

فصل پنجم

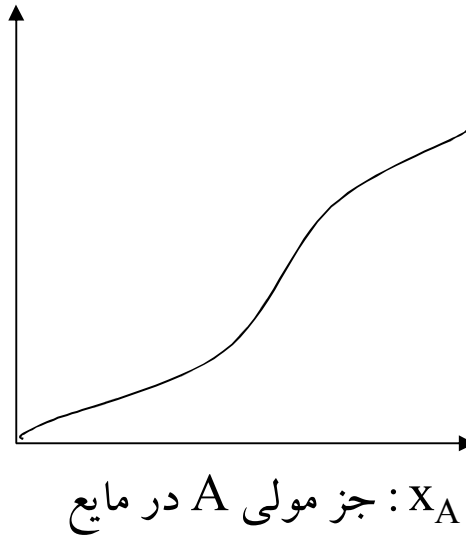
انتقال جرم بین دو فاز

تعادل

برای روشن شدن ماهیت حالت تعادل دو فاز بهتر است به یک مثال اشاره شود. فرض کنید مقدار معینی از آب را که در ظرف سر بسته ای در مجاورت مقدار معینی از مخلوط هوا و آمونیاک (در درجه حرارت و فشار ثابت) قرار گرفته است در نظر می گیریم. به علت تمایل زیاد آمونیاک به انحلال در آب، تعدادی از مولکولهای آمونیاک سریعاً از فصل اشتراک گاز مایع عبور نموده، به درون فاز آب انتقال می یابد. همچنین تعدادی از مولکولهای حل شده آمونیاک با شدتی که متناسب با غلظت آنها در آب است دوباره به فاز گاز بر می گردند.

هرچه تعداد مولکولهایی که از فاز گاز به فاز آب منتقل می شود بیشتر شود، غلظت آمونیاک در آب بیشتر شده، در نتیجه تعداد مولکولهایی از آمونیاک که در جهت عکس به فاز گاز بر می گردند. نیز بیشتر خواهد شد و این عمل تا جایی ادامه خواهد یافت که حالت تعادل بین دو فاز برقرار گردد و شدت ورود مولکولها به فاز آب دقیقاً برابر با شدت خروج آنها از فاز آب گردد.

* باید توجه داشت که برای حالتی که تعادل بین دو فاز برقرار می شود ، غلظت جزء حل شده در هر فاز با یکدیگر مساوی نمی باشد بلکه پتانسیل شیمیائی آن جزء در هر فاز با هم برابر است.



با وجود تشابه کلی، بررسی خصوصیات و شکل منحنی تعادل و تغییرات آن با شرایط مختلف درجه حرارت و فشار در هر مورد جداگانه باید مورد بررسی قرار گیرد.

با وجود اختلاف موجود بین منحنی های تعادل در مورد مختلف، توزیع یک جزء بین دو فاز تابع اصولی است که برای تمام عملیات انتقال جرم مشترک می باشد. که این اصول عبارتند از:

1. در درجه حرارت و فشار ثابت ، رابطه تعادلی منحصر به فردی برای توزیع یک جزء بین دو فاز وجود دارد.

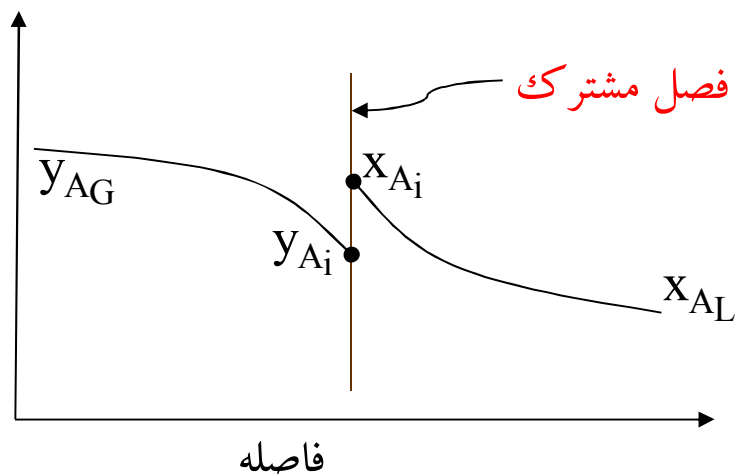
2. برای سیستمی که به حالت تعادل رسیده است، شدت منتج انتقال جرم بین دو فاز برابر صفر است.

3. برای سیستمی که به حالت تعادل نرسیده است، انتقال جرم بین دو فاز در جهتی انجام می گیرد که سیستم را به حالت تعادل برساند.

نفوذ مولکولی وانتقال جرم موضعی

بین دو فاز

اگر جذب گاز آمونیاک از مخلوط گازی آمونیاک و هوا توسط آب جذب گردد. چنانچه مخلوط گازی از پائین وارد برج گردد، غلظت آمونیاک در فاز گاز ضمن بالا رفتن در داخل برج کمتر می گردد و هنگام خروج از بالا به حداقل می رسد. در مقابل آب که جهت حرکت آن از بالا به پائین است بتدریج ضمن پائین آمدن محتوی مقدار بیشتری آمونیاک می شود به طوری که هنگام خروج از پائین برج بیشترین غلظت را دارا می گردد. اگر عمل جذب در حالت پایا انجام گیرد، با وجود تغییرات تدریجی در طول برج، غلظت آمونیاک در هر نقطه در داخل برج ثابت باقی مانده، با زمان تغییری نمی نمایند.

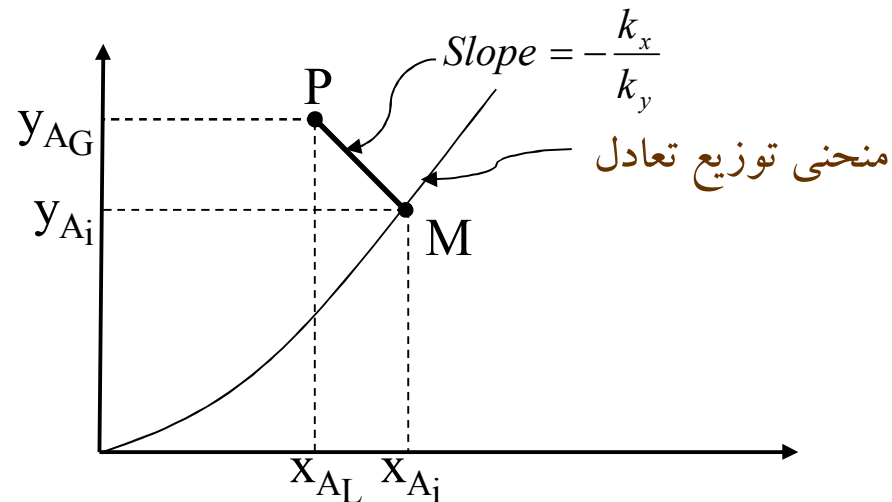


فرض کنیم مطالعه جرم در سطح مقطع خاصی از برج مزبور مورد نظر باشد. اگر فرض بر این باشد که هیچ گونه واکنش شیمیایی در دو فاز وجود ندارد، مطابق شکل، جز مولی A در توده فاز گاز Y_{AG} و در فصل مشترک به مقدار y_{Ai} کاهش می یابد. همچنین، در فاز مایع جزء مولی آمونیاک از مقدار X_{Ai} در فصل مشترک (در فاز مایع) به مقدار X_{AL} در توده مایع افت می کند. از آنجا که دو فاز گاز و مایع در حال تعادل با یکدیگر نمی باشد، نقطه ای به مختصات Y_{AG} و X_{AL} در روی منحنی توزیع تعادل جزء قرار ندارد، زیرا در غیر این صورت انتقال جرم بین این دو فاز متوقف می گردید.

برای تعیین مقدار انتقال جرم بین دو فاز نمی توان مستقیماً از غلظت های X_{AL} و Y_{AG} ضریب انتقال جرم استفاده کرد زیرا دو غلظت مزبور نشان دهنده اجزای مولی در دو فاز مختلف هستند و رابطه آنها با پتانسیل شیمیایی در هر فاز که نیروی راننده حقیقی برای انتقال جرم است، متفاوت می باشد.

برای این منظور لوئیز (Lewis) و ویتمن (Whitman) نظریه خاصی را پیشنهاد کردند که مطابق آن مقاومت انتقال جرم بین توده گاز و توده مایع برابر با مجموع مقاومت‌های موجود در هر فاز می باشد. به این ترتیب، مطابق این نظریه مقاومتی برای انتقال جرم در فصل مشترک دو فاز وجود ندارد و همواره حالت تعادل در فصل مشترک برقرار است.

تغییر غلظت جزء A از توده گاز به توده مایع را می توان در مختصات دیگری نیز دنبال کرد. در این شکل جزء مولی در فاز گاز را بر حسب جزء مولی مایع نیز می توان ترسیم نمود. اگر غلظت جزء نفوذ کننده در فاز گاز y_i را بر حسب غلظت جزء نفوذ کننده فاز مایع x_i ترسیم نمائیم فرض کنیم P نقطه ای به طول x_{AL} و عرض y_{AG} باشد و M نقطه ای با مختصات x_{Ai} و y_{Ai} ، یعنی غلظت های جزء A در فصل مشترک دو فاز باشد. در حالت پایا غلظت جزء A در فصل مشترک ثابت است و مقدار ماده ای که از توده گاز به فصل مشترک منتقل می گردد درست برابر با مقداری است که از فصل مشترک به توده مایع انتقال می یابد.



در این حالت می توان شار جزء A را در هر فاز جداگانه به صورت حاصل ضربی از تغییر غلظت در آن فاز با ضریب فردی انتقال جرم مربوط به آن فاز نوشت. بدین ترتیب، اگر ضرایب موضعی انتقال جرم در فاز گاز و در فاز مایع به ترتیب برابر k_x و k_y باشد، شار جزء مورد نظر برحسب این ضرایب و نیروی محرکه در هر فاز برابر خواهد بود با:

$$N_A = k_y(y_{AG} - y_{Ai}) = k_x(x_{Ai} - x_{AL})$$

که می توان نوشت:

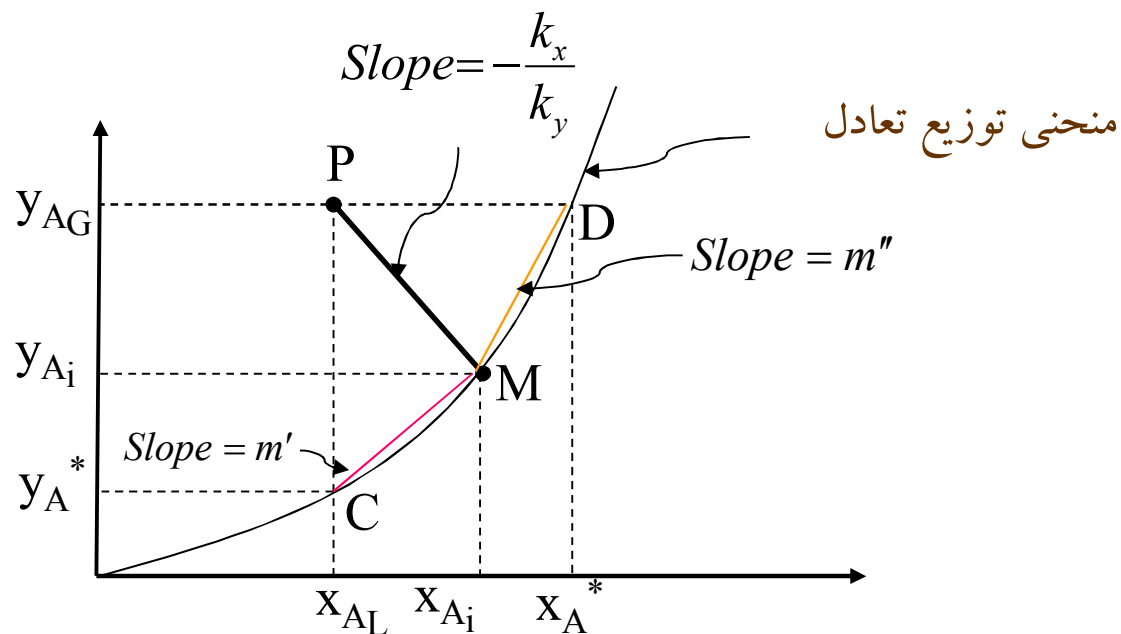
$$\frac{y_{AG} - y_{Ai}}{x_{AL} - x_{Ai}} = - \frac{k_x}{k_y}$$

این معادله مشخص کننده شیب خط PM است.

چنانچه ضرایب فردی انتقال جرم در هر فاز مشخص باشد، می توان با روش ترسیمی غلظتهای تعادل را در فصل مشترک پیدا کرده و مقدار N_A را محاسبه نمود.

ضرایب جمعی موضعی انتقال جرم

متأسفانه، اندازه گیری مستقیم غلظت در فصل مشترک دو فاز تقریباً غیرممکن است. زیرا تغییر غلظت از مثلاً y_{Ai} به y_{AG} در فاصله بسیار کوچکی از فصل مشترک صورت می گیرد. محاسبه شدت انتقال جرم بین دو فاز با استفاده از غلظتهای توده در دو فاز در نظر گرفتن اثر جمعی مقاومت دو فاز انجام پذیر است. با توجه به شکل رسم شده نقطه ای به عرض y_A^* که در حال تعادل با x_{AL} است نقطه ثابتی می باشد و به این جهت می تواند به عنوان معیاری از غلظت x_{AL} بکار رود.



علاوه بر آن ، غلظت y_A^* مبنای یکسانی با غلظت y_{AG} دارد. بنابراین، به جای مقایسه y_{AG} با x_{AL} می توان y_{AG} را با y_A^* مقایسه کرده، تفاضل $(y_{AG} - y_A^*)$ را به عنوان معیاری از تغییر غلظت توده های دو فاز تعریف نمود و شدت انتقال جرم را نیز به کمک ضریب جمعی انتقال جرم بر حسب این مقدار تعیین کرد. به عبارت دیگر :

$$N_A = K_y (y_{AG} - y_A^*)$$

k_y : ضریب جمعی انتقال جرم برای فاز گاز

به کمک شکل می توان نیروی محرکه $(y_{AG} - y_A^*)$ را به صورت زیر نوشت:

$$* \left. \begin{aligned} y_{AG} - y_A^* &= (y_{AG} - y_{A_i}) + (y_{A_i} - y_A^*) \\ m' &= \frac{y_{A_i} - y_A^*}{x_{A_i} - x_{A_L}} \end{aligned} \right\} y_{AG} - y_A^* = (y_{AG} - y_{A_i}) + m'(x_{A_i} - x_{A_L})$$

قبلاً نوشتیم:

$$N_A = K_y (y_{AG} - y_A^*) \quad \& \quad N_A = K_y (y_{AG} - y_{A_i}) \quad \& \quad N_A = K_x (x_{A_i} - x_{A_L})$$

با ترکیب این روابط می توان نوشت:

$$* \longrightarrow \frac{N_A}{K_y} = \frac{N_A}{k_y} + \frac{m' N_A}{k_x} \quad \Rightarrow \quad \frac{1}{K_y} = \frac{1}{k_y} + \frac{m'}{k_x}$$

k_x : ضریب فردی انتقال جرم در فاز مایع

k_y : ضریب فردی انتقال جرم در فاز گاز

طبق رابطه $\frac{1}{K_y} = \frac{1}{k_y} + \frac{m'}{k_x}$ ، ملاحظه می شود که مقاومت کل برای انتقال جرم بین دو فاز برابر با مجموع مقاومت های موجود در هر فاز است. از این جهت، عبارت « دو مقاومت » برای این نظریه وجه تسمیه مناسبی می باشد. به همین ترتیب می توان غلظت X_A^* را که در حالت تعادل با y_{AG} است به عنوان معیاری از غلظت توده فاز گاز به کاربرد، و به کمک آن ضریب جمعی انتقال جرم در فاز مایع را به صورت زیر نوشت :

$$N_A = K_x (x_A^* - x_{AL})$$

که نیروی محرکه $(X_A^* - X_{AL})$ را می توان به صورت $(X_A^* - X_{Ai}) + (X_{Ai} - X_{AL})$ نوشت که اگر این مقادیر را بر حسب N_A بنویسیم داریم:

$$\frac{N_A}{K_x} = \frac{N_A}{k_x} + \frac{N_A}{m'' k_y} \quad m'' = \frac{y_{AG} - y_{Ai}}{x_A^* - x_{Ai}} \rightarrow \frac{1}{K_x} = \frac{1}{k_x} + \frac{1}{m'' k_y} \quad *$$

به کمک معادله * می توان نسبت های زیر را برای مقاومت نسبی هر فاز در مقابل انتقال جرم بدست آورد.

$$\frac{1/k_y}{1/K_y} = \frac{\text{مقاومت در فاز گاز}}{\text{مقاومت کل}} \qquad \frac{1/k_x}{1/K_x} = \frac{\text{مقاومت در فاز مایع}}{\text{مقاومت کل}}$$

چنانچه مقادیر k_x و k_y تقریباً با هم برابر باشند مقدار m' نشان خواهد داد که کدام یک از دو فاز مقاومت بیشتری را در مقابل انتقال جرم ایجاد می نماید.

در حالتی که منحنی تعادل دارای شیب کمی باشد، m' عدد کوچکی خواهد بود و در حالت تعادل غلظت بسیار کمی از جزء A در فاز گاز منجر به ایجاد غلظت زیادی از آن در فاز مایع خواهد گردید. یا به عبارتی جزء A تمایل زیادی نسبت به انحلال در فاز مایع را دارد. به عبارت دیگر $\frac{m'}{k_x}$ در مقایسه با $\frac{1}{k_y}$ مقدار کوچکی خواهد بود و در این حالت مقاومت در فاز گاز عامل کنترل کننده شدت انتقال جرم است و می توان نوشت که:

$$\frac{1}{K_y} \cong \frac{1}{k_y} \quad \& \quad y_{AG} - y_A^* \cong y_{AG} - y_{Ai}$$

بر عکس، چنانچه حالتی را در نظر بگیریم که منحنی تعادل دارای شیب زیادی باشد، m' عدد بزرگی خواهد بود (در این حالت جزء A تمایل بسیار کمی نسبت به انحلال در فاز مایع را دارد).

چنانچه مقادیر k_x و k_y تقریباً با یکدیگر برابر باشند، عبارت $\frac{1}{m''k_y}$ در مقایسه با عبارت $\frac{1}{k_x}$ مقدار کوچکی خواهد بود، به طوری که می توان گفت که مقاومت اصلی برای انتقال جرم بین دو فاز در فاز مایع می باشد و مقاومت در این فاز عامل کنترل کننده شدت انتقال جرم است. همچنین در حالتی که m'' بسیار بزرگ باشد خواهیم داشت که:

$$\frac{1}{K_x} \cong \frac{1}{k_x} \quad \Rightarrow \quad x_{A^*} - x_{A_L} \cong x_{A_i} - x_{A_L}$$

* تأثیر درجه حرارت بر ضریب انتقال جرم مایع به مراتب بیشتر از اثر آن بر ضریب انتقال جرم فاز گاز است، پس تغییر دادن درجه حرارت وسیله مناسبی برای تشخیص فازی است که کنترل کننده شدت انتقال جرم می باشد.

به طور کلی اگر انتقال جرم بین دو فاز دلخواه E و R مطرح باشد و غلظت در فاز E را با i و غلظت در فاز R را با i نشان دهیم خواهیم داشت:

$$\frac{1}{K_E} = \frac{1}{k_E} + \frac{m'}{k_R}$$

$$\frac{1}{K_R} = \frac{1}{k_R} + \frac{1}{m''k_E}$$

$$m' = \frac{i_{A_i} - i_{A}^*}{j_{A_i} - j_{A_R}} \quad \& \quad m'' = \frac{i_{A_E} - i_{A_i}}{j_{A}^* - j_{A_i}}$$

$$i_{A}^* = f(j_{A_R}) \quad \& \quad i_{A_E} = f(j_{A}^*)$$