_C/D_{A,C}} = \frac{1}{0.667/(1.86 \times 10^{-5}) + 0.333/(6.99 \times 10^{-5})}$$

$$= 2.46 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$N_A = \frac{(2.46 \times 10^{-5})(13\,000 - 6500)}{8314(273)(0.002)(90\,200)} = 3.91 \times 10^{-5} \text{ kmol/m}^2 \cdot \text{s}$$




عملیات انتقال جرم

هفته پنجم

ضرائب نفوذ مولکولی در گازها و مایعات

Mass Transfer Autumn 1390 Ahad Ghaemi (ahadghaemi@yahoo.com)



نفوذ مولکولی در گازها

با فرض اینکه گاز، گاز ایده آل باشد رابطه کلی شار انتقال جرم بصورت زیر است:

$$C_A = \frac{P_A}{RT} \quad y_A = \frac{\bar{P}_A}{P_t} = \frac{c_A}{c}$$

معادله کلی شار در سیالات

$$N_A = \frac{N_A}{N_A + N_B} \frac{cD_{AB}}{z} \ln \frac{N_A/(N_A + N_B) - c_{A2}/c}{N_A/(N_A + N_B) - c_{A1}/c}$$

$$N_A = \frac{N_A}{N_A + N_B} \frac{D_{AB}P_t}{RTz} \ln \frac{[N_A/(N_A + N_B)]P_t - \bar{P}_{A2}}{[N_A/(N_A + N_B)]P_t - \bar{P}_{A1}}$$

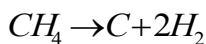
$$N_A = \frac{N_A}{N_A + N_B} \frac{D_{AB}P_t}{RTz} \ln \frac{N_A/(N_A + N_B) - y_{A2}}{N_A/(N_A + N_B) - y_{A1}}$$

از این معادلات زمانی می توان استفاده کرد که رابطه بین NA و NB معلوم باشد. این نسبت با توجه به سیستم مورد نظر تعیین می گردد.

Mass Transfer Autumn 1390 Ahad Ghaemi (ahadghaemi@yahoo.com)

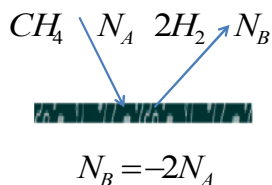


نفوذ مولکولی در گازها



برای سیستم های واکنشی

مثال: واکنش متان در سطح کاتالیزور بصورت زیر:



در شرایطی که متان (A) به سطح کاتالیزر نفوذ نموده و هیدروژن (B) در اثر شکست شدن متان در سطح بوجود آید و در خلاف جهت متان نفوذ نماید:

$$N_A = \frac{N_A}{N_A - 2N_A} \frac{D_{AB} P_t}{RTz} \ln \frac{N_A / (N_A - 2N_A) - y_{A2}}{N_A / (N_A - 2N_A) - y_{A1}} = - \frac{D_{AB} P_t}{RTz} \ln \frac{1 + y_{A2}}{1 + y_{A1}}$$

برای سیستم های بدون واکنش دو حالت پیش می آید:

$$N_B = 0$$

نفوذ جزء A درون جزء ساکن B در حالت پایا

این مورد در جذب آمونیاک (A) از یک مخلوط هوا (B) و آمونیاک توسط آب مشاهده می شود. چون حلالیت هوا در آب ناچیز است، فقط آمونیاک نفوذ خواهد کرد. بنابر این

Mass Transfer

Autumn 1390

Ahad Ghaemi (ahadghaemi@yahoo.com)



نفوذ مولکولی در مایعات

در این قسمت منظور نفوذ در مایع ساکن و یا با حرکت آرام می باشد. در مایعات ضریب نفوذ تابع غلظت می باشد. در انتقال جرم مایعات غلظت متغیر بوده بنابراین از ضریب نفوذ متوسط و غلظت متوسط استفاده می شود. (منظور از متوسط، متوسط ابتدا و انتهای مسیر می باشد).

برای مخلوط دو جزئی:

$$C_M = \frac{C_1 + C_2}{2} \rightarrow N_A = -D_{AB} \frac{dc_A}{dz} + x_A(N_A + N_B)$$

دو حالت برای رابطه شارها وجود دارد.

الف: اگر نفوذ متقابل با شار یکسان باشد که معمولاً در روی سینی های برج تقطیر این حالت بوجود می آید. یعنی در واقع:

$$N_A = -N_B \rightarrow N_A = -D_{AB} \frac{dc_A}{dz}$$

Mass Transfer

Autumn 1390

Ahad Ghaemi (ahadghaemi@yahoo.com)



نفوذ مولکولی در مایعات

$$N_A = -\frac{(D_{AB})_M}{z} (C_{A1} - C_{A2}) = -\frac{(D_{AB})_M}{z} C_t (x_{A1} - x_{A2})$$

$$C_{A1} = x_{A1} C_t$$

$$C_t = \frac{\rho}{M}$$

$$N_A = -\frac{(D_{AB})_M}{z} \left(\frac{\rho}{M}\right)_M (x_{A1} - x_{A2})$$

در استفاده از معادلات انتقال جرم در محلول های مایع از مقادیر غلظت متوسط برای بدست آوردن پارامترها استفاده می شود.

Mass Transfer

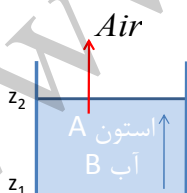
Autumn 1390

Ahad Ghaemi (ahadghaemi@yahoo.com)



نفوذ در مایعات: نفوذ جزء A درون جزء ساکن B در حالت پایا

در نفوذ جزء A در B ساکن، بعنوان مثال مخلوط آب و استون که در معرض هوا قرار بگیرد و بدلیل فشار کم استن، فقط بخار استون در هوا نفوذ می کند. در این حالت:



$$N_A = \text{const.} \quad N_B = 0$$

$$N_A = (N_A + N_B)x_A - D_{AB} \frac{\partial c_A}{\partial z} = N_A x_A - D_{AB} \frac{\partial c_A}{\partial z}$$

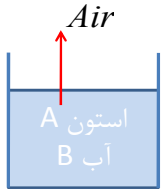
$$N_A (1 - x_A) = -D_{AB} \frac{\partial c_A}{\partial z} \quad \rightarrow \quad \int_0^z N_A dz = -D_{AB} C_t \int_{x_{A1}}^{x_{A2}} \frac{dx_A}{(1 - x_A)}$$

Mass Transfer

Autumn 1390

Ahad Ghaemi (ahadghaemi@yahoo.com)

نفوذ در مایعات : نفوذ جزء A درون جزء ساکن B در حالت پایا



$$N_A = \frac{D_{AB} C_l}{z} \ln \frac{1-x_{A2}}{1-x_{A1}} = \frac{D_{AB} C_l}{z} \ln \frac{x_{B2}}{x_{B1}}$$

$$x_{BM} = \frac{x_{B2} - x_{B1}}{\ln(x_{B2}/x_{B1})}$$

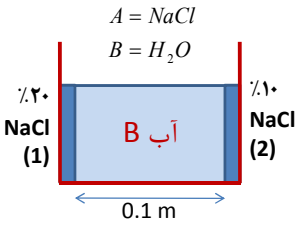
$$N_A = \frac{C_l (D_{AB})_M}{z x_{BM}} (x_{B2} - x_{B1})$$

$$N_A = \frac{(D_{AB})_m}{z x_{BM}} \left(\frac{\rho}{M} \right)_m (x_{A1} - x_{A2})$$

Mass Transfer Autumn 1390 Ahad Ghaemi (ahadghaemi@yahoo.com)

مثال: نفوذ در مایعات

مثال: مطلوبست شار انتقال جرم NaCl در ۱۸ درجه سانتیگراد از لایه ساکن از آب به ضخامت 0.1 متر غلظت NaCl در دو طرف این لایه ساکن آب به ترتیب ۱۰٪ و ۲۰٪ می باشد و ضریب نفوذ آب نمک با غلظت به صورت خطی تغییر می کند.



A = NaCl
B = H₂O

۲۰٪ NaCl (1) ۱۰٪ NaCl (2)

0.1 m

$T = 18 \text{ } ^\circ\text{C}$

$M_A = 58.45 \text{ g/mol}$

$\rho_1 = 1.15 \text{ g/ml}$

$(D_{AB})_1 = 1.24 \times 10^{-5} \text{ cm}^2/\text{s}$

$M_B = 18 \text{ g/mol}$

$\rho_2 = 1.07 \text{ g/ml}$

$(D_{AB})_2 = 1.36 \times 10^{-5} \text{ cm}^2/\text{s}$

Mass Transfer Autumn 1390 Ahad Ghaemi (ahadghaemi@yahoo.com)

مثال: نفوذ در مایعات

جواب: انتقال جرم بصورت نفوذ A در جزء ساکن B می باشد ($N_B=0$). باید درصد های جرمی مایع را به درصد های مولی تبدیل کنیم

$$N_A = \frac{(D_{AB})_m \left(\frac{\rho}{M} \right)_m (x_{A1} - x_{A2})}{z x_{BM}}$$

$$x_i = \frac{w_i / M_i}{\sum w_i / M_i}$$

$$x_{A1} = \frac{0.2/58.45}{0.2/58.45 + 0.8/18} = 0.07145$$

$$x_{B1} = 1 - x_{A1} = 1 - 0.07145 = 0.9285$$

$$x_{A2} = \frac{0.1/58.45}{0.1/58.45 + 0.9/18} = 0.0331$$

$$x_{B2} = 1 - x_{A2} = 1 - 0.0331 = 0.9669$$

$$x_{BM} = \frac{x_{B2} - x_{B1}}{\ln(x_{B2} / x_{B1})} = \frac{0.967 - 0.9285}{\ln(0.967 / 0.9285)} = 0.948$$

$A = \text{NaCl}$
 $B = \text{H}_2\text{O}$

Mass Transfer Autumn 1390 Ahad Ghaemi (ahadghaemi@yahoo.com)

نفوذ در مایعات

$$M_1 = x_{A1}M_A + x_{B1}M_B = 20.89$$

$$M_2 = x_{A2}M_A + x_{B2}M_B = 19.34$$

$$\left(\frac{\rho}{M} \right)_1 = \frac{1.15}{20.89} = 0.055 \text{ gmol / ml}$$

$$\left(\frac{\rho}{M} \right)_2 = \frac{1.07}{19.34} = 0.055 \text{ gmol / ml}$$


$$D_{AB} = aC_A + b$$

→

$$C_{A1} = \frac{\rho_{A1}}{M_A} = \frac{\rho_1 w_{A1}}{M_A} = \frac{1150 \times 0.2}{58.45} = 3.93 \text{ mol / lit}$$

$$C_{A2} = \frac{\rho_{A2}}{M_A} = \frac{\rho_2 w_{A2}}{M_A} = \frac{1070 \times 0.1}{58.45} = 1.83 \text{ mol / lit}$$

Mass Transfer Autumn 1390 Ahad Ghaemi (ahadghaemi@yahoo.com)



نفوذ در مایعات

$$1.24 \times 10^{-5} = 3.93a + b \quad \rightarrow b = 1.18 \times 10^{-5}$$

$$1.36 \times 10^{-5} = 1.83a + b \quad \rightarrow a = 0.06 \times 10^{-5}$$

$$D_{AB} = 0.06 \times 10^{-5} C_A + 1.18 \times 10^{-5}$$


$$(C_A)_M = \frac{C_{A1} + C_{A2}}{2} = \frac{3.93 + 1.83}{2} = 2.87 \text{ mol/lit}$$

$$(D_{AB})_M = 1.35 \times 10^{-5} \text{ cm}^2 / \text{s}$$

$$N_A = \frac{(D_{AB})_m \left(\frac{\rho}{M} \right) (x_{A1} - x_{A2})}{z x_{BM}}$$

$$N_A = \left(\frac{1.35 \times 10^{-5}}{0.1 \times 0.948} \right) (0.055)(0.07145 - 0.0331) = 0.3 \times 10^{-6} \text{ mol/cm}^2 \cdot \text{s}$$

Mass Transfer
Autumn 1390
Ahad Ghaemi (ahadghaemi@yahoo.com)



سیستم های واکنشی

واکنش شیمیایی

هموزن

همه مواد در یک فاز (همگن)
انجام واکنش در تمامی ظرف
تأثیر غلظت بر روی معادلات پیوستگی

هتروژن

واکنشهای بین دو فاز (ناهمگن)
انواع واکنشهای کاتالیستی (سیال و جامد)
شروع انتقال جرم در مرز واکنش
تأثیر غلظت بر روی شرایط مرزی

$$aA \longrightarrow bB$$


}

$a=b \quad N_A = -N_B$
 $a=1, b=2 \quad N_A = - (0.5)N_B$

$$\frac{N_A}{a} = - \frac{N_B}{b}$$

Mass Transfer
Autumn 1390
Ahad Ghaemi (ahadghaemi@yahoo.com)

این چه نوع واکنشی است؟




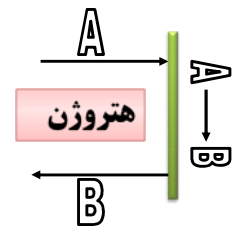
$$A(\text{Gas}) + 2C(\text{Solid}) \longrightarrow 3B(\text{Gas})$$

فلاکس جامد صفر است

$$N_A = -(1/3) N_B$$

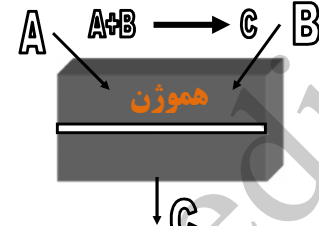
رابطه بین N_A, N_B $N_A + N_B = N_A - 3N_A = -2N_A$





هتروژن

واکنش بر واحد سطح انجام می شود.



هموزن

واکنش بر واحد حجم انجام می شود.

Mass Transfer
Autumn 1390
Ahad Ghaemi (ahadghaemi@yahoo.com)

ضریب نفوذ مولکولی

- نفوذ مولکولی برعکس حرکت مولکول ها، فرایند کندی می باشد.
- نفوذ مولکولی به (دما، فشار، نوع ماده، شکل، قطبی بودن، بار الکتریکی) بستگی دارد.

آیا می توانید تاثیر هر متغیر را بیان کنید؟

$D_{AB} = f(T, P, du/dy, \text{نوع ماده, غلظت})$

Mass Transfer
Autumn 1390
Ahad Ghaemi (ahadghaemi@yahoo.com)

ضریب نفوذ مولکولی گازها در فشار یک اتمسفر

سیستم	دما - سلسیوس	10^5 * ضریب نفوذ m ² /s
H ₂ -CH ₄	0	6.25
O ₂ -N ₂	0	1.81
CO-O ₂	0	1.85
CO ₂ -O ₂	0	1.39
Air-NH ₃	0	1.98
Air-H ₂ O	25.9	2.58
	59.0	3.05
Air-ethanol	0	1.02
Air-n-butanol	25.9	0.87
	59.0	1.04
Air-ethyl acetate	25.9	0.87
	59.0	1.06
Air-aniline	25.9	0.74
	59.0	0.90
Air-chloronenzene	25.9	0.74
	59.0	0.90
Air-toluene	25.9	0.86
	59	0.92

$D_{H_2-CH_4} = 625 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$

Mass Transfer Autumn 1390 Ahad Ghaemi (ahadghaemi@yahoo.com)

معادله ضریب نفوذ مولکولی برای گازها

رابطه Wilke - Lee برای نفوذ گازها

$$D_{AB} = 10^{-4} \left[1.84 - 0.249 \sqrt{\frac{1}{M_A} + \frac{1}{M_B}} \right] T^{1.5} \sqrt{\frac{1}{M_A} + \frac{1}{M_B}}$$

$P_i (r_{AB})^2 f\left(\frac{kT}{\varepsilon_{AB}}\right)$ تابع برخورد

$D_{AB} = F(T, P, du/dy, \text{نوع ماده, غلظت})$

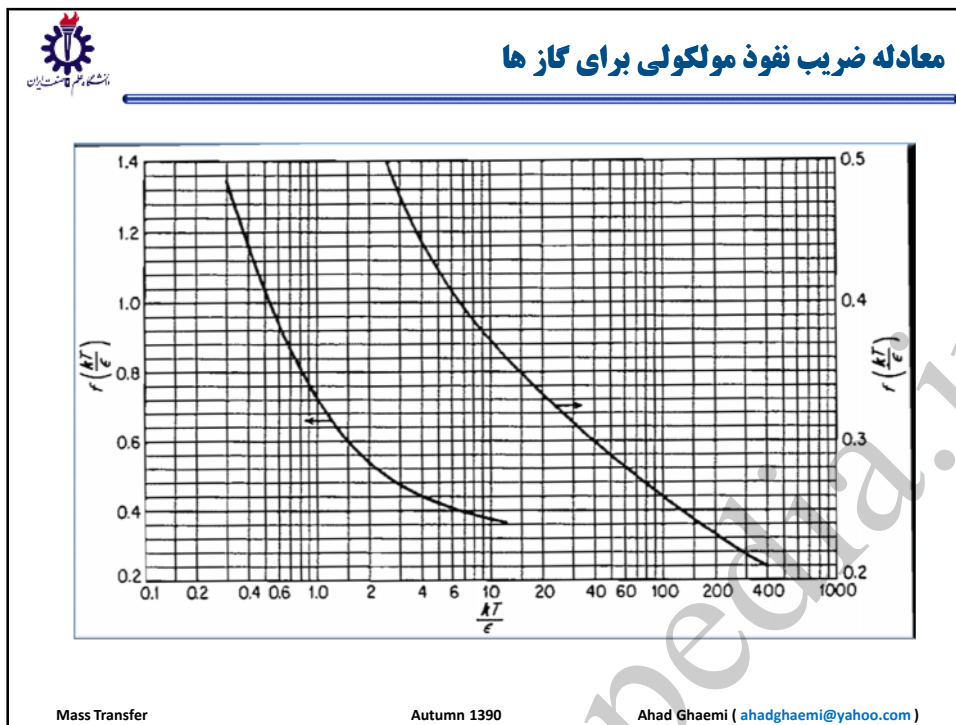
$D_{AB} \approx \frac{T^{1.5}}{P_i}$

انرژی جاذبه مولکولی

$$\varepsilon_{AB} = \sqrt{\varepsilon_A \varepsilon_B}$$

DAB: ضریب نفوذ بر حسب m²/s
K: ثابت بولتزمن
T: درجه حرارت کلوین
M_A, M_B: جرم های مولکولی A, B بر حسب Kg/Kmol
Pt: فشار مطلق بر حسب N/m²
r_{AB}=(r_A+r_B)/2: فاصله بین مولکولی بر حسب نانومتر

Mass Transfer Autumn 1390 Ahad Ghaemi (ahadghaemi@yahoo.com)



معادله ضریب نفوذ مولکولی برای گاز ها

$$r = 1.18v^{1/3}$$

$$\frac{\epsilon}{k} = 1.21 T_b$$

Gas	$\epsilon/k, K$	r, nm	Gas	$\epsilon/k, K$	r, nm
Air	78.6	0.3711	HCl	344.7	0.3339
CCl ₄	322.7	0.5947	He	10.22	0.2551
CH ₃ OH	481.8	0.3626	H ₂	59.7	0.2827
CH ₄	148.6	0.3758	H ₂ O	809.1	0.2641
CO	91.7	0.3690	H ₂ S	301.1	0.3623
CO ₂	195.2	0.3941	NH ₃	558.3	0.2900
CS ₂	467	0.4483	NO	116.7	0.3492
C ₂ H ₆	215.7	0.4443	N ₂	71.4	0.3798
C ₃ H ₈	237.1	0.5118	N ₂ O	232.4	0.3828
C ₆ H ₆	412.3	0.5349	O ₂	106.7	0.3467
Cl ₂	316	0.4217	SO ₂	335.4	0.4112

Atomic volume, m ³ /1000 atoms × 10 ³		Molecular volume, m ³ /kmol × 10 ³		Atomic volume, m ³ /1000 atoms × 10 ³		Molecular volume, m ³ /kmol × 10 ³	
Carbon	14.8	H ₂	14.3	Oxygen	7.4	NH ₃	25.8
Hydrogen	3.7	O ₂	25.6	In methyl esters	9.1	H ₂ O	18.9
Chlorine	24.6	N ₂	31.2	In higher esters	11.0	H ₂ S	32.9
Bromine	27.0	Air	29.9	In acids	12.0	COS	51.5
Iodine	37.0	CO	30.7	In methyl ethers	9.9	Cl ₂	48.4
Sulfur	25.6	CO ₂	34.0	In higher ethers	11.0	Br ₂	53.2
Nitrogen	15.6	SO ₂	44.8	Benzene ring: subtract	15	I ₂	71.5
In primary amines	10.5	NO	23.6	Naphthalene ring: subtract	30		
In secondary amines	12.0	N ₂ O	36.4				

Mass Transfer Autumn 1390 Ahad Ghaemi (ahadghaemi@yahoo.com)



معادله ضریب نفوذ مولکولی برای گازها

مثال: ضریب نفوذ بخارات اتانول $C_2H_5OH(A)$ را درون هوا (B) در فشار یک اتمسفر و دمای صفر درجه سلسیوس بدست آورید.

$$T = 273 \text{ K}, \quad P_i = 101.3 \text{ kN} / \text{m}^2 \quad M_A = 46.07$$

$$M_B = 29$$

حل: مقادیر تابع بر خورد از جدول برای هوا بدست می آید و برای اتانول محاسبه می کنیم:

$$D_{AB} = \frac{10^{-4} \left[1.84 - 0.249 \sqrt{\frac{1}{M_A} + \frac{1}{M_B}} \right] T^{1.5} \sqrt{\frac{1}{M_A} + \frac{1}{M_B}}}{P_i (r_{AB})^2 f \left(\frac{kT}{\epsilon_{AB}} \right)}$$

Gas	$\epsilon/k, \text{K}$	r, nm
Air	78.6	0.3711

Mass Transfer

Autumn 1390

Ahad Ghaemi (ahadghaemi@yahoo.com)



معادله ضریب نفوذ مولکولی برای گازها

Atomic volume, $\text{m}^3/1000 \text{ atoms} \times 10^3$		Molecular volume, $\text{m}^3/\text{kmol} \times 10^3$		Atomic volume, $\text{m}^3/1000 \text{ atoms} \times 10^3$		Molecular volume, $\text{m}^3/\text{kmol} \times 10^3$	
Carbon	14.8	H ₂	14.3	Oxygen	7.4	NH ₃	25.8
Hydrogen	3.7	O ₂	25.6	In methyl esters	9.1	H ₂ O	18.9
Chlorine	24.6	N ₂	31.2	In higher esters	11.0	H ₂ S	32.9
Bromine	27.0	Air	29.9	In acids	12.0	COS	51.5
Iodine	37.0	CO	30.7	In methyl ethers	9.9	Cl ₂	48.4
Sulfur	25.6	CO ₂	34.0	In higher ethers	11.0	Br ₂	53.2
Nitrogen	15.6	SO ₂	44.8	Benzene ring: subtract	15	I ₂	71.5
In primary amines	10.5	NO	23.6	Naphthalene ring: subtract	30		
In secondary amines	12.0	N ₂ O	36.4				

$$v_A = 2(0.0148) + 6(0.0037) + 0.0074 = 0.0592,$$

$$r = 1.18 v^{1/3}$$

$$\frac{\epsilon}{k} = 1.21 T_b$$

$$r_A = 1.18(0.0592)^{1/3} = 0.46 \text{ nm.}$$

$$r_{AB} = \frac{0.46 + 0.3711}{2} = 0.416$$

$$T_{b,A} = 351.4 \text{ K and } \epsilon_A/k = 1.21(351.4) = 425.$$

Mass Transfer

Autumn 1390

Ahad Ghaemi (ahadghaemi@yahoo.com)

معادله ضریب نفوذ مولکولی برای گاز ها

$\epsilon_{AB} = \sqrt{\epsilon_A \epsilon_B} \quad \rightarrow \quad \frac{\epsilon_{AB}}{k} = \sqrt{425(78.6)} = 170.7$
 $\frac{kT}{\epsilon_{AB}} = \frac{273}{170.7} = 1.599 \quad \rightarrow \quad f\left(\frac{kT}{\epsilon_{AB}}\right) = 0.595$

Mass Transfer Autumn 1390 Ahad Ghaemi (ahadghaemi@yahoo.com)

معادله ضریب نفوذ مولکولی برای گاز ها

$$D_{AB} = \frac{10^{-4} \left[1.84 - 0.249 \sqrt{\frac{1}{M_A} + \frac{1}{M_B}} \right] T^{1.5} \sqrt{\frac{1}{M_A} + \frac{1}{M_B}}}{P_i (r_{AB})^2 f\left(\frac{kT}{\epsilon_{AB}}\right)}$$

$T = 273 \text{ K}, \quad P_i = 101.3 \text{ kN} / \text{m}^2 \quad \sqrt{\frac{1}{M_A} + \frac{1}{M_B}} = 0.237 \quad f\left(\frac{kT}{\epsilon_{AB}}\right) = 0.595$
 $r_{AB} = 0.416$

$$D_{AB} = \frac{10^{-4} [1.084 - 0.249(0.237)] (273^{3/2}) (0.237)}{(101.3 \times 10^3) (0.416)^2 (0.595)} = 1.05 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$$

The observed value (Table 2.1) is $1.02 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$.

Mass Transfer Autumn 1390 Ahad Ghaemi (ahadghaemi@yahoo.com)



ضریب نفوذ در مایعات

شار کلی بصورت زیر می باشد:

$$N_A = \frac{N_A}{N_A + N_B} \frac{D_{AB}}{z} \left(\frac{\rho}{M} \right)_{av} \ln \frac{N_A / (N_A + N_B) - x_{A2}}{N_A / (N_A + N_B) - x_{A1}}$$

1. Steady-state diffusion of A through nondiffusing B. $N_A = \text{const}$, $N_B = 0$,
whence

$$N_A = \frac{D_{AB}}{z x_{BM}} \left(\frac{\rho}{M} \right)_{av} (x_{A1} - x_{A2})$$

$$x_{BM} = \frac{x_{B2} - x_{B1}}{\ln(x_{B2}/x_{B1})}$$

2. Steady-state equimolar counterdiffusion. $N_A = -N_B = \text{const}$.

$$N_A = \frac{D_{AB}}{z} (c_{A1} - c_{A2}) = \frac{D_{AB}}{z} \left(\frac{\rho}{M} \right)_{av} (x_{A1} - x_{A2})$$

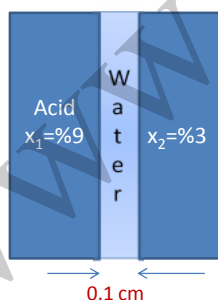
Mass Transfer

Autumn 1390

Ahad Ghaemi (ahadghaemi@yahoo.com)



نفوذ در مایعات



مثال: شدت نفوذ اسید استیک (A) را در دمای ۱۷ درجه سلسیوس از درون لایه ساکنی از آب (B) به ضخامت ۰.۱ سانتیمتر بدست آورید. غلظت اسید استیک در دو طرف فیلم آب به ترتیب برابر ۹ و ۳ درصد جرمی است. ضریب نفوذ اسید استیک در آب در شرایط مسئله بصورت زیر فرض می شود.

$$D_{AB} = 0.95 \times 10^{-9} \text{ m}^2 / \text{sec}$$

$$z = 0.001 \text{ m}, M_A = 60.03, M_B = 18.02, \text{ At } 17^\circ\text{C},$$

حل:

density of the 9% solution is 1012 kg/m^3

$$x_{A1} = \frac{0.09/60.03}{0.09/60.03 + 0.91/18.02} = \frac{0.0015}{0.0520} = 0.0288 \text{ mole fraction acetic acid}$$

$$x_{B1} = 1 - 0.0288 = 0.9712 \text{ mole fraction water}$$

$$M = \frac{1}{0.0520} = 19.21 \text{ kg/kmol} \quad \frac{\rho}{M} = \frac{1012}{19.21} = 52.7 \text{ kmol/m}^3$$

Mass Transfer

Autumn 1390

Ahad Ghaemi (ahadghaemi@yahoo.com)



نفوذ در مایعات

Similarly the density of the 3% solution is 1003.2 kg/m^3

$$x_{A2} = 0.0092, x_{B2} = 0.9908,$$

$$M = 18.40, \text{ and } \rho/M = 54.5.$$

$$\left(\frac{\rho}{M}\right)_{av} = \frac{52.7 + 54.5}{2} = 53.6 \text{ kmol/m}^3$$

$$x_{BM} = \frac{0.9908 - 0.9712}{\ln(0.9908/0.9712)} = 0.980$$

$$N_A = \frac{0.95 \times 10^{-9}}{0.001(0.980)} 53.6(0.0288 - 0.0092) = 1.018 \times 10^{-6} \text{ kmol/m}^2 \cdot \text{s}$$

Mass Transfer

Autumn 1390

Ahad Ghaemi (ahadghaemi@yahoo.com)



ضریب نفوذ در مایعات

بر خلاف گازها ضریب نفوذ در مایعات تابع غلظت اجزاء می باشد.

$$D_{AB} \left(\frac{\text{cm}^2}{\text{sec}} \right) \text{ or } \left(\frac{\text{m}^2}{\text{sec}} \right)$$

بعلت عدم وجود تئوری دقیقی برای ساختمان مایعات، ضرایب نفوذ مایعات دقیق نیستند.

برای محلول های رقیق و غیر الکترولیت از رابطه Wilke Chang استفاده می شود.

$$D_{AB}^0 = \frac{(117.3 \times 10^{-18})(\varphi M_B)^{0.5} T}{\mu v_A^{0.6}}$$

T درجه حرارت K

v_A حجم مولکولی جزء حل شده در نقطه جوش طبیعی m^3/kmol (جدول ۲-۳)

φ ضریب تجمع مولکولی حلال، 2.26 برای حلال آب، برای متانول ۱.۹

μ ویسکوزیته محلول kg/m.s جرم مولکولی حلال M_B kg/kmol

Mass Transfer

Autumn 1390

Ahad Ghaemi (ahadghaemi@yahoo.com)



ضریب نفوذ در مایعات

مثال: ضریب نفوذ مانیتول $\text{C}_6\text{H}_{14}\text{O}_6$ ، $\text{CH}_2\text{OH}(\text{CHOH})_4\text{CH}_2\text{OH}$ را در محلول رقیق آن در آب در 20°C درجه سلسیوس تعیین نموده و با مقدار تجربی که برابر $0.56 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$ است مقایسه کنید.

Atomic volume, $\text{m}^3/1000 \text{ atoms} \times 10^3$		Molecular volume, $\text{m}^3/\text{kmol} \times 10^3$		Atomic volume, $\text{m}^3/1000 \text{ atoms} \times 10^3$		Molecular volume, $\text{m}^3/\text{kmol} \times 10^3$	
Carbon	14.8	H_2	14.3	Oxygen	7.4	NH_3	25.8
Hydrogen	3.7	O_2	25.6	In methyl esters	9.1	H_2O	18.9
Chlorine	24.6	N_2	31.2	In higher esters	11.0	H_2S	32.9
Bromine	27.0	Air	29.9	In acids	12.0	COS	51.5
Iodine	37.0	CO	30.7	In methyl ethers	9.9	Cl_2	48.4
Sulfur	25.6	CO_2	34.0	In higher ethers	11.0	Br_2	53.2
Nitrogen	15.6	SO_2	44.8	Benzene ring: subtract	15	I_2	71.5
In primary amines	10.5	NO	23.6	Naphthalene ring: subtract	30		
In secondary amines	12.0	N_2O	36.4				

$$v_A = 0.0148(6) + 0.0037(14) + 0.0074(6) = 0.185$$

$$\phi = 2.26$$

$$M_B = 18.02 \quad T = 293 \text{ K}$$

$$\mu = 0.001005 \text{ kg/m s}$$

اگر حلال آب باشد:

Mass Transfer

Autumn 1390

Ahad Ghaemi (ahadghaemi@yahoo.com)



ضریب نفوذ در مایعات

$$v_A = 0.185$$

$$\phi = 2.26$$

$$M_B = 18.02$$

$$T = 293 \text{ K}$$

$$\mu = 0.001005 \text{ kg/m s}$$

$$D_{AB}^0 = \frac{(117.3 \times 10^{-18})(\phi M_B)^{0.5} T}{\mu v_A^{0.6}}$$

$$D_{AB} = \frac{(117.3 \times 10^{-18})(2.26)(18.02)^{0.5}(293)}{0.001005(0.185)^{0.6}} = 0.601 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$$

Mass Transfer

Autumn 1390

Ahad Ghaemi (ahadghaemi@yahoo.com)



ضریب نفوذ در مایعات

ضریب نفوذ مانیتول در محلول رقیق آن در آب را در ۷۰ درجه سلسیوس محاسبه نموده و جواب را با مقدار تجربی که برابر $1.56 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$ است مقایسه کنید.

$$D_{AB}^0 = \frac{(117.3 \times 10^{-18})(\varphi M_B)^{0.5} T}{\mu \nu_A^{0.6}}$$

$$\frac{D_{AB} \mu}{T} = \frac{(117.3 \times 10^{-18})(\varphi M_B)^{0.5}}{\nu_A^{0.6}} = \text{const}$$

$$\left(\frac{D_{AB} \mu}{T} \right)_1 = \left(\frac{D_{AB} \mu}{T} \right)_2$$

$$\text{at } T = 70 \text{ C } \quad \mu = 0.4061 \times 10^{-3} \text{ kg / m s}$$

$$\text{at } T = 20 \text{ C } \quad \mu = 1.005 \times 10^{-3} \text{ kg / m s}$$

$$\frac{(0.56 \times 10^{-9})(1.005 \times 10^{-3})}{20 + 273} = \frac{D_{AB} (0.4061 \times 10^{-3})}{70 + 273} \quad D_{AB} = 1.62 \times 10^{-9} \text{ m}^2 / \text{s}$$

Mass Transfer

Autumn 1390

Ahad Ghaemi (ahadghaemi@yahoo.com)



ضریب نفوذ در مایعات

Solute	Solvent	Temp, °C	Solute concentration, kmol/m ³	Diffusivity, † m ² /s × 10 ⁹
Cl ₂	Water	16	0.12	1.26
HCl	Water	0	9	2.7
			2	1.8
		10	9	3.3
			2.5	2.5
		16	0.5	2.44
NH ₃	Water	5	3.5	1.24
		15	1.0	1.77
CO ₂	Water	10	0	1.46
		20	0	1.77
NaCl	Water	18	0.05	1.26
			0.2	1.21
			1.0	1.24
			3.0	1.36
			5.4	1.54
Methanol	Water	15	0	1.28
Acetic acid	Water	12.5	1.0	0.82
			0.01	0.91
		18.0	1.0	0.96
Ethanol	Water	10	3.75	0.50
			0.05	0.83
		16	2.0	0.90
n-Butanol	Water	15	0	0.77
CO ₂	Ethanol	17	0	3.2
Chloroform	Ethanol	20	2.0	1.25

برای مثال ضریب نفوذ کلر در آب:

$$D_{\text{Cl}_2\text{-Water}} = 1.26 \times 10^{-9} \text{ m}^2 / \text{s}$$

Mass Transfer

Autumn 1390

Ahad Ghaemi (ahadghaemi@yahoo.com)



انتقال جرم

Mass Transfer Operation

هفته ششم

محاسبه ضرایب انتقال جرم در مایعات،
جامدات و گازها،

Mass Transfer

Autumn 1390

A. Ghaemi (ahadghaemi@yahoo.com)



فهرست مطالب

- بررسی نحوه حرکت سیالات
- معرفی ضرایب انتقال جرم
- بررسی نحوه محاسبه انتقال جرم
- محاسبه فلاکس انتقال جرم با توجه به ضرایب انتقال جرم
- روش های آنالوژی محاسبه ضرایب انتقال جرم

Mass Transfer

Autumn 1390

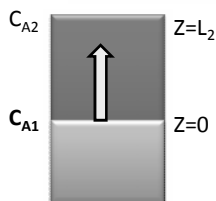
A. Ghaemi (ahadghaemi@yahoo.com)

www.chempedia.ir



معرفی ضریب انتقال جرم

در ناحیه تلاطم بعلت حرک گردانه ها مکانیسم جریان سیال مشخص نیست. ولی بر اساس نفوذ مولکولی تا ناحیه تلاطم می توان شدت انتقال جرم را بررسی کرد.



$$N_A = \frac{N_A}{N_A + N_B} \frac{CD_{AB}}{z_2 - z_1} \ln \frac{[N_A/(N_A + N_B)] - x_{A2}}{[N_A/(N_A + N_B)] - x_{A1}}$$

$$N_A = \frac{N_A}{N_A + N_B} F \ln \frac{[N_A/(N_A + N_B)] - c_{A2}/c}{[N_A/(N_A + N_B)] - c_{A1}/c}$$

F: ضریب انتقال جرم محلی گفته می شود. با توجه به اینکه چون ممکن است سطح انتقال جرم مسطح نباشد. یا دارای مجرا یا سطح مقطع متفاوتی داشته باشد. از این ضریب استفاده می شود.

N: شار در سطح مشترک یا مرز فازی

C_{A1}: غلظت در ابتدای مسیر و C_{A2}: غلظت در انتهای مسیر می باشد.

با توجه به شرایط مسئله ممکن است F مقدار متوسط داشته و همچنین C_{A1} و C_{A2} مقادیر متوسط یا ثابتی داشته باشند.

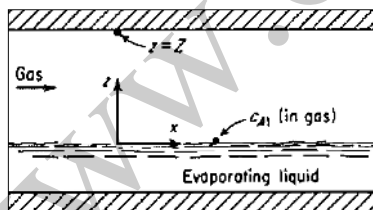
Mass Transfer

Autumn 1390

A. Ghaemi (ahadghaemi@yahoo.com)



بررسی ضریب انتقال جرم



در معادله کلی انتقال جرم C_{A1} غلظت در شروع مسیر و C_{A2} غلظت در انتهای مسیر می باشد. در هر حال یکی از این غلظت ها مربوط به مرز فازها می باشد. نحوه انتخاب غلظت سیال بر مقدار ضریب انتقال جرم F تأثیر می گذارد. لذا انتخاب غلظت سیال اختیاری می باشد.

$$\bar{c}_A = \frac{1}{\bar{u}_x S} \int_0^s u_x c_A ds$$

u_x: توزیع سرعت
 \bar{u}_x : سرعت متوسط توده
 S: سطح مقطع مجرا

مقدار F یک ضریب انتقال جرم محلی بوده که برای یک موضع مشخص واقع بر سطح مرزی فازها بدست می آید.

مقدار F بستگی به نحوه جریان سیال دارد. بعضی موارد از مقدار متوسط F_{av} استفاده می شود.


اگر سیستم چند جزئی باشد برخورد های سازندگان مختلف و اثرات آنها بر یکدیگر بسیار گسترده بوده و معادلات مربوط به انتقال جرم دو جزئی بر این سیستم ها صادق نخواهد بود.

Mass Transfer

Autumn 1390

A. Ghaemi (ahadghaemi@yahoo.com)

بررسی ضریب انتقال جرم



دانشگاه سمرقند

عوامل موثر بر F:

الف) جهت

ب) غلظت

ج) نحوه نفوذ

د) مسیر انتقال جرم

ه) نوع فاز گاز، مایع و جامد

و) دما، فشار و غیره

$$F = \frac{CD_{AB}}{z_2 - z_1}$$

→

حرکت آرام

$$F = \frac{C(D_{AB} + \varepsilon)}{z_2 - z_1}$$

→

حرکت درهم

ε یا ضریب نفوذ گردانه ها بستگی به سرعت دارد پس F هم در جهت X و هم در جهت Z تغییر خواهد کرد (سرعت و ضخامت)

نکته: برای محاسبه F به غلظت و دمای متوسط نیاز مندیم (چرا؟)

Mass Transfer
Autumn 1390
A. Ghaemi (ahadghaemi@yahoo.com)

بررسی ضریب انتقال جرم

در فصول قبل دو مورد متداول:

۱- نفوذ متقابل مولهای معادل از دو سازنده ۲- انتقال ماده ای در ماده ساکن
 بعلت متداول بودن این دو مورد ضرایب انتقال جرم ویژه ای برای این تحولات ارائه شده است.

شار انتقال جرم = ضریب انتقال جرم * اختلاف غلظت

$N_B = 0, N_A / (N_A + N_B) = 1$

نفوذ در جزء ساکن

$$N_A = \begin{cases} k_G(\bar{p}_{A1} - \bar{p}_{A2}) = k_y(y_{A1} - y_{A2}) = k_c(c_{A1} - c_{A2}) & \text{gases} \\ k_x(x_{A1} - x_{A2}) = k_L(c_{A1} - c_{A2}) & \text{liquids} \end{cases}$$

$N_A = -N_B, N_A / (N_A + N_B) = \infty$

نفوذ متقابل مولهای معادل

$$N_A = \begin{cases} k'_G(\bar{p}_{A1} - \bar{p}_{A2}) = k'_y(y_{A1} - y_{A2}) = k'_c(c_{A1} - c_{A2}) & \text{gases} \\ k'_x(x_{A1} - x_{A2}) = k'_L(c_{A1} - c_{A2}) & \text{liquids} \end{cases}$$

Mass Transfer
Autumn 1390
A. Ghaemi (ahadghaemi@yahoo.com)

بررسی ضریب انتقال جرم

بعلت وجود واحدهای مختلف برای غلظت ضرائب مختلف انتقال جرمی حاصل می شود.

$$N_A = \begin{cases} k_G(\bar{p}_{A1} - \bar{p}_{A2}) = k_y(y_{A1} - y_{A2}) = k_c(c_{A1} - c_{A2}) & \text{gases} \\ k_x(x_{A1} - x_{A2}) = k_L(c_{A1} - c_{A2}) & \text{liquids} \end{cases}$$

$\frac{D_{AB}}{z}$

با انتگرال از معادله زیر و صرف نظر از جریان نوده فاز

$$N_A = (N_A + N_B) \frac{c_A}{c} - D_{AB} \frac{\partial c_A}{\partial z}$$

لذا این معادلات برای استفاده محدودیت های زیادی دارند. بنابراین معادلات فوق زمانی که انتقال جرم کم باشد مفید خواهند بود.

برای استفاده از ضرائب انتقال جرم بدست آمده باید آنها را ابتدا بصورت ضریب F در آورد.

Mass Transfer
Autumn 1390
A. Ghaemi (ahadghaemi@yahoo.com)

بررسی ضریب انتقال جرم

$N_A = -N_B$ نفوذ در خلاف جهت یکدیگر

$$N_A = \frac{CD_{AB}}{(Z_2 - Z_1)} (x_{A1} - x_{A2})$$


$$N_A = \begin{cases} k'_G(\bar{p}_{A1} - \bar{p}_{A2}) = k'_y(y_{A1} - y_{A2}) = k'_c(c_{A1} - c_{A2}) & \text{gases} \\ k'_x(x_{A1} - x_{A2}) = k'_L(c_{A1} - c_{A2}) & \text{liquids} \end{cases}$$

\rightarrow

$$k'_x = \frac{CD_{AB}}{(Z_2 - Z_1)}$$

ضریب انتقال جرم برای فاز مایع:

Mass Transfer
Autumn 1390
A. Ghaemi (ahadghaemi@yahoo.com)



بررسی ضریب انتقال جرم

نفوذ جزء A درون جزء ساکن B

$$N_A / (N_A + N_B) = 1$$

$$N_A = \frac{N_A}{N_A + N_B} \frac{D_{AB} P_t}{RTz} \ln \frac{[N_A / (N_A + N_B)] P_t - \bar{p}_{A2}}{[N_A / (N_A + N_B)] P_t - \bar{p}_{A1}} = \frac{D_{AB} P_t}{RTz} \ln \frac{P_t - \bar{p}_{A2}}{P_t - \bar{p}_{A1}}$$


$$N_A = \frac{D_{AB} P_t}{RTz} \ln \frac{P_t - \bar{p}_{A2}}{P_t - \bar{p}_{A1}} \Rightarrow F = \frac{D_{AB} P_t}{RTz}$$

نفوذ جزء A درون جزء ساکن B

$$N_A = \frac{D_{AB} P_t}{RTz \cdot \bar{p}_{B,M}} (\bar{p}_{A1} - \bar{p}_{A2}) \quad k_G = \frac{D_{AB} P_t}{RTz \cdot \bar{p}_{B,M}} = \frac{F}{\bar{p}_{B,M}} \Rightarrow F = k_G \bar{p}_{B,M}$$

$$N_A = \begin{cases} k_G (\bar{p}_{A1} - \bar{p}_{A2}) = k_y (y_{A1} - y_{A2}) = k_c (c_{A1} - c_{A2}) & \text{gases} \\ k_x (x_{A1} - x_{A2}) = k_L (c_{A1} - c_{A2}) & \text{liquids} \end{cases}$$


Mass Transfer Autumn 1390 A. Ghaemi (ahadghaemi@yahoo.com)



ضرایب انتقال جرم

معادله سرعت		واحد ضرایب
Diffusion of A through nondiffusing B		
Equimolar counterdiffusion		
گازها		
$N_A = k'_G \Delta \bar{p}_A$	$N_A = k_G \Delta \bar{p}_A$	Moles transferred (Area)(time)(pressure)
$N_A = k'_y \Delta y_A$	$N_A = k_y \Delta y_A$	Moles transferred (Area)(time)(mole fraction)
$N_A = k'_c \Delta c_A$	$N_A = k_c \Delta c_A$	Moles transferred (Area)(time)(mol/vol)
$W_A = k_y \Delta Y_A$		Mass transferred (Area)(time)(mass A/mass B)
Conversions:		
$F = k_G \bar{p}_{B,M} \quad k_y \frac{\bar{p}_{B,M}}{P_t} = k_c \frac{\bar{p}_{B,M}}{RT} = \frac{k_y}{M_B} = k'_G P_t = k'_y = k'_c \frac{P_t}{RT} = k'_c c$		
مایعات		
$N_A = k'_L \Delta c_A$	$N_A = k_L \Delta c_A$	Moles transferred (Area)(time)(mol/vol)
$N_A = k'_x \Delta x_A$	$N_A = k_x \Delta x_A$	Moles transferred (Area)(time)(mole fraction)
Conversions:		
$F = k_x x_{B,M} = k_L x_{B,M} c = k'_L c = k'_L \frac{P}{M} = k'_x$		

Mass Transfer Autumn 1390 A. Ghaemi (ahadghaemi@yahoo.com)



ضرایب انتقال جرم در فاز مایع

شار کلی بصورت زیر می باشد:

$$N_A = \frac{N_A}{N_A + N_B} \frac{D_{AB}}{z} \left(\frac{\rho}{M} \right)_{av} \ln \frac{N_A / (N_A + N_B) - x_{A2}}{N_A / (N_A + N_B) - x_{A1}}$$


1. *Steady-state diffusion of A through nondiffusing B.* $N_A = \text{const}$, $N_B = 0$,
whence

$$N_A = \frac{D_{AB}}{z x_{BM}} \left(\frac{\rho}{M} \right)_{av} (x_{A1} - x_{A2})$$

$$x_{BM} = \frac{x_{B2} - x_{B1}}{\ln(x_{B2}/x_{B1})}$$
2. *Steady-state equimolar counterdiffusion.* $N_A = -N_B = \text{const}$.

$$N_A = \frac{D_{AB}}{z} (c_{A1} - c_{A2}) = \frac{D_{AB}}{z} \left(\frac{\rho}{M} \right)_{av} (x_{A1} - x_{A2})$$

Mass Transfer Autumn 1390 A. Ghaemi (ahadghaemi@yahoo.com)



محاسبه ضریب انتقال جرم فاز گاز

$$N_A = K_c (C_{A1} - C_{A2})$$

$$N_A = K_G (P_{A1} - P_{A2}) \quad ? \longrightarrow N_A = K_y (y_{A1} - y_{A2})$$

$$\longrightarrow N_A = K_y (P_{A1}/P_t - P_{A2}/P_t)$$

ارتباط ضرایب انتقال جرم:

$$\longrightarrow N_A = (K_y / P_t) (P_{A1} - P_{A2}) \longrightarrow K_G = K_y / P_t$$

Mass Transfer Autumn 1390 A. Ghaemi (ahadghaemi@yahoo.com)



محاسبه ضریب انتقال جرم فاز مایع

در مورد مایعات نیز به نتیجه ای مشابه می رسیم.

ضریب انتقال جرم از لحاظ نوع نفوذ چگونه تغییر می کند؟

$$N_A = (CD_{AB} / Z) (y_{A1} - y_{A2})$$

نفوذ دو طرفه

$$N_A = (CD_{AB} / Zy_{B,M}) (y_{A1} - y_{A2})$$

نفوذ یک طرفه

با توجه به دو فرض روبرو شار انتقال جرم را برای دو نوع نفوذ می نویسیم:

$$F = [C(D_{AB} + \epsilon) / Z]$$

$$N_A = \text{ضریب انتقال جرم} * \text{اختلاف غلظت}$$

Mass Transfer

Autumn 1390

A. Ghaemi (ahadghaemi@yahoo.com)



اصولا در جریان آرام نیازی به دانستن ضرایب انتقال جرم نیست زیرا در این حالت نفوذ مولکولی بر سایر مکانیسم ها برتری دارد. لذا از روابط انتقال جرم ارائه شده در فصول قبل می توان استفاده کرد. اگر شدت انتقال جرم افزایش یابد خطا نیز افزایش می یابد.

یک طرفه

$$N_A = K_G (y_{A1} - y_{A2})$$

گاز ها

$$N_A = K_x (x_{A1} - x_{A2})$$

مایعات

دو طرفه

$$N_A = K'_G (y_{A1} - y_{A2})$$

گاز ها

$$N_A = K'_x (x_{A1} - x_{A2})$$

مایعات

Mass Transfer

Autumn 1390

A. Ghaemi (ahadghaemi@yahoo.com)



نفوذ یک طرفه

$$N_A = (N_A + N_B)x_A - CD_{AB}(dx_A/dz)$$

بدست آوردن روابط یکسان برای حالت آرام و متلاطم خیلی مفید خواهد بود.

$$N_A = - [C(D_{AB} + \epsilon) / (1 - x_A)] \cdot (dx_A/dz)$$

$$N_A = - [C(D_{AB} + \epsilon) / Z] \cdot \ln(1 - x_{A2} / 1 - x_{A1})$$

$$N_A = - [C(D_{AB} + \epsilon) / Z] \cdot \ln[1 - (C_{A2}/C) / 1 - (C_{A1}/C)]$$

$$N_A = - [C(D_{AB} + \epsilon) / Z] \cdot \ln[(P_t - P_{A2}) / (P_t - P_{A1})]$$

$$N_A = - [C(D_{AB} + \epsilon) / (Z \cdot \bar{P}_{B,M})] \cdot [P_{A1} - P_{A2}]$$

$$N_A = K_G \cdot [P_{A1} - P_{A2}]$$

$$K_G = [C(D_{AB} + \epsilon) / (Z \cdot \bar{P}_{B,M})]$$

$$F = [C(D_{AB} + \epsilon) / Z]$$

$$K_G = [F / (\bar{P}_{B,M})]$$

آیا می توانید بین k و k' رابطه ای بیابید؟

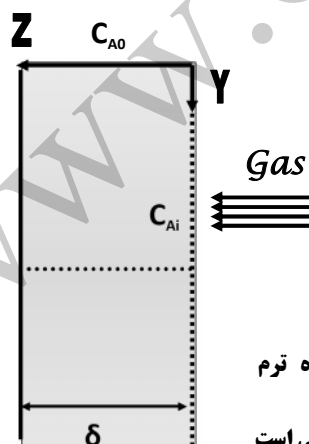
Mass Transfer

Autumn 1390

A. Ghaemi (ahadghaemi@yahoo.com)



ضریب انتقال جرم برای فیلم مایع



فیلمی از یک مایع با گاز A در تماس قرار می گیرد. دما و فشار ثابت است لذا غلظت در فصل مشترک به تعادل رسیده (C_{Ai}) در حالی که غلظت A در مایع قبل تماس (C_{A0}) فرض می شود.

جهت انتقال جرم را مشخص کنید؟ (چرا)
پروفیل غلظت را در ناحیه مشخص شده رسم کنید.

در جهت y چون سیال در حرکت است عامل کنترل کننده ترم convective است

در جهت z چون سرعت ناچیز است عامل کنترل کننده نفوذ مولکولی است

در جهت x از سایر تغییرات صرف نظر می کنیم

Mass Transfer

Autumn 1390

A. Ghaemi (ahadghaemi@yahoo.com)

ضریب انتقال جرم برای فیلم مایع

یک المان با فرضیات قبلی انتخاب می کنیم

هدف : محاسبه فلاکس انتقال جرم

فرضیات :

- (۱) واکنش شیمیایی نداریم ($r_A=0$)
- (۲) سیستم پایا است
- (۳) شرایط در جهت x تغییر نمی کند (جهت x عمده بر صفحه).
- (۴) شدت جذب کم می باشد (یعنی u_z صفر بوده و فقط نفوذ A را داریم).
- (۵) ثابت بودن خواص فیزیکی در طول پروسه (D, P, μ, C)
- (۶) با توجه به اینکه جابجائی در جهت y غالب و نفوذ A در جهت y ناچیز می باشد.

Mass Transfer Autumn 1390 A. Ghaemi (ahadghaemi@yahoo.com)

ضریب انتقال جرم برای فیلم مایع

معادله پیوستگی

$$1 \left\{ \begin{aligned} N_{Az} \cdot \Delta y + N_{Ay} \cdot \Delta z &= N_{Az+\Delta z} \cdot \Delta y + N_{Ay+\Delta y} \cdot \Delta z \\ (\partial N_{Ay} / \partial y) + (\partial N_{Az} / \partial z) &= 0 \end{aligned} \right. \longrightarrow$$

از طرفی می دانیم :

$$2 \left\{ \begin{aligned} N_{Ay} &= x_A (N_A + N_B) = x_A \cdot N = x_A \cdot C \cdot V_y = C_A \cdot V_y \\ N_{Az} &= -D_{AB} \cdot (\partial x_A / \partial z) = -D_{AB} (\partial C_A / \partial z) \end{aligned} \right.$$


از جای گذاری معادله ۲ در ۱ نتیجه می شود

$$\partial(C_A V_y) / \partial y - D_{AB} \cdot (\partial^2 C_A / \partial z^2) = 0 \longrightarrow$$

با فرض ثابت بوده سرعت
(ناچیز بودن اصطکاک)

$$V_y (\partial C_A / \partial y) - D_{AB} \cdot (\partial^2 C_A / \partial z^2) = 0$$

Mass Transfer Autumn 1390 A. Ghaemi (ahadghaemi@yahoo.com)



ضریب انتقال جرم برای فیلم مایع

به جای سرعت در جهت Y چه عبارتی را می توان جای گذاری کرد؟

$$V_y = \frac{3}{2} \bar{V}_y \left[1 - \left(\frac{z}{\delta} \right)^2 \right]$$

یادآوری :

$$\frac{3}{2} \bar{V}_y \left[1 - \left(\frac{z}{\delta} \right)^2 \right] \frac{\partial C_A}{\partial y} = D_{AB} \frac{\partial^2 C_A}{\partial z^2}$$

جای گذاری :

تعیین شرایط مرزی :

$z=0 \rightarrow C_A = C_{Ai}$

$y=0 \rightarrow C_A = C_{A0}$


$z=\delta \rightarrow \partial C_A / \partial z = 0$

با استفاده از بسط سری ها :

$$\frac{(C_{Ai} - C_{AL})}{(C_{Ai} - C_{A0})} = 0.785 e^{-5.12\eta} + 0.1 e^{-30.31\eta} + 0.035 e^{-105.6\eta} + \dots$$

$$\eta = \frac{2D_{AB}L}{3\delta^2 \bar{V}_y}$$

Mass Transfer Autumn 1390 A. Ghaemi (ahadghaemi@yahoo.com)



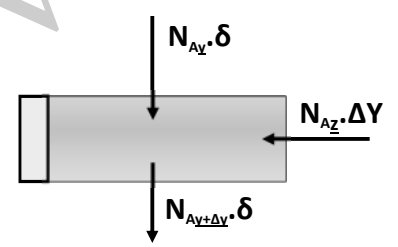
محاسبه ضریب انتقال جرم

شدت انتقال جرم:
یا اینکه در جهت z چون نفوذ در فاز ساکن بوده داریم:

$$N_A = \bar{V}_y \delta (\bar{C}_{A,L} - C_{A0})$$

$$N_A = -D_{AB} \left(\frac{\partial C_A}{\partial z} \right)_{z=0} = k_L (C_{Ai} - \bar{C}_{A,L})$$

چون برای محاسبه k_L باید از سری حاصله مشتق گرفته و در آن $Z=0$ قرار داد پس از راه حل زیر بهره می بریم



معادله پیوستگی

$$N_{Az} \cdot \Delta y + N_{Ay} \cdot \delta = N_{Ay+\Delta y} \cdot \delta$$

$$\delta \cdot (\partial N_{Ay} / \partial y) dy = N_{Az} \cdot dy \quad \longrightarrow \quad \delta \cdot dN_{Ay} = N_{Az} \cdot dy \quad \mathbf{2}$$

Mass Transfer Autumn 1390 A. Ghaemi (ahadghaemi@yahoo.com)

محاسبه ضریب انتقال جرم

1 in 2 → $\delta \bar{V}_y dC_A = k_L (C_{Ai} - C_{AL}) dy$

با انتگرال گیری خواهیم داشت:

$$\delta \bar{V}_y \int_{C_{A0}}^{C_{AL}} \frac{dC_A}{(C_{Ai} - C_{AL})} = \int_0^L k_L dy$$

$$k_{L,av} = \frac{\delta \bar{V}_y}{L} \ln \frac{C_{Ai} - C_{A0}}{C_{Ai} - C_{A,L}}$$

از عبارت بدست آمده برای غلظت استفاده می کنیم:

$$k_{L,av} = \frac{\bar{V}_y \delta}{L} \ln \left(\frac{e^{5.12\eta}}{0.783} \right)$$

$$k_{L,av} = \frac{\bar{V}_y \delta}{L} (0.241 + 5.12\eta) = 3.41 \frac{D_{AB}}{\delta}$$

عدد شروود $Sh = \frac{\delta k_{L,av}}{D_{AB}} \approx 3.41$

Mass Transfer Autumn 1390 A. Ghaemi (ahadghaemi@yahoo.com)

محاسبه ضریب انتقال جرم

عدد شروود **Sherwood number**
مشابه عدد ناسلت **Nusselt number** در انتقال حرارت می باشد.

$$k_{L,av} = \left(\frac{6D_{AB}\Gamma}{\pi\rho\delta L} \right)^{0.5}$$

$$Sh_{av} = \left(\frac{3}{2\pi} \frac{\delta}{L} Re Sc \right)^{0.5}$$

حاصلضرب **Re Sc** عدد پکلت **Peclet number** نامیده می شود...

$$N_A = \frac{\bar{V}_y \delta}{L} (C_{A,L} - C_{A0}) = k_{L,av} (C_{Ai} - \bar{C}_A)_M$$

$$k_{L,av} = \frac{\delta \bar{V}_y}{L} \ln \frac{C_{Ai} - C_{A0}}{C_{Ai} - \bar{C}_{A,L}}$$

→ $(C_{Ai} - \bar{C}_A)_M = \frac{(C_{Ai} - C_{A0}) - (C_{Ai} - \bar{C}_{A,L})}{\ln[(C_{Ai} - C_{A0}) / (C_{Ai} - \bar{C}_{A,L})]}$

Mass Transfer Autumn 1390 A. Ghaemi (ahadghaemi@yahoo.com)



محاسبه ضریب انتقال جرم

شدت جذب CO_2 در یک لایه آب را که از یک دیواره عمودی بطول یک متر با شدت 0.05 کیلوگرم بر ثانیه بازای هر متر از پهنای لایه در 25 درجه سلسیوس به پائین جاری است تخمین بزنید. گاز CO_2 خالص در فشار یک اتمسفر استاندارد است. آب در ابتدا فاقد CO_2 فرض می شود.

$$c_{A,i} = 0.0336 \text{ kmol} / \text{m}^3$$

$$D_{AB} = 1.96 \times 10^{-9} \text{ m}^2 / \text{sec}$$

$$\rho = 998 \text{ kg} / \text{m}^3 \quad \mu = 8.94 \times 10^{-4} \text{ kg} / \text{m} \cdot \text{sec} \quad \Gamma = 0.05 \text{ kg} / \text{m} \quad L = 1 \text{ m}$$

$$\delta = \left(\frac{3\mu\Gamma}{\rho^2 g} \right)^{1/3} = \left[\frac{3(8.94 \times 10^{-4})(0.05)}{998^2 (9.807)} \right]^{1/3} = 2.396 \times 10^{-4} \text{ m}$$

$$\text{Re} = \frac{4\Gamma}{\mu} = \frac{4(0.05)}{8.94 \times 10^{-4}} = 203$$

Mass Transfer

Autumn 1390

A. Ghaemi (ahadghaemi@yahoo.com)



محاسبه ضریب انتقال جرم

$$k_{L,av} = \left(\frac{6D_{AB}\Gamma}{\pi\rho\delta L} \right)^{0.5} = 2.798 \times 10^{-3} \text{ kmol} / \text{m}^2 \cdot \text{sec} \cdot (\text{kmol} / \text{m}^3)$$

$$\bar{V}_y = \left(\frac{\Gamma}{\rho\delta} \right) = 0.209 \text{ m} / \text{s}$$

$$(C_{A,i} - \bar{C}_A) = (C_{A,i} - C_{A0}) = 0.0336 \text{ kmol} / \text{m}^3$$

$$(C_{A,i} - \bar{C}_{AL}) = 0.0336 - \bar{C}_{AL} \text{ kmol} / \text{m}^3$$

در بالای دیواره :

در پائین دیواره :

$$N_A = \frac{\bar{V}_y \delta}{L} (C_{A,L} - C_{A0}) = k_{L,av} (C_{A,i} - \bar{C}_A)_M$$

$$(C_{A,i} - \bar{C}_A)_M = \frac{(C_{A,i} - C_{A0}) - (C_{A,i} - \bar{C}_{A,L})}{\ln[(C_{A,i} - C_{A0}) / (C_{A,i} - \bar{C}_{A,L})]}$$

Mass Transfer

Autumn 1390

A. Ghaemi (ahadghaemi@yahoo.com)



محاسبه ضریب انتقال جرم

$$(0.0336 - \bar{C}_A)_M = \frac{(0.0336) - (0.0336 - \bar{C}_{A,L})}{\ln[(0.0336)/(0.0336 - \bar{C}_{A,L})]}$$

$$N_A = \frac{0.209(2.396 \times 10^{-4})}{1} (C_{A,L} - 0) = 2.798 \times 10^{-5} \frac{(0.0336) - (0.0336 - \bar{C}_{A,L})}{\ln[(0.0336)/(0.0336 - \bar{C}_{A,L})]}$$

$$\bar{C}_{A,L} = 0.01438 \text{ kmol} / \text{m}^3$$

$$N_A = \frac{0.209(2.396 \times 10^{-4})}{1} (0.01438) = 7.2 \times 10^{-7} \text{ kmol} / \text{sec.m}$$

www.chempedia.ir



انتقال جرم

Mass Transfer Operation

هفته هفتم

تئوری های موجود، آنالوگی پدیده های انتقال، لایه مرزی

Mass Transfer

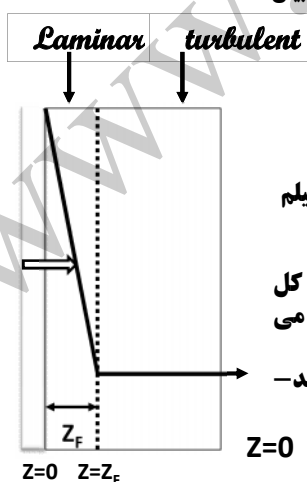
Autumn 1390

A. Ghaemi (ahadghaemi@yahoo.com)



تئوری های بیان ضرائب انتقال جرم

برای محاسبه ضرائب انتقال جرم از طریق اعداد بدون بعد تئوری های زیر بیان شده است:



تئوری فیلم:

از ضریب انتقال حرارت اقتباس شده است.

در کنار دیواره سه لایه آرام، گذرا، آشفته بوجود می آید و در فیلم نازکی در کنار دیواره گرادیان شدیدی از غلظت داریم

در تئوری فیلم از ناحیه گذرا و آشفته صرف نظر می شود و کل مقاومت را در فیلم در نظر می گیرند. این حالت زمانی اتفاق می افتد که غلظت بعد از فیلم را ثابت فرض کنیم!

برای فازهای مختلف می توان این مدل را استفاده کرد: جامد-مایع، مایع-مایع، مایع-گاز،

$$Z=0 \rightarrow C_A = C_{Ai}$$

$$Z=Z_F \rightarrow C_A = C_{AL}$$

Mass Transfer

Autumn 1390

A. Ghaemi (ahadghaemi@yahoo.com)

مدل فیلمی

در سیستم های گاز - مایع در داخل دستگاه های انتقال جرمی فیلم های مایع و گاز تولید می شود.

Mass Transfer Autumn 1390 A. Ghaemi (ahadghaemi@yahoo.com)

بررسی تئوری فیلم

در مدل فیلمی Z_f ضخامت فیلم همان Z (فاصله دو مرز) در معادلات نفوذ در جزء ساکن یا معادلات نفوذ متقابل می باشد.

روابطی که برای نفوذ بین دو لایه مرزی برای حالات مختلف بدست آمد در مدل فیلمی نیز صادق می باشد.

$$N_A = k_x(x_{A1} - x_{A2}) = k_L(c_{A1} - c_{A2})$$

۱- نفوذ در جزء ساکن - مایعات

$$N_{A,z} = \frac{D_{AB}P}{RTp_{B,m}\delta} (p_{A1} - p_{A2})$$

$$N_A = \frac{(D_{AB})_m}{zx_{BM}} (c_{A1} - c_{A2})$$

$$N_A = \frac{(D_{AB})_m \left(\frac{\rho}{M}\right)}{zx_{BM}} (x_{A1} - x_{A2})$$


۲- نفوذ متقابل مولهای معادل از دو سازنده

$$N_A = \frac{D_{AB}}{Z} (c_{A1} - c_{A2})$$

$$N_A = \frac{P_t D_{AB}}{RTZ} (y_{A1} - y_{A2})$$

$$N_A = \frac{D_{AB}}{RTZ} (\bar{p}_{A1} - \bar{p}_{A2})$$

Mass Transfer Autumn 1390 A. Ghaemi (ahadghaemi@yahoo.com)



بررسی تئوری فیلم

$k_L \approx D_{AB}$

در جریان آرام:

$k_L \approx D_{AB}^n$


در جریان متلاطم وابستگی کمتر شده و برابر:

$0 < n < 0.8 \text{ or } 0.9$

n تابع شرایط بوده و در محدوده:

تئوری فیلمی بر مبنای جریان آرام ارائه شده و برای جریان متلاطم دارای خطا می باشد.


$$N_A = k_x(x_{A1} - x_{A2}) = k_L(c_{A1} - c_{A2})$$

ضرائب انتقال جرم را ضرائب لایه ای (فیلمی) نامیده می شوند. 

Mass Transfer



Autumn 1390

A. Ghaemi (ahadghaemi@yahoo.com)



بررسی تئوری فیلم

Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers 42 (2011) 173–179
 Contents lists available at ScienceDirect
Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers
 journal homepage: www.elsevier.com/locate/jtice

Nonequilibrium dynamic modeling of simultaneous reactive absorption of gases

Ahad Ghaemi*, Meisam Torab-Mostaedi, Mohammad Ghannadi Maragheh

Nuclear Fuel Cycle Research School, Nuclear Science and Technology Research Institute, P.O. Box 14175-1399, Arak, Iran

ARTICLE INFO

Article history:
 Received 29 September 2009
 Received in revised form 19 March 2010
 Accepted 27 March 2010

Keywords:
 Nonequilibrium model
 Dynamic modeling
 Mass transfer
 Simultaneous absorption

ABSTRACT


In this work, a nonequilibrium dynamic model has been developed based on unsteady-state diffusion-reaction film modeling for simultaneous reactive absorption of gases. The model can predict ionic and molecular forms of all species exist in liquid phase. As a case study, simultaneous reactive absorption of ammonia and carbon dioxide into partially carbonated ammonia solutions was modeled. Dynamic modeling of the process leads to a system of partial differential equations, which has to be solved numerically using method of lines. For the process, conversion film parameter and carbonation ratio are presented as a pair of components absorption rate criteria. The steady-state experimental data were conducted using a pilot scale absorption column for the evaluation of the model. A comparison between the experimental data and the simulation results proves the good predictivity of the presented nonequilibrium dynamic model.

© 2010 Taiwan Institute of Chemical Engineers. Published by Elsevier B.V. All rights reserved.

Mass Transfer

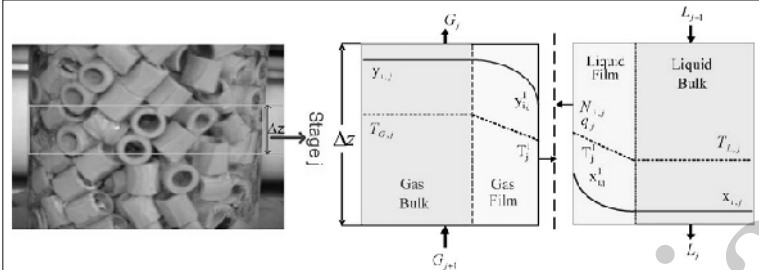
Autumn 1390

A. Ghaemi (ahadghaemi@yahoo.com)




بررسی تئوری فیلم

مدل فیلمی توسعه یافته توسط (Ghaemi et al. (2011)



در این مدل فرض شده که انتقال جرم و حرارت همزمان بین فازها در سطح مشترک انجام می شود. به این مدل دو فیلمی هم گفته می شود.

Mass Transfer
Autumn 1390
A. Ghaemi (ahadghaemi@yahoo.com)



تئوری های بیان ضرائب انتقال جرم

Chemical Engineering Journal 149 (2009) 110–117

Contents lists available at ScienceDirect

Chemical Engineering Journal

journal homepage: www.elsevier.com/locate/cej

Nonequilibrium dynamic modeling of carbon dioxide absorption by partially carbonated ammonia solutions

Ahad Ghaemi^a, Shahrokh Shahhosseini^{a,*}, Mohammad Ghanadi Maragheh^b

^a Process Simulation and Control Research Laboratory, Department of Chemical Engineering, Iran University of Science and Technology, P.O. Box 16765-163, Narmak, Tehran, Iran
^b Nuclear Science Research School, Nuclear Science and Technology Research Institute, P.O. Box 14855-335, Arak, Tehran, Iran

ARTICLE INFO

Article history:
Received 20 May 2008
Received in revised form 1 October 2008
Accepted 3 October 2008

Keywords:
Nonequilibrium stage modeling
Reactive absorption
Dynamic simulation
Carbon dioxide

ABSTRACT

In this research, a nonequilibrium dynamic stage model has been developed for reactive absorption of carbon dioxide by carbonated ammonia solutions. The model considers mass transfer between gas and liquid phases in both directions employing dynamic film model theory. Experimental data of carbon dioxide reactive absorption by partially carbonated ammonia solution has been used to validate the model. The data were obtained from a pilot plant absorption column. The model equations were discretized in column height direction. Simulations were performed, while either a film model or an enhancement factor was incorporated into the process model. The model predictions for both cases were compared with the experimental data. The comparison showed that simulation results were more accurate when film model has been used.

© 2008 Elsevier B.V. All rights reserved.

Mass Transfer
Autumn 1390
A. Ghaemi (ahadghaemi@yahoo.com)

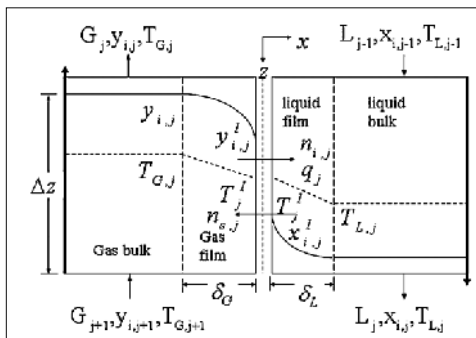


تئوری های بیان ضرائب انتقال جرم

مدل فیلمی توسعه یافته توسط (Ghaemi et al. 2009)

فرضیات مدل:

- ۱- انتقال جرم دو طرفه در مدل
- ۲- انتقال حرارت همزمان با انتقال جرم
- ۳- این مدل برای جذب دی اکسید کربن استفاده شد و دی اکسید کربن از فاز گاز به فاز مایع منتقل می شود. جزء آمونیاک و آب از مایع به فاز گاز منتقل می شود.
- ۴- چندین واکنش در فیلم مایع انجام می شود.



Mass Transfer

Autumn 1390

A. Ghaemi (ahadghaemi@yahoo.com)

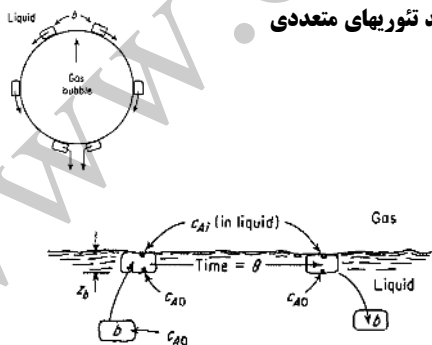


تئوری رسوخ

با توجه به اینکه سطح سیال دارای سرعت می باشد تئوریهای متعددی جهت جایگزینی تئوری لایه ارائه شده است.

تئوری رسوخ هگبی:

چون در این تئوری زمان تماس برای تمامی eddy ها یکسان در نظر گرفته می شود پس دارای خطای تجربی است.



$$\frac{\partial c_A}{\partial \theta} = D_{AB} \frac{\partial^2 c_A}{\partial z^2}$$

$$c_A = \begin{cases} c_{A0} & \text{at } \theta = 0 & \text{for all } z \\ c_{A,i} & \text{at } z = 0 & \text{for } \theta > 0 \\ c_{A0} & \text{at } z = \infty & \text{for all } \theta \end{cases}$$

Mass Transfer

Autumn 1390

A. Ghaemi (ahadghaemi@yahoo.com)



تئوری رسوخ

با توجه به اینکه سطح سیال دارای سرعت می باشد تئوریهای متعددی جهت جایگزینی تئوری لایه ارائه شده است.

$$N_{A,av} = 2(c_{A,i} - c_{A0}) \sqrt{\frac{D_{AB}}{\pi\theta}}$$

در مقایسه با معادله زیر:

$$N_A = k_x(x_{A1} - x_{A2}) = k_L(c_{A1} - c_{A2}) \quad \text{liquids}$$

$$\Rightarrow k_{L,av} = 2 \sqrt{\frac{D_{AB}}{\pi\theta}}$$

$$\Rightarrow k_L \approx D_{AB}^{0.5}$$

این رابطه بخاطر زمان کوتاه بودن تماس بوده که باعث شده دامنه رسوخ کم شود.

Mass Transfer

Autumn 1390

A. Ghaemi (ahadghaemi@yahoo.com)



تئوری نوشندگی سطح

دنگورتس گفت که زمان قرار گیری گردانه های سیال در سطح مشترک متفاوت می باشد. لذا یک پارامتر دیگری بنام s تعریف کرد که سرعت جایگزینی قطعات نام گرفت:

$$N_{A,av} = (c_{A,i} - c_{A0}) \sqrt{D_{AB}s}$$

$$N_A = k_x(x_{A1} - x_{A2}) = k_L(c_{A1} - c_{A2}) \quad \text{liquids}$$

$$\Rightarrow k_{L,av} = \sqrt{D_{AB}s}$$


بر طبق این نظریه فصل مشترک دو فاز از مجموعه چرخاننده هایی تشکیل شده که زمان تماس هر یک از آنها متفاوت است و ضریب انتقال جرم طبق این تئوری به صورت زیر محاسبه می شود:

$$\Rightarrow k_L \approx D_{AB}^{0.5}$$

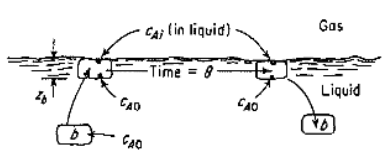
Mass Transfer

Autumn 1390

A. Ghaemi (ahadghaemi@yahoo.com)



ادغام تئوری لایه و تئوری نوشوندگی سطح

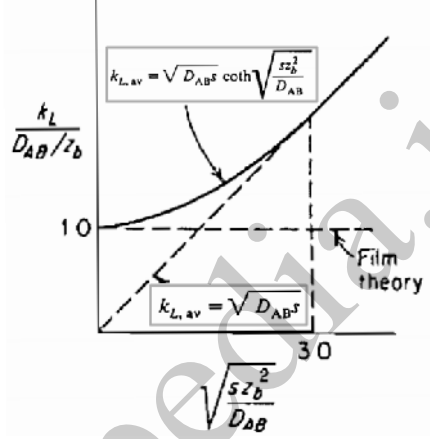


دوبینز با استفاده از ادغام تئوری لایه و تئوری نوشوندگی سطح رابطه زیر را برای انتقال جرم ارائه کرد.

$$c_A = \begin{cases} c_{A0} & \text{at } \theta = 0 \text{ for all } z \\ c_{A,i} & \text{at } z = 0 \text{ for } \theta > 0 \\ c_{A0} & \text{at } z = z_b \text{ for all } \theta \end{cases}$$

$$N_A = k_{L,av}(c_{A,i} - c_{A0})$$


$$k_{L,av} = \sqrt{D_{AB}s} \coth \sqrt{\frac{sz_b^2}{D_{AB}}}$$



Mass Transfer

Autumn 1390

A. Ghaemi (ahadghaemi@yahoo.com)



ضرایب انتقال در پدیده های انتقال

	جریان آرام		جریان آشفته
انتقال جرم	$J_A^* = -D_{AB} \cdot (\partial C_A / \partial z)$	انتقال جرم	$J_A^* = -(D_{AB} + \epsilon_D) (\partial C_A / \partial z)$
انتقال حرارت	$q = -K \cdot (\partial T / \partial z)$	انتقال حرارت	$q = -(\alpha + \epsilon_H) \cdot (\partial (\rho C_p T) / \partial z)$
انتقال مومنتم	$\tau = \nu \cdot (\partial \rho v / \partial z)$	انتقال مومنتم	$\tau = (\nu + \epsilon_v) \cdot (\partial \rho v / \partial z)$

D_{AB}, K, ν : ضرایب نفوذ که وابسته به خواص فیزیکی ماده هستند.

$\epsilon_D, \epsilon_H, \epsilon_v$: نفوذ چرخاننده ها که تابع موقعیت درون سیال و نوع سیال می باشد.

Mass Transfer

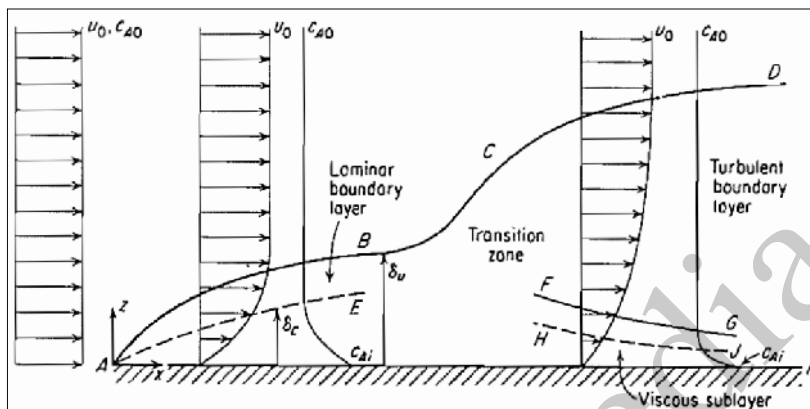
Autumn 1390

A. Ghaemi (ahadghaemi@yahoo.com)



جریان سیال از روی جامدات: لایه های مرزی

در تئوری های ذکر شده سرعت سیال در سطح مشترک معمولاً غیر صفر می باشد. بررسی انتقال حرارت، جرم و ممتنم در لایه مرزی



Mass Transfer

Autumn 1390

A. Ghaemi (ahadghaemi@yahoo.com)



جریان سیال از روی جامدات: لایه های مرزی

بررسی انتقال حرارت، جرم و ممتنم در لایه مرزی

$$u_x \frac{\partial u_x}{\partial x} + u_z \frac{\partial u_x}{\partial z} = \nu \left(\frac{\partial^2 u_x}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u_x}{\partial z^2} \right)$$

معادله موازنه اندازه حرکت:

$$u_x \frac{\partial C_A}{\partial x} + u_z \frac{\partial C_A}{\partial z} = D_{AB} \left(\frac{\partial^2 C_A}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 C_A}{\partial z^2} \right)$$

معادله موازنه جرم:

$$u_x \frac{\partial T}{\partial x} + u_z \frac{\partial T}{\partial z} = \alpha \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right)$$

معادله موازنه حرارت:

ضرایب نفوذ: نفوذ مقدار حرکت ν ، ضریب نفوذ جرم D_{AB} ، ضریب نفوذ حرارت α

شکل معادلات برای هر سه پدیده به یک شکل می باشد و تفاوت آنها در متغیرهای معادلات و ضرایب نفوذی می باشد و زمانی جواب معادلات یکی می شود که متغیرها بدون بعد باشد (چه زمانی؟) و از این روش می توان ضرایب انتقال را بدست آورد که پایه آنالوژی ها را ترسیم می کند

Mass Transfer

Autumn 1390

A. Ghaemi (ahadghaemi@yahoo.com)



جریان سیال از روی جامدات: لایه های مرزی

برای حل معادلات جرم، حرارت و اندازه حرکت معمولاً از متغیرهای بدون بعد شده استفاده می کنند.

$$\frac{u_x - (u_{x,z=0} = 0)}{u_0 - (u_{x,z=0} = 0)}$$

$$\frac{c_A - c_{A,i}}{c_{A0} - c_{A,i}}$$

$$\frac{t - t_i}{t_0 - t_i}$$

برای محاسبه ضرایب محلی می توان از پروفایل های غلظت، دما و سرعت استفاده کرد:

$$N_A = -D_{AB} \left(\frac{\partial C_A}{\partial z} \right)_{z=0} = K_L (C_{AL} - C_{A0})$$

$$q = -\alpha \left(\frac{\partial (C_p \rho T)}{\partial z} \right)_{z=0} = h (T_i - T_0)$$

$$\tau_i g_c = -\nu \left(\frac{\partial (u_x \rho)}{\partial z} \right)_{z=0} = \frac{f}{2} u_0 (\rho u_0 - 0)$$

ضریب انتقال مقدار حرکت $\frac{f}{2} u_0$

Mass Transfer

Autumn 1390

A. Ghaemi (ahadghaemi@yahoo.com)



جریان سیال از روی جامدات: لایه های مرزی

- > برای شرایط یکسان از متغیرهای بی بعد استفاده می شود و برای ضرایب انتقال از گروه های بی بعد استفاده شود.
- > از نظر رژیم جریان و شکل هندسی سیستم و شرایط مرزی یکسان باشند.
- > در شرایط آشفته در هر نقطه باید نفوذ چرخاننده ای سه پدیده با هم برابر باشند.
- > استفاده از ضریب اصطکاک و توزیع سرعت هنگامی مقدور است که اصطکاک سطحی باشد و شدت انتقال جرم کم باشد.

Mass Transfer

Autumn 1390

A. Ghaemi (ahadghaemi@yahoo.com)



ضرائب انتقال

اگر ضرائب انتقال را محاسبه کرده و بصورت گروه های بدون بعد مرتب کنیم نتایج دارای شکل واحدی خواهند داشت. برای سطح مسطح ذکر شده اگر شدت انتقال کم باشد می توان نتیجه گرفت:

$$\frac{Nu}{Re_x Pr^{1/3}} = \frac{Sh}{Re_x Sc^{1/3}} = \frac{f}{2} = 0.332 Re_x^{-1/2}$$

حرارت جرم حرکت

Schmidt number
 $Sc = \frac{\mu}{\rho D_{AB}} = \frac{\nu}{D_{AB}}$

Reynolds number
 $Re = \frac{lu\rho}{\mu}$

Prandtl number
 $Pr = \frac{C_p \mu}{k} = \frac{\nu}{\alpha}$

Sherwood number
 $Sh = \frac{Fl}{cD_{AB}}$

Nusselt number
 $Nu = \frac{hl}{k}$

برای استفاده از این معادلات باید رینولدز ۸۰۰۰۰ کمتر بوده و انتقال جرم کم باشد.

Mass Transfer

Autumn 1390

A. Ghaemi (ahadghaemi@yahoo.com)



اعداد بدون بعد برای انتقال جرم در سطح مسطح

رابطه محاسبه شار انتقال جرم:

$$N_{A,y} = k_c (C_{A,s} - C_{A,\infty})$$

$$N_{A,y} = D_{AB} \left[\frac{0.332 Re_x^{1/2} Sc^{1/3}}{x} \right] (C_{A,s} - C_{A,\infty})$$



$$k_c = D_{AB} \left[\frac{0.332 Re_x^{1/2} Sc^{1/3}}{x} \right]$$

ضریب انتقال جرم:

$$\frac{k_c x}{D_{AB}} \equiv Sh_x = 0.332 Re_x^{1/2} Sc^{1/3} \quad Sc \geq 0.6$$

عدد شرود:

$$Sh_L \equiv \frac{\bar{k}_c L}{D_{AB}} = 0.664 Re_L^{1/2} Sc^{1/3} \quad Sc \geq 0.6$$

$$Re_L < 3 \times 10^5$$

Mass Transfer

Autumn 1390

A. Ghaemi (ahadghaemi@yahoo.com)



ضرائب انتقال

عدد رینولدز (Reynolds number) کمیتی بدون بعد است که نسبت نیروی اینرسی به نیروی ویسکوز را نشان می‌دهد. کاربرد مهم این عدد در تعیین آرام یا آشفتگی بودن جریان است. این عدد برای دو جریان متفاوت، یک پارامتر تشابهی نیز است. این عدد به افتخار فیزیکدان بریتانیایی ازبورن رینولدز نام‌گذاری شده است. مقدار این عدد معیاری برای تعیین محدوده استفاده از پارامترهای بدون بعد می‌باشد.

$$Re = \frac{\rho v d}{\mu}$$

که در این عبارت:
 ρ چگالی سیال،
 v سرعت متوسط جریان،
 d یک طول مشخصه در مسأله؛
 μ ضریب گرانیوی سیال است.



اعداد بدون بعد در انتقال جرم و حرارت

No.	انتقال جرم	انتقال حرارت
1	$\frac{c_A - c_{A1}}{c_{A2} - c_{A1}}$	$\frac{T - T_1}{T_2 - T_1}$
2	Reynolds number $Re = \frac{\rho v d}{\mu}$	Reynolds number $Re = \frac{\rho v d}{\mu}$
3	Schmidt number $Sc = \frac{\mu}{\rho D_{AB}} = \frac{\nu}{D_{AB}}$	Prandtl number $Pr = \frac{C_p \mu}{k} = \frac{\nu}{\alpha}$
4	Sherwood number $Sh = \frac{FL}{c D_{AB}}, \frac{k_c \bar{P}_B M RT}{\rho_i D_{AB}}, \frac{k_c \bar{P}_B M l}{\rho_i D_{AB}}, \frac{k_c l}{D_{AB}}, \frac{k_c RT}{\rho_i D_{AB}}, \text{ etc.}$	Nusselt number $Nu = \frac{h l}{k}$
5	Grashof number† $Gr_D = \frac{g \Delta \rho (\rho / \mu)^2}{\rho}$	Grashof number† $Gr_H = \frac{g \Delta \rho (\rho / \mu)^2}{\mu}$
6	Peclet number $Pe_D = Re Sc = \frac{L v}{D_{AB}}$	Peclet number $Pe_H = Re Pr = \frac{C_p h l \rho}{k} = \frac{L v}{\alpha}$
7	Stanton number $St_D = \frac{Sh}{Re Sc} = \frac{Sh}{Pe_D} = \frac{F}{c u}, \frac{F}{G}, \frac{k_c \bar{P}_B M}{\rho u}, \text{ etc.}$	Stanton number $St_H = \frac{Nu}{Re Pr} = \frac{Nu}{Pe_H} = \frac{h}{C_p u \rho}$
8	$j_D = St_D Sc^{2/3}$	$j_H = St_H Pr^{2/3}$



ضرائب انتقال

عدد ناسلت (Nusselt number) یک عدد بدون بعد می باشد که در انتقال حرارت مبین نسبت گرمای انتقال یافته از طریق همرفت به گرمای انتقال یافته از طریق رسانش در مرز سیستم می باشد. این عدد که با نماد (Nu) نشان داده می شود به افتخار مهندس آلمانی ویلهلم ناسلت نامگذاری شده است.

$$Nu_L = \frac{hL}{k_f} = \frac{\text{Convective heat transfer coefficient}}{\text{Conductive heat transfer coefficient}}$$

L = طول مشخصه
 k_f = رسانندگی گرمایی سیال
 h = ضریب انتقال گرمایی همرفت

عدد پرتل (Prandtl number) یک عدد بدون بعد است که بیانگر نسبت نفوذ اندازه حرکت (ویسکوزیته سینماتیک) به نفوذ گرمایی است. این عدد به افتخار فیزیکدان آلمانی لودویگ پرتل نام گذاری شده است. در واقع می توان این عدد را نسبت ضخامت لایه مرزی سرعت به ضخامت لایه مرزی گرمایی دانست.

$$Pr = \frac{\nu}{\alpha} = \frac{\text{viscous diffusion rate}}{\text{thermal diffusion rate}} = \frac{c_p \mu}{k}$$

ν ویسکوزیته سینماتیک،
 α ضریب نفوذ گرمایی،
 μ ویسکوزیته دینامیک،
 k ضریب هدایت گرمایی،
 c_p گرمای ویژه،
 ρ دانسیته،

Mass Transfer

Autumn 1390

A. Ghaemi (ahadghaemi@yahoo.com)



ضرائب انتقال

عدد اشویت (Schmidt number) یک عدد بدون بعد می باشد که بیانگر نسبت نفوذ مومنتوم (ویسکوزیته) به نفوذپذیری جرمی می باشد. این عدد به افتخار مهندس آلمانی ارنست هاینریش ویلهلم اشویت نامگذاری شده است.

$$Sc = \frac{\nu}{D} = \frac{\mu}{\rho D} = \frac{\text{viscous diffusion rate}}{\text{molecular (mass) diffusion rate}}$$

L طول مشخصه
 D نفوذپذیری جرمی
 K ضریب انتقال جرم

عدد شروود (Sherwood number) که با نام عدد ناسلت در انتقال جرم نیز شناخته می شود، یک عدد بدون بعد می باشد که در علم انتقال جرم نشان دهنده نسبت میزان نفوذ پذیری جرمی به انتقال جرم می باشد. این عدد که با نماد (Sh) نشان داده می شود به افتخار مهندس شیمی آمریکایی توماس شروود نام گذاری شده است.

$$Sh = \frac{K \cdot L}{D} = \frac{\text{Convective mass transfer coefficient}}{\text{Diffusive mass transfer coefficient}}$$

L طول مشخصه
 D نفوذپذیری جرمی
 K ضریب انتقال جرم

Mass Transfer

Autumn 1390

A. Ghaemi (ahadghaemi@yahoo.com)



قضیه پی باکینگهام

این قضیه را برای اولین بار باکینگهام در سال ۱۹۱۴ پیشنهاد کرد. نام پای از نماد ریاضی π به معنای حاصلضرب متغیرها گرفته شده است. گروه های پی بعد یافته شده توسط این روش حاصلضرب هایی توانی هستند. در این روش میتوان π ها را، سلسله وار پیدا کرد.

این قضیه شامل دو بخش است :

(۱) تعیین متغیرهای سیستم و تعداد پارامترهای بدون بعد:
ابتدا ماتریس ابعاد متغیرها را تشکیل داده و رنک ماتریس را مشخص نموده و تعداد گروه های بدون بعد را مشخص می کنیم:
اگر یک تحول فیزیکی اصل همگنی ابعادی را برآورده کند و شامل n متغیر ابعادی باشد، می توان آن را به یک رابطه بین تنها r یا π متغیر بی بعد کاهش داد.

(۲) تعیین گروه های بدون بعد (π ها):

$$\pi = n - r$$

Mass Transfer

Autumn 1390

A. Ghaemi (ahadghaemi@yahoo.com)



بدست آوردن گروه های بدون بعد

انتقال جرم در یک جریان رقیق تحت شرایط جابجائی اجباری در یک مجرای مدور ($NB=0$)

$$C_{A1} - C_{A2}$$

تعیین متغیرها و تشکیل ماتریس ابعادی :

Variable	Symbol	Dimensions
Tube diameter	D	L
Fluid density	ρ	M/L^3
Fluid viscosity	μ	M/Lt
Fluid velocity	v	L/t
Mass diffusivity	D_{AB}	L^2/t
Mass transfer coefficient	k_c	L/t

	k_c	v	ρ	μ	D_{AB}	D
M	0	0	1	1	0	0
L	1	1	-3	-1	2	1
t	-1	-1	0	-1	-1	0

$$DM = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & -3 & -1 & 2 & 1 \\ -1 & -1 & 0 & -1 & -1 & 0 \end{pmatrix}$$

$$r = \text{rank}(DM) = 3$$

$$i = 6 - 3 = 3$$

تعداد گروه های بدون بعد:

Mass Transfer

Autumn 1390

A. Ghaemi (ahadghaemi@yahoo.com)

بدست آوردن گروه های بدون بعد

$$\pi_1 = D_{AB}^a \rho^b D^c k_c$$

$$\pi_2 = D_{AB}^d \rho^e D^f v$$

$$\pi_3 = D_{AB}^g \rho^h D^i \mu$$

$$\pi_1 = \frac{k_c D}{D_{AB}} = Sh$$

$$\pi_2 = \frac{v D}{D_{AB}} = Pe_D$$

$$\pi_3 = \frac{\mu}{\rho D_{AB}} = Sc$$

معیار استفاده از گروه های بدون بعد:

روابط تشابه انتقال جرم و حرارت

$$\frac{\pi_2}{\pi_3} = \frac{\frac{Dv}{\mu}}{\frac{\mu}{\rho D_{AB}}} = \frac{Dv\rho}{\mu} = Re$$

$$Nu = f(Re, Pr)$$

$$Sh = f(Re, Sc)$$

Mass Transfer Autumn 1390 A. Ghaemi (ahadghaemi@yahoo.com)

انتقال جرم با جابجائی طبیعی

اگر دانسیته فاز گاز یا مایع تغییر کند جابجائی طبیعی صورت می پذیرد این تغییر می تواند بوسیله اختلاف دما یا اختلاف غلظت انجام گیرد. جابجائی طبیعی را برای انتقال جرم از دیواره به سیال نزدیک آن در نظر بگیرید.

تعیین متغیرها و تشکیل ماتریس ابعادی :

Variable	Symbol	Dimensions
Characteristic length	L	L
Fluid density	ρ	M/L^3
Fluid viscosity	μ	M/Lt
Buoyant force	$g\Delta\rho_A$	M/L^2t^2
Mass diffusivity	D_{AB}	L^2/t
Mass transfer coefficient	F	M/L^2t

$$\pi_1 = D_{AB}^a L^b \rho^c F$$

$$\pi_2 = D_{AB}^d L^e \rho^f \mu$$

$$\pi_3 = D_{AB}^g L^h \rho^i g\Delta\rho_A$$

گروه های بدون بعد:

Mass Transfer Autumn 1390 A. Ghaemi (ahadghaemi@yahoo.com)

انتقال جرم با جابجائی طبیعی

گروه های بدون بعد در انتقال جرم با جابجائی طبیعی:

$$\pi_1 = \frac{FL}{D_{AB}\rho} = Sh$$

$$\pi_2 = \frac{\mu}{D_{AB}\rho} = Sc$$

$$\pi_3 = \frac{g\Delta\rho_A L^3}{D_{AB}^2 \rho}$$

$$\frac{\pi_3}{\pi_2^2} = \frac{\frac{g\Delta\rho_A L^3}{D_{AB}^2 \rho}}{\left(\frac{\mu}{\rho D_{AB}}\right)^2} = \frac{g\rho\Delta\rho_A L^3}{\mu^2} = Gr_D$$

➔

$$Sh = f(Gr_D, Sc)$$

$$Nu = f(Gr_H, Pr)$$

Mass Transfer
Autumn 1390
A. Ghaemi (ahadghaemi@yahoo.com)

معادلات انتقال جرم و محدوده استفاده از آنها

جرمان سائل	محدوده شرایط	معادله
1. Inside circular pipes	Re = 4000-60 000 Sc = 0.6-3000	$j_D = 0.023 Re^{-0.17}$ $Sh = 0.023 Re^{0.83} Sc^{1/3}$
	Re = 10 000 - 400 000 Sc > 100	$j_D = 0.0149 Re^{-0.12}$ $Sh = 0.0149 Re^{0.88} Sc^{1/3}$
2. Unconfined flow parallel to flat plates†	Transfer begins at leading edge Re _x < 50 000	$j_D = 0.664 Re_x^{-0.5}$
	Re _x = 5 × 10 ⁵ -3 × 10 ⁷ Pr = 0.7-380	$Nu = 0.037 Re_x^{0.8} Pr_0^{0.43} \left(\frac{Pr_0}{Pr_s}\right)^{0.25}$
	Re _x = 2 × 10 ⁴ -5 × 10 ⁵ Pr = 0.7-380	Between above and $Nu = 0.0027 Re_x Pr_0^{0.43} \left(\frac{Pr_0}{Pr_s}\right)^{0.25}$
3. Confined gas flow parallel to a flat plate in a duct	Re _e = 2600-22 000	$j_D = 0.11 Re_e^{-0.28}$
4. Liquid film in wetted-wall tower, transfer between liquid and gas	$\frac{4\Gamma}{\mu} = 0-1200$, ripples suppressed	Eqs. (3.18)-(3.22)
	$\frac{4\Gamma}{\mu} = 1300-8300$	$Sh = (1.76 \times 10^{-5}) \left(\frac{4\Gamma}{\mu}\right)^{1.506} Sc^{0.5}$

Mass Transfer
Autumn 1390
A. Ghaemi (ahadghaemi@yahoo.com)

معادلات انتقال جرم و محدوده استفاده از آنها

5. Perpendicular to single cylinders	Re = 400-25 000 Sc = 0.6-2.6	$\frac{k_{cPl}}{G_M} Sc^{0.56} = 0.281 Re^{0.4}$
	Re' = 0.1-10 ⁵ Pr = 0.7-1500	Nu = (0.35 + 0.34 Re' ^{0.5} + 0.15 Re' ^{0.58})
6. Past single spheres	Sc = 0.6-3200 Re'' Sc ^{0.5} = 1.8-600 000	Sh = Sh ₀ + 0.347(Re'' Sc ^{0.5}) ^{0.62} Sh ₀ = $\begin{cases} 2.0 + 0.569(Gr_D Sc)^{0.250} \\ 2.0 + 0.0254(Gr_D Sc)^{0.333} Sc^{0.244} \end{cases}$
	$Re'' = \frac{d \rho u'}{\mu}$ (look pg 82)	
7. Through fixed beds of pellets§	Re'' = 90-4000 Sc = 0.6	$j_D = j_H = \frac{2.06}{\epsilon} Re''^{-0.575}$
	Re'' = 5000-10 300 Sc = 0.6	$j_D = 0.95 j_H = \frac{20.4}{\epsilon} Re''^{-0.815}$
	Re'' = 0.0016-55 Sc = 168-70 600	$j_D = \frac{1.09}{\epsilon} Re''^{-2/3}$
	Re'' = 5-1500 Sc = 168-70 600	$j_D = \frac{0.250}{\epsilon} Re''^{-0.31}$

Mass Transfer Autumn 1390 A. Ghaemi (ahadghaemi@yahoo.com)

آنالوژی کولبورن

McAdam $\frac{1}{2} F = 0.023 Re^{-0.2}$ $5000 < Re < 200 \times 10^3$

Dittus Bolton $Nu = 0.023 Re^{0.8} Pr^{\frac{1}{3}}$ $\frac{Nu}{Re \times Pr} = 0.023 Re^{-0.2} Pr^{\frac{-2}{3}} = St_h$

$St_h \times Pr^{\frac{2}{3}} = 0.023 Re^{-0.2} = J_h$

$Sh = 0.023 Re^{0.83} Sc^{\frac{1}{3}}$ $\frac{Sh}{Re^{1.03} \times Sc} = 0.023 Re^{-0.2} Sc^{\frac{-2}{3}} = St_D$

$St_D \times Sc^{\frac{2}{3}} = 0.023 Re^{-0.2} = J_D$

$\frac{1}{2} F = 0.023 Re^{-0.2} = J_h = J_D$

Mass Transfer Autumn 1390 A. Ghaemi (ahadghaemi@yahoo.com)



عملیات انتقال جرم

هفته هشتم - نهم

انتقال جرم بین فازها

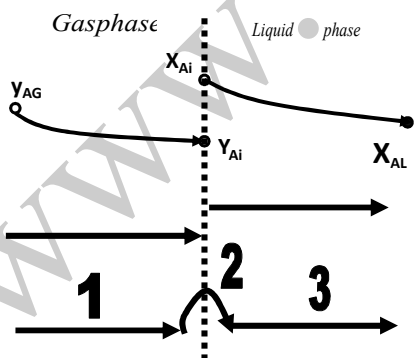
Mass Transfer

Autumn 1390

A. Ghaemi (ahadghaemi@yahoo.com)



مقدمه ای بر انتقال جرم بین دو فاز



در فصل های قبلی نفوذ فقط در یک فاز منفرد مورد بررسی قرار گرفت. اما در اغلب فرآیندهای شیمیایی انتقال جرم بین دو فاز غیر محلول انجام می گیرد.

گرادیان غلظت در هر سیستمی بیانگر انحراف از حالت تعادل بین فازها می باشد. در صورت برقراری تعادل گرادیان غلظت صفر خواهد شد.

لازم است دو پدیده نفوذ و تعادل مورد بررسی قرار گیرد.

عامل انتقال جرم بین دو فاز اختلاف پتانسیل شیمیایی می باشد و عامل انتقال جرم در یک فاز وجود گرادیان غلظت است.

Mass Transfer

Autumn 1390

A. Ghaemi (ahadghaemi@yahoo.com)

تعادل

آزمایش تعادلی بین هوا، آمونیاک و آب در فصل اول را به یاد بیاورید. این آزمایش که بین دو فاز گاز و مایع صورت گرفته را برای چند غلظت دیگر انجام داده و سپس منحنی تعادلی را رسم می کنیم.

Air & Y_{NH_3}

Water & X_{NH_3}

$T, P = \text{const.}$

برای هر سیستم شدت انتقال جرم در حالت تعادل صفر می باشد و لذا در دما و یا فشار ثابت به یک منحنی تعادلی منحصر به فرد خواهیم رسید.

در شرایط تعادلی

- ۱- برابری پتانسیل شیمیایی نه برابری غلظت
- ۲- برابر بودن سرعت های ورود و خروج جرم بین فازها
- ۳- ثابت بودن فشار و دما

Mass Transfer
Autumn 1390
A. Ghaemi (ahadghaemi@yahoo.com)

حلالیت یا تعادل گاز - مایع

منحنی تعادلی فصل مشترک

منحنی تعادلی گاز - مایع آمونیاک

قانون راولت:

$$y_A P = x_A \gamma_A P_A$$

قانون هنری:

$$p_A = y_A P = H x_A$$

Mass Transfer
Autumn 1390
A. Ghaemi (ahadghaemi@yahoo.com)



قانون هنری

محاسبه غلظت اشباع اکسیژن در آب:
ثابت قانون هنری برای اکسیژن حل شده در آب در دمای ۲۹۸ کلین برابر است با:

$$H = 4.5 \times 10^4 \text{ atm/mol fraction}$$

غلظت اشباع اکسیژن در آب بر مبنای هوای خشک با دمای ۲۹۸ و فشار یک اتمسفر را محاسبه کنید.

$$\text{Dry Air: } 21\% O_2 \Rightarrow P_A = y_A P = 0.21 \text{ atm}$$

$$P_A = H x_A \rightarrow x_A = \frac{P_A}{H} = \frac{0.21}{4.5 \times 10^4} = 4.67 \times 10^{-6}$$

$$\rho = 1 \text{ kg/L}$$

برای یک لیتر محلول اکسیژن در آب کل مول حل شده n_T باشد:

$$n_T = 1000/18 = 55.6 \text{ mol}$$

$$n_{O_2} = 55.6 \times 4.67 \times 10^{-6} = 2.6 \times 10^{-6} \text{ mol}$$

$$m_{O_2} = (2.6 \times 10^{-6} \text{ mol/L})(32 \text{ g/mol})(1000 \text{ mg/g}) = 8.32 \text{ mg/L}$$

Mass Transfer

Autumn 1390

A. Ghaemi (ahadghaemi@yahoo.com)



اصول حاکم بر سیستم های تعادلی

اصول حاکم بر سیستم های تعادلی که توزیع مواد بین دو فاز غیر محلول هستند.

۱- تحت شرایط معین - دما و فشار ثابت یک دسته روابط تعادلی موجود است که برای هر سازنده ای می توان نشان داد. این منحنی ها از رسم غلظت های تعادلی هر ماده در دو فاز بر حسب یکدیگر حاصل می شوند.

۲- در یک سیستم تعادلی نفوذ کلی سازندگان در بین فازها وجود ندارد (مجموع جبری شارهای نفوذی هر سازنده در بین فازها برابر صفر است).

۳- در یک سیستم غیر تعادلی نفوذ سازندگان در بین فازها بمنظور رساندن سیستم به یک حالت تعادل انجام می گیرد. اگر زمان باندازه کافی باشد غلظت های تعادلی حاصل خواهند شد.

Mass Transfer

Autumn 1390

A. Ghaemi (ahadghaemi@yahoo.com)

انتقال جرم محلی بین دو فاز

قسمتی از دو فاز در تماس با یکدیگر را نشان می دهد.

در نظریه دو مقاومتی فرض بر این است که در سطح مشترک مقاومتی وجود ندارد و مقاومت فقط در داخل فازها می باشد.

Mass Transfer Autumn 1390 A. Ghaemi (ahadghaemi@yahoo.com)

انتقال جرم همراه با واکنش شیمیایی

انتقال جرم فیزیکی
انتقال جرم همراه با واکنش شیمیایی

- ۱- استخراج واکنش دار
- ۲- تقطیر واکنش دار
- ۳- جذب واکنش دار

$$N_A = Ek_c(x_{A,i} - x_{A,L})$$

$$E = f(D_{AB}, T, C_A, C_B, \dots)$$

Enhancement Factor

انتقال جرم بین دو فاز در سطح مشترک

محاسبه شار انتقال جرم:

Concentration of component A in the gas

Concentration of component A in the liquid

Slope = $-k_x/k_y$

Equilibrium distribution curve

$$N_A = k_y (y_{A,G} - y_{A,i}) = k_x (x_{A,i} - x_{A,L})$$

$$\frac{y_{A,G} - y_{A,i}}{x_{A,L} - x_{A,i}} = -\frac{k_x}{k_y}$$

منحنی تعادلی:

$$y_{A,i} = f(x_{A,i})$$

$$y_{A,i} = m x_{A,i}$$

در این مسئله اندازه گیری $x_{A,L}$ ، $y_{A,G}$ با نمونه گیری انجام می گیرد. ولی امکان اندازه گیری $x_{A,i}$ و $y_{A,i}$ وجود ندارد. در این شرایط فقط می توان یک اثر کلی بر حسب غلظت های توده های سیال را معین کرد.

Mass Transfer Autumn 1390 A. Ghaemi (ahadghaemi@yahoo.com)

محاسبه ضرایب کل انتقال جرم

برای محاسبه شار با استفاده از ضریب کلی انتقال جرم

$$N_A = K_y (y_{A,G} - y_A^*)$$

$$\frac{1}{K_y} = \frac{y_{A,G} - y_A^*}{N_A}$$

$$y_A^* = m x_{A,L}$$

$$y_{A,G} = m x_A^*$$

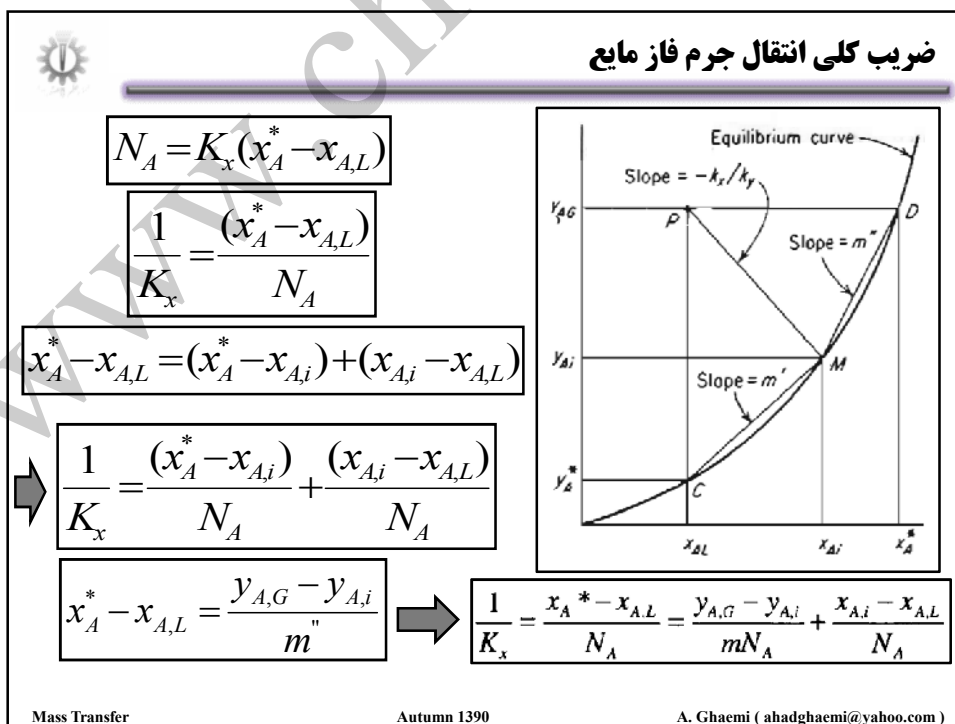
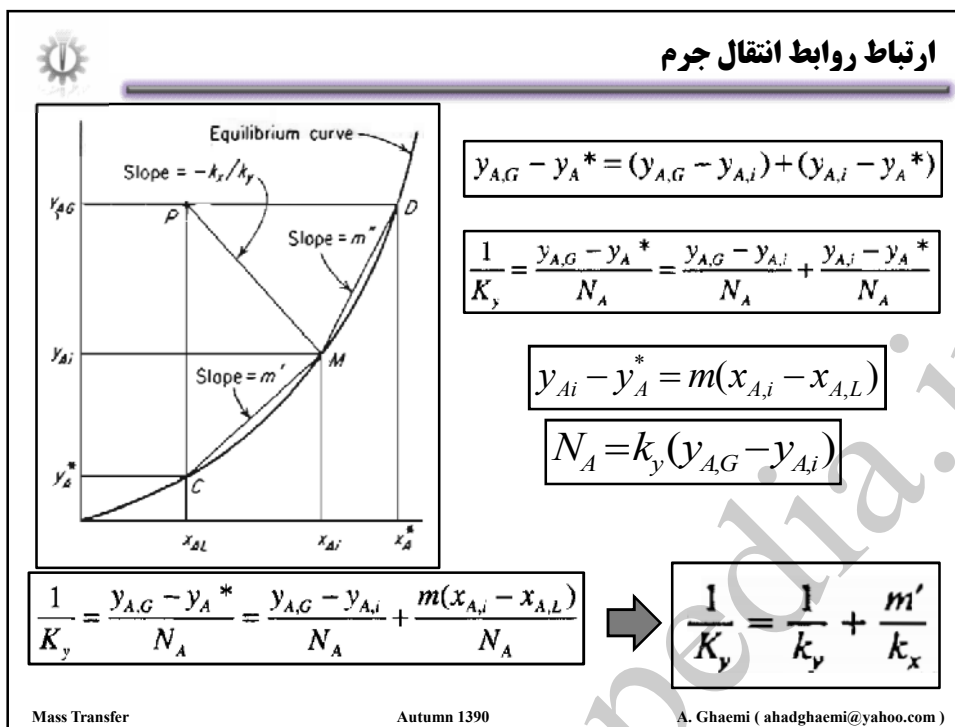
Equilibrium curve

Slope = $-k_x/k_y$

Slope = m''

Slope = m'

Mass Transfer Autumn 1390 A. Ghaemi (ahadghaemi@yahoo.com)



ضریب کلی انتقال جرم فاز مایع

$$N_A = k_y (y_{A,G} - y_{A,i}) = k_x (x_{A,i} - x_{A,L})$$

$$\frac{1}{K_x} = \frac{x_A^* - x_{A,L}}{N_A} = \frac{y_{A,G} - y_{A,i}}{mN_A} + \frac{x_{A,i} - x_{A,L}}{N_A}$$

➔

$$\frac{1}{K_x} = \frac{1}{m''k_y} + \frac{1}{k_x}$$

مقاومت فازها نسبت به مقاومت کلی فازها

$\frac{1}{K_y}$

$\frac{1}{k_y}$

➔

$\frac{1/k_x}{1/K_x} =$

مقاومت فاز مایع

مقاومت کلی

$\frac{1}{k_x}$

$\frac{1}{K_x}$

➔

$\frac{1/k_y}{1/K_y} =$

مقاومت فاز گاز

مقاومت کلی

Mass Transfer
Autumn 1390
A. Ghaemi (ahadghaemi@yahoo.com)

برای گازهای با حلالیت بالا که منحنی تعادلی آن بصورت مقابل می باشد شیب منحنی کم بوده و این بیانگر این است که غلظت کم فاز گاز غلظت قابل توجهی در فاز مایع ایجاد می کند. در این صورت جمله دوم بی اهمیت شده و مقاومت اصلی را جمله اول اعمال می کند. در این حال گفته می شود شدت انتقال توسط فاز گاز کنترل می شود.

$$\frac{1}{K_y} = \frac{1}{k_y} + \left(\frac{m'}{k_x}\right)$$

➔

$$\frac{1}{K_y} \approx \frac{1}{k_y}$$

برای گازهای با حلالیت خیلی کم که منحنی تعادلی آن بصورت مقابل می باشد شیب منحنی خیلی زیاد بوده و این بیانگر این است که غلظت خیلی زیاد فاز گاز غلظت خیلی کمی در فاز مایع ایجاد می کند. در این صورت جمله اول بی اهمیت شده و مقاومت اصلی را جمله دوم اعمال می کند. در این حال گفته می شود شدت انتقال توسط فاز مایع کنترل می شود.

$$\frac{1}{K_x} = \left(\frac{1}{m''k_y}\right) + \frac{1}{k_x}$$

➔

$$\frac{1}{K_x} \approx \frac{1}{k_x}$$

مثال

مقاومت های انتقال جرم در جذب آمونیاک با آب: در یک مطالعه تجربی جذب آمونیاک در یک ستون دیواره مرطوب، ضریب کلی جذب فاز گاز $K_G = 2.75 \times 10^{-7} \text{ kmol/m}^2 \cdot \text{s kPa}$ بدست آمد. در یک نقطه از ستون ترکیب فاز گاز و مایع به ترتیب 8 و 0.115 درصد مولی آمونیاک می باشد. دما ۳۰۰ کلوین و فشار یک اتمسفر می باشد. نتایج نشان می دهد ۸۵ درصد مقاومت انتقال جرم در فاز گاز می باشد. در دمای ۳۰۰ کلوین محلول آب - آمونیاک تا ۵ درصد مولی آمونیاک از قانون هنری پیروی کرده و $m = 1.64$ می باشد. فشار کل یک اتمسفر بوده و مقاومت ضرائب فیلمی و غلظت سطح مشترک را محاسبه کنید.

حل: ابتدا ضریب K_G را به K_y تبدیل می کنیم.

$$K_y = K_G P = 2.75 \times 10^{-6} \times 101.3 = 2.786 \times 10^{-4} \text{ kmol/m}^2 \cdot \text{s}$$

Mass Transfer

Autumn 1390

A. Ghaemi (ahadghaemi@yahoo.com)

محاسبه مقاومت ها و شارها

$$\frac{\text{resistance in gas phase}}{\text{total resistance in both phases}} = \frac{1/k_y}{1/K_y} = 0.85$$

$$\Rightarrow k_y = \frac{K_y}{0.85} = 3.28 \times 10^{-4} \text{ kmol/m}^2 \cdot \text{s}$$

$$\frac{1}{K_y} = \frac{1}{k_y} + \frac{m}{k_x} \quad \text{و} \quad \frac{1}{k_y} = \frac{0.85}{K_y} \quad \Rightarrow \quad \frac{m}{k_x} = \frac{1}{K_y} - \frac{1}{k_y} = \frac{0.15}{K_y}$$

$$\Rightarrow k_x = \frac{mK_y}{0.15} = \frac{1.64 \times 2.786 \times 10^{-4}}{0.15} = 3.05 \times 10^{-3} \text{ kmol/m}^2 \cdot \text{s}$$

مقدار تعادلی:

$$y_A^* = mx_{A,L} = 1.64 \times 1.15 \times 10^{-3} = 1.886 \times 10^{-3}$$

$$N_A = K_y (y_{A,G} - y_A^*)$$

$$\Rightarrow N_A = 2.768 \times 10^{-4} (0.080 - 1.886 \times 10^{-3}) = 2.18 \times 10^{-5} \text{ kmol/m}^2 \cdot \text{s}$$

Mass Transfer

Autumn 1390

A. Ghaemi (ahadghaemi@yahoo.com)

محاسبه شار از روابط دیگر

$$N_A = k_y (y_{A,G} - y_{A,i}) \quad \Rightarrow \quad y_{A,i} = y_{A,G} - \frac{N_A}{k_y} = 0.080 - \frac{2.18 \times 10^{-5}}{3.28 \times 10^{-4}} = 0.01362$$

$$x_{A,i} = \frac{y_{A,i}}{m} = \frac{0.01362}{1.64} = 8.305 \times 10^{-3}$$

$$N_A = k_x (x_{A,i} - x_{A,L})$$

$$k_x = \frac{mK_y}{0.15} = \frac{1.64 \times 2.786 \times 10^{-4}}{0.15} = 3.05 \times 10^{-3} \text{ kmol/m}^2\text{-s}$$

مقدار شار انتقال جرم

$$N_A = 3.05 \times 10^{-3} (8.305 \times 10^{-3} - 1.15 \times 10^{-3}) = 2.18 \times 10^{-5} \text{ kmol/m}^2\text{-s}$$

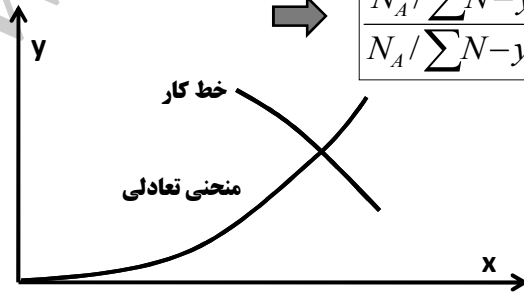
Mass Transfer Autumn 1390 A. Ghaemi (ahadghaemi@yahoo.com)

استفاده از ضرایب انتقال جرم F

زمانی که انتقال جرم شامل نفوذ یک ماده و یا نفوذ متقابل مول های مساوی از دو سازنده نبوده و یا شدت انتقال جرم زیاد باشد از ضرایب نوع F استفاده می کنیم.

$$N_A = \frac{N_A}{\sum N} F_G \ln \frac{N_A / \sum N - y_{A,i}}{N_A / \sum N - y_{A,G}} = \frac{N_A}{\sum N} F_L \ln \frac{N_A / \sum N - x_{A,L}}{N_A / \sum N - x_{A,i}}$$

$$\frac{N_A / \sum N - y_{A,i}}{N_A / \sum N - y_{A,G}} = \left(\frac{N_A / \sum N - x_{A,L}}{N_A / \sum N - x_{A,i}} \right)^{F_L / F_G}$$



Mass Transfer Autumn 1390 A. Ghaemi (ahadghaemi@yahoo.com)

جذب آمونیاک در آب: استفاده از ضرائب انتقال جرم نوع F

مقطعی از ستون
 $x_A=0.12$
 $y_A=0.6$

Air + NH₃

آب از دیواره یک ستون مرطوب در جریان بوده و یک مخلوط هوا - آمونیاک از مرکز آن در عبور داده می شود. در یک نقطه خاصی از ستون غلظت آمونیاک در بالک گاز 0.6 کسر مولی بوده و در مایع باک 0.12 کسر مولی می باشد. دما ۳۰۰ کلوین و فشار یک اتمسفر می باشد. با صرف نظر از تبخیر آب شار انتقال جرمی محلی را بدست آورید. مقدار F ها باشند. داده های تعادلی برای سیستم در دمای ۳۰۰ درجه کلوین و فشار یک اتمسفر بصورت گرافیکی نشان داده شده است.

Mass Transfer Autumn 1390 A. Ghaemi (ahadghaemi@yahoo.com)

جذب آمونیاک در آب: استفاده از ضرائب انتقال جرم نوع F

حل: در این مورد غلظت خیلی بالا می باشد.

$y_{A,G} = 0.60, x_{A,L} = 0.12$

در فاز گاز جزء آمونیاک A و هوا جزء B می باشد. نفوذ هوا در آب ناچیز بوده بنابراین:

$N_{B,G} = 0$

$N_{B,L} = 0$

→

$\frac{N_A}{N_A + N_B} = 1$

$$N_A = \frac{N_A}{N_A + N_B} F \ln \frac{[N_A / (N_A + N_B)] P_t - \bar{p}_{A2}}{[N_A / (N_A + N_B)] P_t - \bar{p}_{A1}} = F \ln \frac{P_t - \bar{p}_{A2}}{P_t - \bar{p}_{A1}}$$

معادله کلی شار انتقال جرم:

$$\Psi_{A,G} = \Psi_{A,L} = \frac{N_A}{N_A + N_B}$$

$$N_A = \Psi_{A,G} F_G \ln \frac{\Psi_{A,G} - y_{A,i}}{\Psi_{A,G} - y_{A,G}} = \Psi_{A,L} F_L \ln \frac{\Psi_{A,L} - x_{A,i}}{\Psi_{A,L} - x_{A,i}}$$

Mass Transfer Autumn 1390 A. Ghaemi (ahadghaemi@yahoo.com)

جذب آمونیاک در آب: استفاده از ضرایب انتقال جرم نوع F

$$\frac{\Psi_{A,G} - y_{A,i}}{\Psi_{A,G} - y_{A,G}} = \left[\frac{\Psi_{A,L} - x_{A,L}}{\Psi_{A,L} - x_{A,i}} \right]^{F_L \Psi_{A,i} / F_G \Psi_{A,G}}$$

$$\Psi_{A,G} = \Psi_{A,L} = \frac{N_A}{N_A + N_B} = 1$$

نفوذ در جزء ساکن:

$$N_A = F_L \ln \frac{1 - y_{A2}}{1 - y_{A1}}$$

$$N_A = F_G \ln \frac{1 - x_{A2}}{1 - x_{A1}}$$

→

$$N_A = F_L \ln \frac{1 - y_{A2}}{1 - y_{A1}} = F_G \ln \frac{1 - x_{A2}}{1 - x_{A1}}$$

$$\frac{1 - y_{A,i}}{1 - y_{A,G}} = \left[\frac{1 - x_{A,L}}{1 - x_{A,i}} \right]^{F_L / F_G}$$

→

$$y_{A,i} = 1 - (1 - y_{A,G}) \left[\frac{1 - x_{A,L}}{1 - x_{A,i}} \right]^{F_L / F_G} = 1 - 0.4 \left[\frac{0.88}{1 - x_{A,i}} \right]^{1.75}$$

Mass Transfer
Autumn 1390
A. Ghaemi (ahadghaemi@yahoo.com)

جذب آمونیاک در آب: استفاده از ضرایب انتقال جرم نوع F

منحنی داده های تعادلی:

$$y_{A,i} = 10.51 \gamma_A x_{A,i}$$

$$\gamma_A = 0.156 + 0.622 x_{A,i} (5.765 x_{A,i} - 1)$$

معادلات جبری غیر خطی باید همزمان حل بشوند.

حل همزمان با MATLAB:

$$y_A = 1 - 0.4 \left(\frac{0.88}{1 - x_A} \right)^{1.75}$$

$$\gamma_A = 0.156 + 0.622 \cdot x_A \cdot (5.765 \cdot x_A - 1)$$

$$y_A = 10.51 \cdot \gamma_A \cdot x_A$$

→

$$\begin{bmatrix} x_A \\ y_A \\ \gamma_A \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.231 \\ 0.494 \\ 0.204 \end{bmatrix}$$

Mass Transfer
Autumn 1390
A. Ghaemi (ahadghaemi@yahoo.com)

خط کار و منحنی تعادلی

در خط کار در x های مختلف مقدار y محاسبه می شود و در نمودار رسم می شود:

حل گرافیکی

خط کار

$$y_A = 1 - 0.4 \left[\frac{0.88}{1 - x_A} \right]^{1.75}$$

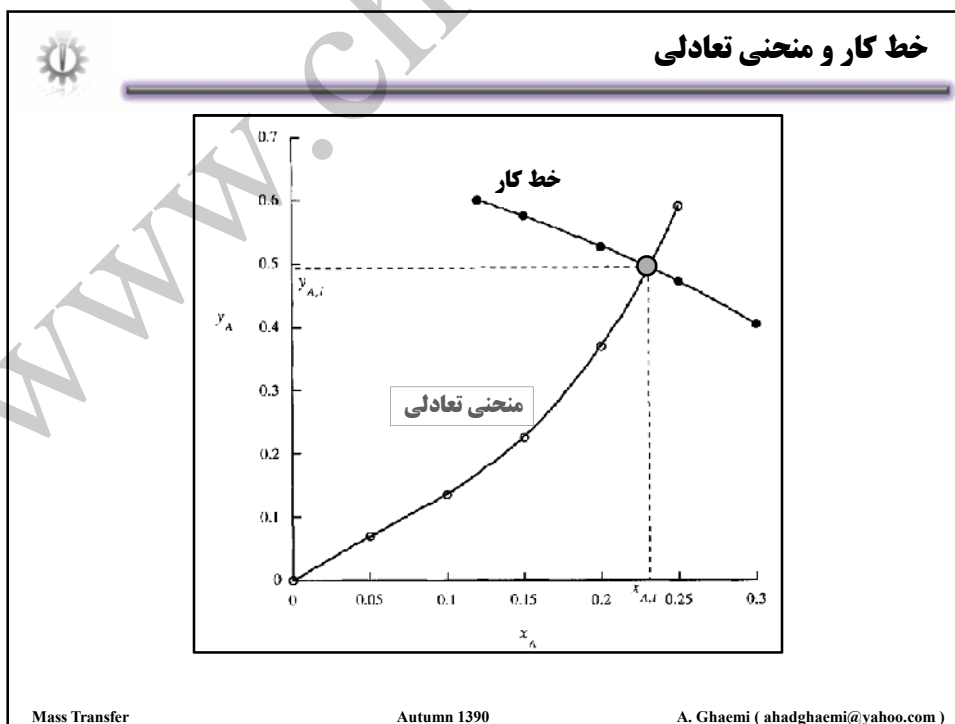
داده های تعادلی

x_A	0.12	0.15	0.20	0.25	0.30
y_A	0.600	0.575	0.527	0.471	0.403

$$N_A = F_G \ln \left[\frac{1 - y_{A,i}}{1 - y_{A,G}} \right] = 2 \times 10^{-3} \ln \left[\frac{1 - 0.494}{1 - 0.600} \right]$$

$$= 4.7 \times 10^{-4} \text{ kmol/m}^2\text{-s}$$

Mass Transfer Autumn 1390 A. Ghaemi (ahadghaemi@yahoo.com)



جریان مختلف الجهت در دستگاه انتقال جرمی

موازنه جرم در دستگاه :

$$\left[\begin{array}{c} \text{moles of A entering} \\ \text{the device} \end{array} \right] = \left[\begin{array}{c} \text{moles of A leaving} \\ \text{the device} \end{array} \right]$$

$$V_1 y_1 + L_2 x_2 = V_2 y_2 + L_1 x_1$$

$$Y = \frac{y}{1-y}$$

→

$$y = \frac{Y}{1+Y}$$

$$X = \frac{x}{1-x}$$

→

$$x = \frac{X}{1+X}$$

$$V_1 y_1 + L x = V y + L_1 x_1$$

Mass Transfer
Autumn 1390
A. Ghaemi (ahadghaemi@yahoo.com)

رسم منحنی های کار و تعادلی

انتقال جرم از فاز گاز به فاز مایع:

$$\begin{array}{l} L_S = L(1-x) \\ V_S = V(1-y) \end{array} \Rightarrow V_S Y_1 + L_S X_2 = V_S Y_2 + L_S X_1$$

شیب خط کار:

$$\frac{L_S}{V_S} = \frac{Y_1 - Y_2}{X_1 - X_2}$$

$$\frac{L_S}{V_S} = \frac{Y_1 - Y}{X_1 - X}$$

Mass Transfer
Autumn 1390
A. Ghaemi (ahadghaemi@yahoo.com)

جریان مختلف الجهت در دستگاه انتقال جرمی

انتقال جرم از فاز مایع به گاز:

$$\frac{L_S}{V_S} = \frac{Y_2 - Y_1}{X_2 - X_1}$$

شیب خط کار:

$$L_S(X_2 - X_1) = V_S(Y_2 - Y_1)$$

خط کار

Mass Transfer
Autumn 1390
A. Ghaemi (ahadghaemi@yahoo.com)

جریان های هم جهت در دستگاه انتقال جرمی

concurrent flows

خط کار:

$$V_1 y_1 + L_1 x_1 = V_2 y_2 + L_2 x_2$$

خط کار:

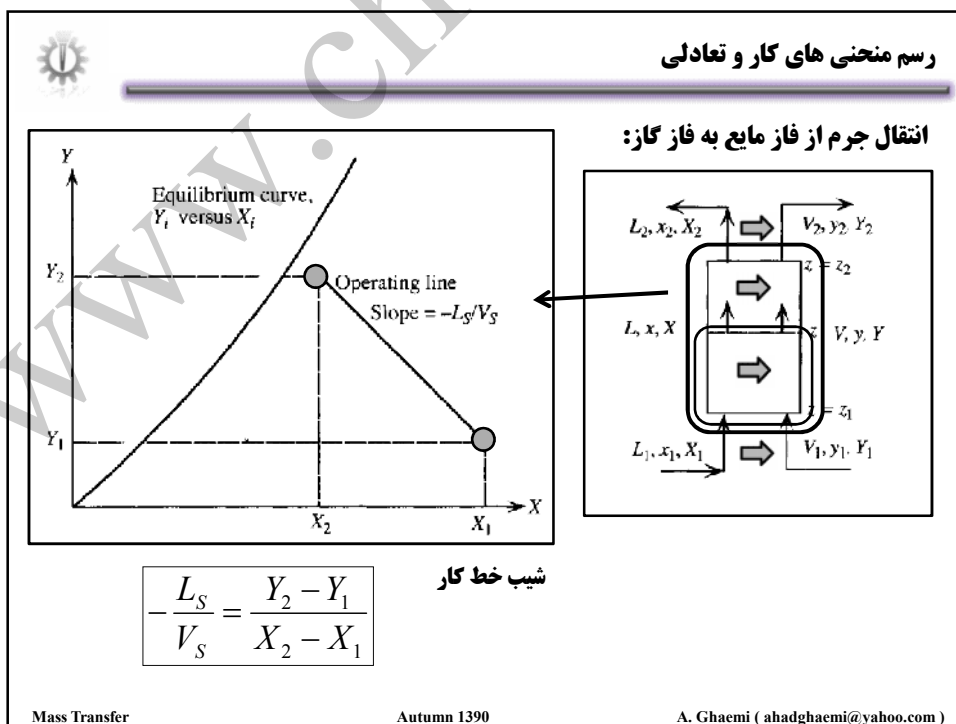
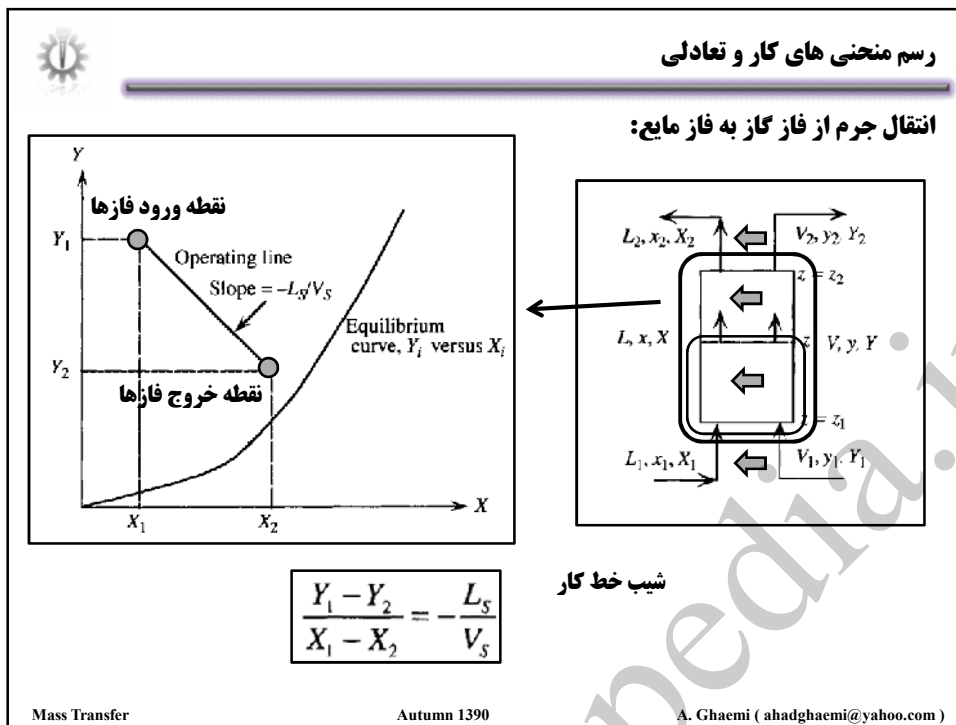
$$V_S Y_1 + L_S X_1 = V_S Y + L_S X = V_S Y_2 + L_S X_2$$

شیب خط کار

$$\frac{Y_1 - Y_2}{X_1 - X_2} = -\frac{L_S}{V_S} = \frac{Y_1 - Y}{X_1 - X}$$

شیب خط کار در مقاسیه با دستگاه های مختلف الجهت منفی می باشد.

Mass Transfer
Autumn 1390
A. Ghaemi (ahadghaemi@yahoo.com)



جذب دی اکسید نیتروژن در ستون با جریان های مختلف الجهد

$G=0.5 \text{ kg/s}$
 $y=0.015$

دی اکسید نیتروژن NO_2 از مخلوط هوا توسط ژل سلیکا در یک ستون با جریان متقابل پیوسته جذب شده است. سرعت جرمی گاز ورودی به ستون 0.5 kg/sec بوده و شامل 1.5% حجمی NO_2 و 85% از آن جذب شده است. عملیات ایزوترمال در فشار یک اتمسفر و دمای 298 کلون می باشد. ژل ورودی خالی از NO_2 می باشد. اگر دو برابر حداقل سرعت ژل استفاده شود سرعت جرمی ژل و ترکیب خروجی آن را حساب کنید. داده های تعادل در دمای 298 در زیر داده شده است.

Partial pressure NO_2 , p_A , mmHg	2	4	6	8	10	12
Solid concentration, m , kg $\text{NO}_2/\text{kg gel}$	0.40	0.90	1.65	2.60	3.65	4.85

Mass Transfer Autumn 1390 A. Ghaemi (ahadghaemi@yahoo.com)

حل مسئله:

موازنه جرم برای دستگاه نوشته می شود.

L'_S = mass flow rate of the "dry" gel, kg/s
 V'_S = mass flow rate of the "dry" air, kg/s
 X' = mass ratio in the gel, kg $\text{NO}_2/\text{kg gel}$
 Y' = mass ratio in the gas, kg $\text{NO}_2/\text{kg air}$

غلظت دی اکسید نیتروژن ورودی:

$$Y'_1 = \frac{y_1}{1-y_1} \times \frac{M_{\text{NO}_2}}{M_{\text{air}}} = \frac{0.015}{1-0.015} \times \frac{46}{29} = 0.0242 \text{ kg NO}_2 / \text{kg air}$$

غلظت خروجی دی اکسید نیتروژن در خروجی ستون:

$$Y'_2 = 0.15 \times 0.0242 = 0.0036 \text{ NO}_2 / \text{kg air}$$

$$X'_2 = 0$$

ژل ورودی دارای غلظت صفر دی اکسید نیتروژن می باشد:

Mass Transfer Autumn 1390 A. Ghaemi (ahadghaemi@yahoo.com)

حذف دی اکسید نیتروژن

اگر داده های تعادلی را به نسبت جرمی تبدیل کنیم خواهیم داشت:

$X_i' \times 100, \text{ kg NO}_2/\text{kg gel}$	$Y_i' \times 100, \text{ kg NO}_2/\text{kg air}$
0.00	0.00
0.40	0.42
0.90	0.83
1.65	1.26
2.60	1.69
3.65	2.11
4.85	2.54

$$Y_i' = \frac{P_{\text{NO}_2}}{760 - P_{\text{NO}_2}} \times \frac{46}{29}$$

$$X_i' = \frac{m}{100}$$

با رسم داده های تعادلی و همچنین با محاسبه حداقل خط کار داریم (از شکل صفحه بعد):

$$X_1'(\text{max}) = 0.0375 \text{ kg NO}_2/\text{kg}$$

$$L_S'(\text{min}) = \frac{Y_1' - Y_2'}{X_1'(\text{max}) - X_2'} \times V_S' = \frac{0.0242 - 0.0036}{0.0375 - 0.0} \times V_S' = 0.550 \times V_S'$$

$$V_S' = V_1' \times \omega_{B1}, \quad \omega_n = \frac{1}{1 + Y'}$$

Mass Transfer Autumn 1390 A. Ghaemi (ahadghaemi@yahoo.com)

حذف دی اکسید نیتروژن

$$V_S' = 0.5 \times (1 + 0.0242)^{-1} = 0.488 \text{ kg air/s}; L_S'(\text{min}) = 0.55 \times 0.488 = 0.268 \text{ kg gel/s.}$$

$L_S' = 2L_S'(\text{min}) = 0.536 \text{ kg gel/s.}$ **دبی واقعی زل در ستون:**

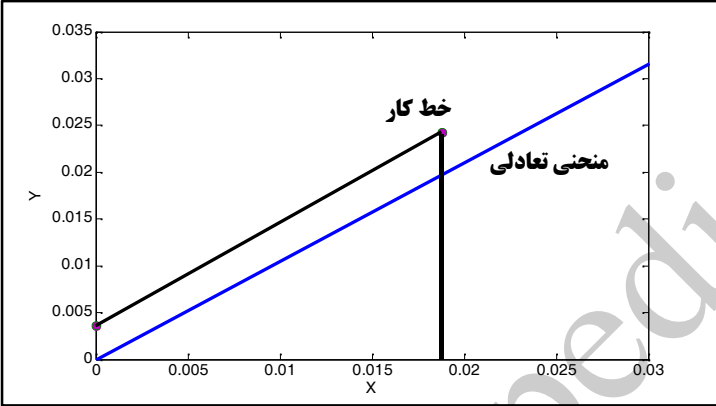
Mass Transfer Autumn 1390 A. Ghaemi (ahadghaemi@yahoo.com)

حذف دی اکسید نیتروژن

$$X_1' = X_2' + \frac{V_s' (Y_1' - Y_2')}{L_s'} = 0.00 + \frac{0.488 \times (0.0242 - 0.0036)}{0.536} = 0.0188 \text{ kg NO}_2/\text{kg gel}$$

$$Y_1' = 0.0242 \text{ kg NO}_2/\text{kg air}$$

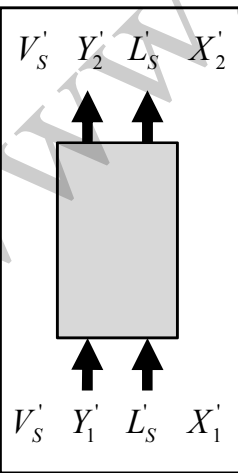
$$Y_2' = 0.15 \times 0.0242 = 0.0036 \text{ NO}_2/\text{kg air} \quad X_2' = 0$$



The graph plots the gas phase concentration Y (y-axis, 0 to 0.035) against the liquid phase concentration X (x-axis, 0 to 0.03). A blue line represents the equilibrium curve, and a black line represents the operating line. The operating line starts at $(0, 0.0036)$ and ends at $(0.0188, 0.0242)$. A vertical line is drawn from $X = 0.0188$ on the x-axis to the operating line, and a horizontal line is drawn from that point to the y-axis at $Y = 0.0242$.

Mass Transfer Autumn 1390 A. Ghaemi (ahadghaemi@yahoo.com)

جذب در ستون با جریان های هم جهت



The diagram shows a vertical absorption column. Gas enters from the top with flow rate V_s' and concentration Y_2' . Gas exits from the bottom with flow rate V_s' and concentration Y_1' . Liquid enters from the bottom with flow rate L_s' and concentration X_1' . Liquid exits from the top with flow rate L_s' and concentration X_2' .

گاز دی اکسید نیتروژن در یک ستون جذب با جریان های هم سو توسط سلیکاژل جذب می شود. داده های تعادلی در جدول ارائه شده است.

$$Y_1' = 0.0242 \text{ kg NO}_2/\text{kg air,}$$

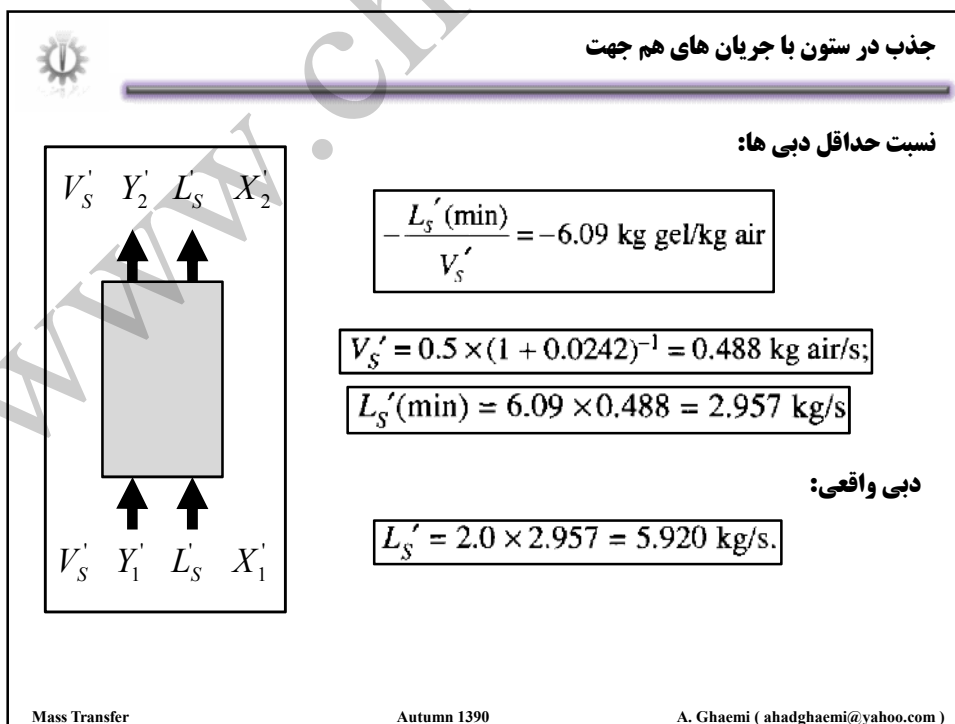
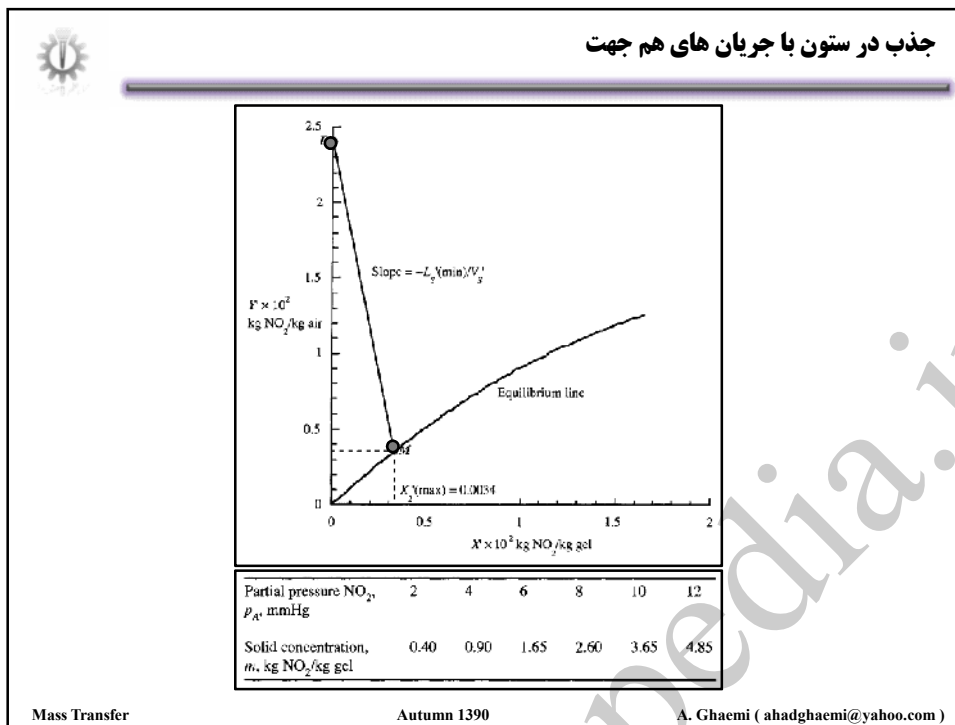
$$X_1' = 0.0.$$

$$Y_2' = 0.0036 \text{ kg NO}_2/\text{kg air,}$$


$$X_2(\text{max})' = 0.0034 \text{ kg NO}_2/\text{kg gel.}$$

$$- \frac{L_s'(\text{min})}{V_s'} = \frac{0.0242 - 0.0036}{0.0 - 0.0034} = -6.09 \text{ kg gel/kg air}$$

Mass Transfer Autumn 1390 A. Ghaemi (ahadghaemi@yahoo.com)



محاسبه تعداد مراحل انتقال جرم



فکتور جذب یا دفع کرمسر:
انتقال جرم از فاز مایع به فاز گاز Stripping

$$A = \frac{L_S}{mV_S}$$

A ≠ 1: →

$$N = \frac{\ln \left[\frac{X_0 - Y_{N+1}/m}{X_N - Y_{N+1}/m} (1-A) + A \right]}{\ln(1/A)}$$

A = 1: →

$$N = \frac{X_0 - X_N}{X_N - Y_{N+1}/m}$$

انتقال جرم از فاز گاز به فاز مایع Absorption

A ≠ 1: →

$$N = \frac{\ln \left[\frac{Y_{N+1} - mX_0}{Y_1 - mX_0} \left(1 - \frac{1}{A} \right) + \frac{1}{A} \right]}{\ln A}$$

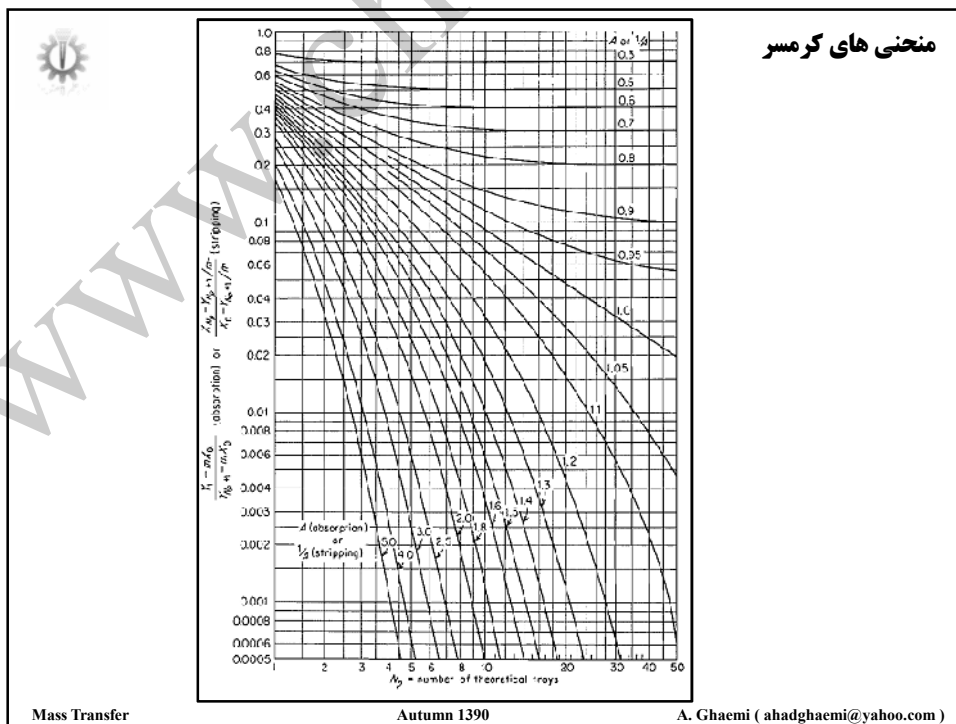
A = 1: →

$$N = \frac{Y_{N+1} - Y_1}{Y_1 - mX_0}$$

Mass Transfer

Autumn 1390

A. Ghaemi (ahadghaemi@yahoo.com)



سیستم بازیافت بنزن

تعداد مراحل ایده آل: تعداد مراحل ایده آل جذب و دفع بنزن را بدست بیاورید.

$$X_0 = X_{2a} = 0.050 \text{ kmol benzene/kmol oil}$$

$$Y_1 = Y_{2n} = 0.012 \text{ kmol benzene/kmol dry gas}$$

$$X_N = X_{1a} = 0.480 \text{ kmol benzene/kmol oil}$$

$$Y_{N+1} = Y_{1a} = 0.080 \text{ kmol benzene/kmol dry gas}$$

Absorber:

تعداد مراحل با استفاده از حل گرافیکی:

تعداد مراحل واقعی:

$$N \approx 3 + \frac{X_N - X_A}{X_C - X_A} = 3 + \frac{0.480 - 0.283}{0.530 - 0.283} = 3.80 \text{ stages}$$

Mass Transfer Autumn 1390 A. Ghaemi (ahadghaemi@yahoo.com)

سیستم بازیافت بنزن

$$X_0 = X_{2a} = 0.050 \text{ kmol benzene/kmol oil}$$

$$Y_1 = Y_{2n} = 0.012 \text{ kmol benzene/kmol dry gas}$$

$$X_N = X_{1a} = 0.480 \text{ kmol benzene/kmol oil}$$

$$Y_{N+1} = Y_{1a} = 0.080 \text{ kmol benzene/kmol dry gas}$$

$$m = 0.097 \text{ mol oil/mol dry gas.}$$

$$L_{Sa} = 0.006 \text{ kmol/s.} \quad V_{Sa} = 0.038$$

$$A = \frac{L_S}{mV_S} \quad A = 0.006 / (0.097 \times 0.038) = 1.628.$$

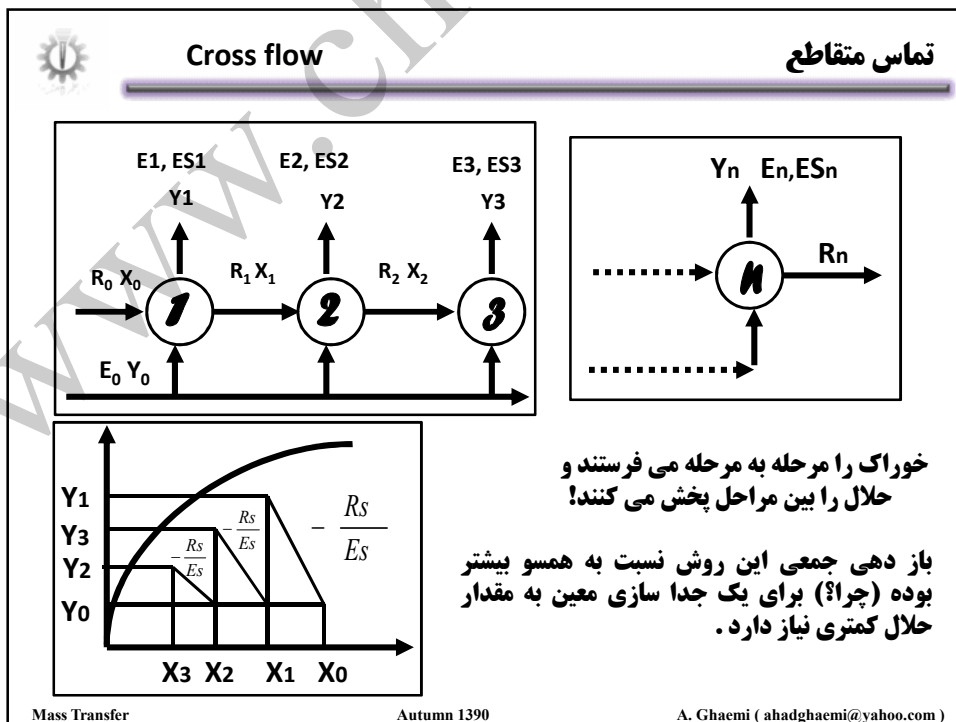
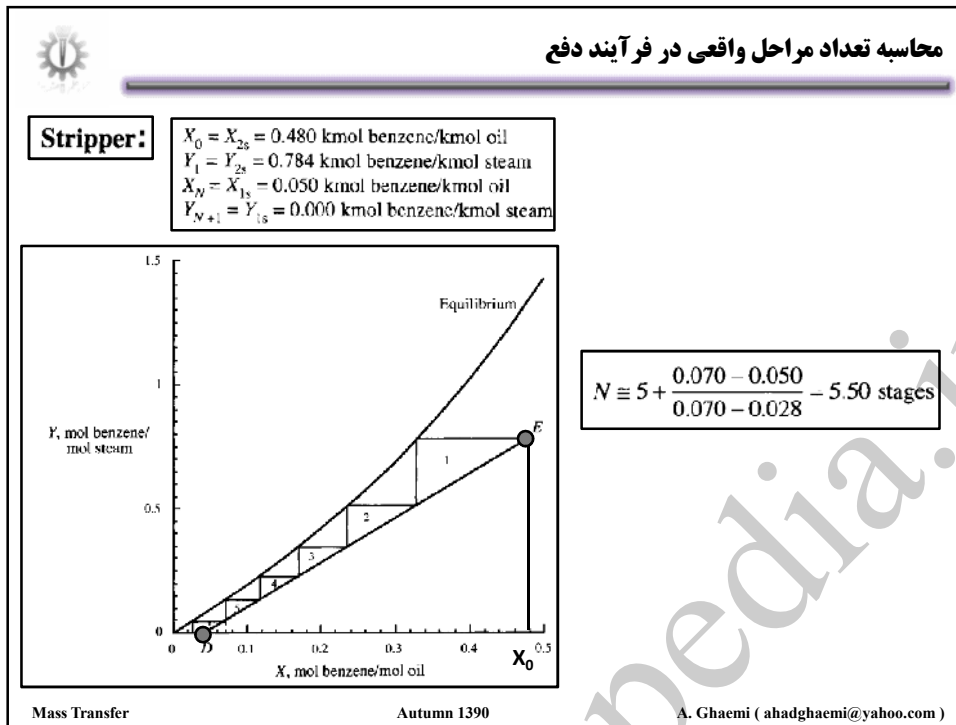
تعداد مراحل ایده آل:

$$N = \frac{\ln \left[\frac{Y_{N+1} - mX_0 \left(1 - \frac{1}{A} \right) + \frac{1}{A}}{Y_1 - mX_0 \left(1 - \frac{1}{A} \right) + \frac{1}{A}} \right]}{\ln A} \quad N = 3.16$$

$$E = \frac{3.80 - 3.16}{3.80} = 17\%$$

محاسبه خطا:

Mass Transfer Autumn 1390 A. Ghaemi (ahadghaemi@yahoo.com)



تماس متقابل

$$\frac{Y_1 - Y_2}{X_1 - X_0} = -\frac{R_S}{E_S}$$

مرحله اول

$$\frac{Y_2 - Y_3}{X_2 - X_1} = -\frac{R_S}{E_S}$$

مرحله دو

$$\frac{Y_n - Y_{n+1}}{X_n - X_{n-1}} = -\frac{R_S}{E_S}$$

مرحله n

Mass Transfer Autumn 1390 A. Ghaemi (ahadghaemi@yahoo.com)

محاسبه تعداد مراحل واقعی در فرآیند دفع


معمولا در مسائل مربوط به پروسه متقابل تعداد مراحل مجهول هستند و فرض بر این است که هر مرحله یک مرحله ایده ال باشد، پس برای محاسبه تعداد مراحل، در صورتی که منحنی تعادلی و خط تبادل را داشته باشیم باید از روش ترسیمی بهره ببریم.

هر مرحله دارای سه راس است. یک راس روی منحنی تعادلی و دو راس دیگر روی خط تبادل که این دو راس بیانگر غلظت دو فاز می باشند. به این روش برای رسم پلکانی می گویند!

در پروسه متقابل هر مرحله به صورت همسو عمل می کند ولی کل پروسه غیر همسو است

Mass Transfer Autumn 1390 A. Ghaemi (ahadghaemi@yahoo.com)

بنام خدا



عنوان درس


عملیات انتقال جرم

هفته سیزدهم

دستگاه های تبادل جرمی

Mass Transfer Autumn 1390 A. Ghaemi (ahadghaemi@yahoo.com)

نحوه ایجاد تماس بین دو فاز



در این فصل دستگاه های انتقال جرمی گاز - مایع بررسی خواهد شد.

- هدف از دستگاه های تبادل جرمی ایجاد تماس نزدیک بین دو فاز است که بر اساس رابطه شدت انتقال جرم طراحی می شوند.
- شدت انتقال جرم به مستقیماً به سطح تماس دو فاز بستگی دارد.
- به نحوه و درجه پراکنده شده فازی در فاز دیگر بستگی دارد.

شدت انتقال جرم = فلاکس * سطح انتقال

$$NA = a \cdot k_L (C_{Ai} - C_{AL})$$

دستگاه های این گروه بر حسب پراکنده شدن فاز گاز یا مایع به دو دسته تقسیم می شوند.
دستگاه هائی که در آنها گاز پراکنده می شود.
دستگاه هائی که در آنها مایع پراکنده می شود.

Mass Transfer Autumn 1390 A. Ghaemi (ahadghaemi@yahoo.com)

نحوه ایجاد تماس بین دو فاز

تماس گاز - مایع

```
graph TD
    A[تماس گاز - مایع] --> B[گاز: ناپیوسته]
    A --> C[گاز: پیوسته]
    B --> D[مایع: پیوسته]
    C --> E[مایع: ناپیوسته]
```

سیستم های گاز ناپیوسته:

1) Sparged Column
2) Agitated Column
3) Tray Column

۱- ستون پاششی
۲- ستون همزن دار (متحرک)
۳- ستون سینی دار

در دستگاه هایی که فاز گاز به صورت ناپیوسته وارد می شود باید به طریقی فاز گاز را به صورت حباب وارد کرد. مثلا در سینی ها تعدادی سوراخ تعبیه شده است که با عبور گاز از درون سینی به صورت حباب در می آید. برج های سینی دار اصلی ترین موضوع این دسته از دستگاه ها هستند.

Mass Transfer Autumn 1390 A. Ghaemi (ahadghaemi@yahoo.com)

دستگاه هایی که در آنها گاز پراکنده می شود.

مخازنی که در آنها حباب گاز ایجاد می شود. و یا مخازن مجهز به همزن: انواع برج های سینی دار نام برد. در این دستگاه ها گاز بصورت حباب و یا کف در فاز مایع پراکنده می شود. برج های سینی دار با جریان های متقابل مخازن همزن دار کاربرد:

در هنگامی که یک واکنش شیمیائی بین گاز و یکی از اجزاء سازنده فاز مایع مورد نظر باشد بسیار مطلوب است:

- ❖ کربناتیون دوغاب آهک
- ❖ هیدروژناسیون روغن های نباتی
- ❖ هوادهی مخمرها
- ❖ هوادهی لجن های فعال به منظور اکسیداسیون بیولوژیکی آنها

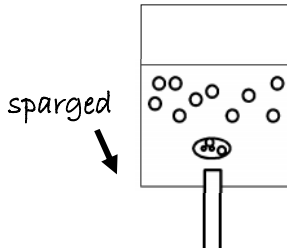
در این مثال ها جامد بصورت ذرات معلق در مایع حضور دارند و چون در صورت بکارگرفتن برج ها منافذ آنها مسدود می شود استفاده از این مخازن مجهز به هم زن توصیه می شود.

Mass Transfer Autumn 1390 A. Ghaemi (ahadghaemi@yahoo.com)

Sparged Column ستون های پاششی

اگر قطر مخزن کوچک باشد (0,3m) ورودی حباب را به صورت یک لوله در نظر می گیریم ولی اگر قطر مخزن بزرگ باشد ورودی حباب را به صورت یک رینگ در نظر می گیریم که روی آن تعدادی سوراخ باشد که قطر سوراخ ها بین 1,5 تا 3,5 میلیمتر است. فاصله سوراخ ها معمولا سه برابر قطر سوراخ ها است تا حباب ها ضمن بالا آمدن به یکدیگر برخورد نداشته باشند. جنس ورودی معمولا سرامیک یا پلاستیک است (قطر حباب ها تابعی از توربولنسی سیستم است).

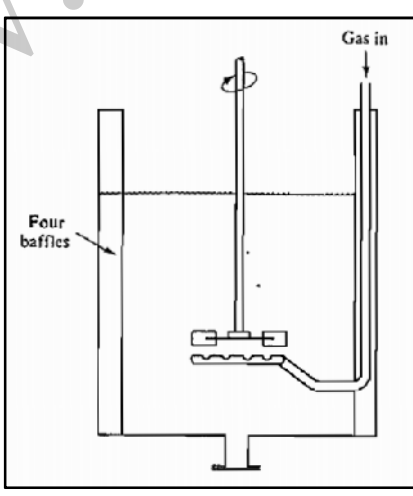
Gas- Sparged Column



Mass Transfer Autumn 1390 A. Ghaemi (ahadghaemi@yahoo.com)

Agitated Column ستون های همزن دار

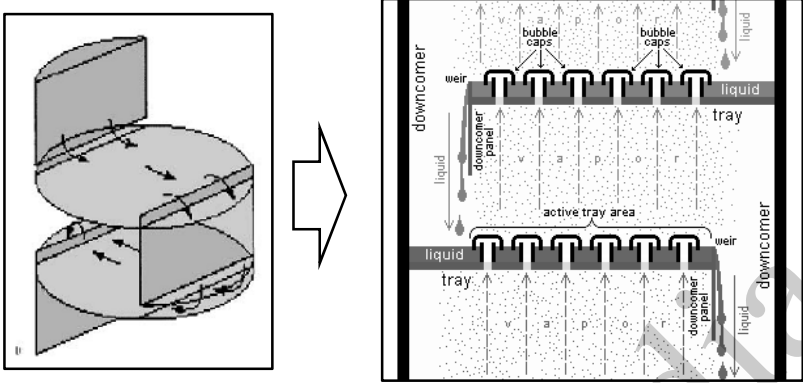
ستون همزن دار (متحرک)



Mass Transfer Autumn 1390 A. Ghaemi (ahadghaemi@yahoo.com)

ستون های سینی دار

Tray Column



Mass Transfer Autumn 1390 A. Ghaemi (ahadghaemi@yahoo.com)

ستون های حبابی

یک مخزن تولید حباب دستگاه های است که در آن جریان گاز بصورت حباب های ریزی درون مایع پراکنده می شود.

پارامترهای مهم در ستون های حبابی

- ❖ قطر حباب های گاز - اندازه حباب های گاز بستگی به شدت جریان گاز از درون روزنه ها، قطر روزنه و خواص فیزیکی گاز و تلاطم فاز مایع دارد.
- ❖ سطح مخصوص حباب ها - به قطر حباب ها و ماندگی بستگی دارد.
- ❖ ماندگی فاز گاز در ستون - به دبی فازها بستگی دارد.
- ❖ ضریب انتقال جرم

Mass Transfer Autumn 1390 A. Ghaemi (ahadghaemi@yahoo.com)

محاسبه قطر حباب ها

برای محاسبه قطر حباب در محل سه حالت زیر در نظر گرفته می شود.

$$Q_{Go} < 20 \times \left[\frac{(\sigma d_o g_c)^5}{(g \Delta \rho)^2 \rho_L^3} \right]^{1/6}$$

الف) شدت جریان گاز کم:
orifice قطر d_o
ابتدا دبی را محاسبه می کنیم:

قطر حباب از تساوی نیروی غوطه ورسازی بر روی حباب مغروق که می خواهد از روزنه خارج شود با نیروی حاصل از کششی سطحی که تمایل به نگهداری حباب در روزنه دارد.

$$\left(\frac{\pi}{6} \right) d_p^3 \Delta \rho g / g_c = \pi d_o \sigma$$

مایعات با ویسکوزیته کم:

\Rightarrow

$$d_p = \left[\frac{(6 \sigma d_o g_c)}{(g \Delta \rho)} \right]^{1/3}$$

$$d_p = 2.312 \left[\frac{\mu_L Q_{Go}}{\rho_L g} \right]^{1/4}$$

مایعات با ویسکوزیته بالا
تا ویسکوزیته: $1 \text{ kg/m} \cdot \text{s}$

Mass Transfer

Autumn 1390

A. Ghaemi (ahadghaemi@yahoo.com)

مخزن تولید حباب

$$Q_{Go} > \left[20 \times \frac{(\sigma d_o g_c)^5}{(g \Delta \rho)^2 \rho_L^3} \right]^{1/6}$$

شدت جریان های متوسط گاز:

$$Re_0 = \frac{V_0 d_o \rho_G}{\mu_G}$$

در این حالت قطر حباب ها از حالت اول بزرگتر است در این حالت تقریباً حباب های یکنواختی ایجاد می شوند. این حباب ها بصورت زنجیر بوده و مجزا از یکدیگر نیستند.
برای سیستم هوا - آب :

$$d_p = 0.0287 (d_o)^2 (Re_0)^{1/3}$$

سیال آب و هوا ($Re_0 < 2100$)

$$d_p = \left(\frac{72 \rho_L}{\pi^2 g \Delta \rho} \right)^{1/5} (Q_{Go})^{0.4}$$

سیالات دیگر ($Re_0 < 2100$)

Mass Transfer

Autumn 1390

A. Ghaemi (ahadghaemi@yahoo.com)

مخزن تولید حباب

$$d_p = 0.0007 Re^{0.05}$$

شدت جریان زیاد گاز:

سیال آب و هوا (10000 < Re < 50000)

در این حالت قطر حباب ها از حالت اول و دوم کوچکتر است.

در محدوده رینولدز ۲۱۰۰ تا ۱۰۰۰۰ عبارتی وجود ندارد و برای سیستم آب - هوا پیشنهاد می گردد از نمودار رسم شده در سیستم loglog بین دو نقطه Re=10000 و Re=2100 استفاده شود.

Mass Transfer Autumn 1390 A. Ghaemi (ahadghaemi@yahoo.com)

محاسبه سرعت حباب ها

سرعت حد: سرعت حباب ها هنگامی که نیروهای غوطه ورسازی و دراک برابر باشند، که به قطر حباب بستگی دارد.

1

$dp < 0.7 \text{ mm}$

→

$$V_t = \frac{gd_p^2 \Delta \rho}{18 \mu_L}$$

2

$0.7 \text{ mm} < dp < 1.4 \text{ mm}$

→

رابطه خاصی ارائه نشده است. باید از روی نمودار درون یابی کنید.

3

$1.4 \text{ mm} < dp < 6 \text{ mm}$

→

رابطه خاصی ارائه نشده است. باید از روی نمودار درون یابی کنید.

4

$dp > 6 \text{ mm}$

↓

$$V_t = \sqrt{\frac{2\sigma g_c + gd_p}{d_p \rho_L}}$$

شکل حباب ها نامنظم و غیر کروی

Mass Transfer Autumn 1390 A. Ghaemi (ahadghaemi@yahoo.com)

مخزن تولید حباب

$$\phi_G = \frac{V_G}{V_t}$$

موجودی گاز (Gas Hold Up)
جزئی از مخلوط گاز - مایع که توسط فاز گاز اشغال می شود موجودی گاز نامیده شود.

$$\phi_L = \frac{V_L}{V_t}$$

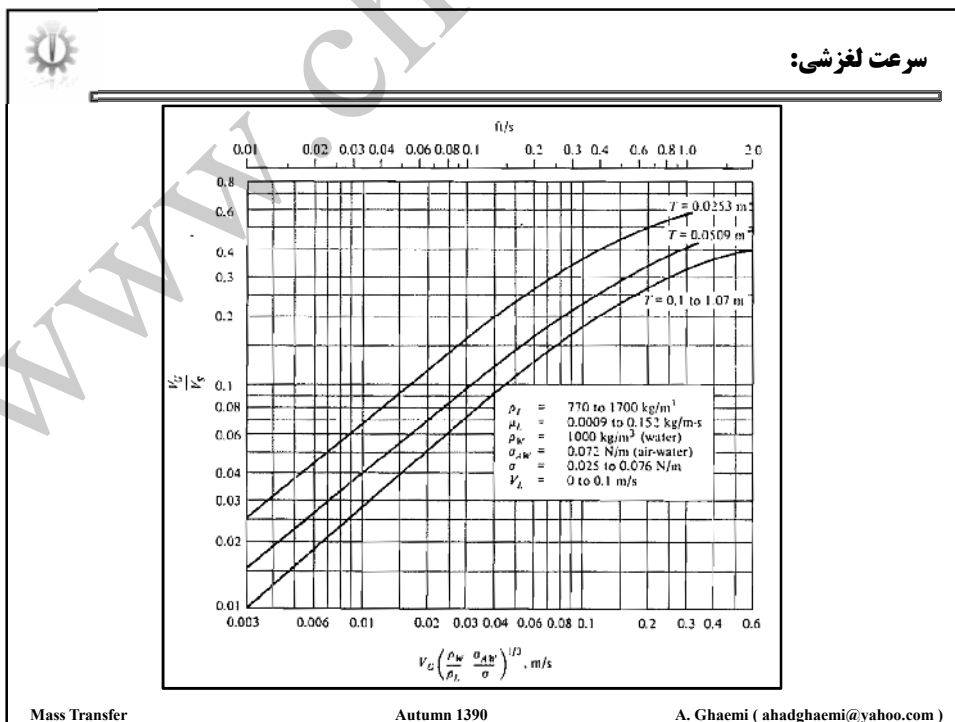
موجودی مایع (Liquid Hold Up)

$$V_S = \frac{V_G}{\phi_G} - \frac{V_L}{1 - \phi_G}$$

سرعت لغزشی (Slip Velocity)
سرعت نسبی مایع و گاز = Slip velocity

در نمودار ۶-۲ موجودی گاز برای سرعت های لغزش مختلف رسم شده که برای زمانی صدق می کند که یا $V_L \sim 0$ و یا جریان همسو و $V_L \sim 0.1 \text{ m/s}$ و یا در جریان غیر همسو سرعت مایع بسیار کم باشد.

Mass Transfer
Autumn 1390
A. Ghaemi (ahadghaemi@yahoo.com)



سطح مخصوص تماس

یک متر مکعب مخلوط گاز و مایع را با حجم گاز ϕ_G که حاوی تعداد N حباب گاز باشد در نظر بگیرید.

شعاع حباب r_p

$$V = N \times \frac{4}{3} \pi r_p^3 = \phi_G$$

$$a = N \times 4 \pi r_p^2$$

$$\frac{\phi_G}{a} = \frac{\frac{4}{3} \pi r_p^3 \times N}{4 \pi r_p^2 \times N}$$

$$\frac{r_p}{3} = \frac{\phi_G}{a} \Rightarrow a = \frac{6\phi_G}{d_p}$$

$d_p = \frac{2344 \times 10^3}{(V_L / (1 - \phi_G))^{0.67}}$
 $\phi_G = 0.1 - 0.4$
 $V_L / (1 - \phi_G) = 0.15 - 15 \text{ m}^3/\text{s}$

اگر ارتفاع تانک زیاد باشد باید برای قطر حباب متوسط گیری کنیم. برای سرعت های کم مایع اندازه حباب ها با قطر حباب تولید شده در محل orifice برابر است. برای سرعت های زیاد مایع اندازه حباب تغییر می کند. لذا باید توسط معادلات مربوطه تصحیح شود.

Mass Transfer Autumn 1390 A. Ghaemi (ahadghaemi@yahoo.com)

ضریب انتقال جرم

در سیستم گاز-مایع که فاز گاز به صورت پراکنده است مقاومت در فاز مایع به شدت کنترل کننده می باشد و لذا نیازی به اطلاع از ضرایب انتقال جرم فاز گاز نخواهد بود.

ضریب انتقال جرم برای فاز مایع با ۱۵ درصد تقریب از رابطه زیر بدست می آید:

$$Sh_L = \frac{F_L d_p}{c D_L} = 2 + b' Re^{0.779} Sc_L^{0.546} \left(\frac{d_p g^{\frac{1}{3}}}{D_L^{\frac{2}{3}}} \right)^{0.116}$$

b'=0.061 برای یک حباب
b'=0.0187 برای دسته ای از حباب ها

Mass Transfer Autumn 1390 A. Ghaemi (ahadghaemi@yahoo.com)



مسئله

یک مخزن با قطر یک متر و عمق ۳ متر با مولد حباب برای کلرزدائی آب بکمک ورودی حباب های هوا بداخل ظرف استفاده می شود. آب بطور مداوم به طرف بالا با شدت حجمی $8 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$ حرکت می کند. هوا با شدت 0.055 kg/s در دمای 25 درجه سلسیوس وارد می شود. مولد حباب به شکل حلقه و به قطر 25 سانتیمتر و دارای 50 روزنه به قطر 3 میلیمتر می باشد. سطح تماس ویژه و ضریب انتقال جرم را محاسبه کنید.

$$d_o = 0.003 \text{ m}$$

$$w_o = 0.055 / 50 = 0.0011 \text{ kg / s}$$

شدت جرمی گاز در هر روزنه:

$$Re_o = \frac{4w_o}{\pi d_o \mu_G} = \frac{4 \times 0.0011}{3.14 \times 0.003 \times 1.8 \times 10^{-5}} = 26000$$

$$d_p = 0.0071 Re_o^{-0.05} = 0.0071 \times 26000^{-0.05} = 4.27 \times 10^{-3} \text{ m} \quad \text{در ارفیس:}$$

$$H = 3 \text{ m}, \rho = 1000 \text{ kg / m}^3$$

$$\rightarrow p = 101.3 + 3.0(1000)(9.81) / 1000 = 130.8 \text{ kN / m}^2$$

$$\bar{p} = 116.0 \text{ kN / m}^2$$

Mass Transfer

Autumn 1390

A. Ghaemi (ahadghaemi@yahoo.com)



حل مسئله

بنابراین در فشار متوسط خواهیم داشت:

$$\rho_G = \frac{29}{22.41} \frac{273}{298} \frac{116.0}{101.3} = 1.358 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{diameter} = 1 \text{ m}$$

$$\rightarrow \text{Cross sectional area} = 1^2 \times \pi / 4 = 0.785 \text{ m}^2$$

$$V_G = \frac{0.055}{0.785(1.358)} = 0.0516 \text{ m/s}$$

سرعت ظاهری فازها:

$$V_L = \frac{8 \times 10^{-4}}{0.785} = 0.00102 \text{ m/s}$$

از شکل ۲-۶ داریم:

Mass Transfer

Autumn 1390

A. Ghaemi (ahadghaemi@yahoo.com)

حل مسئله:

$\rho_L = 1000 \text{ kg/m}^3$
 $\sigma = 0.072 \text{ N/m}$

$V_G/V_S = 0.11$

$V_S = V_G/0.11 = 0.469 \text{ m/s.}$

$V_S = \frac{V_G}{\phi_G} - \frac{V_L}{1 - \phi_G}$

$0.469 = \frac{0.0516}{\phi_G} - \frac{0.00102}{1 - \phi_G}$
 $\phi_G = 0.1097$

$V_G = \frac{0.055}{0.785(1.358)} = 0.0516 \text{ m/s}$
 $V_L \left(\frac{\rho_L}{\rho_G} \frac{a_{d_p}}{\sigma} \right)^{1/3}, \text{ m/s}$

Properties:
 $\rho = 770 \text{ to } 1700 \text{ kg/m}^3$
 $\mu = 0.0009 \text{ to } 0.152 \text{ kg/m-s}$
 $\rho_L = 1000 \text{ kg/m}^3$ (water)
 $\sigma = 0.072 \text{ N/m}$ (air-water)
 $r = 0.025 \text{ to } 0.076 \text{ m}$
 $V_G = 0 \text{ to } 0.1 \text{ m/s}$

Mass Transfer Autumn 1390 A. Ghaemi (ahadghaemi@yahoo.com)

حل مسئله:

با توجه به اینکه سرعت مایع کم می باشد از قطر حباب در ارفیس استفاده کرده و در فشار متوسط قطر حباب را بدست می آوریم

سطح انتقال جرم:

$d_p = 0.0071 \text{ Re}_o^{-0.05} = 4.27 \times 10^{-3} \text{ m}$

$d_p = \left[(0.00427)^3 \frac{130.8}{116.0} \right]^{1/3} = 0.00447 \text{ m}$

$\phi_G = 0.1097 \Rightarrow a = \frac{6\phi_G}{d_p} \Rightarrow a = 147.2 \text{ m}^2/\text{m}^3$

محاسبه ضریب انتقال جرم:

$Sh_L = \frac{F_L d_p}{c D_L} = 2 + b' \text{ Re}_G^{0.779} \text{ Sc}_L^{0.546} \left(\frac{d_p g^{1/3}}{D_L^{2/3}} \right)^{0.116}$

At 25°C, D_L for Cl_2 in $\text{H}_2\text{O} = 1.44 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s};$
 $g = 9.81 \text{ m/s}^2.$
 $d_p g^{1/3} / D_L^{2/3} = 7500.$
 $\mu_1 = 8.937 \times 10^{-4} \text{ kg/m} \cdot \text{s}$

$\Rightarrow \text{Re}_G = d_p V_S \rho_L / \mu_L = 2346,$
 $\text{Sc}_L = \mu_L / \rho_L D_L = 621,$

Mass Transfer Autumn 1390 A. Ghaemi (ahadghaemi@yahoo.com)

حل مسئله:

محاسبه ضریب انتقال جرم:

$$Sh_L = \frac{F_L d_p}{c D_L} = 2 + b' Re_G^{0.779} Sc_L^{0.546} \left(\frac{d_p g^{1/3}}{D_L^{2/3}} \right)^{0.116}$$

$$Sh_L = 746.$$

$$D_L = 1.44 \times 10^{-9} \text{ m}^2 / \text{s}$$

$$d_p = 4.27 \times 10^{-3} \text{ m}$$

$$c = 1000 / 18.02 = 55.5 \text{ kmol/m}^3$$

$F_L = (c D_L Sh_L) / d_p = 0.0127 \text{ kmol/m}^2 \cdot \text{s}.$

Mass Transfer Autumn 1390 A. Ghaemi (ahadghaemi@yahoo.com)

مخازن با همزن های مکانیکی

همزن های مکانیکی برای ایجاد تلاطم و بین فازها بکار رفته تا انتقال جرم افزایش یابد. همچنین برای پراکندن موثر مایعات و گازها در یکدیگر ضروری می باشد.

Mass Transfer Autumn 1390 A. Ghaemi (ahadghaemi@yahoo.com)

عمق مایع عموماً حدود یک الی دو برابر قطر مخازن می باشد.

Mass Transfer Autumn 1390 A. Ghaemi (ahadghaemi@yahoo.com)

مخازن همزن دار

هنگامی که سرعت ظاهری بیشتر از ۵ متر بر ثانیه باشد از همزن استفاده می کنیم
(گاز_مایع، جامد_گاز، مایع_مایع، مایع_مایع غیر قابل حل، توزیع حرارت از یک کویل)

همزنها دو نوع جریان ایجاد می کنند: (شعاعی و محوری)

اگر زاویه پره ها با محور دوران کمتر از ۹۰ درجه باشد، جریان محوری تولید می شود. مانند پره های ملخی (propeller) و همزن های توربینی (Pitched Blade Turbine)

همزن هایی که جریان شعاعی تولید می کنند دارای تیغه هایی می باشند که موازی با محور Shaft است و دارای تیغه های چند پره ای کوچک (توربین) و تیغه های بزرگ با سرعت کمتر (paddle) می باشند.

به وسیله این پره ها از تشکیل ورتکس جلوگیری می کنیم و توان تلف شده را کاهش می دهیم

Mass Transfer Autumn 1390 A. Ghaemi (ahadghaemi@yahoo.com)

همزن مکانیکی تماس گاز - مایع

(a) (b)

Four baffles

Gas in

Gas in

Four baffles

که عدد رینولدز حدود ۱۰۰۰۰ یا بیشتر باشد. مولد جاب درست زیر همزن قرار می گیرد. قطر سوراخ های مولد جاب حدود ۳ تا ۶ میلیمتر می باشد. تعداد آنها طوری انتخاب می شود

Mass Transfer Autumn 1390 A. Ghaemi (ahadghaemi@yahoo.com)

همزن مکانیکی تماس گاز - مایع

Z

b

C

di

T

$Z/T=1$ $b/T=1/12$ $0.3 < di/T < 0.5$ $C/T=1/3$

Mass Transfer Autumn 1390 A. Ghaemi (ahadghaemi@yahoo.com)

قطر حباب، ماندگی در گاز و سطح تماس دو فاز

برای پره های توربینی از نوع تیغه های صاف مدور

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Re}^{0.7} \left(\frac{Nd_i}{V_G} \right)^{0.3} \leq 30000 \\ a_o = 1.44 \left[\left(\frac{P_G}{v_L} \right)^{0.4} \left(\frac{\rho_L}{\sigma^3 g_c} \right)^{0.2} \right] \left(\frac{V_G}{V_t} \right)^{0.5} \end{array} \right.$$

برای قسمت دوم a_0 را از قسمت اول محاسبه می کنیم

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Re}^{0.7} \left(\frac{Nd_i}{V_G} \right)^{0.3} > 30000 \\ \frac{a}{a_0} = 8.33 \times 10^{-5} \times \text{Re}^{0.7} \left(\frac{Nd_i}{V_G} \right)^{0.3} - 1.5 \end{array} \right.$$

قطر حباب

$$d_p = K \left[\left(\frac{V_L}{P_G} \right)^{0.4} \left(\frac{\sigma^3 g_c}{\rho_L} \right)^{0.2} \right] \phi_G^m \left(\frac{\mu_G}{\mu_L} \right)^{0.25}$$

محلول های آبی و الکل ها $K=1.9 \quad m=0.65$ الکترولیت ها $K=2.25 \quad m=0.4$

Mass Transfer Autumn 1390 A. Ghaemi (ahadghaemi@yahoo.com)

ماندگی گاز

$$a_o = 1.44 \left[\left(\frac{P_G}{v_L} \right)^{0.4} \left(\frac{\rho_L}{\sigma^3 g_c} \right)^{0.2} \right] \left(\frac{V_G}{V_t} \right)^{0.5}$$

$$\frac{a}{a_0} = 8.33 \times 10^{-5} \times \text{Re}^{0.7} \left(\frac{Nd_i}{V_G} \right)^{0.3} - 1.5$$

$$d_p = K \left[\left(\frac{V_L}{P_G} \right)^{0.4} \left(\frac{\sigma^3 g_c}{\rho_L} \right)^{0.2} \right] \phi_G^m \left(\frac{\mu_G}{\mu_L} \right)^{0.25}$$

⇒ $a = \frac{6 \phi_G}{d_p}$

ماندگی فاز گاز:

$$\phi_G = \left[0.24 \left(\frac{\mu_G}{\mu_L} \right)^{0.25} \left(\frac{V_G}{V_t} \right)^{1/2} \right]^{1/(1-m)}$$

$$\text{Re}^{0.7} \left(\frac{Nd_i}{V_G} \right)^{0.3} < 30000$$

روابط موجود در منحنی های برای Flat Blade Turbine است.

Mass Transfer Autumn 1390 A. Ghaemi (ahadghaemi@yahoo.com)

سرعت و توان لازم برای همزن

$$\frac{Nd_i}{(\sigma g g_c / \rho_L)^{0.25}} = 1.22 + 1.25(T / d_i)$$

سرعت پرده :

N = سرعت پرده (دور بر ثانیه)

T = قطر مخزن

d_i = قطر پره

توان با گاز

$$\frac{P_G}{P} = \begin{cases} 1 - 12.2 \frac{Q_G}{Nd_i^3} & \frac{\varphi_G}{Nd_i^3} < 0.037 \\ 0.62 - 1.85 \frac{Q_G}{Nd_i^3} & \frac{\varphi_G}{Nd_i^3} > 0.037 \end{cases}$$

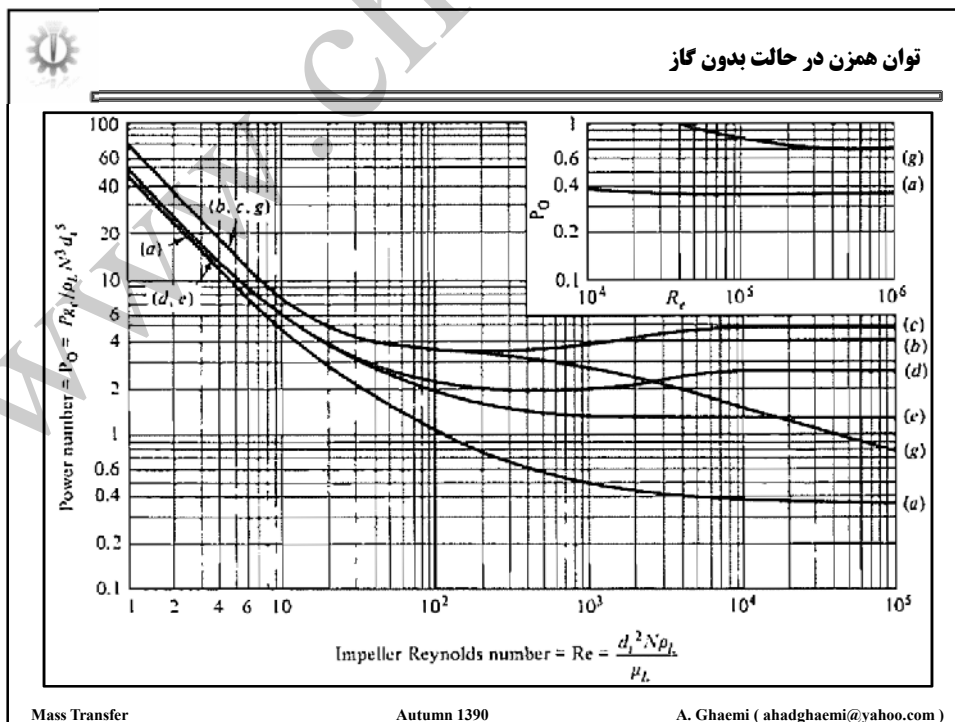
توان بدون گاز

توان همزن

منحنی ۵-۶ بررسی Power Number بر حسب رینولد است.

روابط موجود در منحنی های برای Flat Blade Turbine است.

Mass Transfer
Autumn 1390
A. Ghaemi (ahadghaemi@yahoo.com)





محاسبه ضریب انتقال جرم

تمامی مقاومت در فاز مایع بوده، برای مخازن همزن دار ضریب انتقال جرم از رابطه زیر بدست می آید:

$$Sh_l = 2 + 0.31Ra^{1/3}$$

$$Ra = \frac{d_p^3 \Delta \rho g}{D_L \mu_L}$$

این روابط نشان می دهد که ضریب انتقال جرم تابع توان نمی باشد.

$\Delta \rho$ = اختلاف دانسیته دو فاز

www.chempeca.ir

بنام خدا



عنوان درس

عملیات انتقال جرم

فصل دوازدهم - سیزدهم

برج های سینی دار

Mass Transfer

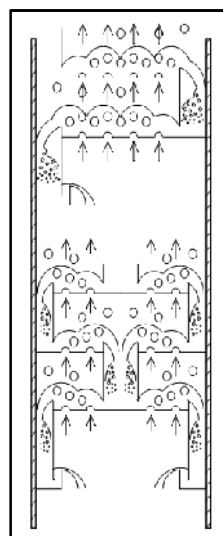
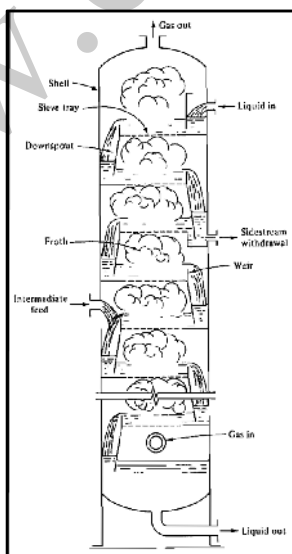
Autumn 1390

A. Ghaemi (ahadghaemi@yahoo.com)



ستون های سینی دار

Tray Column



Mass Transfer

Autumn 1390

A. Ghaemi (ahadghaemi@yahoo.com)

پوسته ستون های سینی دار

Mass Transfer Autumn 1390 A. Ghaemi (ahadghaemi@yahoo.com)

منطقه عملیاتی ستون

شرایط عملیاتی ستون های سینی دار

سرعت مایع

سرعت گاز

ریزش مایع از منافذ
Weeping

طغیان
Flooding

تجم مایع از منافذ
پلچین می ریزد
Dumping

شدت مایع کم
Coning

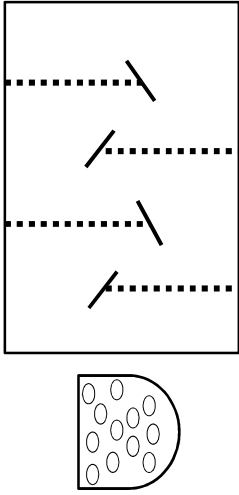
عملیات رضایت بخش

ایجاد کف و انسداد
Priming

مزدگی قطرات مایع در گاز
Excessive entrainment

Mass Transfer Autumn 1390 A. Ghaemi (ahadghaemi@yahoo.com)

برج های سینی دار



سطح مقطع سینی ها

در این برج ها معمولا فاز مایع از بالا وارد برج شده و سپس از طریق مجرائی به نام ناودانی سرریز کرده و به سینی بعدی می رود. گاز نیز از مجراهای روی سینی عبور کرده و با مایع روی سینی ها تماس پیدا می کند.

سطح مقطع سینی ها دایره کامل نیست و مقداری از آن به علت وجود ناودانی ها نصب نمی گردد. قاعدتا سرعت گاز باید به نحوی باشد تا مایع از سوراخ های سینی پایین نریزد. مایع باید در طول سینی با گاز تماس پیدا کند.

در طراحی برج سینی دار ۲ پارامتر طراحی می شود : (قطر برج، ارتفاع برج) که قطر برج تابعی از شدت جریان فاز هاست و ارتفاع برج تابعی از تعداد سینی ها و فاصله بین آنها می باشد. تعداد سینی های واقعی و بازدهی به تعداد سینی های ایده ال بستگی دارد.

Mass Transfer Autumn 1390 A. Ghaemi (ahadghaemi@yahoo.com)

مشخصات عمومی و طراحی اجزاء ستون های سینی دار

مشخصات عمومی

- ۱- پوسته و سینی ها
- ۲- فواصل سینی ها
- ۳- قطر برج
- ۴- مجاری ریزش مایع
- ۵- بندها
- ۶- حرکت مایع

طراحی اجزاء ستون های سینی دار

- ۱- طراحی سینی
- ۲- قطر برج
- ۳- عمق مایع
- ۴- بندها
- ۵- افت فشار گاز
- ۶- ارتفاع مایع در محل ریزش مایع دو سینی
- ۷- ریزش مایع از منافذ
- ۸- ماندگی مایع

Mass Transfer Autumn 1390 A. Ghaemi (ahadghaemi@yahoo.com)

پوسته ستون های سینی دار

بر حسب شرایط عملیاتی و خوردگی می توان از انواع مواد ماندند:

- ۱- شیشه
- ۲- فلزات با آستر شیشه ای
- ۳- کربن نفوذ ناپذیر
- ۴- پلاستیک
- ۵- چوب

و ... استفاده کرد.

شکل ستون اغلب استوانه ای بوده و دارای دریچه هائی جهت تمیز کردن ستون می باشد.

در ستون های بزرگ صنعتی از دریچه های manway استفاده می شود.

Mass Transfer

Autumn 1390

A. Ghaemi (ahadghaemi@yahoo.com)

سینی ها

سینی ها از ورق های فلزی و در بعضی موارد از آلیاژهای بخصوصی استفاده می شود. ضخامت سینی ها با توجه به میزان خوردگی تعیین می شود. سینی ها به بدنه برج با فاصله (جهت انبساط حرارتی سینی ها) وصل می شوند تا حرکت نکنند.

در سینی های بزرگ سینی ها از چند تک درست شده اند تا براحتی بتوان از سینی ها به سینی های دیگر راه یافت.

سینی ها با اختلاف ۶ میلیمتر در دو انتها تراز می شوند تا توزیع مایع روی سینی به درستی انجام شود.

فواصل سینی ها بر مبنای شرایط ساخت، نگهداری و هزینه دستگاہ انتخاب می شود و بعد این فاصله برای پدیده های طغیان و ماندگی بررسی می شود. در جدول فواصل ذکر شده است.

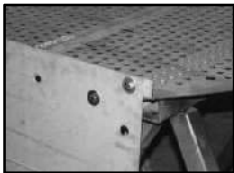
Tower diameter, D , m	Tray spacing, t , m
1 or less	0.50
1 - 3	0.60
3 - 4	0.75
4 - 8	0.90

Mass Transfer


Autumn 1390

A. Ghaemi (ahadghaemi@yahoo.com)


انواع سینی ها



سینی های غربالی (Sieve Tray)

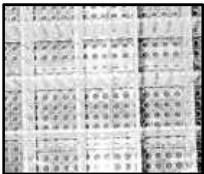


سینی های کلاهکی (Bubble Cap Tray)




سینی های دریچه ای (Valve Tray)

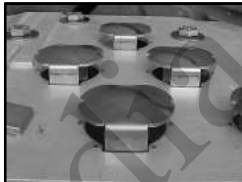
ثابت



High speed Sieve Trays



High speed Swirl Cyclone Trays



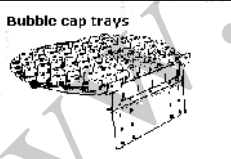
سینی های دریچه ای (Valve Tray)

متحرک

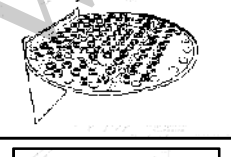
Mass Transfer Autumn 1390 A. Ghaemi (ahadghaemi@yahoo.com)

نحوه ایجاد تماس بین دو فاز

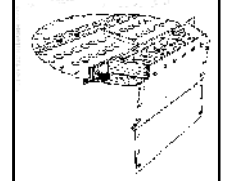
Bubble cap trays

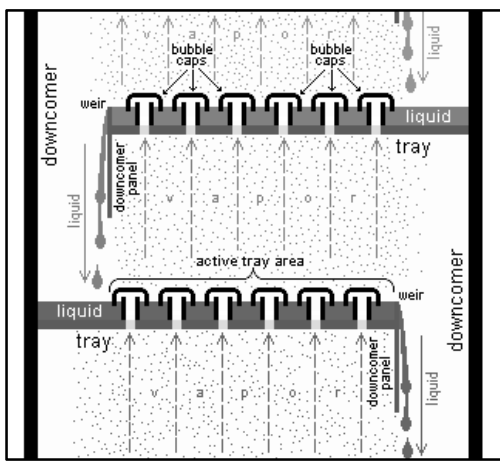


valve trays



sieve trays






Mass Transfer Autumn 1390 A. Ghaemi (ahadghaemi@yahoo.com)

سرعت گاز

قطر برج یا سطح مقطع برج باید طوری انتخاب شود که بتواند شدت جریان های گاز و مایع را در محدوده عملیاتی مطمئن بدون بروز اشکالاتی از خود عبور دهد (صفحه بعد).

برای انواع سینی ها سرعت ظاهری در حالت طغیان

$$V_F = C_F \sqrt{\frac{\rho_L - \rho_G}{\rho_G}}$$



C_F تابع نوع سینی می باشد. در حالت عملیاتی V سرعت ظاهری حدود ۷۵٪ سرعت V_F می باشد

V_F : سرعت ظاهری گاز (شدت حجمی گاز Q به ازای سطح مقطع خالص جریان A_n)

در سینی ها سطح مقطع A_n برابر با سطح مقطع کل برج A_t منهای سطوح محل ریزش می باشد. در سینی ها محل ریزش A_d می باشد.

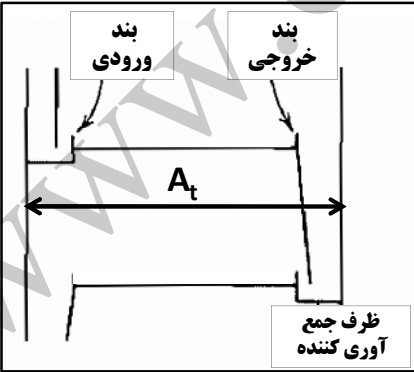
سرعت مجاز را به گونه ای تعیین می کنند که از سرعت طغیان کمتر باشد، معمولاً بین ۷۰٪ تا ۹۰٪ که بستگی به نوع برج دارد.

Mass Transfer
Autumn 1390
A. Ghaemi (ahadghaemi@yahoo.com)

مجاری ریزش مایع Downspouts

انتقال مایع از یک سینی به سینی پائین تر آن از طریق مجرای ریزش مایع انجام می گیرد.

عرض بند ۷۰-۸۰٪ قطر برج




انتقال مایع از یک سینی به سینی پائین تر آن از طریق مجرای ریزش مایع انجام می گیرد.

عرض بند ۷۰-۸۰٪ قطر برج

Weir length W	Distance from center of tower	Tower area X used by one downspout, %
0.55T	0.4181T	3.877
0.60T	0.3993T	5.257
0.65T	0.2516T	6.899
0.70T	0.3562T	8.808
0.75T	0.3296T	11.255
0.80T	0.1991T	14.145

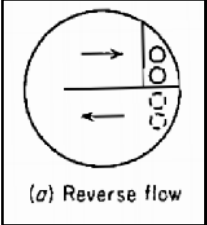
$A_d = xA_t$

Mass Transfer
Autumn 1390
A. Ghaemi (ahadghaemi@yahoo.com)

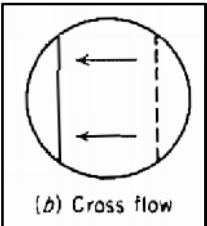


Tray Arrangements

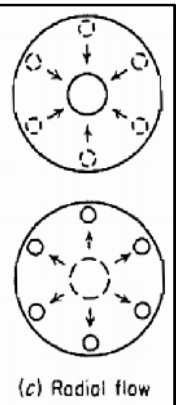
نحوه حرکت مایع در سینی



(a) Reverse flow



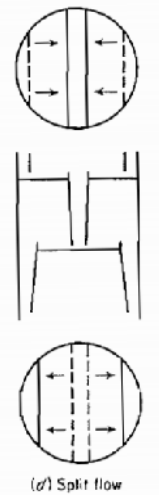
(b) Cross flow



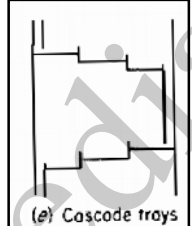
(c) Radial flow

تعداد محل ریزش به قطر وابسته است
سعی می شود مسیر حرکت مایع در
روی سینی بیشتر شود.

برای سینی های
کلاهکی




(d) Split flow



(e) Cascade trays

مداول

Mass Transfer
Autumn 1390
A. Ghaemi (ahadghaemi@yahoo.com)

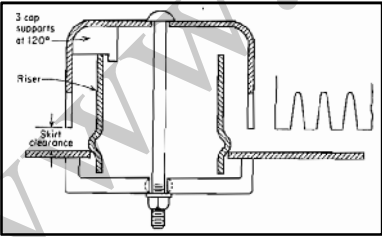
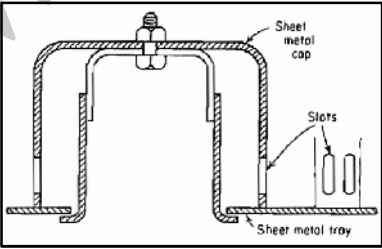


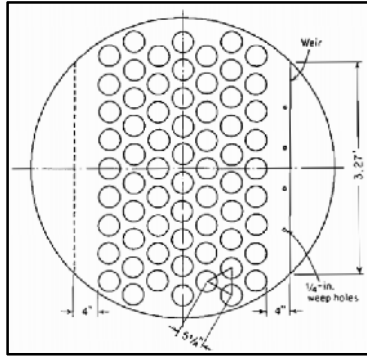
نحوه ایجاد تماس بین دو فاز

سینی های کلاهکی

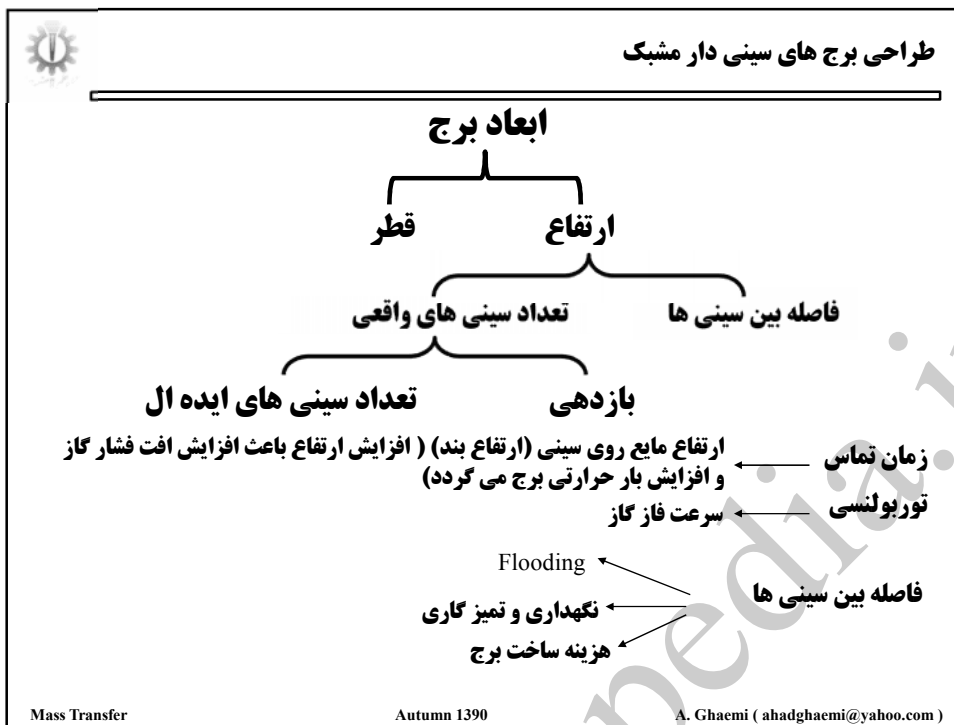
سینی های مشبک

اطلاعات طراحی برای سینی های مشبک ارائه شده
است.



Mass Transfer
Autumn 1390
A. Ghaemi (ahadghaemi@yahoo.com)



قطر برج

$$V_F = C_F \left(\frac{\rho_L - \rho_G}{\rho_G} \right)^{1/2}$$

C_F بر اساس نتایج تجربی در حالت طغیان محاسبه می شود.
از روی سرعت قطر محاسبه می شود.

$$C_F = \left[\alpha \log \frac{1}{(L'/G')(\rho_G/\rho_L)^{0.5}} + \beta \right] \left(\frac{\sigma}{0.020} \right)^{0.2}$$

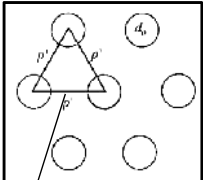
ثوابت معادله در جدول آمده است:

1. Flooding constant C_F [Eqs. (6.29) and (6.30)], $d_s < 6 \text{ mm}$ ($\frac{1}{4} \text{ in}$)						
Range of A_o	Range of $\frac{L'}{G'} \left(\frac{\rho_G}{\rho_L} \right)^{0.5}$	Units of t	Units of σ	Units of V_F	α, β	
<p>سطح منافذ A_o سطح فعال سینی A_s</p>	> 0.1	0.01-0.1, use values at 0.1	m	N/m	m/s	$\alpha = 0.0744t + 0.01173$ $\beta = 0.0304t + 0.015$
	0.1-1.0	m	dyn/cm $\times 10^{-3}$	ft/s	$\alpha = 0.0062t + 0.0385$ $\beta = 0.00253t + 0.050$	
< 0.1	Multiply α and β by $5A_o/A_s + 0.5$					

Mass Transfer Autumn 1390 A. Ghaemi (ahadghaemi@yahoo.com)

اندازه منافذ و سطح فعال

قطر منافذ عموماً ۳ الی ۱۲ میلی متر انتخاب می شود. قطر ۲.۵ میلیمتر متداول می باشد. ضخامت سینی های مشبک معمولاً نصف قطر منافذ می باشد.



Pitch= 2.5-5 mm

$$\frac{A_e}{A_u} = \frac{\text{hole area}}{\text{active area}} = 0.907 \left(\frac{d_0}{p'} \right)^2$$

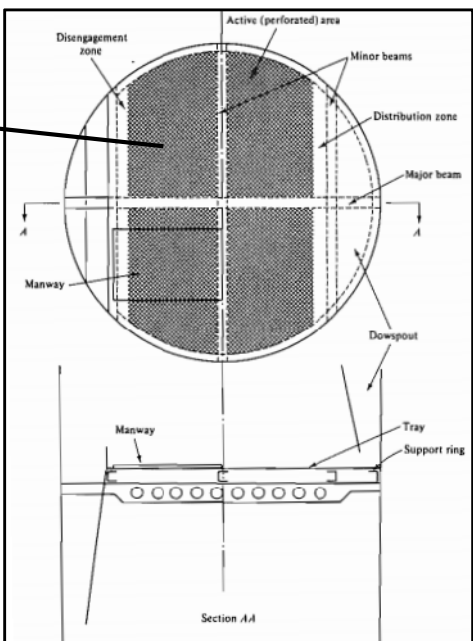
2. Hole diameter and plate thickness

Hole diameter		Plate thickness/hole diameter	
mm	in	Stainless steel	Carbon steel
3.0	1/8	0.65	
4.5	2/16	0.43	
6.0	1/4	0.32	
9.0	3/8	0.22	0.5
12.0	1/2	0.16	0.38
15.0	5/8	0.17	0.3
18.0	3/4	0.11	0.25

Mass Transfer Autumn 1390 A. Ghaemi (ahadghaemi@yahoo.com)

A_a سطح فعال

سطح فعال سطحی است که در انتقال جرم شرکت می کند.

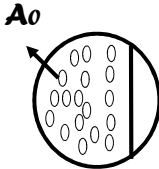


Section AA

Mass Transfer Autumn 1390 A. Ghaemi (ahadghaemi@yahoo.com)

اندازه منافذ و سطح فعال

برای طراحی سینی مشبک اگر فاصله بین سوراخ ها ۲ تا ۵ برابر قطر آن ها باشد در اینصورت نسبت مساحت سوراخ ها به مساحت سینی از روابط زیر حاصل می شود .



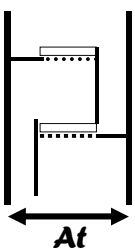
A_0

نوع مثلی

$$\frac{A_0}{A_a} = 0.907 \left(\frac{d_0}{P'} \right)^2$$

نوع مربعی

$$\frac{A_0}{A_a} = 0.785 \left(\frac{d_0}{P'} \right)^2$$



A_t

$$A_n = A_t - A_d$$

A_d سطح مقطع محل ریزش

A_n : سطح مقطع خالص جریان گاز

$$G = V_G \times A_n$$


شدت حجمی گاز

سطح مقطع فعال

با افزایش قطر برج نسبت سطح فعال به سطح مقطع برج بیشتر می شود.

Typical active area		
Tower diameter		$\frac{A_a}{A_t}$
m	ft	
1	3	0.65
1.25	4	0.70
2	6	0.74
2.5	8	0.76
3	10	0.78

Mass Transfer Autumn 1390 A. Ghaemi (ahadghaemi@yahoo.com)

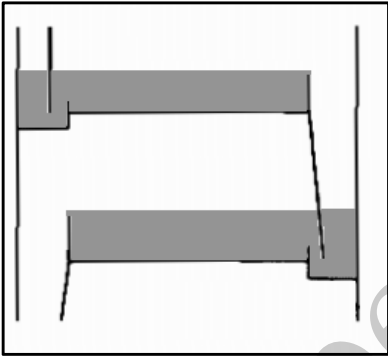


عمق مایع در روی سینی

عمق مایع نباید کمتر از ۵۰ میلیمتر باشد در غیر این صورت پراکندگی فاز گاز خوب انجام نخواهد گرفت. عمق تا ۱۵۰ میلیمتر دیده شده ولی مناسب ترین عمق ۱۰۰ میلی متر می باشد.

3. Liquid depth

50 mm (2 in) minimum, 100 mm (4 in) maximum



Mass Transfer Autumn 1390 A. Ghaemi (ahadghaemi@yahoo.com)

Tower diameter T		Tray spacing t	
m	ft	m	in
1 or less	4 or less	0.15	6 minimum
1-3	4-10	0.50	20
3-4	10-12	0.60	24
4-6	12-24	0.75	30
		0.90	36

2. Liquid flow

a. Not over $0.015 \text{ m}^3/(\text{m diam}) \cdot \text{s}$ ($0.165 \text{ ft}^3/(\text{ft} \cdot \text{s})$) for single-pass cross-flow trays
 b. Not over $0.032 \text{ m}^3/(\text{m weir length}) \cdot \text{s}$ ($0.35 \text{ ft}^3/(\text{ft} \cdot \text{s})$) for others

3. Downspout seal

a. Vacuum, 5 mm minimum, 10 mm preferred ($\frac{1}{4}$ - $\frac{1}{2}$ in)
 b. Atmospheric pressure and higher, 25 mm minimum, 40 mm preferred (1-1.5 in)

4. Weir length for straight, rectangular weirs, cross-flow trays, 0.6T to 0.8T, 0.7T typical

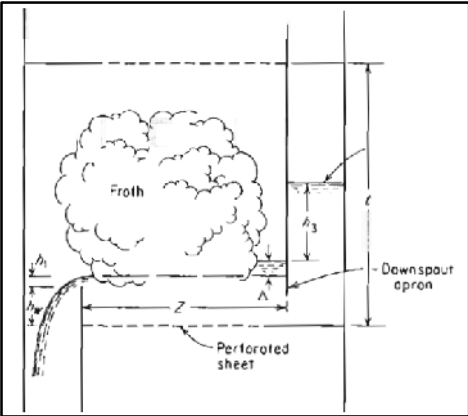
Weir length W	Distance from center of tower	Tower area used by one downspout, %
0.55T	0.4181T	3.877
0.60T	0.3993T	5.257
0.65T	0.2516T	6.899
0.70T	0.3562T	8.808
0.75T	0.3296T	11.255
0.80T	0.1991T	14.145

5. Typical pressure drop per tray

Total pressure	Pressure drop
35 mmHg abs	3 mmHg or less
1 std atm	500-800 N/m ² (0.07-0.12 lb _f /in ²)
$2 \times 10^6 \text{ N/m}^2$	1000 N/m ²
300 lb _f /in ²	0.15 lb _f /in ²

Mass Transfer Autumn 1390 A. Ghaemi (ahadghaemi@yahoo.com)

ارتفاع قوس مایع



**محاسبه ارتفاع قوس مایع روی بند
از معادله فرانسویس:**

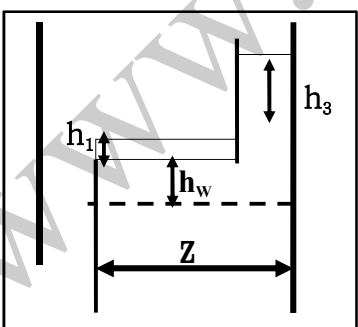
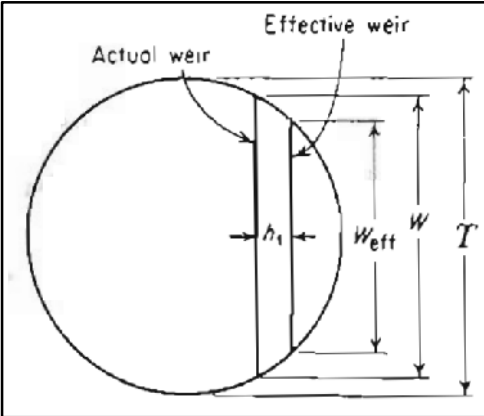
$$\frac{q}{W_{eff}} = 1.839 h_1^{3/2}$$

$$h_1 = 0.666 \left(\frac{q}{w} \right)^{2/3} \left(\frac{w}{W_{eff}} \right)^{2/3}$$

**h₁ : قوس مایع روی بند بر حسب متر
q : شدت جریان مایع بر حسب m³/s
W_{eff} : طول موثر بند بر حسب متر**

Mass Transfer Autumn 1390 A. Ghaemi (ahadghaemi@yahoo.com)

طول موثر بند

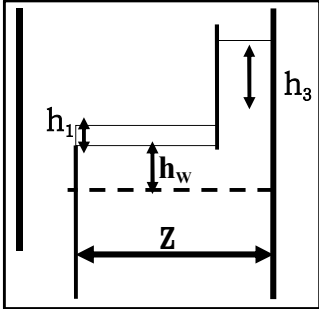



$$\left(\frac{W_{eff}}{W} \right)^2 = \left(\frac{T}{W} \right)^2 - \left\{ \left[\left(\frac{T}{W} \right)^2 - 1 \right]^{0.5} + \frac{2h_1}{T} \frac{T}{W} \right\}^2$$

Mass Transfer Autumn 1390 A. Ghaemi (ahadghaemi@yahoo.com)

افت فشار گاز

برای سهولت در محاسبات کلیه افت فشارهای مربوط به فاز گاز را می توان بر حسب ارتفاع مایع صاف با جرم حجمی ρ_L در روی سینی نشان داد.



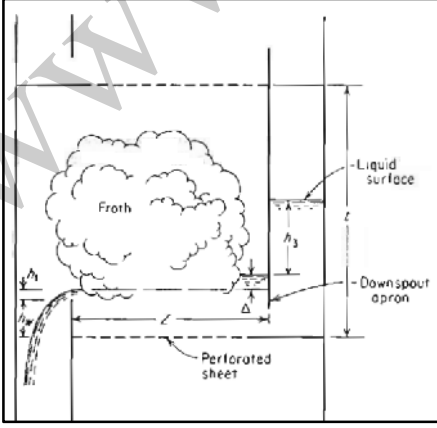
$$h_G = h_D + h_L + h_R$$

h_G افت فشار گاز مجموع اثرات حرکت گاز از درون صفحه خشک و نیز افت فشارهای دیگر را در اثر حضور مایع در بر می گیرد.

Mass Transfer Autumn 1390 A. Ghaemi (ahadghaemi@yahoo.com)

افت فشار گاز

$$h_G = h_D + h_L + h_R$$



h_D : افت فشار گاز در اثر عبور گاز از سینی خشک

h_L : افت فشار ناشی از عمق مایع در روی سینی

h_R : افت فشار در اثر عوامل دیگر

Mass Transfer Autumn 1390 A. Ghaemi (ahadghaemi@yahoo.com)



افت فشار گاز در سینی خشک h_D

این افت فشار شامل اصطکاک حاصله در اثر ورود گاز به سینی، عبور گاز از منافذ سینی که به شکل لوله های کوتاهی هستند و خروج گاز از منافذ می گردد.

$$\frac{2h_D g \rho_L}{V_O^2 \rho_G} = C_0 \left[0.4 \left(1.25 - \frac{A_0}{A_n} \right) + \frac{4lf}{d_0} + \left(1 - \frac{A_0}{A_n} \right)^2 \right]$$

f ضریب اصطکاک فینگ که از نمودار بدست می آید. C_0 ضریب روزنه که بستگی به ضخامت صفحه به قطر منافذ دارد.

$$C_0 = 1.09 \left(\frac{d_0}{l} \right)^{0.25} \quad \frac{l}{d_0} = 0.2 \text{ to } 2.0$$

Mass Transfer

Autumn 1390

A. Ghaemi (ahadghaemi@yahoo.com)



افت فشار ناشی از اثر ارتفاع مایع در روی سینی

در منطقه صفحه مشبک عمق مایع صاف باعث ایجاد افت فشار در گاز می شود.

$$h_L = 6.10 \times 10^{-3} + 0.725 h_W - 0.238 h_W V_a \rho_G^{0.5} + 1.225 \frac{q}{z} \quad V_a = \frac{Q_G}{A_a}$$

که در آن z متوسط عرض جریان مایع بوده می توان آن را بصورت $z=(T+W)/2$ در نظر گرفت. V_a بر مبنای A_a می باشد.

افت فشار گاز مربوط به عوامل دیگر

$$\frac{\pi d_p^2}{4} \Delta p_B = \pi d_p \sigma$$

$$h_R = \frac{6\sigma g_c}{\rho_L d_0 g}$$

شامل: کشش سطحی مایع بصورت مقاومتی در مقابل خروج حباب ها از منافذ عمل می نماید. برای یک حباب گاز ساکن با برقراری موازنه نیروهای داخلی می توان نیروی لازم برای مقابله با نیروهای مربوط به کشش سطحی را بدست آورد:

Mass Transfer

Autumn 1390

A. Ghaemi (ahadghaemi@yahoo.com)

افت فشار در محل ورودی مایع به سینی h_2

ورودی مایع از محل ریزش به روی سینی سبب بروز افت فشاری خواهد گردید. که می توان آن را معادل ۳ برابر افت فشار ناشی از سرعت در نظر گرفت.

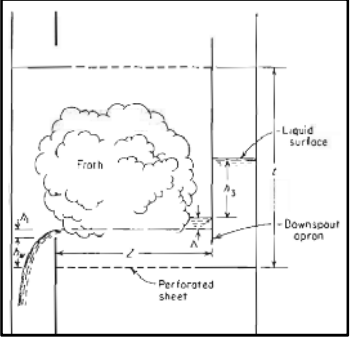
$$h_2 = \frac{3}{2g} \left(\frac{q}{A_{da}} \right)^2$$

A_{da} : برابر سطح مقطع محل ریزش مایع می باشد.

ارتفاع مایع در محل ریزش مایع بین دو سینی:

$$h_3 = h_G + h_2$$

در طراحی مطمئن باید کل افت فشارها کمتر از نصف فاصله دو سینی باشد:

$$h_w + h_1 + h_3 < \frac{t}{2}$$


Mass Transfer Autumn 1390 A. Ghaemi (ahadghaemi@yahoo.com)

ریزش مایع از منافذ weeping

اگر سرعت گاز کمتر از مقدار لازم شود باعث ریزش مایع از منافذ خواهد شد. بنابراین باید حداقل سرعت برای گاز محاسبه شود:

$$\frac{V_{ow} \mu_G}{\sigma g_c} = 0.0229 \left(\frac{\mu_G^2}{\sigma g_c \rho_G d_o} \frac{\rho_L}{\rho_G} \right)^{0.379} \left(\frac{l}{d_o} \right)^{0.293} \left(\frac{2A_d d_o}{\sqrt{3} p^3} \right)^{2.8} (z/d_o)^{0.724}$$

ماندگی فاز مایع:

وقتی مایع به همراه گاز از یک سینی به سینی بالاتر حمل شود. این مقدار مایع در سینی بالائی جمع شده و تکرار این پدیده باعث تجمع مایع در سینی های فوقانی می شود.

مول مایع مانده بر سطح بر زمان

$$E = \frac{\text{مول مایع مانده بر سطح بر زمان}}{\text{مول مایع مانده بر سطح بر زمان} + L}$$

Mass Transfer Autumn 1390 A. Ghaemi (ahadghaemi@yahoo.com)

مثال :

یک محلول آب دار متانول را با استفاده از بخار در یک برج سینی دار مشبک تفکیک می کنند. شرایط انتخاب شده برای طراحی به قرار زیر است:

$$V = 0.1 \text{ kmol/s}, 18 \text{ mol \% methanol}$$

$$L = 0.25 \text{ kmol/s}, 15 \text{ mass \% methanol}$$

$$T = 95 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$P = 1 \text{ atm}$$

یک برج سینی دار با یک مجرای ریزش را طراحی کنید.

حل:

$$M_{\text{methanol}} = 32$$

$$M_{\text{water}} = 18$$

$$M_{G,ave} = 0.18(32) + 0.82(18) = 20.5 \text{ kg/kmol}$$

Mass Transfer Autumn 1390 A. Ghaemi (ahadghaemi@yahoo.com)

مثال :

خصوصیات فاز گاز و مایع:

$$M_{G,ave} = 20.5 \text{ kg/kmol}$$

$$\rho_G = \frac{20.5}{22.41} \frac{273}{273 + 95} = 0.679 \text{ kg/m}^3 = \text{gas density}$$

$$Q = 0.10(22.41) \frac{273 + 95}{273} = 3.02 \text{ m}^3/\text{s} = \text{vapor rate}$$

دانسیتة مایع

$$\rho_L = 961 \text{ kg/m}^3 = \text{liquid density}$$

جرم مولکولی متوسط

$$Av \text{ mol wt liquid} = \frac{100}{15/32 + 85/18} = 19.26 \text{ kg/kmol}$$

دبی حجمی مایع :

$$q = \frac{0.25(19.26)}{961} = 5.00 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s} = \text{liquid rate}$$

قطر منافذ بین ۳ الی ۱۲ میلیمتر انتخاب می شود. متداولترین قطر منافذ $d_0 = 4.5 \text{ mm}$ انتخاب می شود.

Mass Transfer Autumn 1390 A. Ghaemi (ahadghaemi@yahoo.com)

مثال :

$$\frac{A_o}{A_a} = \frac{\text{hole area}}{\text{active area}} = 0.907 \left(\frac{d_o}{p'} \right)^2$$

اندازه گام (فاصله بین مراکز منافذ) بین ۲/۵ الی ۵ برابر قطر اختیار می شود. فاصله مراکز منافذ ۱۲ میلیمتر اختیار می شود.

$$\frac{A_o}{A_a} = \frac{0.907(0.0045)^2}{(0.012)^2} = 0.1275$$

ضخامت معمولاً نصف قطر انتخاب می شود. اینجا ۲ میلیمتر اختیار می شود.

فاصله سینی ها

Tower diameter T		Tray spacing t	
m	ft	m	in
1 or less	4 or less	0.15	6 minimum
1-3	4-10	0.50	20
3-4	10-12	0.60	24
4-8	12-24	0.75	30
		0.90	36

با عنایت به تجربه فرض می شود که فاصله سینی ها 0.5 متر باشد.

$t = 0.50 \text{ m}$

Mass Transfer Autumn 1390 A. Ghaemi (ahadghaemi@yahoo.com)

قطر برج :

$$\frac{A_o}{A_a} = \frac{0.907(0.0045)^2}{(0.012)^2} = 0.1275$$

$$\frac{L' \left(\frac{\rho_G}{\rho_L} \right)^{0.5}}{G'} = \frac{q \rho_L \left(\frac{\rho_G}{\rho_L} \right)^{0.5}}{Q \rho_G} = \frac{q \left(\frac{\rho_L}{\rho_G} \right)^{0.5}}{Q} = \frac{5.00 \times 10^{-3} \left(\frac{961}{0.679} \right)^{0.5}}{3.02} = 0.0622$$

$\alpha = 0.0744(0.50) + 0.01173 = 0.0489$
 $\beta = 0.0304(0.50) + 0.015 = 0.0302$

$C_F = \left[\alpha \log \frac{1}{(L'/G')(\rho_G/\rho_L)^{0.5}} + \beta \right] \left(\frac{\sigma}{0.020} \right)^{0.2}$
 $C_F = \left(0.04893 \log \frac{1}{0.1} + 0.0302 \right) \left(\frac{0.040}{0.020} \right)^{0.2} = 0.0909$

Range of $\frac{A_o}{A_a}$	Range of $\frac{L' \left(\frac{\rho_G}{\rho_L} \right)^{0.5}}{G'}$	Units of t	Units of σ	Units of V_F	α, β
> 0.1	0.01-0.1, use values at 0.1	m	N/m	m/s	$\alpha = 0.0744t + 0.01173$ $\beta = 0.0304t + 0.015$
		in	dyn/cm $\times 10^{-3}$	ft/s	$\alpha = 0.00627t + 0.0385$ $\beta = 0.00253t + 0.050$

$$V_F = C_F \left(\frac{\rho_L - \rho_G}{\rho_G} \right)^{1/2} \quad V_F = 0.0909 \left(\frac{961 - 0.679}{0.679} \right)^{0.5} = 3.42 \text{ m/s at flooding}$$

سرعت گاز را ۸۰ درصد سرعت طغیان در نظر می گیریم: $V = 0.8(3.42) = 2.73 \text{ m/s}$

Mass Transfer Autumn 1390 A. Ghaemi (ahadghaemi@yahoo.com)

مثال :

$$Q = 0.10(22.41) \frac{273 + 95}{273} = 3.02 \text{ m}^3/\text{s} = \text{vapor rate}$$

$$V = 0.8(3.42) = 2.73 \text{ m/s}, \quad \Rightarrow \quad A_n = \frac{Q}{V} = \frac{3.02}{2.73} = 1.106 \text{ m}^2$$

برای ایجاد توزیع نسبتاً یکنواخت مایع در یک سینی با یک محل ریزش مایع، عرض بند باید در حدود ۶۰ الی ۸۰ درصد قطر برج اختیار شود. اینجا ۷۰ درصد انتخاب می شود.

4. Weir length for straight, rectangular weirs, cross-flow trays, 0.67 to 0.87, 0.77 typical

Weir length W	Distance from center of tower	Tower area used by one downspout, %
0.55 T	0.4181 T	3.877
0.60 T	0.3993 T	5.257
0.65 T	0.2516 T	6.899
0.70 T	0.3562 T	8.808
0.75 T	0.3296 T	11.255
0.80 T	0.1991 T	14.145

$A_d = 8.808 A_t$
 $W = 0.7T$

$$A_t - A_d = A_n \quad A_d = 8.808 A_t \quad A_t(1 - 0.0808) = 1.106 \quad \Rightarrow \quad A_t = 1.213 \text{ m}^2$$

Mass Transfer Autumn 1390 A. Ghaemi (ahadghaemi@yahoo.com)

مثال :

$$T = [4(1.213)/\pi]^{0.5} = 1.243 \text{ m}, \quad T = 1.25 \text{ m} \rightarrow A_t = \pi(1.25)^2 / 4 = 1.227 \text{ m}^2$$

$$\Rightarrow W = 0.7(1.25) = 0.875 \text{ m (final)}$$

طول بند:

سطح ریزش مایع:

$$A_d = 0.088(1.227) = 0.1080 \text{ m}^2 \text{ downspout cross section}$$

$$A_a = A_t - 2A_d - \text{area taken by (tray support + disengaging and distributing zones)}$$

$$A_a = 1.227 - 2(0.1080) - 0.222 = 0.789 \text{ m}^2 \text{ for perforated sheet}$$

سطح مشبک:

Mass Transfer Autumn 1390 A. Ghaemi (ahadghaemi@yahoo.com)

قوس مایع روی بند h_1 و ارتفاع بند h_w

$$\frac{q}{W} = \frac{5.00 \times 10^{-3}}{0.875} = 5.71 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{m} \cdot \text{s} \quad \Rightarrow \quad h_1 = 25 \text{ mm} = 0.025 \text{ m}$$

$$\frac{q}{W_{\text{eff}}} = 1.839 h_1^{3/2}$$

$h_1/T = 0.025/1.25 = 0.02$

$T/W = 1/0.7 = 1.429$

$$\left(\frac{W_{\text{eff}}}{W}\right)^2 = \left(\frac{T}{W}\right)^2 - \left\{ \left[\left(\frac{T}{W}\right)^2 - 1\right]^{0.5} + \frac{2h_1}{T} \frac{T}{W} \right\}^2 \quad W_{\text{eff}}/W = 0.938$$

$$h_1 = 0.666 \left(\frac{q}{W}\right)^{\frac{2}{3}} \left(\frac{W}{W_{\text{eff}}}\right)^{\frac{2}{3}} \quad \Rightarrow \quad h_1 = 0.0203 \text{ m}$$

$$h_w = 50 \text{ mm} = 0.05 \text{ m}$$

Mass Transfer Autumn 1390 A. Ghaemi (ahadghaemi@yahoo.com)

افت فشار گذار دو سینی خشک h_D

$$C_o = 1.09 \left(\frac{d_o}{l}\right)^{0.25} \quad \Rightarrow \quad C_o = 1.09(0.0045/0.002)^{0.25} = 1.335$$

$$A_o = 0.1275 A_n = 0.1275(0.789) = 0.1006 \text{ m}^2$$

$$V_o = \frac{Q}{A_o} = \frac{3.02}{0.1006} = 30.0 \text{ m/s} \quad \text{سرعت در منافذ:}$$

$$\mu_G = 0.0125 \text{ cP} = 1.25 \times 10^{-5} \text{ kg/m} \cdot \text{s} \quad \text{رینولدز در منافذ:}$$

$$\text{Hole Reynolds number} = \frac{d_o V_o \rho_G}{\mu_G} = \frac{0.0045(30.0)(0.679)}{1.25 \times 10^{-5}} = 7330$$

$$f = 0.008 \quad l = 0.002 \text{ m} \quad \text{ضریب اصطکاک از هندبوک مهندسی شیمی:}$$

$$g = 9.807 \text{ m}^2/\text{s}$$

$$\frac{2h_D g \rho_L}{V_o^2 \rho_G} = C_o \left[0.4 \left(1.25 - \frac{A_o}{A_n} \right) + \frac{4lf}{d_o} + \left(1 - \frac{A_o}{A_n} \right)^2 \right] \quad h_D = 0.0564 \text{ m}$$

Mass Transfer Autumn 1390 A. Ghaemi (ahadghaemi@yahoo.com)

ارتفاع معادل مایع روی سینی ها h_L

$$V_a = \frac{Q}{A_a} = \frac{3.01}{0.789} = 3.827 \text{ m/s}$$

$$h_W = 50 \text{ mm} = 0.05 \text{ m}$$

$$z = \frac{T + W}{2} = \frac{1.25 + 0.875}{2} = 1.063 \text{ m}$$

$$h_L = 6.10 \times 10^{-3} + 0.725h_W - 0.238h_W V_a \rho_G^{0.5} + 1.225 \frac{q}{z}$$

$$\Rightarrow h_L = 0.0106 \text{ m}$$

Mass Transfer Autumn 1390 A. Ghaemi (ahadghaemi@yahoo.com)

افت فشار عوامل دیگر

$$h_R = \frac{6\sigma g_c}{\rho_L d_0 g} \Rightarrow h_R = \frac{6(0.04)(1)}{961(0.0045)(9.807)} = 5.66 \times 10^{-3} \text{ m}$$

کل افت فشار فاز گاز:

$$h_G = h_D + h_L + h_R$$

$$\Rightarrow h_G = 0.0564 + 0.0106 + 5.66 \times 10^{-3} = 0.0727 \text{ m}$$

افت فشار مایع هنگام ورود به سینی h_2 :

$$h_W - 0.025 = 0.025 \text{ m}$$

سطح زیر لبه:

$$A_{da} = 0.0219 \text{ m}^2$$

$$h_2 = \frac{3}{2g} \left(\frac{q}{A_{da}} \right)^2 \Rightarrow h_2 = \frac{3}{2(9.807)} \left(\frac{5.0 \times 10^{-3}}{0.0219} \right)^2 = 7.97 \times 10^{-3} \text{ m}$$

Mass Transfer Autumn 1390 A. Ghaemi (ahadghaemi@yahoo.com)

ارتفاع مایع در محل ریزش مایع بین دو سینی h_3

$$h_3 = h_G + h_2$$

$$h_3 = 0.0727 + 7.97 \times 10^{-3} = 0.0807 \text{ m}$$

در طراحی مطمئن باید کل افت فشار ها کمتر از نصف فاصله دو سینی باشد:

$$h_w + h_1 + h_3 < \frac{t}{2} \Rightarrow h_w + h_1 + h_3 = 0.1512,$$

$$t/2 = 0.25 \text{ m.}$$

این ارتفاع باید از نصف فاصله سینی ها کمتر باشد.

Mass Transfer Autumn 1390 A. Ghaemi (ahadghaemi@yahoo.com)

سرعت ریزش مایع از منافذ:

4. Weir length for straight, rectangular weirs, cross-flow trays, 0.6T to 0.8T, 0.7T typical

Weir length W	Distance from center of tower	Tower area used by one downspout, %
0.55T	0.4181T	3.877
0.60T	0.3993T	5.257
0.65T	0.2516T	6.899
0.70T	0.3562T	8.808
0.75T	0.3296T	11.255
0.80T	0.1991T	14.145

$W/T = 0.7$

$$0.3562 \times 1.25 = 0.445$$

فاصل از مرکز ستون:

$$z = 2(0.445) = 0.89 \text{ m}$$

$$\frac{V_{ow} \mu_G}{\sigma g_c} = 0.0229 \left(\frac{\mu_G^2 \rho_L}{\sigma g_c \rho_G d_o \rho_G} \right)^{0.379} \left(\frac{l}{d_o} \right)^{0.293} \left(\frac{2A_a d_o}{\sqrt{3} p^3} \right)^{2.8} (z/d_o)^{0.724}$$

$$\Rightarrow V_{ow} = 8.71 \text{ m/s.}$$

Mass Transfer Autumn 1390 A. Ghaemi (ahadghaemi@yahoo.com)

ماندگی مایع در گاز

$$\frac{L'}{G'} \left(\frac{\rho_G}{\rho_L} \right)^{0.5} = 0.0622$$

$$\frac{V}{V_F} = 0.8$$

→ $E = 0.05$

Mass Transfer Autumn 1390 A. Ghaemi (ahadghaemi@yahoo.com)

بازدهی سینی

چون نقطه به نقطه غلظت مایع و گاز تغییر می کند لذا بازدهی یک سینی در حقیقت بیان متوسطی از بازدهی های موضعی است.

$$E_{OG} = \frac{y_{n+1} - y_n}{y_{n+1} - y_n^*} = \left[1 - e^{-K_s a h_L / G} \right] = 1 - e^{-N_{toG}}$$

N_{toG} = تعداد واحدهای جمعی انتقال برای فاز گاز

با توجه به معادله با افزایش N_{toG} شرایط سینی به حالت ایده ال نزدیک تر می شود.
اگر یک سینی را به واحد هایی که در آن انتقال جرم صورت می گیرد تفکیک کنیم هرچه تعداد واحدها بیشتر باشد سینی به سینی تعادلی نزدیک تر می گردد

Mass Transfer Autumn 1390 A. Ghaemi (ahadghaemi@yahoo.com)



بازدهی مورفری

اگر برای شکل اسلاید قبل از غلظت های متوسط استفاده کنیم بازدهی جدیدی به نام مورفری بدست می آید. بازدهی مورفری در اصل از انتگرال گیری از بازدهی موضعی بدست آمده باشد، که رابطه بین این دو بازدهی بستگی به شرایط مختلف مربوط به دو فاز و نحوه تغییرات آن ها در روی سینی دارد.

$$E_{MG} = \frac{y_{n+1} - y_n}{y_{n+1} - y_n^*}$$


حالت حدی :

$E_{OG} = E_{MG}$: عمل اختلاط کامل در مایع داشته باشیم

$E_{OG} < E_{MG}$: حرکت مایع روی سینی به صورت Plug Flow کامل باشد که در این صورت رابطه بین دو بازدهی به این صورت است

$$E_{MG} = \frac{L}{mG} \left(e^{\frac{E_{OG} \times mG}{L}} - 1 \right)$$

بنام خدا



عنوان درس


عملیات انتقال جرم

فصل چهاردهم

برج های پر شده

Mass Transfer Autumn 1390 A. Ghaemi (ahadghaemi@yahoo.com)

برج های پر شده



مهمترین دستگانهایی که در آن فاز مایع به صورت فاز پراکنده در می آید برج های پر شده می باشند که توسط ذراتی به نام آکنده که عمل تماس روی آنها صورت می گیرد پر شده اند. برخلاف برج های سینی دار در این برج ها تماس پیوسته بوده و تغییرات تدریجی غلظت را داریم.

انواع پر کننده ها :

- حلقوی (Ring)
- زینی شکل (saddle)
- منظم - مشبک (structured)
- Raschig Ring
- Partition Ring
- Pall Ring

خصوصیات :

- ۱. سطح تماس زیاد
- ۲. دارای تخلخل بالا
- ۳. خاصیت خیس شو ندگی
- عدم واکنش شیمیایی
- استحکام بالا
- هزینه پایین

Mass Transfer Autumn 1390 A. Ghaemi (ahadghaemi@yahoo.com)

پرکن ها

The diagram shows a distillation column with various components labeled: Gas out, Gas transfer for gas in, Liquid distributor, Packing restrainer, Sheet, Random packing, Liquid redistributor, Packing support, Gas in, and Liquid out. To the right, there are four images of different packing types: random packing, structured packing, and two types of non-regular packing.

پرکن ساختاری

پرکن نامنظم

Mass Transfer Autumn 1390 A. Ghaemi (ahadghaemi@yahoo.com)

پرکن ها

The diagrams show four types of structured packing: (a) a grid of rings, (b) a vertical stack of rings, (c) a multilayer bent sheet with a 190 mm distance between sheets, and (d) a stack of horizontal sheets. The direction of flow is indicated as liquid down and gas up.

Multilayer bent sheet

190 mm

Direction of flow: liquid ↓, gas ↑

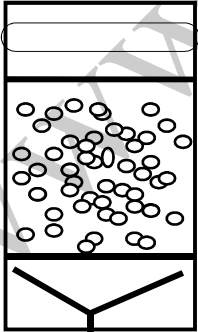
Mass Transfer Autumn 1390 A. Ghaemi (ahadghaemi@yahoo.com)

پارامتر پکرها

Packing	Nominal size, mm (in)						
	6 (¼)	9.5 (¾)	13 (½)	16 (¾)	19 (¾)	25 (1)	32 (1¼)
Raschig ring							
Ceramic:							
Wall thickness, mm	0.8	1.6	2.4	2.4	2.4	3	4.8
C_f	1600	1000	580	380	255	155	125
C_D			909	749	457	301	
ϵ	0.73	0.68	0.63	0.68	0.73	0.73	0.74
$a_p, m^2/m^3 (ft^2/ft^3)$	787 (240)	508 (155)	364 (111)	328 (100)	262 (80)	190 (58)	148 (45)
Metal:							
0.8-mm wall:							
C_f	700	390	300	170	155	115	
ϵ	0.69		0.84		0.88	0.92	
$a_p, m^2/m^3 (ft^2/ft^3)$	774 (236)		420 (128)		274 (83.5)	206 (62.7)	
1.6-mm wall:							
C_f			410	290	220	137	110
C_D			688	431	485	304	
ϵ			0.73		0.78	0.85	0.87
$a_p, m^2/m^3 (ft^2/ft^3)$			387 (118)		236 (71.8)	186 (56.7)	162 (49.3)

Mass Transfer Autumn 1390 A. Ghaemi (ahadghaemi@yahoo.com)

پر کردن برج




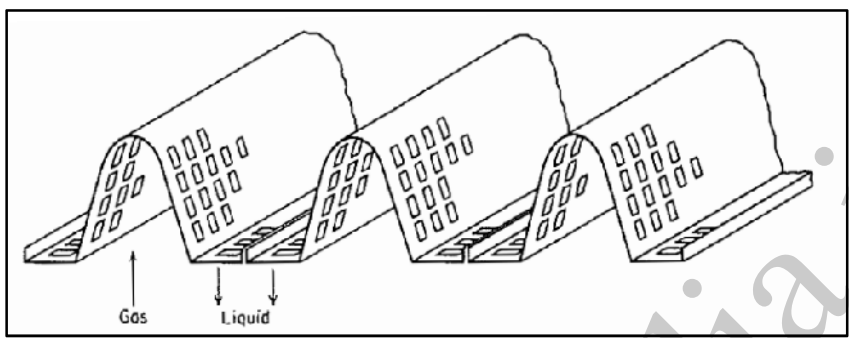
پر کردن برج به دو طریق منظم و نامنظم صورت می گیرد. در آکندن منظم که آکنده ها به صورت منظم در برج قرار می گیرند، هزینه بیشتری در عوض افت فشار کمتر پرداخت می شود و برج می تواند در دبی های بالاتری بدون بوجود آمدن طغیان کار کند. در روش غیر منظم ابتدا برج را از آب پر می کنند و سپس آکنده ها را در برج ریخته و آب را خارج می سازند. در این حالت افت فشار بیشتر از حالت منظم می باشد ولی چیدن آنها ارزان تر می باشد.

Collector


مایع که به سمت پایین حرکت می کند به دلیل کشش سطحی به سمت دیواره ها میل می کند و گاز از وسط آن عبور می کند که به این پدیده مجرا سازی (Channeling) گویند که ابعاد آکنده ها بر روی آن تاثیر می گذارد:

Mass Transfer Autumn 1390 A. Ghaemi (ahadghaemi@yahoo.com)

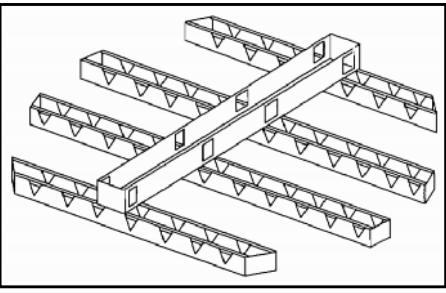
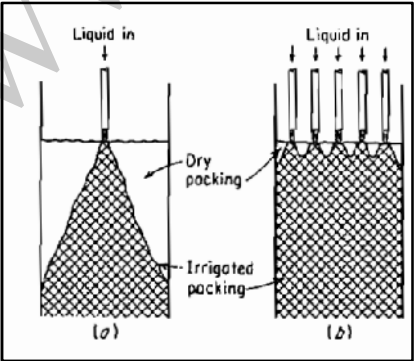
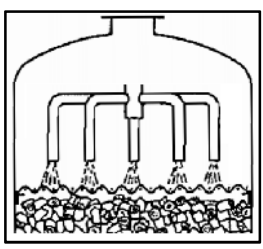
 صفحه نگهدارنده پرکن ها



Mass Transfer Autumn 1390 A. Ghaemi (ahadghaemi@yahoo.com)

 توزیع کننده مایع

برای توزیع مایع روی پرکن ها سعی می شود از چند نقطه مایع روی پرکن ها ریخته شود.



Mass Transfer Autumn 1390 A. Ghaemi (ahadghaemi@yahoo.com)



پارامترهای طراحی در ستون های پر شده

پارامترهای طراحی در ستون های پر شده

- ۱- دبی گاز و مایع
- ۲- قطر ستون
- ۳- افت فشار
- ۴- سطح به حجم پرکن ها
- ۵- ماندگی مایع در ستون
- ۶- ارتفاع ستون
- ۷- پرکن ها
- ۸- طغیان در ستون های پر شده
- ۹- ضرائب انتقال جرم

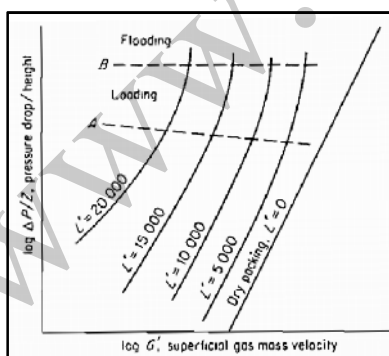
Mass Transfer

Autumn 1390

A. Ghaemi (ahadghaemi@yahoo.com)



افت فشار در برج های پر شده



افت فشار در برج های آکنده به شدت جریان فازهای گاز و مایع بستگی دارد. اگر در مختصات لگاریتمی نمودار روبرو را بررسی کنیم هنگامی که مایع نداشته باشیم شیب خط بین 1,8 تا 2 می باشد. با افزایش دبی مایع در شدت جریان ثابت افت فشار بیشتر می شود، که با این افزایش سطح لازم برای گاز کاهش می یابد

در نقطه A انباشتگی (Loading point) ضریب زاویه تقریباً ۲ است ولی در این نقطه ناکهان موجودی مایع در طول برج زیاد شده و با گذشت از این نقطه وارد منطقه جدیدی از تغییر شیب خواهیم شد.

در منطقه بعدی موجودی مایع افزایش یافته و ممکن است مایع قسمت زیادی از برج را پر کند و به صورت حباب هایی در می آید این ناحیه را (Visual Flooding) گویند

با گذشت از نقطه B برج به حالت طغیان کامل می رسد.

Mass Transfer

Autumn 1390

A. Ghaemi (ahadghaemi@yahoo.com)

افت فشار در جریان تک فازی

$$\frac{\Delta p}{Z} \frac{g_c \varepsilon^3 d_p \rho_g}{(1 - \varepsilon) G^2} = \underbrace{\frac{150(1 - \varepsilon)}{Re}}_{\text{آرام}} + \underbrace{1.75}_{\text{آشفته}}$$

برای برج های جذب و دفع به ازاء هر متر پرکننده:

$200 - 400 = F/Z$ نیوتن بر متر مربع

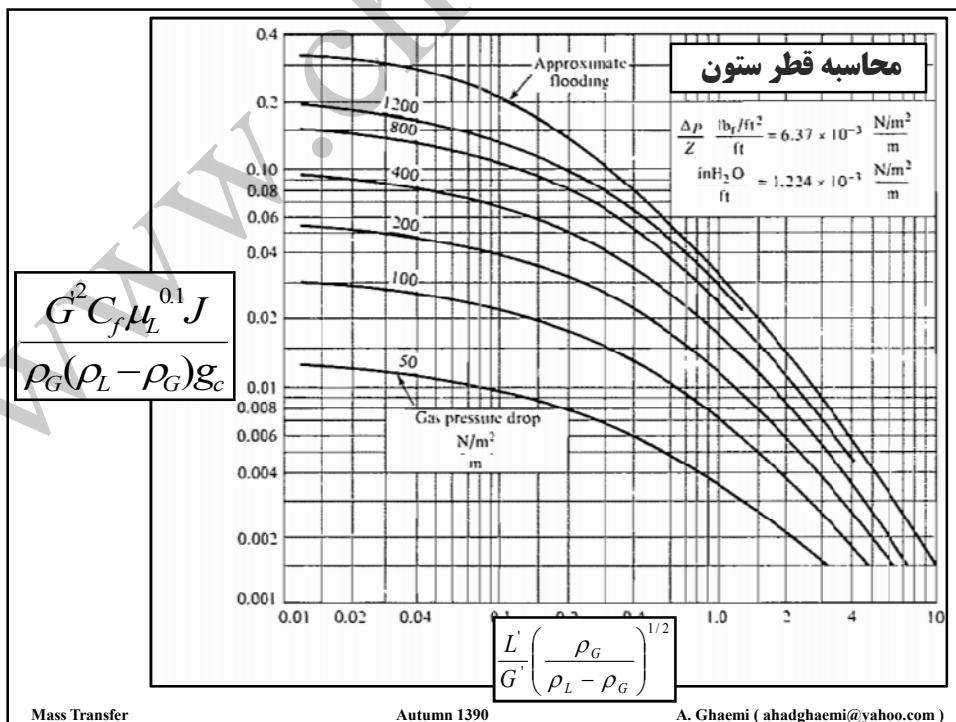
برای برج های تقطیر اتمسفریک به ازاء هر متر پرکننده:

$400 - 600 = F/Z$ نیوتن بر متر مربع

برای برج های تقطیر در خلاء به ازاء هر متر پرکننده:

$8 - 40 = F/Z$ نیوتن بر متر مربع

Mass Transfer
Autumn 1390
A. Ghaemi (ahadghaemi@yahoo.com)





ماندگی مایع در ستون

در برج های پر شده به علت آنکه سطح مشترک و یا غلظت های فصل مشترک مشخص نمی باشد لذا در این برج ها از ضرایب حجمی انتقال جرم که بیان کننده حاصل ضرب ضریب انتقال جرم در سطح تماس می باشد استفاده می شود.

موجودی مایع در یک برج برابر است مجموع موجودی مایع متحرک و مایع ساکن

$$\phi_{L1} = \phi_{L0} + \phi_{Ls}$$

موجودی مایع ساکن موجودی متحرک موجودی مایع
یا دینامیکی

Mass Transfer

Autumn 1390

A. Ghaemi (ahadghaemi@yahoo.com)



ماندگی مایع در ستون

ماندگی در ستون های پر شده

$$h_L = \left[12 \frac{Fr_L}{Re_L} \right]^{1/3} \left[\frac{a_h}{a} \right]^{2/3}$$

h_L = specific liquid holdup, m³ holdup/m³ packed bed
 Re_L = liquid Reynolds number = $v_L \rho_L / \mu_L$
 v_L = superficial liquid velocity, m/s
 a = specific surface area of packing, m²/m³
 Fr_L = liquid Froude number = $v_L^2 a / g$
 g = acceleration of gravity
 a_h = hydraulic, or effective, specific area of packing

$$\frac{a_h}{a} = 0.85 C_h Re_L^{0.25} Fr_L^{0.1} \quad \text{for } Re_L \geq 5$$

$$\frac{a_h}{a} = C_h Re_L^{0.5} Fr_L^{0.1} \quad \text{for } Re_L < 5$$

برای حلقه های Pall :

Packing	a , m ² /m ³	ϵ	C_h
50-mm metal Pall rings	112.6	0.951	0.784
50-mm Hitlow rings	92.3	0.977	0.876

Mass Transfer

Autumn 1390

A. Ghaemi (ahadghaemi@yahoo.com)



ضرایب انتقال جرم در برج های پر شده

ضریب انتقال جرم بر مبنای فاز گاز

$$\frac{F_G Sc_G^{2/3}}{G} = \frac{k_G P_{B,M} Sc_G^{2/3}}{G} = 1.195 \left[\frac{d_s G'}{\mu_G (1 - \epsilon_{Lo})} \right]^{-0.36}$$

$$\epsilon_{Lo} = \epsilon - \phi_{Lt}$$

ضریب انتقال جرم بر مبنای فاز مایع

$$\frac{k_L d_s}{D_L} = 25.1 \left(\frac{d_s L'}{\mu_L} \right)^{0.45} Sc_L^{0.5}$$

Mass Transfer

Autumn 1390

A. Ghaemi (ahadghaemi@yahoo.com)



سطح تماس گاز - مایع

برای محلول آبدار a_{AW}

برای محلول های غیر آبدار:

$$a_A = a_{AW} \frac{\phi_{Lo}}{\phi_{LoW}}$$

برای تماس یک گاز با مایع خالص مانند تبخیر:

$$a_V = 0.85 a_A \frac{\phi_{Li}}{\phi_{Lo}}$$



Mass Transfer

Autumn 1390

A. Ghaemi (ahadghaemi@yahoo.com)



محاسبه قطر ستون

دی اکسید گوگرد را از گاز همراه آن که دارای مشخصات هواست با استفاده از یک محلول آب دار نمک آمونیوم در یک ستون پر شده از پرکن های زینی شکل intalox سرامیکی به اندازه ۲۵ میلیمتر جدا می کنند. گاز ورودی به ستون که دارای شدت جریان حجمی ۰.۸ متر مکعب بر ثانیه در دمای ۳۰ درجه و فشار یک بار است حاوی ۷ درصد SO₂ می باشد تقریباً بطور کامل از گاز جدا می شود. شدت جریان حلال ۳.۸ کیلوگرم بر ثانیه می باشد و دارای جرم حجمی ۱۲۳۵ کیلوگرم بر متر مکعب و ویسکوزیته 2.5e-3 kg/m s می باشد. افت فشار را ۴۰۰ نیوتن بر متر مربع بگیرید.

۱- قطر مناسبی برای این برج انتخاب کنید.

$$Av \text{ mol wt gas in} = 0.07(64) + 0.93(29) = 31.45 \text{ kg/kmol}$$

$$\text{Gas in} = 0.80 \frac{273}{303} \frac{0.987}{1.0} \frac{1}{22.41} = 0.0317 \text{ kmol/s} = 0.0317(31.45) = 0.998 \text{ kg/s}$$

$$\rho_G = \frac{0.998 \text{ kg/s}}{0.80 \text{ m}^3/\text{s}} = 1.248 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{SO}_2 \text{ removed} = 0.0317(0.07)(64) = 0.1420 \text{ kg/s.}$$

$$\text{Liquid leaving} = 3.8 + 0.1420 = 3.94 \text{ kg/s}$$

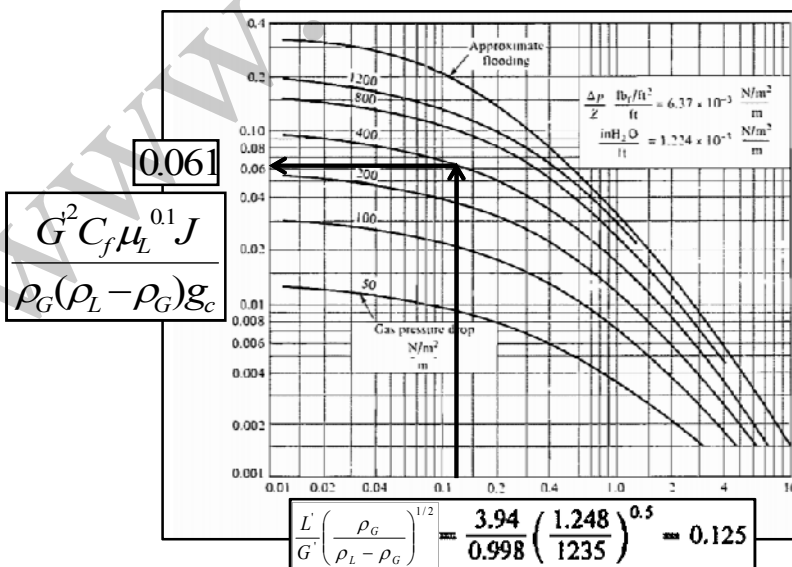
Mass Transfer

Autumn 1390

A. Ghaemi (ahadghaemi@yahoo.com)



منحنی های طراحی برج



Mass Transfer

Autumn 1390

A. Ghaemi (ahadghaemi@yahoo.com)

محاسبه قطر ستون

$$\frac{L'}{G'} \left(\frac{\rho_G}{\rho_L - \rho_G} \right)^{1/2} = \frac{3.94}{0.998} \left(\frac{1.248}{1235} \right)^{0.5} = 0.125$$

$$\frac{G'^2 C_f \mu_L^{0.1} J}{\rho_G (\rho_L - \rho_G) g_c} = 0.061$$

دبی گاز نسبت به سطح برج بدست می آید.

$$G' = \left[\frac{0.061 \rho_G (\rho_L - \rho_G) g_c}{C_f \mu_L^{0.1} J} \right]^{0.5} = \left[\frac{0.061 (1.248) (1235 - 1.248)}{98 (2.5 \times 10^{-3})^{0.1} (1.0)} \right]^{0.5}$$

$$= 1.321 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{s}$$

سطح مقطع برج:

$$(0.998 \text{ kg/s}) / (1.321 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{s}) = 0.756 \text{ m}^2$$

قطر انتخابی ستون:

$$T = [4(0.756) / \pi]^{0.5} = 0.98 \text{ m, say 1.0 m diameter}$$

$$T=1 \text{ m Area}=0.785 \text{ m}^2$$

Mass Transfer Autumn 1390 A. Ghaemi (ahadghaemi@yahoo.com)

مثال: محاسبه ضرائب انتقال جرم

برای جذب بخارات بنزن از مخلوط آن یا یک گاز بی اثر از یک برج جذب پر شده از پرکن های زینی از نوع برل بقطر 38 mm استفاده می شود. شرایط موجود به قرار زیر است.

ضرائب حجمی انتقال جرم را حساب کنید.

فاز مایع:	فاز گاز:
$M_L = 260 \text{ gr / mol}$	$M_G = 11 \text{ gr / mol}$
$\mu_L = 2 \times 10^{-3} \text{ kg / m s}$	$\mu_G = 10^{-5} \text{ kg / m.s}$
$\rho_L = 840 \text{ kg / m}^3$	$T_G = 27 \text{ }^\circ\text{C}$
$\sigma = 3.0 \times 10^{-2} \text{ N / m}$	$P_t = 107 \text{ kN / m}^2$
$D_L = 4.71 \times 10^{-10} \text{ m}^2 / \text{s}$	$D_G = 1.30 \times 10^{-5} \text{ m}^2 / \text{s}$
$L' = 2.71 \text{ kg / m}^2 \cdot \text{s}$	$G' = 0.716 \text{ kg / m}^2 \cdot \text{s}$

Mass Transfer Autumn 1390 A. Ghaemi (ahadghaemi@yahoo.com)

مثال

برای گاز:

$$\rho_G = \frac{11}{22.41} \frac{1.07 \times 10^5}{1.0133 \times 10^5} \frac{273}{273 + 27} = 0.472 \text{ kg/m}^3$$

$$Sc_G = \frac{\mu_G}{\rho_G D_G} = \frac{1 \times 10^{-5}}{0.472(1.30 \times 10^{-5})} = 1.630$$

$$G' = 0.716 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{s} \quad G = \frac{0.716}{11} = 0.0651 \text{ kmol/m}^2 \cdot \text{s}$$

برای مایع:

$$Sc_L = \frac{\mu_L}{\rho_L D_L} = \frac{2 \times 10^{-3}}{840(4.77 \times 10^{-10})} = 4990$$

Mass Transfer Autumn 1390 A. Ghaemi (ahadghaemi@yahoo.com)

رابطه ارائه شده برای محلول های آبدار:

$$a_{AW} = m(808G'/\rho_G)^{0.5} \gamma L'^p$$

$m = 62.4 \quad n = 0.0240L' - 0.0996 = -0.0346$

$L' = 2.71 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{s} \quad \Rightarrow \quad a_{AW} = 43.8 \text{ m}^2/\text{m}^3 \quad \Rightarrow \quad a_A = a_{AW} \frac{\varphi_{Lo}}{\varphi_{LoW}}$

Packing	Nominal size		Range of L'		m	n	p
	mm	in	kg/m ² ·s	lb/ft ² ·h			
Raschig rings	13	0.5	0.68-2.0	500-1500	28.01	$0.2323L' - 0.30$	-1.04
			2.0-6.1	1500-4500	14.69	$0.01114L' + 0.148$	-0.111
	25	1	0.68-2.0	500-1500	34.42	0	0.552
			2.0-6.1	1500-4500	68.2	$0.0389L' - 0.0793$	-0.47
	38	1.5	0.68-2.0	500-1500	36.5	$0.0498L' - 0.1013$	0.274
			2.0-6.1	1500-4500	40.11	$0.01091L' - 0.022$	0.140
50	2	0.68-2.0	500-1500	31.52	0	0.481	
		2.0-6.1	1500-4500	34.03	0	0.362	
Berl saddles	13‡	0.5‡	0.68-2.0	500-1500	16.28	0.0529	0.761
			2.0-6.1	1500-4500	25.61	0.0529	0.170
	25§	1§	0.68-2.0	500-1500	52.14	$0.0506L' - 0.1029$	0
			2.0-6.1	1500-4500	73.0	$0.0310L' - 0.0630$	-0.359
	38§	1.5§	0.68-2.0	500-1500	40.6	-0.0508	0.455
			2.0-6.1	1500-4500	62.4	$0.0240L' - 0.0996$	-0.1355

$L' = 2.71 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{s} \quad \Rightarrow \quad$

Mass Transfer Autumn 1390 A. Ghaemi (ahadghaemi@yahoo.com)

محاسبه سطح:

$\Phi_{L_o} = \Phi_{L_s} + \Phi_{L_w}$ $\Phi_{L_{iW}} = \Phi_{L_{iW}} + \Phi_{L_{iW}}$ $\Phi_{L_o} = \Phi_{L_{iW}} H$ Use only SI units: L' in $\text{kg/m}^2 \cdot \text{s} = (\text{lb/ft}^2 \cdot \text{h})(0.001356)$;
 ρ_L in $\text{kg/m}^3 = (\text{lb/ft}^3)(16.019)$; μ_L in $\text{kg/m} \cdot \text{s} = \text{cP}(0.001)$; σ in $\text{N/m} = (\text{dyn/cm})(0.001)$; ϕ is dimensionless

Packing	Nominal size		d_s m	Φ_{L_s}	Water, ordinary temperatures	μ_L kg/m · s	H	
	mm	in						
Ceramic Raschig rings	13	0.5	0.01774	$\frac{0.0486 \mu_L^{0.02} \sigma^{0.09}}{d_s^{1.21} \rho_L^{0.37}}$	$\beta = 1.508 d_s^{0.376}$	< 0.012	$\frac{975.7 L'^{0.57} \mu_L^{0.13}}{\rho_L^{0.84} (2.024 L'^{0.430} - 1)} \left(\frac{\sigma}{0.073} \right)^{0.1737 - 0.262 \log L'}$	
	25	1	0.0356					$\Phi_{L_{iW}} = \frac{2.47 \times 10^{-4}}{d_s^{1.21}}$
	38	1.5	0.0530					$\Phi_{L_{iW}} = \frac{(2.09 \times 10^{-6})(737.5 L')^\beta}{d_s^2}$
Carbon Raschig rings	25	1	0.01301	$\frac{0.0237 \mu_L^{0.02} \sigma^{0.13}}{d_s^{1.21} \rho_L^{0.37}}$	$\beta = 1.104 d_s^{0.376}$	< 0.012	$\frac{407.9 L'^{0.57} \mu_L^{0.13}}{\rho_L^{0.84} (1.393 L'^{0.315} - 1)} \left(\frac{\sigma}{0.073} \right)^{0.1737 - 0.262 \log L'}$	
	38	1.5	0.0543					$\Phi_{L_{iW}} = \frac{5.94 \times 10^{-4}}{d_s^{1.21}}$
	50	2	0.0716					$\Phi_{L_{iW}} = \frac{(7.34 \times 10^{-6})(737.5 L')^\beta}{d_s^2}$
Ceramic Raschig saddles	13	0.5	0.01622	$\frac{4.23 \times 10^{-3} \mu_L^{0.04} \sigma^{0.55}}{d_s^{1.56} \rho_L^{0.37}}$	$\beta = 1.508 d_s^{0.376}$	< 0.020	$\frac{1404 L'^{0.57} \mu_L^{0.13}}{\rho_L^{0.84} (3.24 L'^{0.413} - 1)} \left(\frac{\sigma}{0.073} \right)^{0.2817 - 0.262 \log L'}$	
	25	1	0.0320					$\Phi_{L_{iW}} = \frac{5.014 \times 10^{-5}}{d_s^{1.56}}$
	38	1.5	0.0472					$\Phi_{L_{iW}} = \frac{(2.32 \times 10^{-6})(737.5 L')^\beta}{d_s^2}$
						> 0.020	$\frac{2830 L'^{0.57} \mu_L^{0.31}}{\rho_L^{0.84} (3.24 L'^{0.413} - 1)} \left(\frac{\sigma}{0.073} \right)^{0.28177 - 0.262 \log L'}$	

Mass Transfer Autumn 1390 A. Ghaemi (ahadghaemi@yahoo.com)

مثال

از جدول مقادیر پارامترهای سطح بدست می آیند:

$$L' = 2.71 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{s} \quad d_s = 0.0472 \text{ m} \quad \beta = 1.508 d_s^{0.376} = 0.478$$

$$\Phi_{L_{iW}} = \frac{5.014 \times 10^{-5}}{d_s^{1.56}} = 5.86 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{m}^3$$


$$\Phi_{L_{iW}} = \frac{(2.32 \times 10^{-6})(737.5 L')^\beta}{d_s^2} = 0.0394 \text{ m}^3/\text{m}^3$$

$$\Phi_{L_{oW}} = \Phi_{L_{iW}} - \Phi_{L_{iW}} = 0.0335 \text{ m}^3/\text{m}^3$$

$$H = \frac{1404 L'^{0.57} \mu_L^{0.13}}{\rho_L^{0.84} (3.24 L'^{0.413} - 1)} \left(\frac{\sigma}{0.073} \right)^{0.2817 - 0.262 \log L'} = 0.855$$

$$\Phi_{L_o} = \Phi_{L_{oW}} H = 0.0335(0.855) = 0.0286$$

Mass Transfer Autumn 1390 A. Ghaemi (ahadghaemi@yahoo.com)



ماندگی های مایع

ماندگی استاتیکی مایع:

$$\varphi_{L_s} = \frac{4.23 \times 10^{-3} \mu_L^{0.04} \sigma^{0.55}}{d_s^{1.56} \rho_L^{0.37}} = 4.65 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{m}^3$$


ماندگی کل مایع:

$$\varphi_{L_t} = \varphi_{L_o} + \varphi_{L_s} = 0.0286 + 4.65 \times 10^{-3} = 0.0333 \text{ m}^3/\text{m}^3$$

Mass Transfer

Autumn 1390

A. Ghaemi (ahadghaemi@yahoo.com)



مثال

$$L' = 2.71 \text{ kg}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$$

→ $m = 62.4 \quad \pi = 0.0240L' - 0.0996 = -0.0346$

$$p = -0.1355 \quad a_{AW} = m \left(\frac{808 G'}{\rho_G^{0.5}} \right)^n L'^p = 43.8 \text{ m}^2/\text{m}^3$$

محاسبه سطح:

$$a_A = a_{AW} \frac{\varphi_{L_o}}{\varphi_{L_oW}} = \frac{43.8(0.0286)}{0.0335} = 37.4 \text{ m}^2/\text{m}^3$$

$$\epsilon = 0.75$$

Table 63 Continued

Packing	Nominal size, mm (in)							
	6 (1/2)	9.5 (3/4)	13 (1)	16 (5/8)	19 (3/4)	25 (1)	32 (1 1/4)	38 (1 1/2)
Berl saddles								
Ceramic:								
C_T	900		240		170		110	
C_D			508		295		184	
ϵ	0.68		0.61		0.66		0.63	
$a_s, \text{m}^2/\text{m}^3 \text{ (ft}^2/\text{ft}^3)$	899 (274)		466 (142)		269 (82)		249 (76)	
								144 (44)

Mass Transfer

Autumn 1390

A. Ghaemi (ahadghaemi@yahoo.com)

ضریب انتقال جرم فاز گاز

$$\epsilon_{L_o} = \epsilon - \phi_{L_i} = 0.75 - 0.0333 = 0.717$$

$$\frac{F_G Sc_G^{2/3}}{G} = \frac{k_{GPB,M} Sc_G^{2/3}}{G} = 1.195 \left[\frac{d_s G'}{\mu_G (1 - \epsilon_{L_o})} \right]^{-0.36}$$

$$\frac{F_G (1.630)^{2/3}}{0.0651} = 1.195 \left[\frac{0.0472(0.716)}{(1 \times 10^{-5})(1 - 0.717)} \right]^{-0.36}$$

$$F_G = 1.914 \times 10^{-3} \text{ kmol/m}^2 \cdot \text{s} = k_{GPB,M}$$

محاسبه ضریب انتقال جرم فاز مایع:

$$\frac{k_L d_s}{D_L} = 25.1 \left(\frac{d_s L'}{\mu_L} \right)^{0.45} Sc_L^{0.5} \Rightarrow \frac{k_L (0.0472)}{4.77 \times 10^{-10}} = 25.1 \left[\frac{0.0472(2.71)}{0.002} \right]^{0.45} (4990)^{0.5}$$

$$k_L = 1.156 \times 10^{-4} \text{ kmol/m}^2 \cdot \text{s} \cdot (\text{kmol/m}^3)$$

Mass Transfer Autumn 1390 A. Ghaemi (ahadghaemi@yahoo.com)

محاسبه ضریب انتقال جرم فاز مایع:

$$k_L = 1.156 \times 10^{-4} \text{ kmol/m}^2 \cdot \text{s} \cdot (\text{kmol/m}^3)$$

$$F_L = k_L c$$

غلظت کل در فاز مایع:

$$c = 840/260 = 3.23 \text{ kmol/m}^3$$

$$F_L = (1.156 \times 10^{-4})(3.23) = 3.73 \times 10^{-4} \text{ kmol/m}^2 \cdot \text{s} = k_{Lx_{B,M}c}$$

حاصلضرب سطح یا ضریب انتقال جرم را ضرایب حجمی می نامند:

$$F_G a_A = (1.914 \times 10^{-3})(37.4) = 0.0716 \text{ kmol/m}^3 \cdot \text{s} = k_g a_A p_{B,M}$$

$$F_L a_A = (3.73 \times 10^{-4})(37.4) = 0.0140 \text{ kmol/m}^3 \cdot \text{s} = k_L a_A x_{B,M}c$$

روابط ضرایب k ها با F ها قبلا بیان شده است.

Mass Transfer Autumn 1390 A. Ghaemi (ahadghaemi@yahoo.com)



محاسبه ضرائب انتقال جرم:

از ستون پر شده ای از حلقه های راشیک ۲ اینچی برای جذب رطوبت هوا استفاده می کنیم. حلال آب بوده که در خلاف جهت جریان هوا حرکت می کند. شرایط مربوط به قسمت بالای برج به صورت زیر است:
شدت جریان آب: 5.5 kg/sm^2 درجه حرارت ۱۵ درجه سلسیوس
شدت جریان هوا: 1.10 kg/sm^2 درجه حرارت ۲۵ درجه سلسیوس
فشار یک اتمسفر بوده و هوا را می توان خشک در نظر گرفت. ضرائب انتقال جرم را در بالای ستون محاسبه کنید.

$$G' = 1.10 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{s},$$

$$G = 1.10/29 = 0.0379 \text{ kmol/m}^2 \cdot \text{s},$$

$$\mu_G = 1.8 \times 10^{-5} \text{ kg/m} \cdot \text{s}$$

$$Sc_G = 0.6$$

$$\rho_G = \frac{29}{22.41} \frac{273}{293} = 1.206 \text{ kg/m}^3$$

حل: مشخصات فاز گاز را محاسبه و یا از جدول می خوانیم:

Mass Transfer

Autumn 1390

A. Ghaemi (ahadghaemi@yahoo.com)



محاسبه سطح و ماندگی مایع:

$$L' = 5.5 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{s}.$$

$$d_s = 0.0725 \text{ m} \quad \beta = 1.508 d_s^{0.376} = 0.562$$

از جدول خواهیم داشت:

$$\varphi_{L_{1W}} = \frac{(2.09 \times 10^{-6})(737.5 L')^\beta}{d_s^2} = 0.0424 \text{ m}^3/\text{m}^3$$

$$\varphi_{L_{2W}} = \frac{2.47 \times 10^{-8}}{d_s^{1.21}} = 5.91 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{m}^3$$

$$\varphi_{L_{0W}} = \varphi_{L_{1W}} - \varphi_{L_{2W}} = 0.0424 - 5.91 \times 10^{-3} = 0.0365 \text{ m}^3/\text{m}^3$$

$$m = 34.03, n = 0, p = 0.362.$$

$$a_{1W} = m \left(\frac{808 G'}{\rho_G^{0.5}} \right)^n L'^p = 63.1 \text{ m}^2/\text{m}^3$$

Mass Transfer

Autumn 1390

A. Ghaemi (ahadghaemi@yahoo.com)



محاسبه سطح:

$$a_{vw} = 0.85 a_{lw} \frac{\phi_{L,w}}{\phi_{L,o,w}} = 0.85(63.1) \frac{0.0424}{0.0365} = 62.3 \text{ m}^2/\text{m}^3$$

$$e = 0.74, \varepsilon_{L,o} = e - \phi_{L,w} = 0.74 - 0.0424 = 0.698.$$

محاسبه ضریب انتقال جرم:

$$\frac{F_G Sc_G^{2/3}}{G} = \frac{k_G p_{B,M} Sc_G^{2/3}}{G} = 1.195 \left[\frac{d_p G'}{\mu_G (1 - \varepsilon_{L,o})} \right]^{-0.36}$$

$$\frac{F_G (0.6)^{2/3}}{0.0379} = 1.195 \left[\frac{0.0725(1.10)}{(1.8 \times 10^{-5})(1 - 0.698)} \right]^{-0.36} = 0.0378$$

$$F_G = 2.01 \times 10^{-3} \text{ kmol/m}^2 \cdot \text{s}$$

$$F_G a_{vw} = (2.01 \times 10^{-3})(62.3) = 0.125 \text{ kmol/m}^3 \cdot \text{s} = k_G a_{vw} p_{B,M}$$

بنام خدا



عملیات انتقال جرم

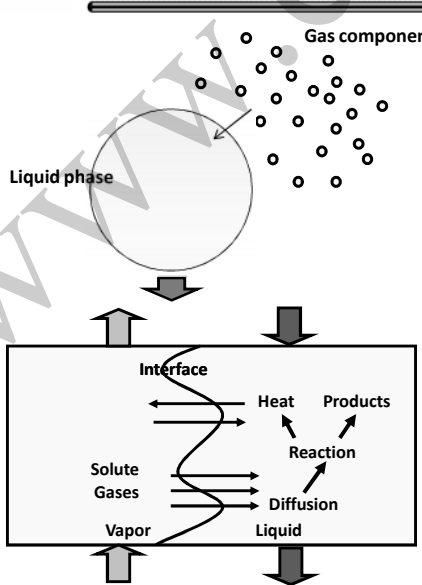
Mass transfer Operation

هفته هفدهم

فرآیند جذب گاز

Mass Transfer Autumn 1390 A. Ghaemi (ahadghaemi@yahoo.com)

فرآیند جذب گاز



جذب گاز فرآیندی است که در آن یک مخلوط گاز را در تماس با مایعی قرار می دهند تا یک یا تعداد بیشتری از سازنده های مخلوط گاز در تماس با فاز مایع وارد فاز مایع شود.

معمولا از این عملیات فقط جهت بازیابی و یا جداسازی حل شونده ها استفاده می کنند. اما تفکیک حل شونده ها از یکدیگر توسط فرآیند تقطیر صورت می گیرد.

Mass Transfer Autumn 1390 A. Ghaemi (ahadghaemi@yahoo.com)



فرآیند جذب گاز

شدت جذب به حلالیت اجزاء جذب شونده و میزان انحراف شرایط سیستم از حالت تعادل دارد. لذا لازم است که مشخصات تعادلی سیستم های گاز مایع مورد بررسی قرار گیرد.

کاربردها:

کاربرد	مثال	هدف از فرآیند
تصفیه گاز	تصفیه گاز، شستشوی آمین	حذف مواد مضر
جداسازی گاز	احیاء حلال	جداسازی واکنش گرها
سنتز شیمیایی	تولید اسید سولفوریک، تولید سود سوز آور	تولید و آماده سازی محصولات
صنعت کود شیمیایی	تولید کودهای ازت دار	خاص
خشک کردن گاز	حذف آب از گاز طبیعی	حذف آب
جداسازی و تصفیه گاز	اصلاح گاز سنتز	اصلاح جریان های گاز

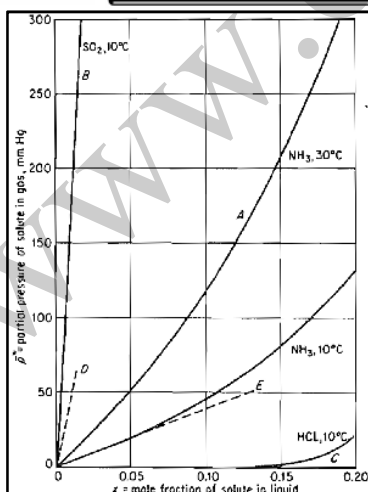
Mass Transfer

Autumn 1390

A. Ghaemi (ahadghaemi@yahoo.com)



سیستم های دو جزئی



اگر یک گاز خالص با یک مایع غیر فرار به حالت تعادل برسند. غلظت گاز حل شده در مایع را حلالیت گاز در فشار و دمای موجود می نامند. در دمای ثابت با افزایش فشار حلالیت افزایش می یابد.

مثال: حلالیت آمونیاک در آب در دمای ۳۰ درجه

سلسیوس

اگر فشار تعادلی گازی در یک غلظت معین زیاد باشد نشان می دهد که مانند منحنی B نشان می دهد که گاز تقریباً نامحلول است.

اگر فشار تعادلی کم باشد مانند C نشان می دهد که حلالیت گاز در مایع زیاد می باشد.

حلالیت گازها با دما (قانون وانت هوف) و فشار تغییر می کند.

$$\text{solubility} \propto P \propto \frac{1}{T}$$

حلالیت متناسب با فشار و متناسب با عکس دما می باشد

Mass Transfer

Autumn 1390

A. Ghaemi (ahadghaemi@yahoo.com)

سیستم های دو جزئی

The graph plots the partial pressure of solute in gas (mm Hg) on the y-axis against the mole fraction of solute in liquid (z) on the x-axis. The y-axis ranges from 0 to 300 mm Hg in increments of 50. The x-axis ranges from 0 to 0.20 in increments of 0.05. There are five curves labeled A, B, C, D, and E. Curve B is for SO₂ at 10°C, curve A is for NH₃ at 30°C, curve C is for NH₃ at 10°C, curve D is for HCl at 10°C, and curve E is for HCl at 10°C. Curve A is the highest, followed by B, C, D, and E.

قانون وانت هوف: اگر دمای یک سیستم در حال تعادل افزایش یابد تغییر در جهتی پیش خواهد رفت که همراه با جذب حرارت باشد. اغلب ولی نه تمام موارد، انحلال گاز منجر به آزاد شدن حرارت می شود و در نتیجه در بیشتر موارد حلالت گاز با افزایش دما کاهش می یابد.

بعنوان مثال منحنی A که مربوط به حلالت آمونیاک در دمای ۳۰ درجه بوده و در بالای منحنی مربوط به ۱۰ درجه سلسیوس قرار می گیرد.

Mass Transfer
Autumn 1390
A. Ghaemi (ahadghaemi@yahoo.com)

سیستم های چند جزئی

۱- محلول مایع غیر کامل - حلالت هر جزء بر اجزاء دیگر تاثیر می گذارد.
۲- محلول مایع کامل - حلالت هر جزء بر اجزاء دیگر تاثیر نمی گذارد. مانند محلول های متشکل از بنزن و تولوئن

خواص محلول های کامل

۱- میانگین نیروهای جاذبه و دافعه بین مولکولی در این محلول ها در اثر آمیختن و یا جدا شدن سازنده ها تغییر نمی کند.
۲- حجم محلول با ترکیب نسبی سازنده ها دارای یک رابطه خطی است.
۳- در اثر آمیختن سازنده ها با یکدیگر گرمائی تولید و جذب نمی شود.
۴- فشار بخار کل محلول با ترکیب نسبی سازنده ها دارای یک رابطه خطی است.

اگر مخلوط گازی با یک مایع کامل در تعادل باشد و از قانون گازهای کامل پیروی کند:

$$P_A^* = P x_A$$

قانون راولت:

همچنین این قانون بیان می دارد که حلالت یک گاز مشخص در تمام محلول های کامل یکسان است.

Mass Transfer
Autumn 1390
A. Ghaemi (ahadghaemi@yahoo.com)



مثال حلالیت

مثال : یک مخلوط گازی پس از تماس طولانی با یک هیدروکربن مایع در فشار کلی Pt و دمای ۲۴ درجه سلسیوس به حالت تعادل می رسد. ترکیب نسبی گاز در این حالت ۶۰٪ متان، ۲۰٪ اتان، ۸٪ پروپان، ۶٪ بوتان و ۶٪ پنتان می شود. ترکیب تعادلی محلول را محاسبه کنید.

$$P_t = 2 \times 10^5$$

Component	Equilibrium partial pressure \bar{p}^* , $N/m^2 \times 10^{-5}$	Vapor pressure p at 24°C, $N/m^2 \times 10^{-5}$	Mole fraction in the liquid $x = \bar{p}^*/p$
Methane	1.20 = 0.6(2)		
Ethane	0.4	42.05	0.0095
Propane	0.16	8.96	0.018
n-Butane	0.12	2.36	0.051
n-Pentane	0.12	0.66	0.182
Total			0.261

در تحت فشارهایی که قانون گاز کامل صادق نباشد از قانون راولت بشرط جایگزینی فوکاسیته با فشار می توان استفاده کرد.

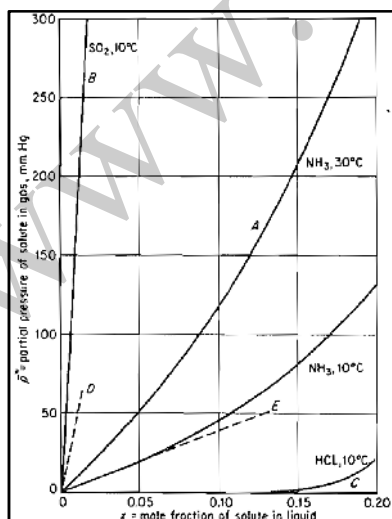
Mass Transfer

Autumn 1390

A. Ghaemi (ahadghaemi@yahoo.com)



محلول های مایع غیر کامل



برای محلول های غیر کامل قانون راولت خطای زیادی می دهد. مانند منحنی D برای آمونیاک در ۱۰ درجه سانتیگراد.

در چنین حالتی از قانون هنری که بصورت زیر بوده استفاده می شود.

$$y^* = mx$$

m یک ثابت است. بیشتر گازها تا فشار تعادلی 5×10^5 نیوتن بر متر مربع از قانون هنری تبعیت می کنند.

Mass Transfer

Autumn 1390

A. Ghaemi (ahadghaemi@yahoo.com)



انتخاب حلال برای فرایند جذب

- ۱- حلالیت گاز: حلالیت گاز در حلال باید بالا باشد.
- ۲- فراریت: فشار بخار حلال باید کم باشد زیرا گاز خروجی از بخار حلال اشباع بوده و باعث اقلاف حلال در صورت بالا بودن فشار بخار خواهد بود.
- ۳- خوردگی: موادی که در ساختما ستون بکار می رود نباید غیر معمول و یا گران باشد.
- ۴- هزینه: حلال نباید گران باشد. تا اقلاف آند هزینه زیادی ایجاد نکند.
- ۵- ویسکوزیته: کم بودن ویسکوزیته باعث سریع جذب، بهبود مشخصات طغیان، افت فشار کمتر و خواص مفید در انتقال حرارت خواهد بود.
- ۶- خواص متفرقه: حلال نباید سمی، آتش گیر و باید از نظر شیمیائی پایدار و نقطه انجماد پائینی داشته باشد.

Mass Transfer

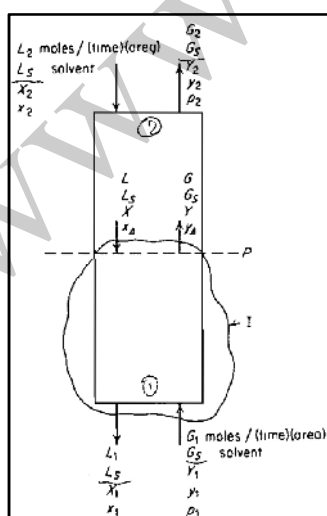
Autumn 1390

A. Ghaemi (ahadghaemi@yahoo.com)



ستون جذب با جریان متقابل

ستون جذب می تواند یک ستون پر شده، سینی دار، پاششی باشد.



$$Y = \frac{y}{1-y} = \frac{\bar{p}}{p_1 - \bar{p}}$$

Y کسر مولی در فاز گاز،
X کسر مولی در فاز مایع
G دبی فاز گاز
L دبی فاز مایع

$$G_S = G(1-y) = \frac{G}{1+Y}$$

$$X = \frac{x}{1-x}$$

$$L_S = L(1-x) = \frac{L}{1+X}$$

موازنه جرم:

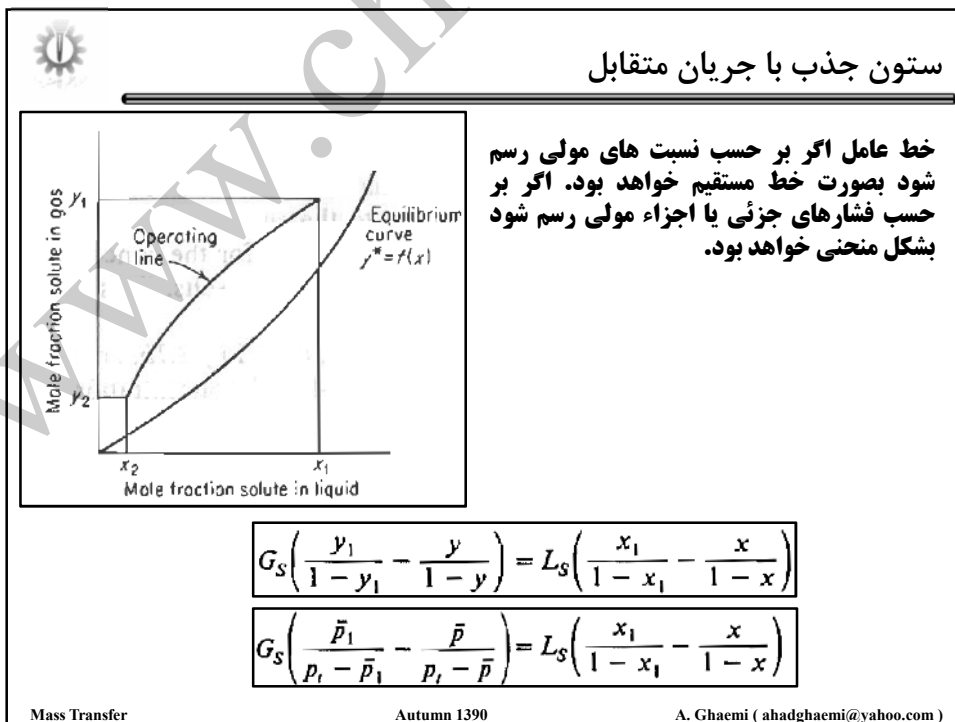
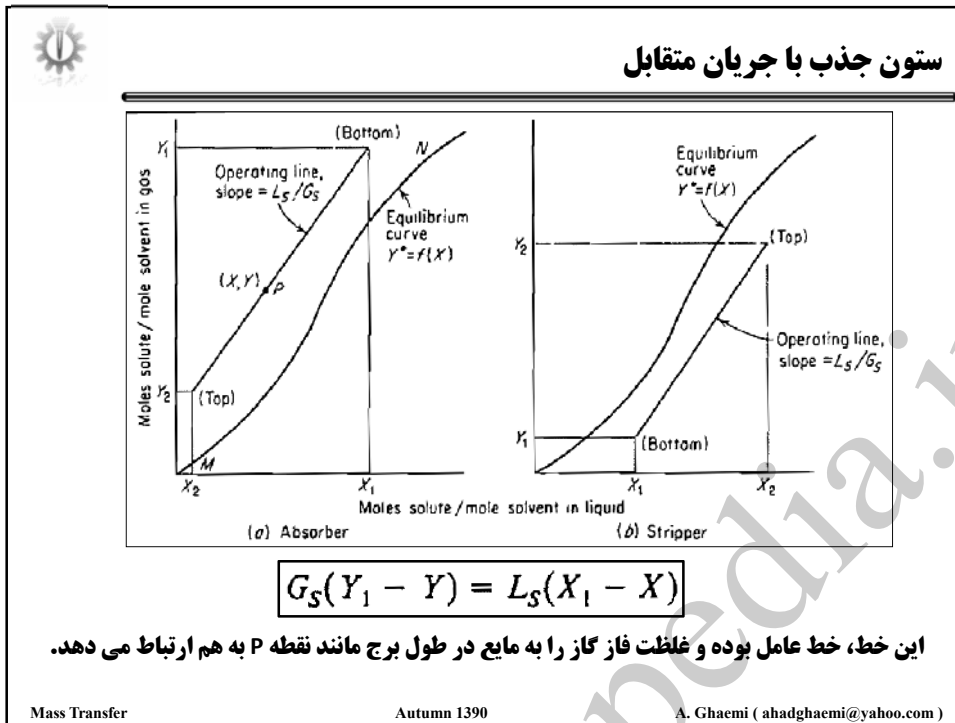
خط کار:

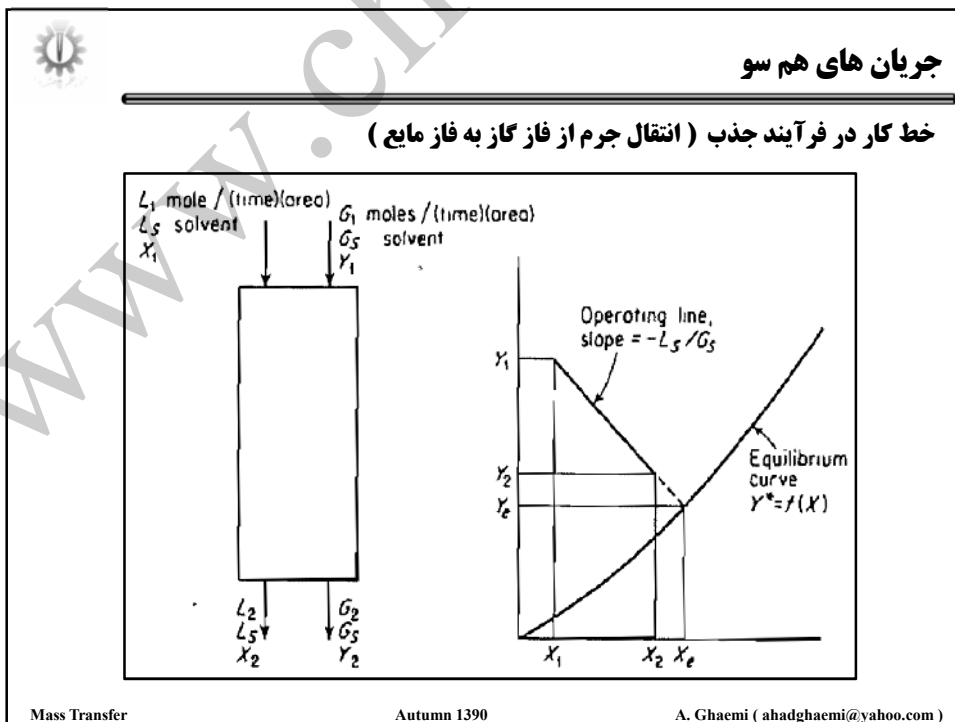
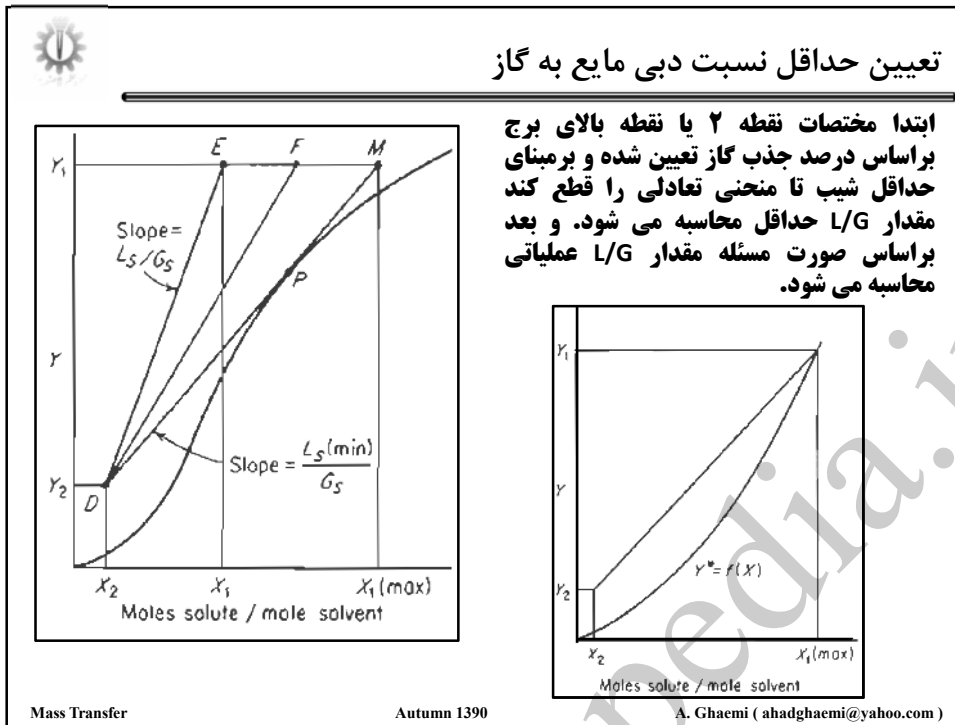
$$G_S(Y_1 - Y) = L_S(X_1 - X)$$

Mass Transfer

Autumn 1390

A. Ghaemi (ahadghaemi@yahoo.com)







مثال

می خواهند روغن های سبک موجود در یک گاز زغال را بوسیله شستشوی آن با روغن بعنوان جاذب جدا کرده و سپس روغن های سبک موجود در محلول حاصل را با استفاده از بخار آب بازیابی کنند وضعیت موجود بصورت زیر می باشد:

ستون جذب: گاز ورودی ۰.۲۵ مترمکعب بر ثانیه ، دما ۲۵ درجه سلسیوس و فشار کل متشکل از ۲٪ حجمی بخارات روغن سبک می باشد.

$$P_t = 1.07 \times 10^5 \text{ N/m}^2$$

روغن سبک را بنزن خالص فرض کرده که باید ۹۵٪ آن از گاز جدا شود. روغن حلال در دمای ۲۶ درجه سلسیوس محتوی ۰.۰۰۵ مولی بنزن بوده و وزن مولکولی ۲۶۰ می باشد. شدت گردش روغ باید ۱.۵ برابر حداقل ممکن باشد محلول های متشکل از روغن و بنزن کامل فرض می شوند. دما ثابت و برابر ۲۶ درجه سلسیوس می باشد.

شدت گردش روغن را محاسبه کنید.

Mass Transfer

Autumn 1390

A. Ghaemi (ahadghaemi@yahoo.com)



برج جذب

مبنا یک ثانیه می باشد. محاسبه پارامترهای مقابل: $L, L_s, G, G_s = \text{kmol/sec}$

$$G_1 = \frac{P_1 V_1}{RT_1} \rightarrow G_1 = G_2 \frac{P_1 V_1}{RT_1} \frac{RT_2}{P_2 V_2}$$

$$\rightarrow G_1 = 0.250 \frac{273}{273+261.0133 \times 10^5} \frac{1.07 \times 10^5}{22.41} = 0.01075 \text{ kmol/sec}$$

$$y_1 = 0.02 \rightarrow Y_1 = \frac{0.02}{1-0.02} = 0.0204 \text{ kmol benzene / kmol dry gas}$$

$$G_s = 0.01075(1-0.02) = 0.01051 \text{ kmol dry gas / sec}$$

Mass Transfer

Autumn 1390

A. Ghaemi (ahadghaemi@yahoo.com)

برج جذب

برای جداسازی ۹۵٪ درصد بنزن

$$Y_2 = 0.05Y_1 = 0.05(0.0204) = 0.00102 \text{ kmol benzene / kmol dry gas}$$

روغن بازیابی شده شامل ۰.۰۰۵ درصد مولی بنزن می باشد

$$x_2 = 0.005 \quad X_2 = \frac{0.005}{1 - 0.005} = 0.00503 \text{ kmol benzene / kmol oil}$$

$$p = 13330 \text{ N / m}^2$$

فشار بخار بنزن در دمای ۲۶ درجه سلسیوس برابر:

منحنی تعادلی:
با استفاده از معادله محلول های کامل:

$$p^* = 13330x$$

$$y^* = \frac{p^*}{p_t} = \frac{13330x}{1.07 \times 10^5} = 0.1246x$$

Mass Transfer
Autumn 1390
A. Ghaemi (ahadghaemi@yahoo.com)

برج جذب

منحنی تعادلی:

$$Y^* = \frac{y^*}{1 - y^*} \rightarrow y^* = \frac{Y^*}{1 + Y^*}$$

$$X = \frac{x}{1 - x} \rightarrow x = \frac{X}{1 + X}$$

$$Y_2 = 0.00102$$

$$x_2 = 0.00503$$

$$Y_1 = 0.0204$$

$$y^* = 0.1246x$$

$$\frac{Y^*}{1 + Y^*} = 0.1246 \frac{X}{1 + X}$$

خط عامل از نقطه D شروع می شود.
خط DE با حداکثر شیب بیانگر
حداقل نسبت مایع به گاز می باشد.

$$\text{at } Y_1 = 0.0204$$

$$X_1 = 0.176 \text{ (point E)}$$

$$\min L_s = G_s \frac{(Y_1 - Y_2)}{(X_1 - X_2)}$$

Mass Transfer
Autumn 1390
A. Ghaemi (ahadghaemi@yahoo.com)



برج جذب

$$(L_s)_{\min} = G_s \frac{(Y_1 - Y_2)}{(X_1 - X_2)} = 0.01051 \frac{(0.0204 - 0.00102)}{0.176 - 0.00503} = 1.9 \times 10^{-3} \text{ kmol oil / sec}$$

برای ۱.۵ برابر حداقل شدت جریان:

$$\rightarrow L_s = 1.5 \times 1.9 \times 10^{-3} = 1.787 \times 10^{-3} \text{ kmol oil / sec}$$

$$X_1 = G_s \frac{(Y_1 - Y_2)}{L_s} + X_2$$

محاسبه غلظت محلول خروجی:

$$X_1 = \frac{0.01051(0.0204 - 0.00102)}{1.787 \times 10^{-3}} + 0.00503 = 0.119 \text{ kmol benzene / kmol oil}$$

خط عامل DF می باشد.

Mass Transfer

Autumn 1390

A. Ghaemi (ahadghaemi@yahoo.com)



برج عاری سازی

برج دفع: محلول خروجی از برج ابتدا تا ۱۲۰ درجه سلسیوس گرم شده و سپس در فشار یک اتمسفر وارد برج دفع می شود. بخار عاری کننده در فشار اتمسفری و بصورت فوق اشباع در دما ۱۲۲ درجه سلسیوس به کار می رود حلال بازیابی شده محتوی ۰.۰۰۵ جزء مولی بنزن بوده و تا ۲۶ درجه سلسیوس سرد شده و سپس به برج بر می گردد. شدت جریان بخار لازم ۱.۵ برابر حداقل ممکن در نظر گرفته می شود. دما ثابت و در ۱۲۲ درجه سلسیوس باقی می ماند. شدت گردش بخار را حساب کنید.

حل: در ۱۲۲ درجه سلسیوس فشار بخار بنزن برابر ۳۱۹.۹ کیلو نیوتن بر مترمربع می باشد. لذا منحنی تعادلی برابر است با:

$$\frac{Y^*}{1 + Y^*} = \frac{319.9}{101.325} \left(\frac{X}{1 + X} \right) = 3.16 \frac{X}{1 + X}$$

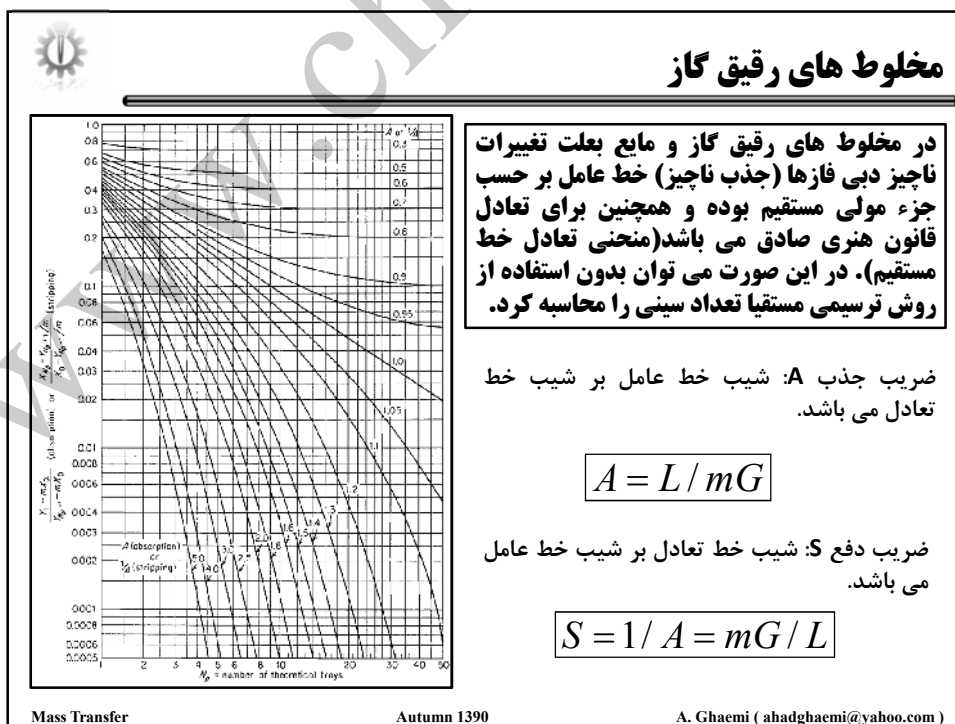
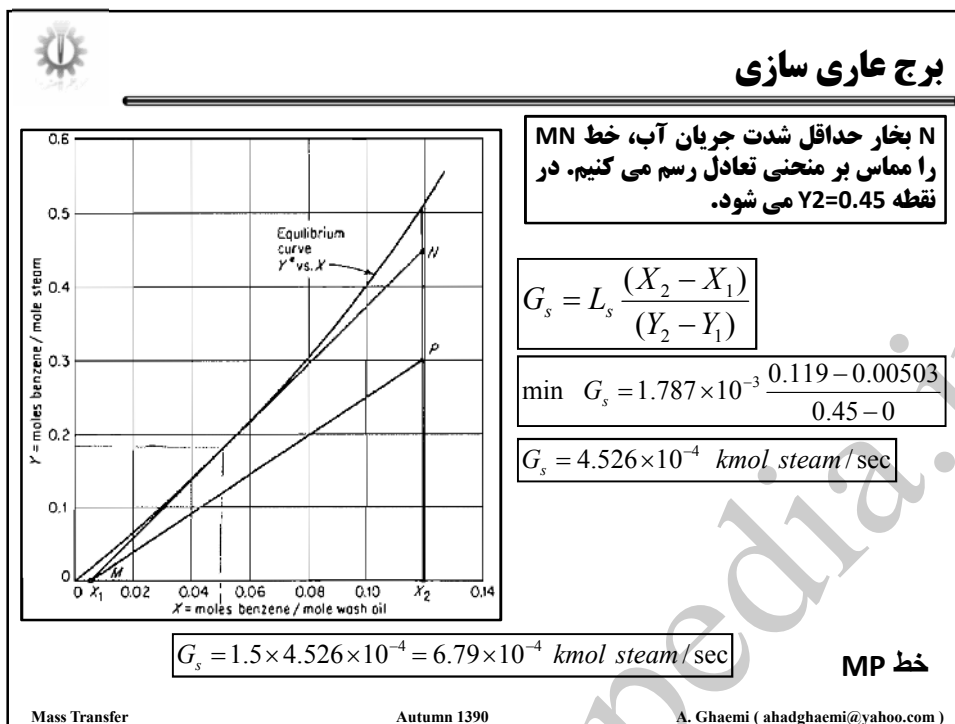
$$X_2 = 0.119 \quad X_1 = 0.00503 \text{ kmol benzene / kmol}$$


$$Y_1 = 0 \text{ kmol benzene / kmol steam}$$

Mass Transfer

Autumn 1390

A. Ghaemi (ahadghaemi@yahoo.com)





معادلات کرمسر برای جذب

برای تسریع در محاسبات از روابط کرمسر برای جذب و دفع استفاده می شود.

$A \neq 1$


$$\frac{Y_{N_p+1} - Y_1}{Y_{N_p+1} - mX_0} = \frac{A^{N_p+1} - A}{A^{N_p+1} - 1}$$

$$N_p = \frac{\log \left[\frac{Y_{N_p+1} - mX_0}{Y_1 - mX_0} \left(1 - \frac{1}{A} \right) + \frac{1}{A} \right]}{\log A}$$

$A = 1$

$$\frac{Y_{N_p+1} - Y_1}{Y_{N_p+1} - mX_0} = \frac{N_p}{N_p + 1} \quad N_p = \frac{Y_{N_p+1} - Y_1}{Y_1 - mX_0}$$

Mass Transfer Autumn 1390 A. Ghaemi (ahadghaemi@yahoo.com)



معادلات کرمسر برای فرآیند دفع

$A \neq 1$

$$\frac{X_0 - X_{N_p}}{X_0 - Y_{N_p+1}/m} = \frac{(S)^{N_p+1} - S}{(S)^{N_p+1} - 1}$$

$$N_p = \frac{\log \left[\frac{X_0 - Y_{N_p+1}/m}{X_{N_p} - Y_{N_p+1}/m} \left(1 - \frac{1}{S} \right) + \frac{1}{S} \right]}{\log S}$$

$A = 1$

$$\frac{X_0 - X_{N_p}}{X_0 - Y_{N_p+1}/m} = \frac{N_p}{N_p + 1} \quad N_p = \frac{X_0 - X_{N_p}}{X_{N_p} - Y_{N_p+1}/m}$$

Mass Transfer Autumn 1390 A. Ghaemi (ahadghaemi@yahoo.com)

تعداد سینی های تئوری لازم برای جذب و دفع مسئله قبل را تعیین کنید.

Mass Transfer

L_1 is changed to L_{N_p}	L_0
L_2	X_{N_p}
X_1	X_0
X_2	X_0
G_1 is changed to G_{N_p+1}	
G_2	G_1
Y_1	Y_{N_p+1}
Y_2	Y_1
x_1 is changed to x_{N_p}	
x_2	x_0
y_1	y_{N_p+1}
y_2	y_1

Autumn 1390


A. Ghaemi (ahadghaemi@yahoo.com)

تعداد سینی ها با استفاده از روش پلکانی برابر است با ۷.۶ می باشد.

Mass Transfer

Autumn 1390

A. Ghaemi (ahadghaemi@yahoo.com)



$$y_{N_p+1} = 0.02 \quad m = y^* / x = 0.125$$

$$y_1 = \frac{0.00102}{1 + 0.00102} = 0.00102$$


$$x_0 = 0.005$$

$$L_{N_p} = L_s(1 + X_{N_p}) = 1.787 \times 10^{-3}(1 + 0.1190) = 2.00 \times 10^{-3} \text{ kmol / sec}$$

$$A_{N_p} = \frac{L_{N_p}}{mG_{N_p}} = \frac{2.00 \times 10^{-3}}{0.125(0.01075)} = 1.488$$

$$L_0 = L_s(1 + X_0) = 1.787 \times 10^{-3}(1 + 0.00503) = 1.796 \times 10^{-3} \text{ kmol / sec}$$

Mass Transfer Autumn 1390 A. Ghaemi (ahadghaemi@yahoo.com)



$$G_1 = G_s(1 + Y_1) = 0.01051(1 + 0.00102) = 0.01052 \text{ kmol / sec}$$

$$A_1 = \frac{L_1}{mG_1} = \frac{1.796 \times 10^{-3}}{0.125(0.01052)} = 1.366$$

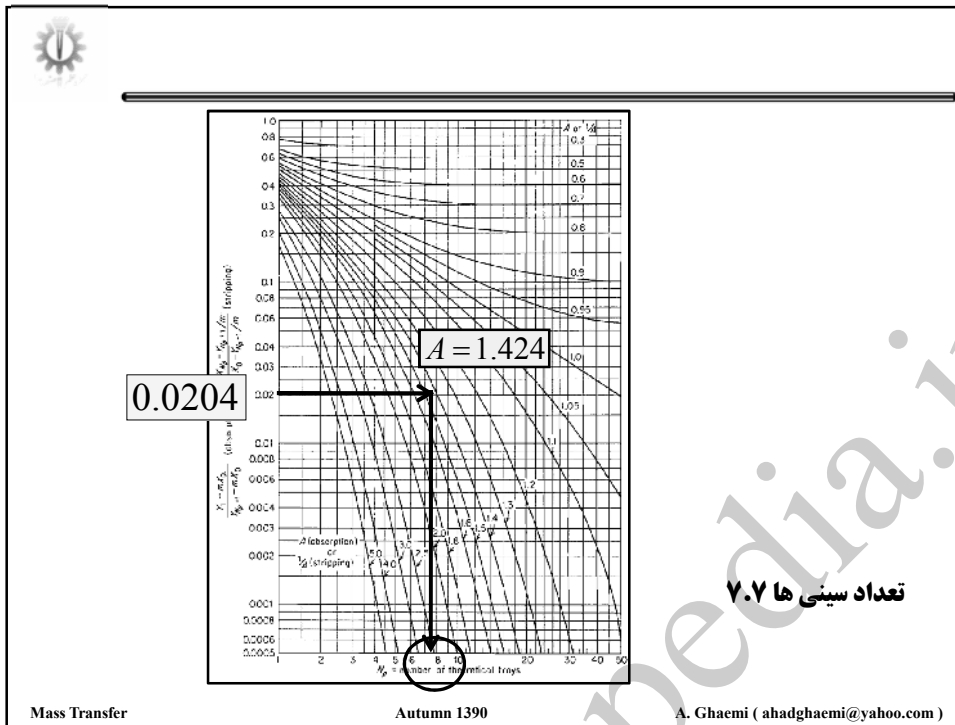
$$A = [1.488(1.366)]^{0.5} = 1.424$$

$$\frac{y_1 - mx_0}{y_{N_p+1} - mx_0} = \frac{0.00102 - 0.125(0.005)}{0.02 - 0.125(0.005)} = 0.0204$$

می توان تعداد سینی را از معادله زیر نیز بدست آورد.

$$N_p = \frac{\log \left[\frac{Y_{N_p+1} - mX_0}{Y_1 - mX_0} \left(1 - \frac{1}{A} \right) + \frac{1}{A} \right]}{\log A}$$

Mass Transfer Autumn 1390 A. Ghaemi (ahadghaemi@yahoo.com)



عملیات غیر همدم

فرآیند جذب اغلب گرما زا بوده و در اثر جذب زیاد گاز دمای محلول افزایش پیدا می کند و این امر باعث کاهش حلالیت یا جذب گاز می شود. راه های ممکن برای جلوگیری از افزایش دما:

- ۱- افزایش دبی مایع
- ۲- سرد کردن مایع در فواصل زمانی معین

اگر مقدار حرارت گرفته شده در واحد زمان از برج به هر روشی باشد. موازنه آنتالپی در اطراف برج:

$$L_0 H_{L0} + G_{N_p+1} H_{G, N_p+1} = L_{N_p} H_{L, N_p} + G_1 H_{G1} + Q_T$$

گرمای انحلال:

$$H_L = C_L(t_L - t_0) + \Delta H_S$$

Mass Transfer Autumn 1390 A. Ghaemi (ahadghaemi@yahoo.com)

عملیات آدیباتیک

در عملیات آدیباتیک Qt برابر صفر می باشد. در این حالت دمای محلول خروجی بیشتر بوده و باعث کاهش حلالیت حل شونده می شود. که این اثر خود سبب افزایش L/G و تعداد سینی ها در مقایسه با فرآیندهای جذب همدم خواهد شد.

برای طراحی موازنه جرم از انتهای برج تا nم می توان نوشت:

$$L_n + G_{N_p+1} = L_{N_p} + G_{n+1}$$

$$L_n x_n + G_{N_p+1} y_{N_p+1} = L_{N_p} x_{N_p} + G_{n+1} y_{n+1}$$

از این دو معادله Ln , xn محاسبه می شود.
موازنه آنتالپی:

$$L_n H_{L,n} + G_{N_p+1} H_{G,N_p+1} = L_{N_p} H_{L,N_p} + G_{n+1} H_{G,n+1}$$

Mass Transfer Autumn 1390 A. Ghaemi (ahadghaemi@yahoo.com)

خط کار ستون های پر شده و سینی دار

در برج های سینی دار تماس فازها فقط در سینی ها انجام می گیرد در حالیکه در برج های پر شده در تمام ستون فازها با هم در تماس بوده و ترکیب نسبی فازها بطور مداوم تغییر می کند لذا هر نقطه در روی خط عامل مبین شرایطی است که در یک محل از برج وجود دارد.

Mass Transfer Autumn 1390 A. Ghaemi (ahadghaemi@yahoo.com)

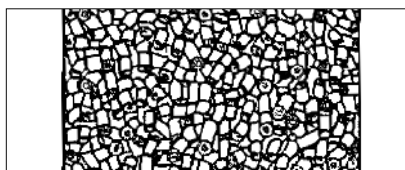


ارتفاع معادل با یک واحد تعادلی (سینی تئوری)

در طراحی برج های پرشده از اختلاف بین تماس پیوسته و تماس واحد به واحد صرف نظر شده است. در این روش تعداد سینی یا صفحات تئوری مانند ستون های سینی دار محاسبه شده و نتیجه در کمیتی که به ارتفاع معادل با یک سینی و یا صفحه تئوری موسوم بوده HETP ضرب می شود تا ارتفاع برج پرشده محاسبه می شود.

Height Equivalent to a theoretical plate

HETP=f(... و غلظت و شدت دبی ها، ابعاد برج)



dz

سطح مشترک مربوط به یک حجم دیفرانسیلی:

$$dS = a dZ$$

Mass Transfer

Autumn 1390

A. Ghaemi (ahadghaemi@yahoo.com)



$$N_B = 0 \Rightarrow \frac{N_A}{N_A + N_B} = 1$$

$$N_A = \frac{N_A}{N_A + N_B} F \ln \frac{[N_A / (N_A + N_B)] - y_i}{[N_A / (N_A + N_B)] - y}$$

$$N_A = F \ln \frac{1 - y_i}{1 - y}$$


شدت انتقال جرم جزء A برابر است با Gy مول بر (سطح) (زمان) می باشد.

$$N_A = \frac{\text{moles A absorbed}}{(\text{interfacial surface})(\text{time})} = \frac{d(Gy)}{a dZ} = F_G \ln \frac{1 - y_i}{1 - y}$$

Mass Transfer

Autumn 1390

A. Ghaemi (ahadghaemi@yahoo.com)



$$d(Gy) = d\left(\frac{G_s y}{1-y}\right) = \frac{G_s dy}{(1-y)^2} = \frac{G dy}{1-y}$$

$$N_A = \frac{d(Gy)}{adz} = \frac{G dy}{adz(1-y)} = F \ln \frac{1-y_i}{1-y}$$

$$\frac{G dy}{a(1-y)F \ln \frac{1-y_i}{1-y}} = dz$$

➔

$$z = \int_0^z dz = \int_{y_2}^{y_1} \frac{G dy}{a(1-y)F \ln \frac{1-y_i}{1-y}}$$

برای محاسبه y_i :


$$\frac{N_A/\Sigma N - y_{A,i}}{N_A/\Sigma N - y_{A,G}} = \left(\frac{N_A/\Sigma N - x_{A,L}}{N_A/\Sigma N - x_{A,i}}\right)^{F_L/F_G}$$

$$\frac{1-y_i}{1-y} = \left(\frac{1-x}{1-x_i}\right)^{\frac{F_L}{F_G}} = \left(\frac{1-x}{1-x_i}\right)^{\frac{F_L a}{F_G a}}$$

Mass Transfer

Autumn 1390

A. Ghaemi (ahadghaemi@yahoo.com)



محاسبه ارتفاع برج

$$z = \int_0^z dz = \int_{y_2}^{y_1} \frac{G dy}{a(1-y)F \ln \frac{1-y_i}{1-y}}$$

$$y - y_i = (1 - y_i) - (1 - y)$$

$$(1-y)_{iM} = \frac{(1-y_i) - (1-y)}{\ln[(1-y_i)/(1-y)]}$$

$$z = \int_0^z dz = \int_{y_2}^{y_1} \frac{G(1-y)_{iM} dy}{F_G a(1-y)(y-y_i)}$$

$$H_{iG} = \frac{G}{F_G a} = \frac{G}{k_y a(1-y)_{iM}} = \frac{G}{k_G a p_i(1-y)_{iM}}$$

ارتفاعی از برج پر شده که معادل با یک واحد انتقال گاز می باشد.

$$z = \int_0^z dz = \int_{y_2}^{y_1} H_{iG} \frac{(1-y)_{iM} dy}{(1-y)(y-y_i)}$$

$$z \approx H_{iG} \int_{y_2}^{y_1} \frac{(1-y)_{iM} dy}{(1-y)(y-y_i)} = H_{iG} N_{iG}$$

Mass Transfer

Autumn 1390

A. Ghaemi (ahadghaemi@yahoo.com)



تعداد و ارتفاع هر واحد:

حسابی

$$(1-y)_{iM} \approx \frac{(1-y_i) - (1-y)}{2}$$

$$N_{iG} = \int_{y_2}^{y_1} \frac{dy}{(y-y_i)} + \frac{1}{2} \ln \frac{1-y_2}{y-y_1}$$

نظیر معادلات فوق را برای فاز مایع نیز می توان بدست آورد.

$$Z = \int_{x_2}^{x_1} \frac{L dx}{F_L a (1-x) \ln \left[\frac{(1-x)}{(1-x_i)} \right]} = \int_{x_2}^{x_1} \frac{L(1-x)_{iM} dx}{F_L a (1-x)(x_i-x)}$$

$$Z = \int_{x_2}^{x_1} \frac{H_{iL} (1-x)_{iM} dx}{(1-x)(x_i-x)} \approx H_{iL} \int_{x_2}^{x_1} \frac{(1-x)_{iM} dx}{(1-x)(x_i-x)} = H_{iL} N_{iL}$$

$$H_{iL} = \frac{L}{F_L a} = \frac{L}{k_x a (1-x)_{iM}} = \frac{L}{k_L a c (1-x)_{iM}}$$

$$N_{iL} = \int_{x_2}^{x_1} \frac{dx}{x_i-x} + \frac{1}{2} \ln \frac{1-x_1}{1-x_2}$$

این معادلات برای برج عاری سازی نیز صادق می باشد.



برج خنک کننده

برج خنک کننده دستگاهی است که با ایجاد سطح وسیع تماس آب با هوا تبخیر آسان می کند و باعث خنک شدن سریع آب می گردد. عمل خنک شدن در اثر از دست دادن گرمای نهان تبخیر انجام می گیرد، در حالی که مقدار کمی آب تبخیر می شود و باعث خنک شدن آب می گردد. باید توجه داشت آب مقداری از گرمای خود را به طریق تشعشع، هدایتی و جابجایی و بقیه از راه تبخیر از دست می دهد.

در اکثر کارخانجات کوچک و بزرگ یکی از مهمترین و اساسی ترین دستگاهها می توان انواع برج های خنک کننده را نام برد. برج های خنک کننده علاوه بر آب به منظور خنک کردن سیالاتی دیگر در صورت لزوم مورد استفاده واقع می شود.

Mass Transfer Autumn 1390 A. Ghaemi (ahadghaemi@yahoo.com)

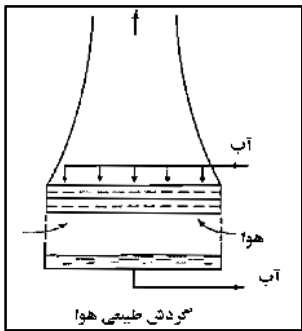
برج خنک کننده

برج های خنک کننده به دودسته عمده زیر تقسیم می شوند:

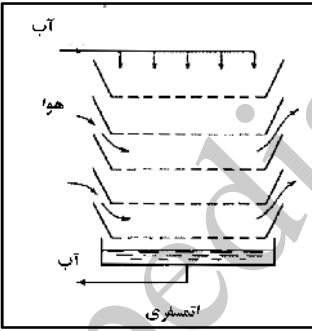
۱- برجهای خنک کننده با کشش طبیعی هوا
۲- برجهای خنک کننده با کشش مکانیکی هوا

که هر یک از این دو دسته به انواع زیر دسته بندی می شوند:

۱- برج های خنک کننده با جریان متقابل COUNTER FLOW
۲- برج های خنک کننده با جریان عرضی CROSS FLOW



مردش طبیعی هوا

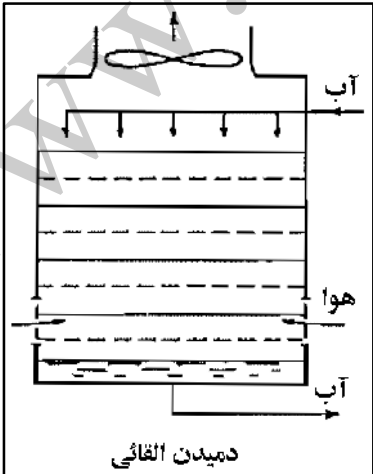


اتمسفری

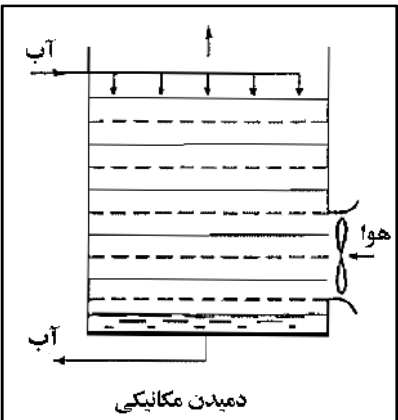
Mass Transfer Autumn 1390 A. Ghaemi (ahadghaemi@yahoo.com)

برج خنک کننده

۲- برجهای خنک کننده با کشش مکانیکی هوا



دمیدن الغائی



دمیدن مکانیکی

Mass Transfer Autumn 1390 A. Ghaemi (ahadghaemi@yahoo.com)

برج خنک کننده

۲- برجهای خنک کننده با کشش مکانیکی هوا

جریان عرضی القائی

برج خشک / مرطوب

Mass Transfer Autumn 1390 A. Ghaemi (ahadghaemi@yahoo.com)

تجهیزات خنک کننده

Mass Transfer Autumn 1390 A. Ghaemi (ahadghaemi@yahoo.com)



قسمت های اصلی برج خنک کننده:

الف) لوله ها و آکنه ها

در جریان انتقال حرارت دخالت داشته و باعث می شود که مقدار آب همراه هوا خارج می شود کم شده و از خروج آنها از برج جلوگیری شود. همچنین نگهدار خوبی برای قسمت های دیگر برج می باشد.

ب) حوضچه

حوضچه در پائین برج قرار دارد که آب خنک کننده در آن جمع می گردد. به حوضچه جریان جبرانی (MAKE UP) وارد می شود و یک جریان برای استفاده در دستگاه های تبادل حرارت از آن خارج می گردد. علاوه بر جمع آوری آب در حوضچه، آب قبل از اینکه به سمت کندانسور پمپ شود صاف نیز می گردد.

Mass Transfer

Autumn 1390

A. Ghaemi (ahadghaemi@yahoo.com)



قسمت های اصلی برج خنک کننده:

پ) فن ها

در برجهای خنک کننده با کشش مکانیکی باد بزن های نصب می شوند تا جریان هوای لازم را جهت عبور از آکنه ها تولید نماید. بادبزنها در برج های خنک کننده با کشش مکانیکی کاربرد دارند.

ت) حذف کننده ها

این وسیله از خارج شدن قطرات آب بوسیله کشش هوا از برج جلوگیری بعمل می آورد. تیغه ها معمولاً طوری نصب می شوند که با سطح افق زاویه ای در حدود ۴۵ درجه بسازد. جنس این تیغه ها از چوب، فلز یا پلاستیک ممکن است ساخته شده باشند.

Mass Transfer

Autumn 1390

A. Ghaemi (ahadghaemi@yahoo.com)

قسمت های اصلی برج خنک کننده:




(ث) آکنه ها

SPLASH PACKING

در این نوع آکنه ها آب بر اثر برخورد با تیغه ها پخش و به صورت قطره قطره در آمده که در نتیجه ایجاد سطح وسیع می نماید.

FILM PACKING

در این نوع آکنه ها سطح وسیع از آب در اثر جریان آن در روی تیغه ها بوجود می آید. به طرق گوناگون می توان چنین سطح وسیعی ایجاد کرد. شامل:

GIRD PACKING - ۱

در این نوع آکنه ها از یک سری شبکه های که معمولاً از چوب بوده و روی یکدیگر قرار گرفته اند استفاده می شود. این شبکه ها طوری نصب گردیده که همراه هر شبکه با شبکه های اطراف خود زاویه ۹۰ درجه می سازند و باین شکل در سطوح شبکه ها پخش می گردد.

Mass Transfer Autumn 1390 A. Ghaemi (ahadghaemi@yahoo.com)

قسمت های اصلی برج خنک کننده:



RANDOM PACKING - ۲

این نوع آکنه ها موادی با سطح زیاد درست شده که به طور نامنظم در داخل برج قرار دارند. یکی از دلایل نامرغوب بودن این نوع آکنه ها ایجاد مقاومت زیاد در مقابل جریان هوا می باشد. این حلقه ها از جنس های مختلفی بوده و سطح تماس آب با هوا را زیاد می کنند.

PLATE TYPE FILM PACKING - ۳

این نوع آکنه ها از صفحات نازک پلاستیکی چین دار ساخته شده اند که با زاویه کمی کمتر از ۹۰ درجه با سطح افق نصب شده اند. چین های روی صفحات باعث بوجود آمدن سطح زیاد می گردند.

آکنه ها باید طوری انتخاب شوند تا هم سطح تماس آب و هوا برای نسبت های بالای انتقال حرارت و انتقال جرم مناسب باشند و هم مقاومت کمتری در مقابل جریان هوا داشته باشند. آکنه ها باید محکم، سبک و در برابر خوردگی مقاوم باشد.

Mass Transfer Autumn 1390 A. Ghaemi (ahadghaemi@yahoo.com)



مشکلات استفاده از آب

هر چند که آب برای انتقال گرما بسیار مناسب است با بکار بردن آن باعث بوجود آمدن مشکلاتی نیز می شود.

- ۱- سختی بالای آب باعث رسوب سازی در دستگاه ها می شود.
- ۲- از آنجایی که بیشتر این دستگاهها از آلیاژ آهن ساخته شده اند مشکل خوردگی بوجود می آید.
- ۳- از طرف دیگر بیشتر برج های خنک کننده در برخورد مستقیم با هوا و نور خورشید می باشند محیط مناسبی برای رشد باکتریها و میکرو ارگانیسم ها نیز می باشد که آنها نیز مشکلاتی همراه دارند.
- ۴- وارد شدن گرد و خاک بداخل برج نیز در بعضی مواقع ایجاد اشکال می نماید. در کل این مشکلات باعث می شود که بازدهی دستگاه کم شده و در نتیجه از نظر اقتصادی مخارج زیادتری خواهند داشت.

Mass Transfer

Autumn 1390

A. Ghaemi (ahadghaemi@yahoo.com)



دلایل استفاده از آب:

- بدلائل زیر آب معمولترین سرد کننده هاست:
 - ۱- بمقدار زیاد و ارزان در دسترس می باشد.
 - ۲- به آسانی آب را می توان مورد استفاده قرار داد.
 - ۳- قدرت سرد کنندگی آب نسبت به اکثر مایعات (در حجم مساوی) بیشتر است.
 - ۴- انقباض و انبساط آب با تغییر درجه حرارت جزیبی است.

Mass Transfer

Autumn 1390

A. Ghaemi (ahadghaemi@yahoo.com)



مزایا و معایب برج های خنک کننده

مزایای اصلی این برج ها:

- ۱- اطمینان از بجریان انداختن هوای مورد نیاز به هر میزان و در شرایط اقلیمی و آب و هوایی
- ۲- استفاده از پمپ های با فشار کم
- ۳- اشغال فضای کمتر جهت بهره برداری از این نوع دستگاه های مبرد
- ۴- تنظیم دقیق دمای آب
- ۵- سرمایه اولیه کم و هزینه ساخت ناچیز

از معایب این نوع برج ها :

- ۱- قدرت زیاد باد بزن ها مستلزم خرج زیادتر است.
- ۲- ایجاد سروصدا و لرزش های فراوان حاصل از گردش پروانه ها
- ۳- خسارات ناشی از خرابی فن ها و فساد الوار

Mass Transfer

Autumn 1390

A. Ghaemi (ahadghaemi@yahoo.com)



طراحی برج های خنک کننده

عوامل مؤثر در طراحی برجهای خنک کننده را بطور خلاصه می توان بصورت زیر بیان کرد:

- ۱- میزان افت درجه حرارت (اختلاف دمای ورودی و خروجی برج)
 - ۲- اختلاف بین درجه حرارت آب سرد و درجه حرارت مرطوب هوا
 - ۳- دمای مرطوب محیط: اصولاً خنک کردن آب زیر این دما غیر ممکن است.
 - ۴- شدت جریان آب
 - ۵- شدت جریان هوا
 - ۶- نوع آکنه های برج
 - ۷- روش پخش آب
- به تجربه ثابت شده است که برای هر ۱۰ درجه فارنهایت افت دما در برج خنک کننده میزان تبخیر در حدود یک درصد کل آب در حال گردش می باشد.

Mass Transfer

Autumn 1390

A. Ghaemi (ahadghaemi@yahoo.com)