

## فصل اول

# مقدمه ای بر تقوُّذ و انتقال جرم



# سه پدیده انتقال جرم ، ممتوم و حرارت و جایگاه پدیده انتقال جرم در مقایسه با دو پدیده دیگر



## ◆ Mass Transfer ◆

1. وجود پدیده های ممنتوم و حرارت در رشته های مهندسی دیگر و مختص بودن پدیده انتقال جرم به رشته ی مهندسی شیمی

2. علاوه بر راکتورهای شیمیایی که همراه با واکنش شیمیایی هستند بسیاری از واحد های عملیاتی دیگر نیز وجود دارند که بدون واکنش شیمیایی بوده و در زمینه انتقال جرم قرار می گیرند .

3. پدیده انتقال جرم به لحاظ اینکه در مخلوط صورت می گیرد در مقایسه با پدیده های حرارت و ممنتوم متفاوت است، و همچنین به لحاظ اینکه حرکت ذرات با سرعت های مختلفی صورت می گیرد، از پیچیدگی خاصی نسبت به حرارت و ممنتوم برخوردار است.

4. اصولاً قیاس پدیده های جرم ، حرارت و ممنتوم در حالتی که میزان انتقال جرم کم است محقق می باشد یا اصولاً زمانی که فلاکس جرمی خالص صفر (  $\text{Net Flax} = 0$  ) باشد، قیاسی صحیح می باشد.

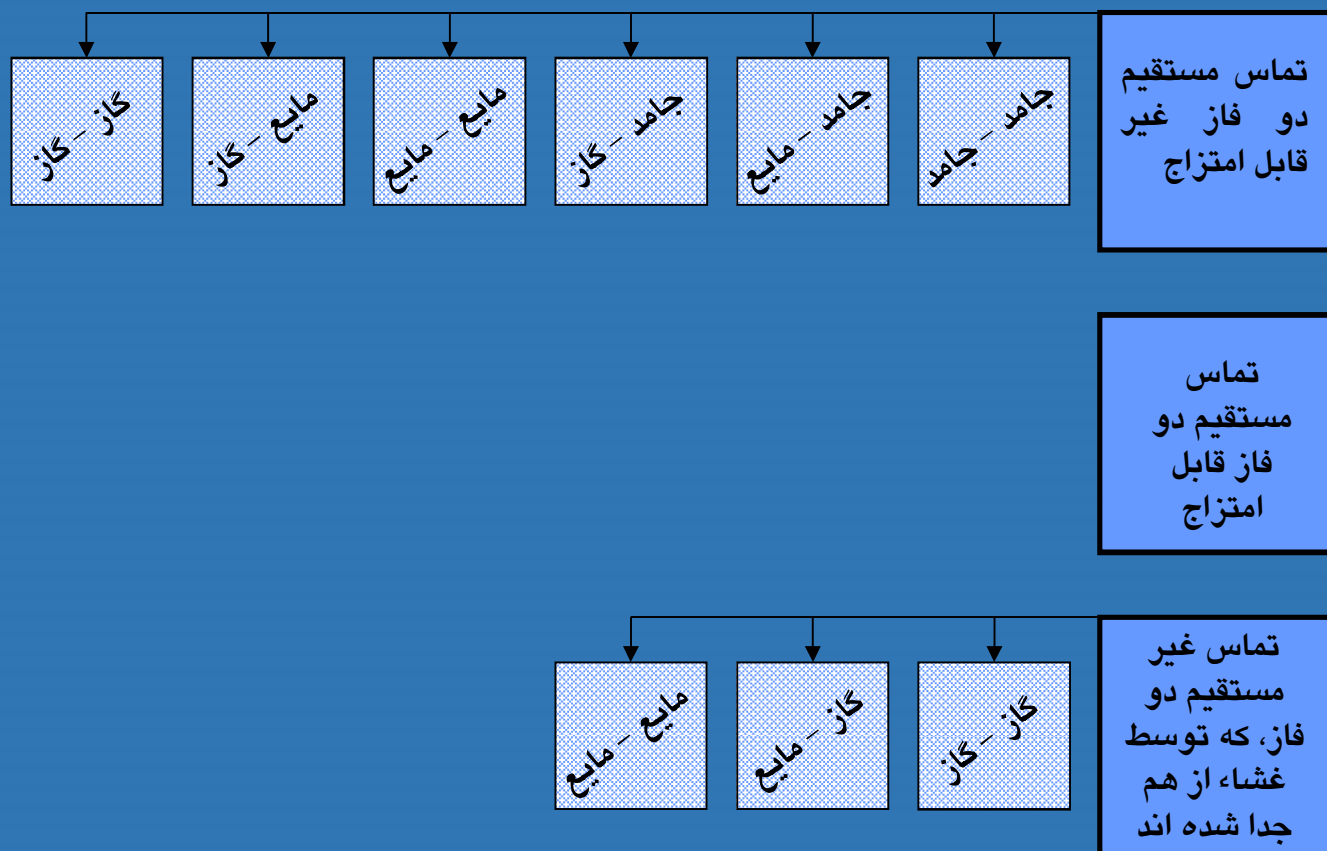


# انتقال جرم در واحدهای عملیاتی مختلف

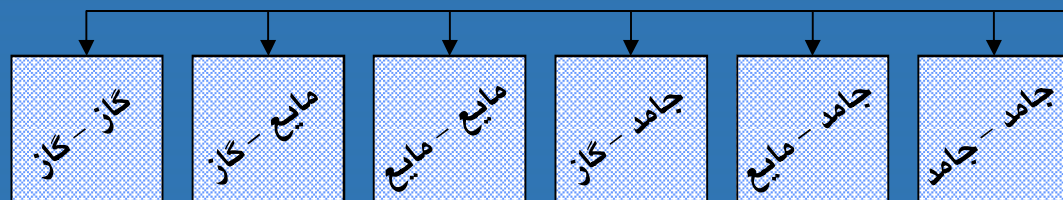


## Mass Transfer

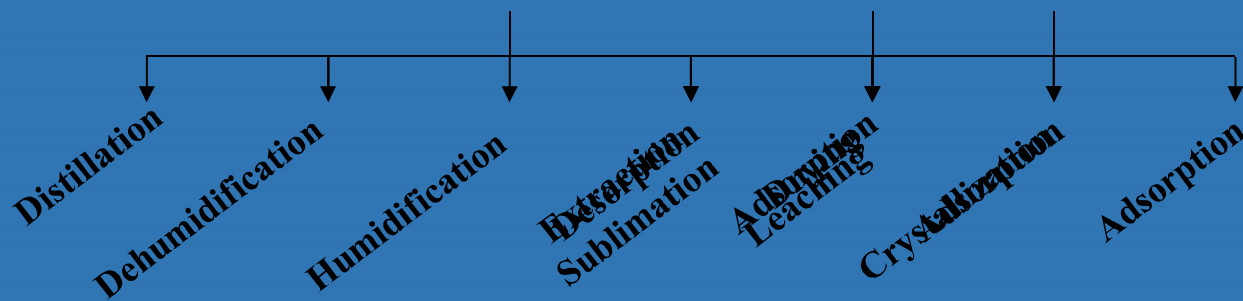
1- مروری بر واحدهای عملیاتی مختلف از نقطه نظر نحوه امتزاج آنها:



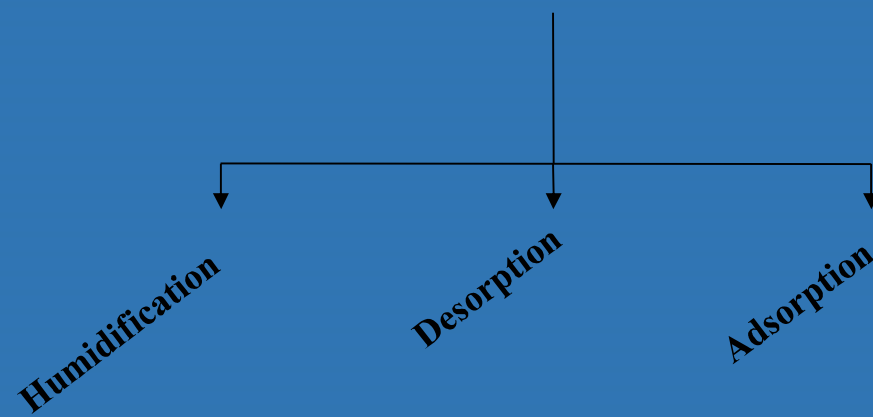
# Mass Transfer



تماس مستقیم  
دو فاز غیر  
قابل امتزاج



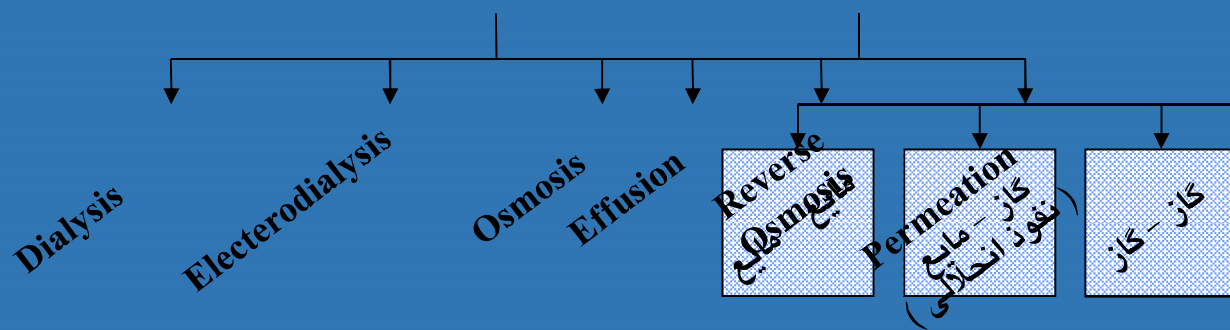
# ◆ Mass Transfer ◆



تماس  
مستقیم دو  
فاز قابل  
امتزاج



## Mass Transfer



تماس غیر  
مستقیم دو  
فاز، که توسط  
غشاء از هم  
جدا شده اند



# عملیات انتقال جرم



## کلیات:

به طور کلی در مهندسی شیمی هدف جداسازی دو یا چند جزء از یک مخلوط به ازای آن می باشد.

در اکثر فرایندهای ( Process ) شیمیایی، عملیات انتقال جرم اهمیت زیادی دارد . در این فرآیندها معمولاً خالص تر کردن مواد اولیه و تبدیل آن به فرآورده های مختلف و یا تفکیک یک فرآورده نهائی از یک فرآورده جنبی مورد نظر می باشد. در عملیات انتقال جرم ، انتقال اجزا در یک مقیاس مولکولی بررسی می شود . در حقیقت عملیات انتقال جرم در نتیجه ی وجود گرادیان ( Gradient ) غلظت مولکولی بین دو نقطه صورت می گیرد.



## عملیات جداسازی در مهندسی شیمی :

1. جداسازی مکانیکی : فیلتراسیون ، غربال کردن

2. جداسازی یک مخلوط همگن :

الف ) همراه با واکنش شیمیایی

ب ) بدون واکنش شیمیایی

❖ آنچه در این درس مد نظر می باشد جداسازی بدون واکنش شیمیایی می باشد.



## تقسیم بندی عملیات انتقال جرم :

(1) تماس مستقیم دو فاز قابل امتزاج

(2) تماس مستقیم دو فاز غیرقابل امتزاج

(3) انتقال جرم بین دو فاز از درون غشا (Membrane)

(4) استفاده از پدیده های سطحی برای تفکیک مواد



# (1) تماس مستقیم دو فاز قابل امتزاج



## ◆ Mass Transfer ◆

در مواردی که دو فاز مخلوط شدنی در تماس هستند ، به علت مخلوط شدن سریع آنها گرادیان غلظت اجزا بین دو فاز از بین رفته و عمل نفوذ مولکولی متوقف می گردد. از این جهت جز در حالات خاص این گونه عملیات دارای کاربردهای صنعتی نمی باشند.

در برخی از موارد ایجاد گرادیان درجه حرارت در یک فاز سبب ایجاد گرادیان غلظت بین مولکولهای آن فاز گشته و منجر به نفوذ و انتقال آنها می گردد. نفوذ مولکولها تحت اثر گرادیان حرارتی ( Thermal Diffusion ) نامیده می شود.  
مانند تفکیک ایزوتوپها.



# (1) تماس مستقیم دو فاز غیرقابل امتزاج



## ◆ Mass Transfer ◆

بطور کلی می توان انتظار داشت زمانی که دو فاز با هم در تماس باشند غلظت اجزای موجود در هر یک از آنها تغییر کرده و پس از گذشت زمان طولانی به حالت تعادل نزدیک می گردد.

عملیات انتقال جرم برای هریک از این دو گروه را می توان بر حسب حالت هریک از دو فاز بررسی نمود.



## 1 ( حالت گاز-گاز :

به علت قابلیت تحرک بسیار زیاد ، گاز ها در اثر تماس مستقیم بلافاصله با یکدیگر مخلوط شده و ایجاد فاز واحدی می نمایند. بدین جهت در این حالت عملاً موارد کاربردی ندارد



## 2) حالت گاز-مایع :

انتقال جرم بین دو فاز مایع و فاز گاز از طریق دادن گرما و یا گرفتن گرما انجام می پذیرد. در این صورت فازی که در اثر افزایش یا کاهش گرما ایجاد می شود با فاز دیگر در حال تعادل است. در نتیجه وجود این تعادل ، اجزا به نسبت های متفاوت بین دو فاز توزیع شده ، از یکدیگر تفکیک می گردند. این عمل انتقال جرم را تقطیر جز به جز و یا تقطیر می نامند. در تقطیر عملیات انتقال جرم به صورت گاز  $\rightleftharpoons$  مایع می باشد.

## جذب ( Absorption ) :

در جذب، انتقال جرم از فاز گاز به فاز مایع صورت می گیرد. مثل جداسازی آمونیاک از مخلوط هوا و آمونیاک توسط آب .



## دفع ( Desorption ) :

در دفع، انتقال جرم از فاز مایع به فاز گاز صورت می گیرد. مثل جداسازی آمونیاک از محلول آب و آمونیاک توسط هوا.

## رطوبت دهی ( Humidification ) :

فرآیندی است که انتقال جرم از فاز مایع به فاز گاز صورت می گیرد و فرق آن با فرآیند دفع در این است که فاز مایع آب خالص است.

## رطوبت زدایی ( Dehumidification ) :

فرآیندی است که انتقال جرم از فاز گاز به فاز مایع صورت می گیرد و فرق آن با فرآیند جذب در این است که فاز گاز خالص است.



### 3) حالت گاز- جامد :

#### 1. تصعید ( Sublimation ) :

تبدیل جسم از حالت جامد در اثر گرم کردن به بخار بدون اینکه تبدیل به مایع شود را تصعید گویند.

#### 2. خشک کردن ( Drying ) :

اگر جسم جامدی آغشته به یک مایع فرار در مجاورت گاز خشکی قرار گیرد مولکولهای مایع از جامد خارج شده و به درون فاز گاز انتقال می یابند که این فرآیند را خشک کردن گویند.

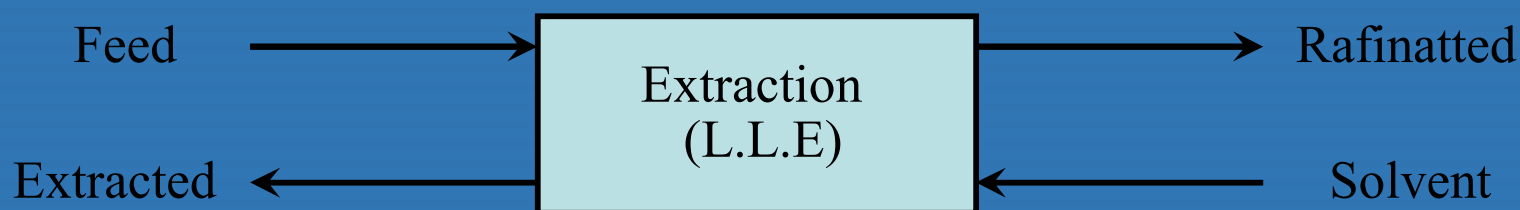
#### 3. جذب سطحی ( Adsorption ) :

هرگاه هوای مرطوب در مجاورت ذرات سلیکاژل فعال قرار گیرد، بتدریج مولکولهای آب به درون ذرات جامد نفوذ کرده و موجب خشک شدن هوا می گردد.



## 4) حالت مایع - مایع :

چنانچه انتقال ماده ای در اثر تماس دو فاز مایع نامحلول به یکدیگر صورت گیرد این نوع عمل انتقال جرم را استخراج مایع-مایع ( Liquid – Liquid Extraction (L.L.E) می گویند. که در صنایع دارو سازی و شیمی از جایگاه ویژه‌ای برخوردار است. شمای کلی یک واحد استخراج بصورت زیر می باشد:



## 5) حالت مایع - جامد :

نمونه ای از این نوع انتقال جرم در عملیات تبلور وجود دارد ، که به این نوع عملیات جداسازی جامد - مایع ( Solid-Liquid Extraction (S.L.E) ) گویند. به عنوان مثال می توان به تهیه قند از شربت آن اشاره نمود.

بطور کلی به عملیات استخراج جامد - مایع ، Leaching گفته می شود که عمدتاً فلزات به وسیله این روش استخراج می گردند.

Leaching :



## ◆ Mass Transfer ◆

در عملیات استخراج از جامدات، جهت انتقال جزء مورد نظر از فاز جامد به سمت فاز مایع است. چنانچه این انتقال در جهت عکس صورت گیرد، عمل انتقال جرم به نام جذب سطحی خوانده میشود. که میتوان به تفکیک مواد رنگی طبیعی موجود در نیشکر از شیر قند اشاره کرد.



## 6) حالت جامد - جامد :

در این حالت به علت نبودن تحرک مولکولی نفوذ و انتقال مواد بین دو فاز بسیار کند است و از این جهت انتقال جرم بین دو فاز کاربرد صنعتی ندارد.



# 3 ( انتقال جرم بین دو فاز از درون غشا ( Membrane )



## ◆ Mass Transfer ◆

به طور کلی علت استفاده از این عملیات جلوگیری از آمیخته شدن دو فاز مخلوط شدنی است.  
مکانیزم عمل انتقال از درون غشاء بستگی به عمل تفکیک دارد انتقال جرم بین دو فاز تنها از طریق نفوذ مولکولی در داخل غشاء صورت می گیرد که بر حسب فازهای مورد نظر می توان آنها را به صورت زیر بررسی نمود.



## 1) حالت گاز - گاز :

برای انتقال جرم بین دو فاز باید از غشایی استفاده کرد که دارای سوراخهای میکروسکوپی باشد شدت نفوذ مولکول از درون چنین غشایی بستگی به وزن مولکولی آن دارد. در نتیجه اگر گازی که اجزای تشکیل دهنده آن دارای اوزان مولکولی مختلف است که تماس با چنین غشایی قرار گیرد مقادیر مختلفی از هر جزء از داخل غشاء نفوذ خواهد کرد و باعث خواهد شد که غلظت جزئی در فاز گازی که در دو طرف غشاء قرار دارد متفاوت با فاز گاز اولیه گردد و در نتیجه تفکیک اجزاء به وسیله انتقال جرم بین دو فاز گاز با استفاده از یک غشاء انجام گیرد. این انتقال جرم «نفوذ گازی از درون غشاء» (efution) نامیده می شود.

مکانیزم دیگری که باعث انتقال جرم بین دو فاز گاز می گردد نفوذ انحلالی permeation است.



## (2) حالت مایع - گاز:

مکانیزم انتقال جرم در این حالت تنها به صورت نفوذ انحلالی است مثلاً اگر محلولی از آب و الکل در مجاورت غشایی غیر متخلل مناسبی قرار داده شود الکل در مقایسه با آب به علت انحلال ترجیحی پس از عبور از میان غشاء در طرف دیگر آن تبخیر خواهد شد .



### (3) حالت مایع - مایع :

برخی از غشاها دارای خاصیتی می باشند که به موجب آن قادرند مواد متبلور موجود در محلولها را از خود عبور دهند به عنوان مثال در یک مخلوط کلوئیدی ، یک غشاء تراوا قادر به حل کردن ماده متبلور و حلال در خود می باشد ، ولی چنین تمایلی را نسبت به ذرات کلوئیدی از خود نشان نمی دهند. به این گونه عملیات انتقال جرم دیالیز ( Dialysis ) گفته می شود . مثال عمل عملی آن تصفیه شیر چغندر قند از مواد کلوئیدی ناخالص به کمک آب خالص است که مولکولهای آب و قند از درون غشا عبور کرده در حالی که ذرات کلوئیدی درشت نمی توانند عبور کنند.

شدت عمل دیالیز از را می توان با اعمال برخی از عوامل خارجی افزایش داد مثلا می توان به کمک یک میدان الکتریکی ذرات موجود در یک محلول را باردار کرد و جذب آنها را توسط غشاء تسهیل نمود. در این حالت عمل انتقال جرم را الکترو دیالیز ( Electrodialysis ) می نامند .



## ◆ Mass Transfer ◆

چنانچه غشایی محلول را از یک حلال خالص جدا کرده باشد و خاصیت نفوذ پذیری آن فقط برای عبور مولکولهای حلال باشد ، مولکولهای حلال از داخل غشاء عبور کرده و وارد محلول می شوند در این حالت عمل اسمز Osmosis انجام می گیرد.

با وجود این امر می توان با اعمال فشار جهت حرکت مولکولهای حلال خالص را معکوس نمود به طوری که مولکولهای حلال را از محلول به درون حلال خالص در طرف دیگر غشا منتقل کرده و اجزای محلول را از هم تفکیک نمود. از این عمل انتقال جرم به نام اسمز معکوس Reverse Osmosis یاد می شود .



# 4 ( استفاده از پدیده های سطحی برای تفکیک مواد



## ◆ Mass Transfer ◆

برخی از مواد پس از انحلال یک مایع ، در فصل مشترک مایع با گازی که در تماس است مجتمع شده و موجب کاهش کشش سطحی می گردند. با استفاده از این خاصیت می توان این مواد را از محلولها تفکیک نمود. مثلاً با دمیدن هوا یا گاز دیگری به دورن محلول ، مولکولهای جسم حل شده در اطراف حبابهای حاصل مجتمع شده و به صورت کف در مایع ظاهر می شود.



# عملیات ناپایا ( Unsteady )



در عملیات ناپایا غلظت اجزاء در هر نقطه داخل دستگاه با گذشت زمان تغییر می کند این حالت ناپایایی در نتیجه تغییرات عوامل و کمیت های مختلف بر حسب زمان ایجاد می گردد .

در میان این عوامل می توان به غلظت اجزاء در خوراک دستگاهها ، شدت جریان فازها و عواملی مانند درجه حرارت و فشار اشاره نمود . عملیاتی که به صورت ناپیوسته ( batch ) و یا نیمه پیوسته ( semi- batch یا semi- continus ) انجام می گیرند عملیات ناپایا می باشند .



# عملیات پایا ( Steady )



## ◆ Mass Transfer ◆

در عملیات پایا غلظت اجزاء در هر نقطه داخل دستگاه با گذشت زمان تغییر نمی کند. ایجاد چنین حالتی مستلزم وجود جریان پیوسته و ثابت فازها به داخل و خارج دستگاه می باشد .



# اصول طراحی یک واحد عملیاتی



در طراحی یک واحد عملیاتی چهار عامل اصلی باید تعیین گردد:

1- تعداد مراحل ایده آل

2 - مدت زمان لازم برای تماس

3 - دبی جریان ها

4 - انرژی مورد نیاز



# پایان فصل ۱

