

ضرایب جمعی موضعی - حالت عمومی

استفاده از ضرایب انتقال جرم نوع K هنگامی جایز است که انتقال جرم محدود به نفوذ یک جزء در یک محیط ساکن و یا نفوذ متقابل اجزاء با شدت مولی معادل مطرح باشد. در غیر این صورت و یا چنانچه انتقال جرم با شدت بسیار زیادی صورت گیرد باید از ضرایب عمومی F استفاده نمود. با استفاده از آنچه تا کنون بیان شد، می توان روابط بین ضرایب جمعی عمومی انتقال جرم و ضرایب فردی عمومی هر فاز را بدست آورد.

F_G : ضریب فردی عمومی انتقال جرم در فاز گاز

F_L : ضریب فردی عمومی انتقال جرم در فاز مایع

آنگاه:

$$N_A = \frac{N_A}{\sum N} \cdot F_G \cdot \ln \left[\frac{\frac{N_A}{\sum N} - y_{A_i}}{\frac{N_A}{\sum N} - y_{A_G}} \right]$$

$$N_A = \frac{N_A}{\sum N} \cdot F_L \cdot \ln \left[\frac{\frac{N_A}{\sum N} - x_{A_L}}{\frac{N_A}{\sum N} - x_{A_i}} \right]$$

$$\Rightarrow \frac{N_A}{\sum N} \cdot F_G \cdot \ln \left[\frac{\frac{N_A}{\sum N} - y_{A_i}}{\frac{N_A}{\sum N} - y_{A_G}} \right] = \frac{N_A}{\sum N} \cdot F_L \cdot \ln \left[\frac{\frac{N_A}{\sum N} - x_{A_L}}{\frac{N_A}{\sum N} - x_{A_i}} \right] \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \ln \left[\frac{\frac{N_A}{\sum N} - y_{A_i}}{\frac{N_A}{\sum N} - y_{A_G}} \right] = \frac{F_L}{F_G} \cdot \ln \left[\frac{\frac{N_A}{\sum N} - x_{A_L}}{\frac{N_A}{\sum N} - x_{A_i}} \right] \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \frac{\frac{N_A}{\sum N} - y_{A_i}}{\frac{N_A}{\sum N} - y_{A_G}} = \left(\frac{\frac{N_A}{\sum N} - x_{A_L}}{\frac{N_A}{\sum N} - x_{A_i}} \right)^{\frac{F_L}{F_G}}$$

به علت وجود عبارت $\frac{N_A}{\sum N}$ ، که معمولاً مقدار نامعلومی است، محاسبه y_{A_i} و x_{A_i} تنها از طریق حدس و خطا ممکن می گردد.

ضرایب عمومی انتقال جرم بین دو فاز F_{OG} و F_{OL} ، به صورت زیر تعریف می شود:

$$N_A = \frac{N_A}{\sum N} \cdot F_{OG} \cdot \ln \left[\frac{\frac{N_A}{\sum N} - y_A^*}{\frac{N_A}{\sum N} - y_{AG}} \right] \quad \& \quad N_A = \frac{N_A}{\sum N} \cdot F_{OL} \cdot \ln \left[\frac{\frac{N_A}{\sum N} - x_{AL}}{\frac{N_A}{\sum N} - x_A^*} \right]$$

$$\frac{1}{F_{OG}} = \frac{1}{F_G} + \frac{m'}{F_L} \quad \& \quad \frac{1}{F_{OL}} = \frac{1}{m'' F_G} + \frac{1}{F_L}$$

مثال : در برج جداره مرطوبی به قطر داخل 1" آب از بالا و مخلوط آمونیاک و هوا از پائین برج وارد می شود. آب از روی دیواره و گاز از وسط برج حرکت می کند. در برش معینی از این برج، جزء مولی آمونیاک در توده گاز 0.8 و در توده مایع 0.05 است. درجه حرارت و فشار به ترتیب 80°F و یک جو است. شدت جریان دو فاز به میزانی است که، برای انتقال جرم از سیستمهای دقیق، ضریب انتقال جرم در فاز مایع برابر $k_L = 0.34 \frac{\text{lb}_{mol}}{\text{hr} \cdot \text{ft}^2}$ و عدد شرود برای فاز گاز 40 می باشد. ضریب نفوذ مولکولی آمونیاک در هوا $0.89 \text{ ft}^2/\text{hr}$ است. به فرض اینکه آب تبخیر نگردد، شدت موضعی جذب آمونیاک در این برش را محاسبه نمایید.

اطلاعات زیر در مورد نحوه توزیع تعادل آمونیاک بین آب و هوا در 80°F در دسترس است.

جزء مولی آمونیاک در هوا $y_A = P_A / 14.7$	فشار جزئی آمونیاک در هوا $P_A: \text{lb}_f/\text{in}^2$	جزء مولی آمونیاک در آب x_A
0	0	0
0.0707	1.04	0.05
0.1347	1.98	0.1
0.590	8.69	0.25
0.920	13.52	0.3

حل: به علت زیاد بودن غلظت آمونیاک در فاز گازی به جای ضرائب نوع K باید از ضریب عمومی F استفاده کرد.

From Table 1.3 : $F_L = K_L x_{BM} C$

با توجه به اینکه جرم مولکولی آمونیاک تقریباً برابر آب است، جرم ویژه محلول رقیق آمونیاک در آب تقریباً برابر با جرم ویژه آب خالص است.

$$C = \frac{\rho}{M} = \frac{62.3}{18} = 3.44 \frac{lb_{mol}}{ft^3}$$

به خاطر رقیق بودن $x_{BM} \approx 1$ می باشد پس

$$F_L = (0.34)(3.44)(1) = 1.17 \frac{lb_{mol}}{hr \cdot ft^2}$$

در فاز گاز داریم:

$$Sh = \frac{F_G \cdot d}{C \cdot D_A}$$

$$C = \frac{P}{RT} \quad \text{or} \quad C = \frac{1}{359} \frac{492}{460 + 80} = 0.00254 \quad \frac{lb_{mol}}{ft^3}$$

$$F_G = \frac{40 \cdot C \cdot D_A}{d} = \frac{(40)(0.00254)(0.89)}{1/12} = 1.085 \quad \frac{lb_{mol}}{ft^2}$$

از آنجائی که تنها مولکولهای آمونیاک انتقال می یابند پس $N_B = 0$ و $\frac{N_A}{\sum N} = 1$ خواهد بود. با تغییر

دادن y_{Ai} به Y_A و x_{Ai} به X_A و معادله ی زیر

$$\frac{\frac{N_A}{\sum N} - y_{Ai}}{\frac{N_A}{\sum N} - y_{AG}} = \left(\frac{\frac{N_A}{\sum N} - x_{AL}}{\frac{N_A}{\sum N} - x_{Ai}} \right)^{\frac{F_L}{F_G}}$$

خواهیم داشت :

$$\frac{1 - y_A}{1 - y_{AG}} = \left(\frac{1 - x_{AL}}{1 - x_A} \right)^{\frac{F_L}{F_G}} \Rightarrow 1 - y_A = (1 - y_{AG}) \left(\frac{1 - x_{AL}}{1 - x_A} \right)^{\frac{F_L}{F_G}}$$

$$\Rightarrow y_A = 1 - (1 - y_{AG}) \left(\frac{1 - x_{AL}}{1 - x_A} \right)^{\frac{F_L}{F_G}} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow y_A = 1 - (1 - 0.8) \left(\frac{1 - 0.05}{1 - x_A} \right)^{1.078} \Rightarrow$$

x_A	0.05	0.15	0.25	0.3
y_A	0.8	0.78	0.742	0.722

منحنی به دست آمده از این نقاط منحنی تعادل را در نقطه ای به مختصات x_{A_i} و y_{A_i} قطع می کند. این مختصات که برابر با غلظت آمونیاک در فصل مشترک است از روی شکل برابر $x_{A_i}=0.274$ و

$y_{A_i}=0.732$ خوانده می شود. حال با داشتن معادله

$$N_A = \frac{N_A}{\sum N} \cdot F_L \cdot \ln \left[\frac{\frac{N_A}{\sum N} - x_{A_L}}{\frac{N_A}{\sum N} - x_{A_i}} \right] = (1)(1.17) \ln \left[\frac{1 - 0.05}{1 - 0.274} \right] = 0.316 \frac{lb_{mol}}{hr \cdot ft^2}$$

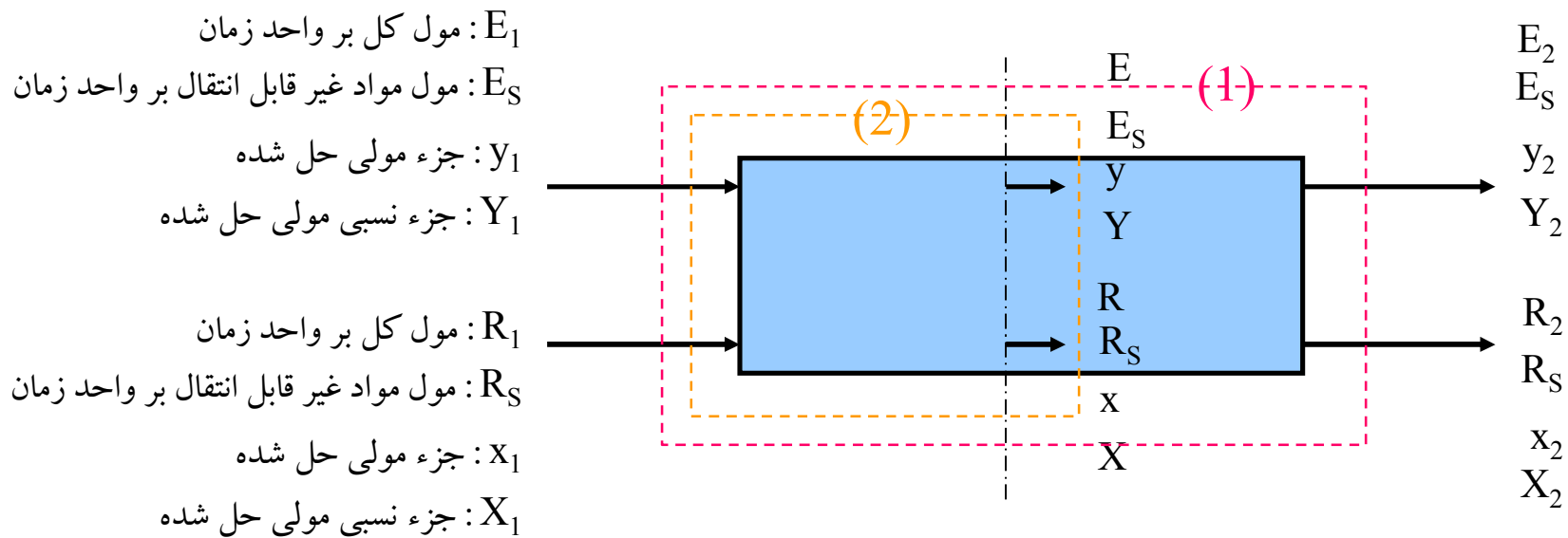
یا

$$N_A = \frac{N_A}{\sum N} \cdot F_G \cdot \ln \left[\frac{\frac{N_A}{\sum N} - y_{A_i}}{\frac{N_A}{\sum N} - y_{A_G}} \right] = (1)(1.085) \ln \left[\frac{1 - 0.732}{1 - 0.8} \right] = 0.316 \frac{lb_{mol}}{hr \cdot ft^2}$$

موازنه مواد در عملیات انتقال جرم

عملیات انتقال جرم را در فرایندهای هم جهت در حالت پایا و یا در فرایندهای غیر هم جهت در حالت پایا می توان بررسی نمود. ابتدا فرآیندهای هم جهت را بررسی می نمایم. اگر دو فاز E و R را به عنوان دو فاز مخلوط نشدنی در نظر بگیریم. اگر شدت جریان R در هنگام ورود به دستگاه برابر R_1 مول بر واحد زمان فرض شود. از این مقدار R_S مول بر واحد زمان شامل اجزائی است که انتقال نمی یابد. جزء مولی جزء A در فاز R هنگام ورود به دستگاه x_1 است که ضمن عبور از دستگاه و تماس با فاز E، جزء A از فاز R به فاز E منتقل شده و موجب می گردد که در انتهای دستگاه مقدار فاز R به R_2 مول بر واحد زمان و جزء A در آن به x_2 کاهش یابد. بدیهی است که شدت جریان اجزای غیر A در این فاز، به علت عدم انتقال آنها، به میزان R_S مول بر واحد زمان ثابت باقی می ماند. به همین ترتیب شدت جریان E در نقطه ورود E_1 مول بر واحد زمان است که از این مقدار E_S مول بر واحد زمان مربوط به شدت

جریان اجزائی است که انتقال نمی یابند . جزء مولی جزء A در این فاز هنگام ورود به دستگاه y_1 است. به خاطر افزایش تدریجی مقدار جزء A در فاز E در طول دستگاه شدت جریان این فاز هنگام خروج به E_2 و جزء مولی جزء A در آن به y_2 افزایش می یابد در حالی که شدت جریان اجزای غیر A در آن برابر با E_S ثابت باقی می ماند.



تغییرات غلظت جزء A را می توان با نوشتن موازنه برای جزء A نوشت:

$$\text{موازنه کلی: } R_1 + E_1 = R_2 + E_2 \quad \text{or} \quad R_1 - R_2 = E_2 - E_1$$

$$\text{موازنه جزئی: } R_1 x_1 + E_1 y_1 = R_2 x_2 + E_2 y_2 \quad \text{or} \quad R_1 x_1 - R_2 x_2 = E_2 y_2 - E_1 y_1$$

می توان این رابطه را بر اساس اجزاء منتقل نشونده نیز نوشت:

$$R_S = R_1(1-x_1) = R_2(1-x_2)$$

$$E_S = E_1(1-y_1) = E_2(1-y_2)$$

$$\text{موازنه کلی : } R_1 + E_1 = R_2 + E_2$$

$$\text{موازنه جزئی : } R_1 x_1 + E_1 y_1 = R_2 x_2 + E_2 y_2$$

$$R_S = R_1(1-x_1) = R_2(1-x_2)$$

$$E_S = E_1(1-y_1) = E_2(1-y_2)$$

\Rightarrow

$$R_1 \frac{x_1}{1-x_1} + E_1 \frac{y_1}{1-y_1} = R_2 \frac{x_2}{1-x_2} + E_2 \frac{y_2}{1-y_2}$$

$$R_S X_1 + E_S Y_1 = R_S X_2 + E_S Y_2$$

$$R_S (X_1 - X_2) = E_S (Y_2 - Y_1)$$

با جایگذاری :

$$R_1 x_1 = R_S \frac{x_1}{1 - x_1} = R_S X_1 \quad \& \quad R_2 x_2 = R_S \frac{x_2}{1 - x_2} = R_S X_2$$

$$E_1 y_1 = E_S \frac{y_1}{1 - y_1} = E_S Y_1 \quad \& \quad E_2 y_2 = E_S \frac{y_2}{1 - y_2} = E_S Y_2$$

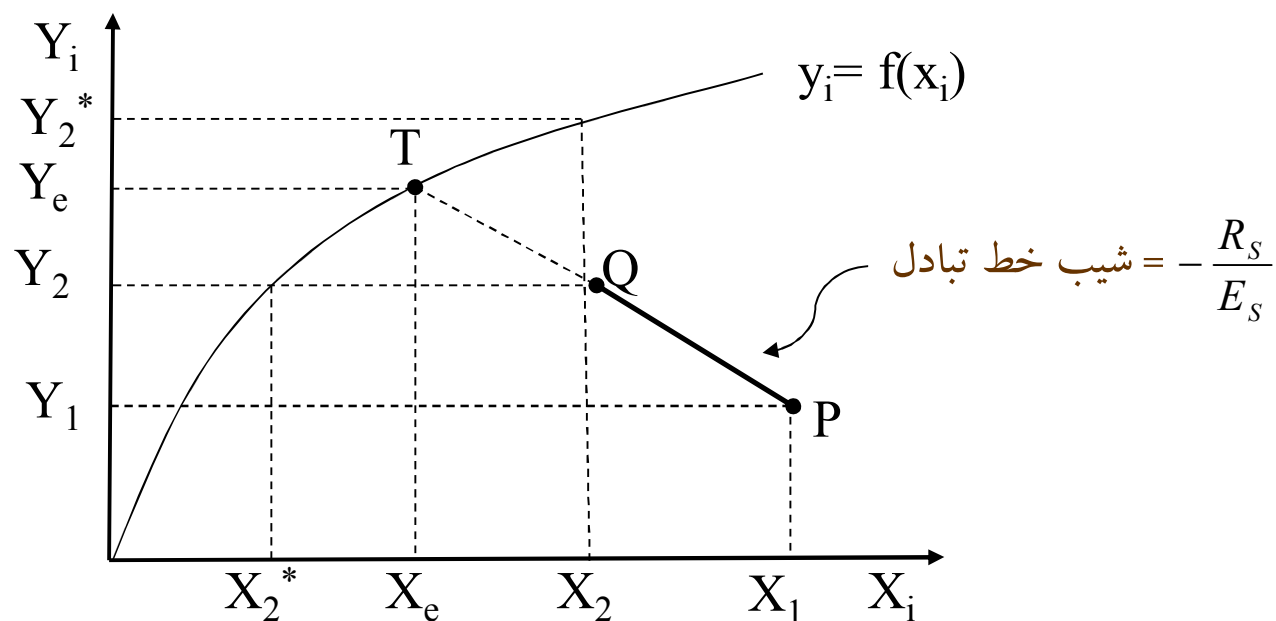
می توان نوشت :

$$R_S X_1 - R_S X_2 = E_S Y_2 - E_S Y_1 \quad or \quad R_S (X_1 - X_2) = E_S (Y_2 - Y_1)$$

$$\frac{Y_2 - Y_1}{X_2 - X_1} = - \frac{R_S}{E_S}$$

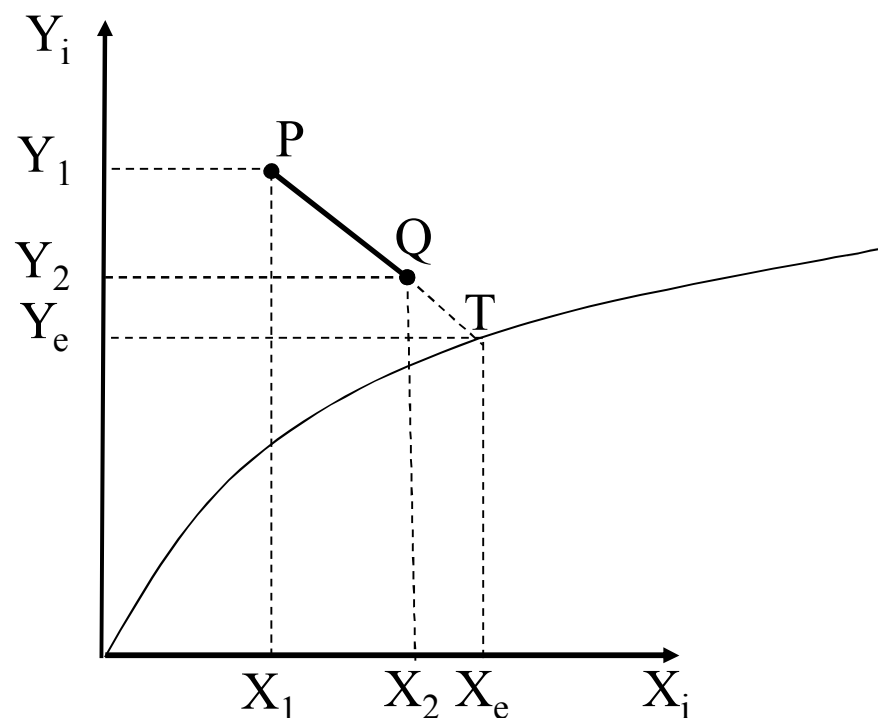
خط تبادل :

اگر منحنی تعادلی Y (مول A بر مول غیر A) در فاز E را بر حسب X (مول A بر مول غیر A) در فاز R رسم کنیم خط PQ خط تبادل نامیده می شود.



نمودار انتقال جرم از R به فاز E در یک فرایند هم جهت در حالت پایا

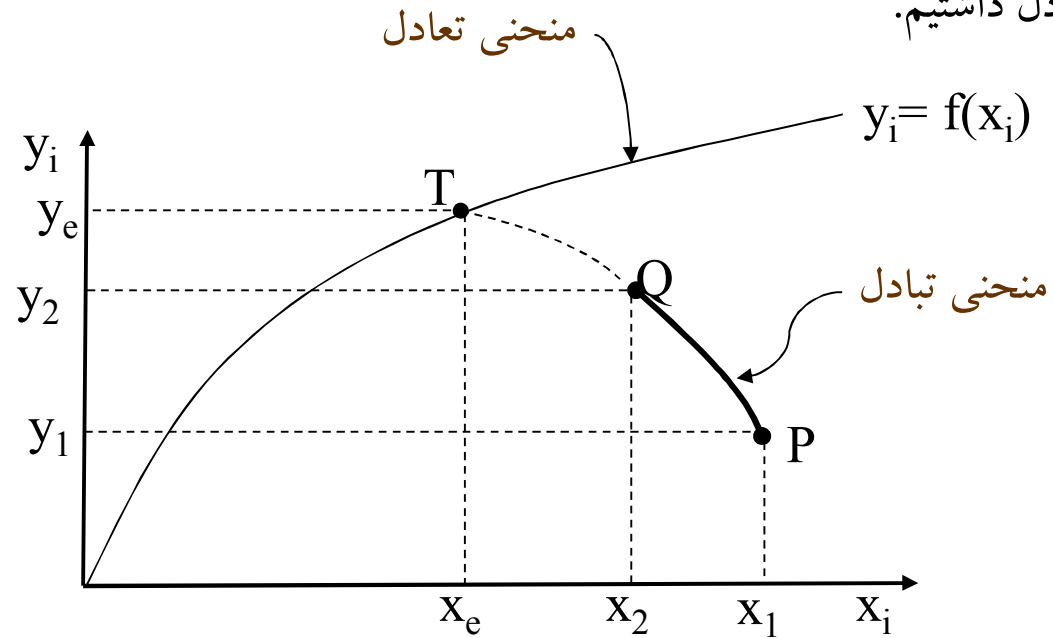
چنانچه جهت انتقال جرم از فاز E به فاز R باشد، خط تبادل در بالای منحنی تعادل قرار می گیرد.



نمودار انتقال جرم از فاز E به فاز R در یک فرایند هم جهت در حالت پایا

اگر در منحنی های رسم شده به جای مختصات X و Y از مختصات x و y استفاده می شد به جای خط

تبادل، منحنی تبادل داشتیم.



x : جز مولی A در فاز R

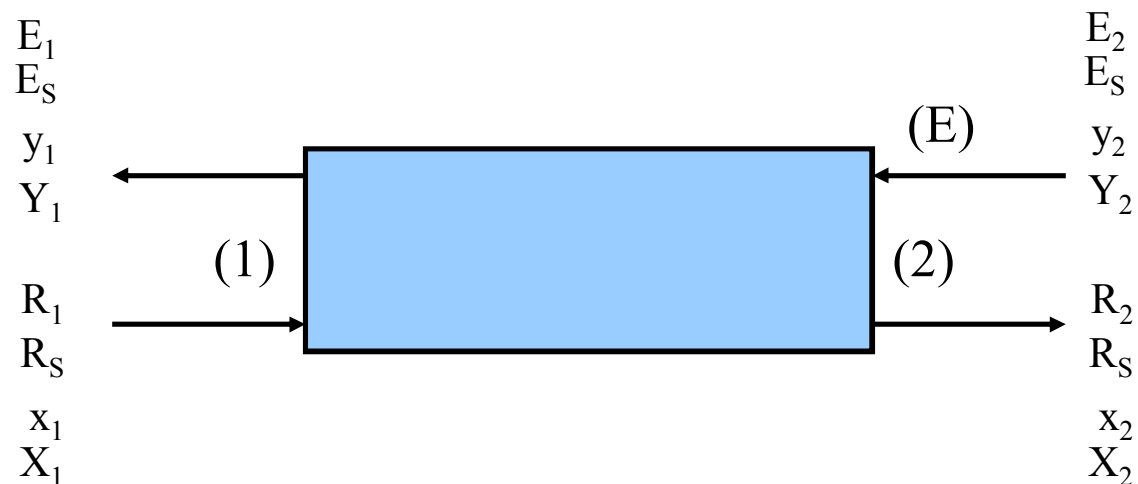
انتقال جرم از فاز R به فاز E در یک فرایند هم جهت در حالت پایا

*در مواردی که مثلاً، به خاطر نفوذ متقابل اجزای مختلف، با وجود تغییر غلظت جزء مورد نظر در هر فاز مقادیر R و E ثابت باقی بماند، استفاده از مختصات XY منجر به حصول خط مستقیم تبادل خواهد گردید.

$$R_2=R_1=R$$

$$E_2=E_1=E$$

فرآیندهای جریان متقابل در حالت پایا



موازنه کلی : $R_1 + E_2 = R_2 + E_1$

موازنه جزئی : $R_1 x_1 + E_2 y_2 = R_2 x_2 + E_1 y_1$

$R_s = R_1(1 - x_1) = R_2(1 - x_2)$

$E_s = E_1(1 - y_1) = E_2(1 - y_2)$

$$\Rightarrow R_s \frac{x_1}{1 - x_1} + E_s \frac{y_2}{1 - y_2} = R_s \frac{x_2}{1 - x_2} + E_s \frac{y_1}{1 - y_1}$$

$$R_S X_1 + E_S Y_2 = R_S X_2 + E_S Y_1$$

$$R_S (X_1 - X_2) = E_S (Y_1 - Y_2)$$

با جایگذاری :

$$R_1 x_1 = R_S \frac{x_1}{1 - x_1} = R_S X_1 \quad \& \quad R_2 x_2 = R_S \frac{x_2}{1 - x_2} = R_S X_2$$

$$E_1 y_1 = E_S \frac{y_1}{1 - y_1} = E_S Y_1 \quad \& \quad E_2 y_2 = E_S \frac{y_2}{1 - y_2} = E_S Y_2$$

می توان نوشت :

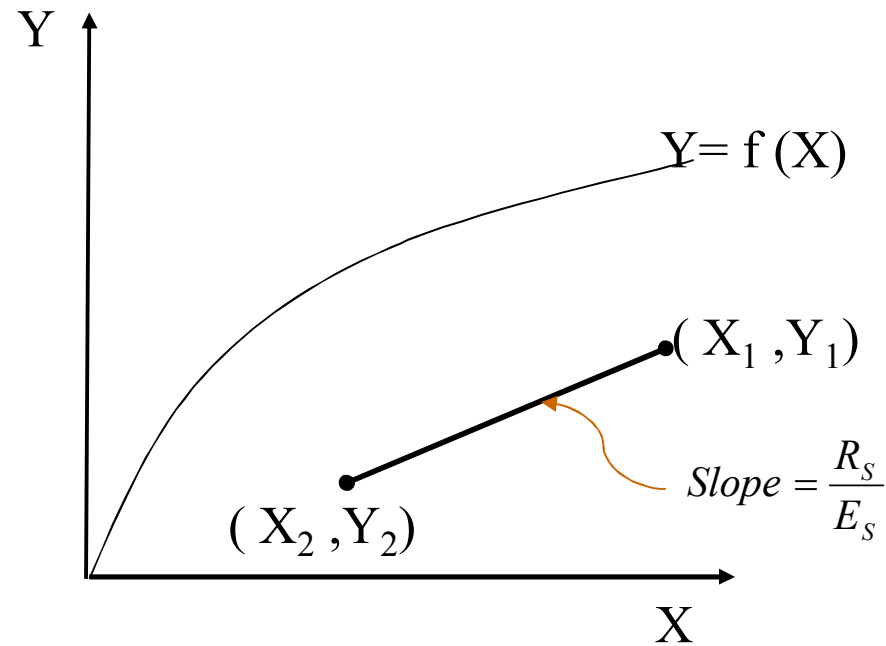
$$R_S X_1 - R_S X_2 = E_S Y_1 - E_S Y_2 \quad or \quad R_S (X_1 - X_2) = E_S (Y_1 - Y_2)$$

$$\frac{Y_2 - Y_1}{X_2 - X_1} = \frac{R_S}{E_S}$$

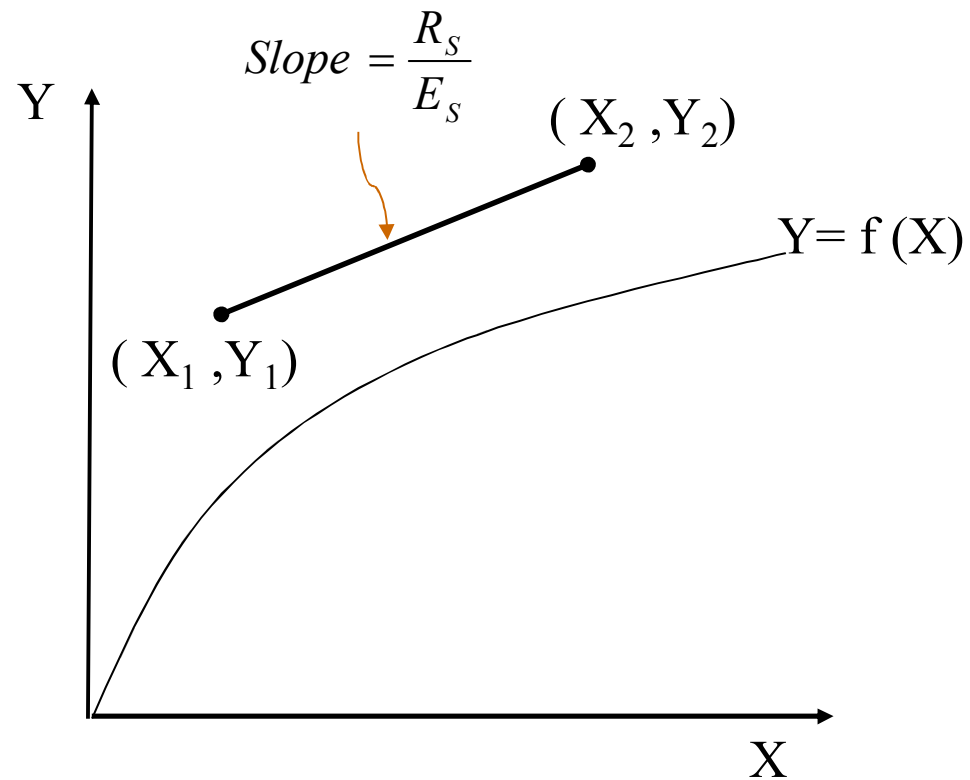
خط تبادل :

$$\frac{R_s}{E_s} = \frac{Y_1 - Y_2}{X_1 - X_2}$$

معادله خط تبادل :

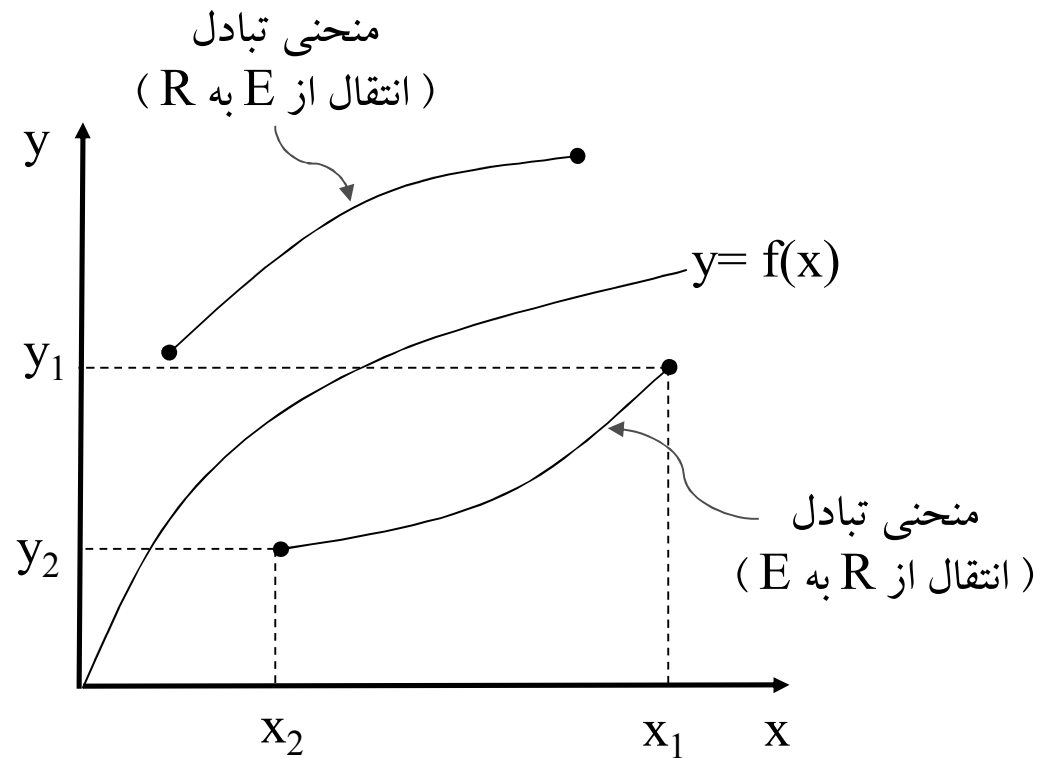


نمودار انتقال جرم از فاز R به فاز E در یک فرایند غیر هم جهت در حالت پایا



نمودار انتقال جرم از فاز E به فاز R در یک فرایند غیر هم جهت در حالت پایا.

در صورتی که به جای نسبت های مول از کسر مولی استفاده شود به جای خط تبادل منحنی تبادل خواهیم داشت :



مراحل

یک مرحله عبارت از دستگاه و یا ترکیبی از دستگاههایی است که در آن دو فاز نامحلول در مجاورت یکدیگر قرار می گیرد و در اثر انتقال جرم به سمت حالت تعادل پیش می رود و سپس تحت اثر یک عامل مکانیکی از یکدیگر جدا می گردد. فرآیندی که به صورت فوق در مرحله واحدی انجام می گیرد فرایند تک مرحله ای نامیده می شود.

یک مرحله ایده آل به مرحله ای گفته می شود که در آن زمان تماس بین دو فاز بقدری زیاد باشد که هنگام خروج از مرحله حالت تعادل بین دو فاز برقرار گردد.