



جمهوری اسلامی ایران
وزارت علوم، تحقیقات و فناوری



مجتمع آموزش عالی گناباد

Chemical Engineering Plant and Process Design

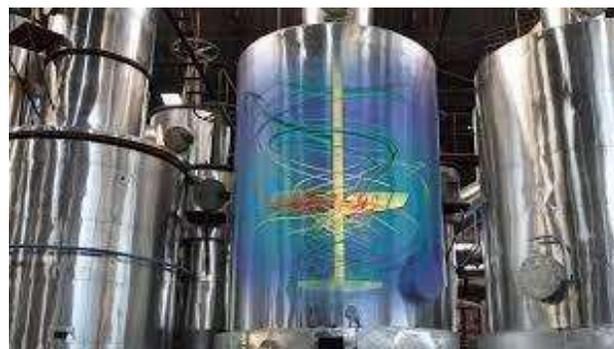
Vahid Mahmoudi

Assistant Professor,
Department of Chemical Engineering,
University of Gonabad

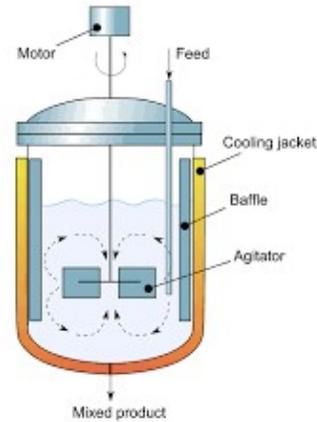
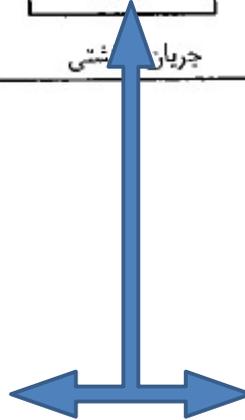


فصل چهارم طراحی راکتورهای شیمیایی

Chemical Reactors Design

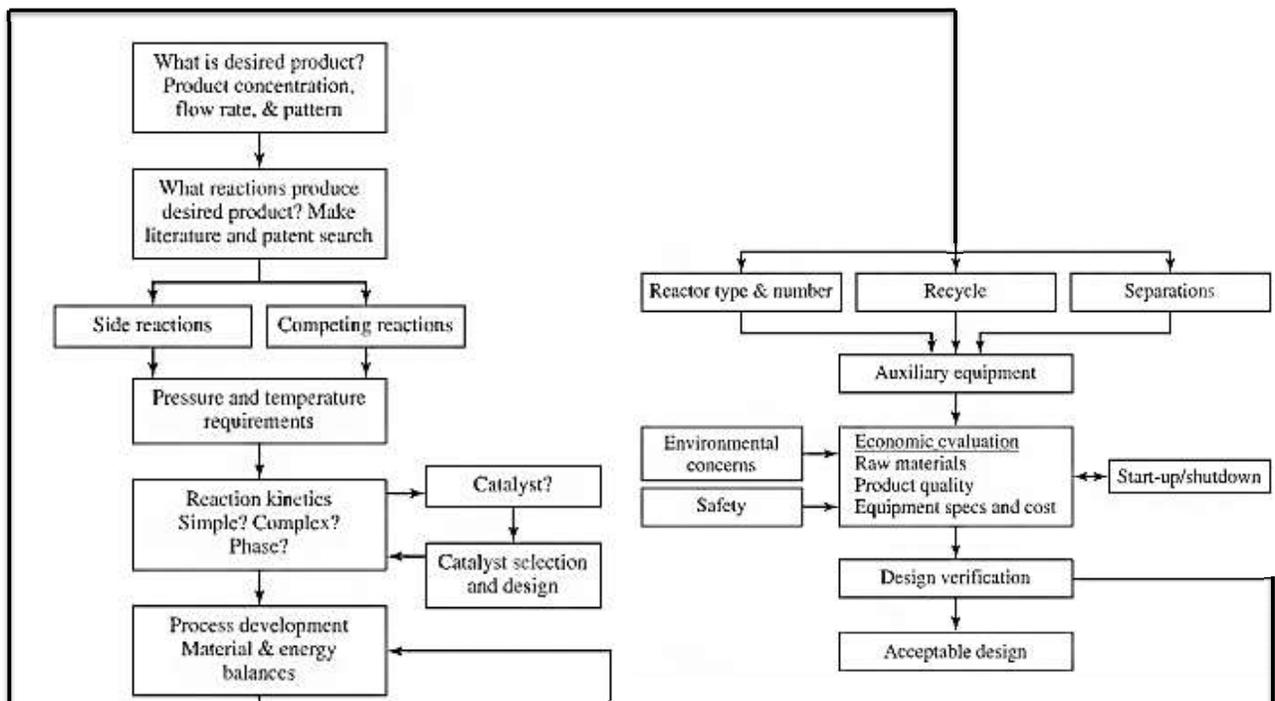


اهمیت راکتورهای شیمیایی



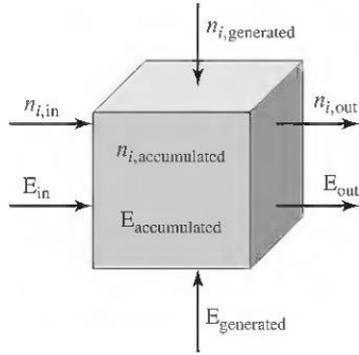
3

جریان طراحی واکنش



4

طراحی راکتور



• موازنه جرم به صورت زیر خواهد بود:

$$\left(\begin{array}{l} \text{Rate of} \\ \text{accumulation of} \\ \text{species } i \text{ in the} \\ \text{volume element} \end{array} \right) = \left(\begin{array}{l} \text{rate of inward} \\ \text{flow of species } i \\ \text{into the volume} \\ \text{element} \end{array} \right) - \left(\begin{array}{l} \text{rate of outward} \\ \text{flow of species } i \\ \text{from the volume} \\ \text{element} \end{array} \right) + \left(\begin{array}{l} \text{rate of species} \\ i \text{ generation} \\ \text{in the volume} \\ \text{element} \end{array} \right)$$

• همچنین از موازنه انرژی خواهیم داشت

$$\left(\begin{array}{l} \text{Rate of energy} \\ \text{accumulation} \\ \text{in the volume} \\ \text{element} \end{array} \right) = \left(\begin{array}{l} \text{rate of inward} \\ \text{energy flow into} \\ \text{the volume} \\ \text{element} \end{array} \right) - \left(\begin{array}{l} \text{rate of outward} \\ \text{energy flow from} \\ \text{the volume} \\ \text{element} \end{array} \right) + \left(\begin{array}{l} \text{rate of energy} \\ \text{generation in} \\ \text{the volume} \\ \text{element} \end{array} \right)$$

• در نتیجه

$$\sum_{\text{species}} m_i C_{p_i} \frac{dT}{d\theta} = \sum_{\text{species}} \dot{m}_i \int_{T_{i,\text{in}}}^{T_{i,\text{out}}} C_{p_i} dT + V_R \sum (-\Delta H_{\text{rxn}}) r_i + P$$

5

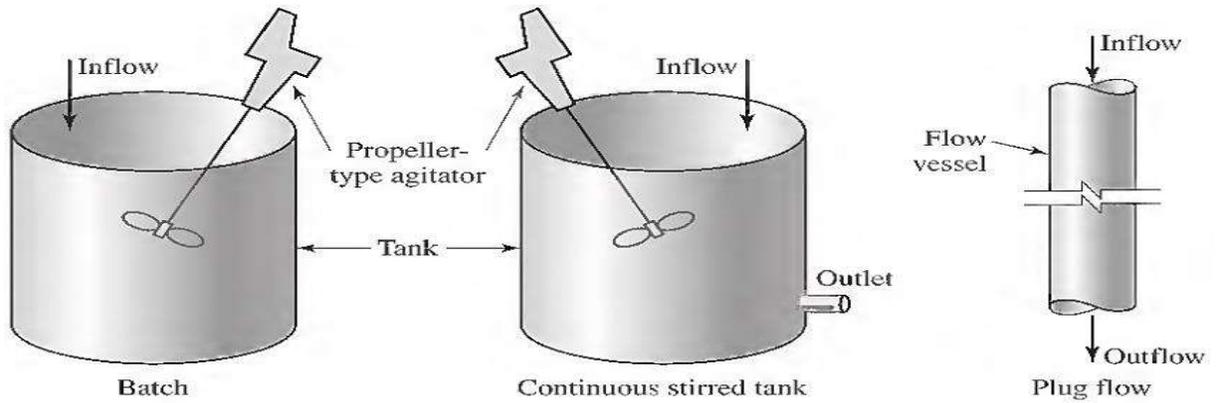
بیان سرعت واکنش

معادله	اساس
$r_i = \frac{1}{V} \frac{dN_i}{dt} = \frac{\text{moles } i \text{ formed}}{(\text{volume of fluid}) (\text{time})}$	بر اساس حجم مخلوط واکنش (واکنش های همگن)
$r'_i = \frac{1}{W} \frac{dN_i}{dt} = \frac{\text{moles } i \text{ formed}}{(\text{mass of solid}) (\text{time})}$	بر اساس جرم جامد در سیستم های جامد-سیال (جرم کاتالیزور در واکنش های ناهمگن)
$r''_i = \frac{1}{S} \frac{dN_i}{dt} = \frac{\text{moles } i \text{ formed}}{(\text{surface}) (\text{time})}$	بر اساس سطح مشترک در سیستم های دوفازی یا سطح جامد (کاتالیزور) در سیستم های گاز-جامد
$r'''_i = \frac{1}{V_s} \frac{dN_i}{dt} = \frac{\text{moles } i \text{ formed}}{(\text{volume of solid}) (\text{time})}$	بر اساس حجم جامد در سیستم های گاز-جامد
$r''''_i = \frac{1}{V_r} \frac{dN_i}{dt} = \frac{\text{moles } i \text{ formed}}{(\text{volume of reactor}) (\text{time})}$	بر اساس حجم راکتور (واکنش های ناهمگن)

6

انواع راکتورها

- راکتورهای ایده آل عبارتند از



$$V_R = \frac{N_{i0}}{\theta} \int_0^{X_{ie}} \frac{dX_i}{-r_i}$$

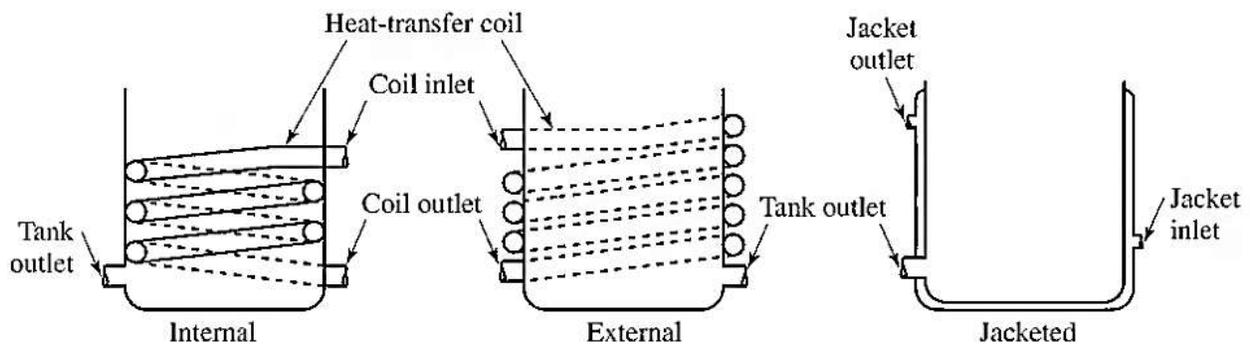
$$\frac{V_R}{F_{i0}} = \frac{X_{ie} - X_{i0}}{-r_i}$$

$$\frac{V_R}{F_{i0}} = \int_0^{X_{iz}} \frac{dX_{iz}}{-r_i}$$

$$\frac{W_c}{F_{i0}} = \int_{X_{i0}}^{X_{iz}} \frac{dX_{iz}}{-r_{ic}}$$

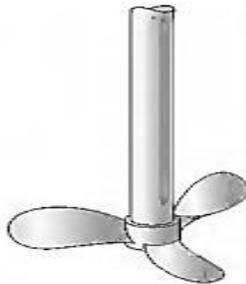
گرمایش یا سرمایش راکتورها

- می توان با استفاده از کویل های داخلی یا خارجی یا با استفاده از یک جداره خارجی، عمل گرمایش یا سرمایش را انجام داد.

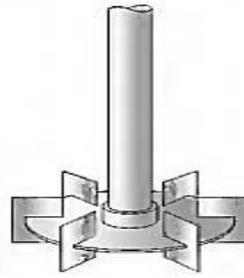


هم زدن مواد در راکتور

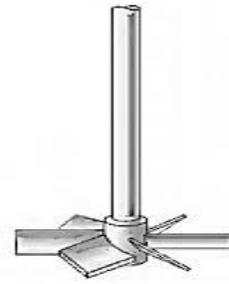
• چند همزن مورد استفاده متداول در راکتورها



Propeller



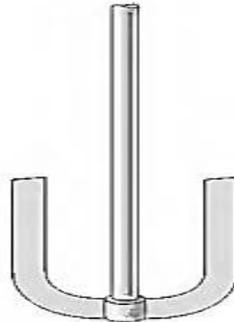
Turbine



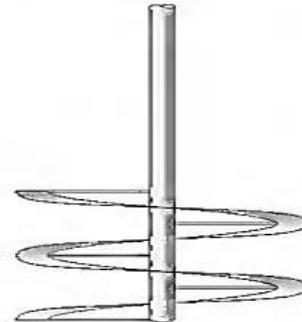
Pitched turbine



Paddle



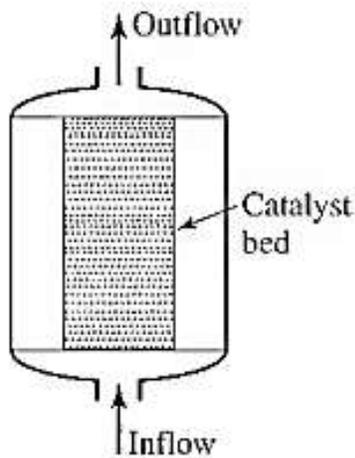
Anchor type



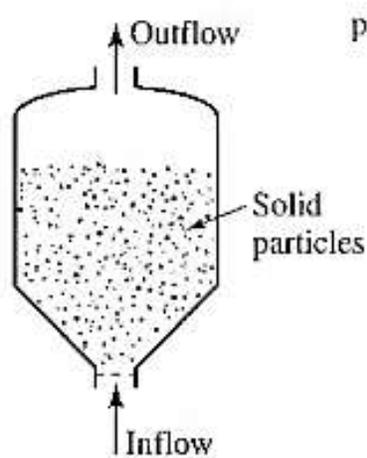
Helical ribbon type

9

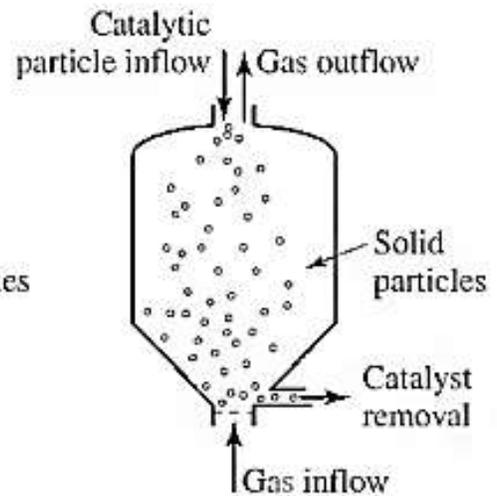
راکتورهای متداول جامد-سیال



Single fixed bed



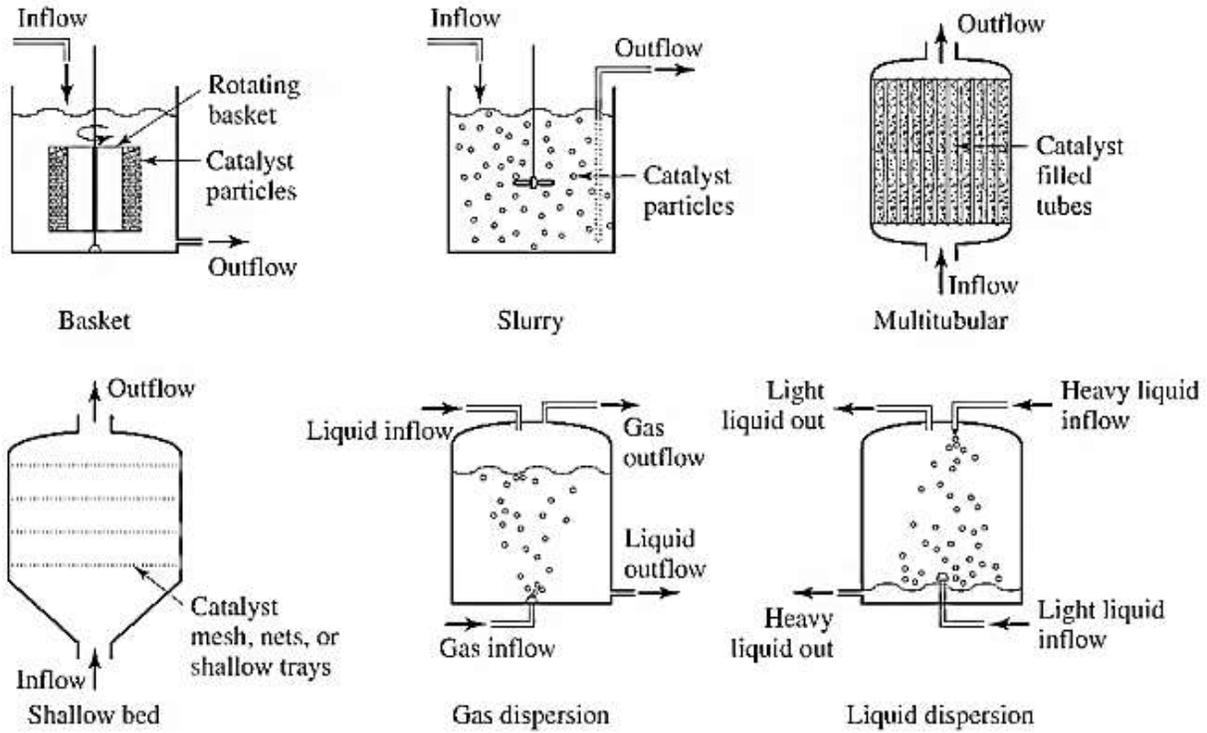
Fluidized bed



Moving bed

10

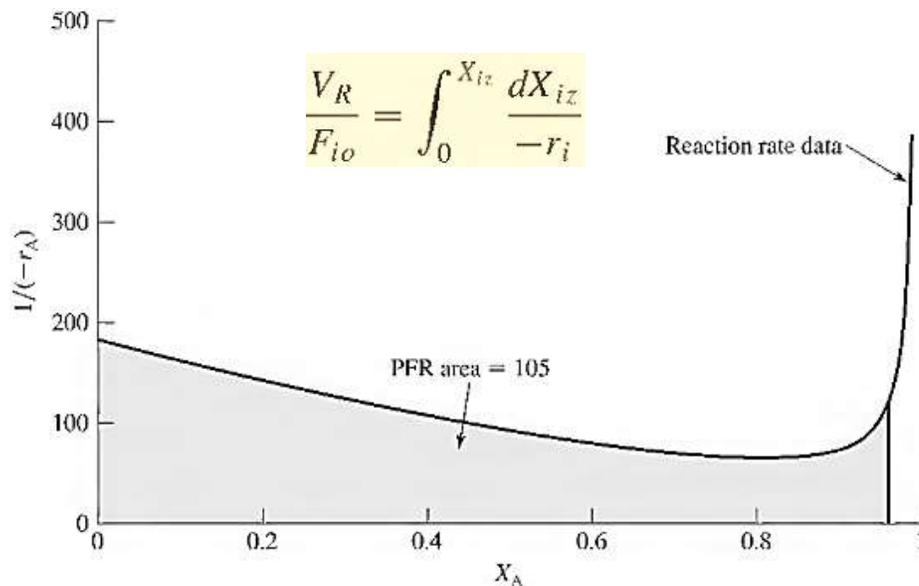
راکتورهای کاتالیستی خاص



11

طراحی سیستم های راکتور

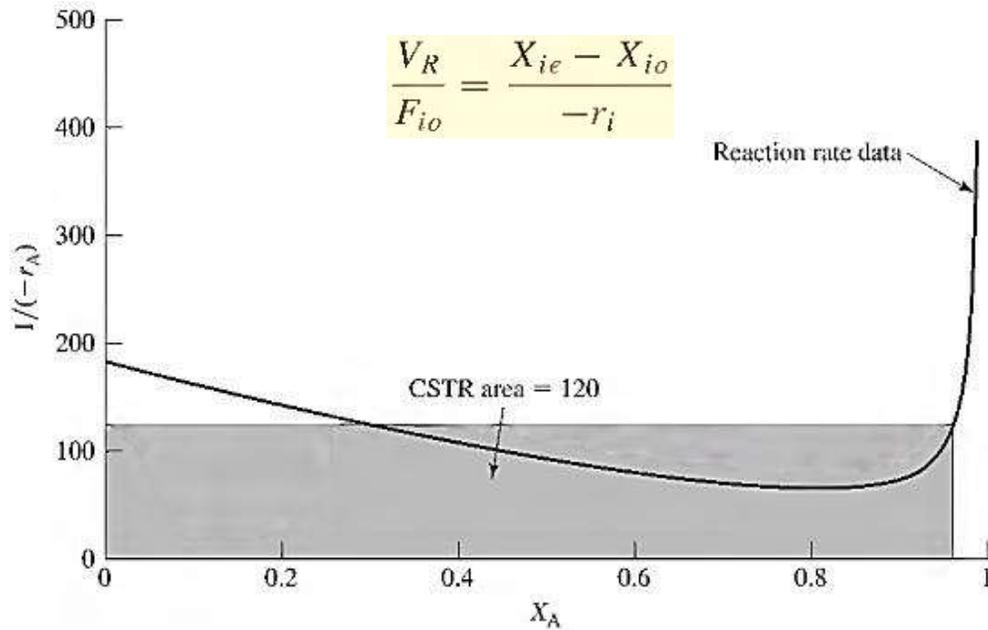
- برای تعیین حجم مورد نیاز رسیدن به میزان تبدیل مشخص در راکتور لوله ای داریم:



12

طراحی سیستم های راکتور

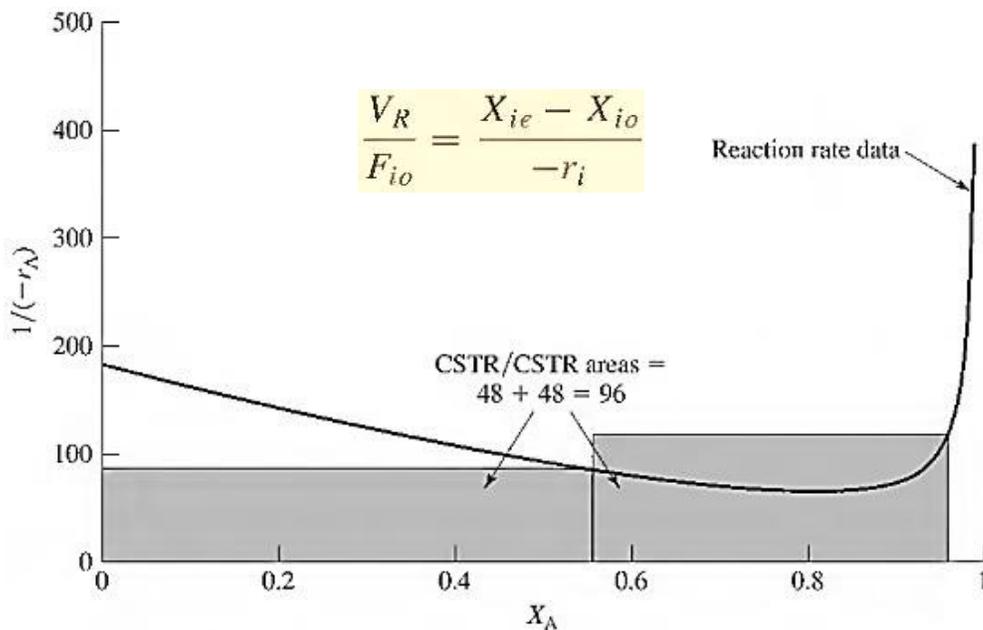
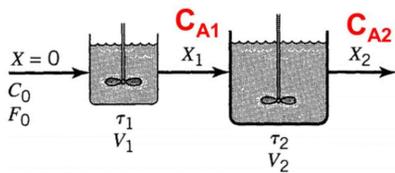
- برای تعیین حجم مورد نیاز رسیدن به میزان تبدیل مشخص در راکتور مخلوط شونده داریم:



13

طراحی سیستم های راکتور

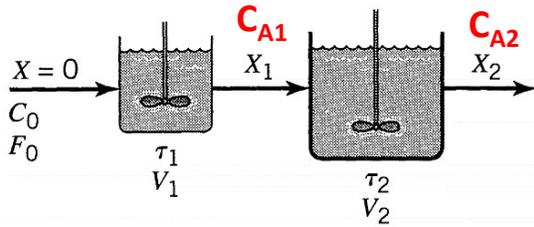
- برای دو راکتور مخلوط شونده به صورت سری



14

مثال

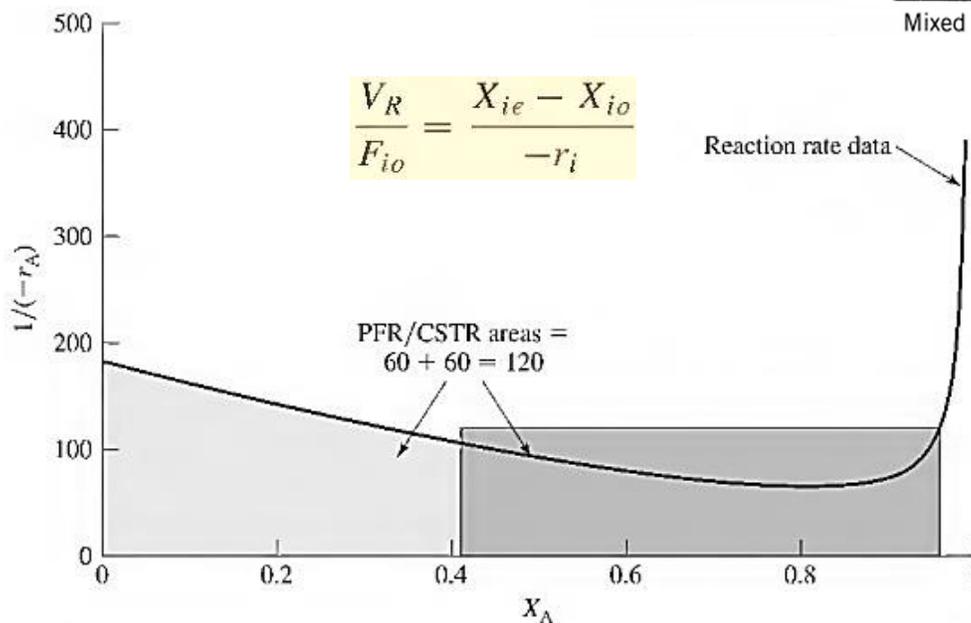
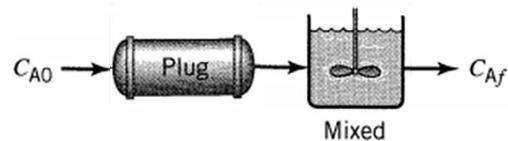
- برای سیستمی متشکل از دو راکتور مخلوط شونده غیر هم حجم، با داشتن اطلاعات ورودی و خروجی و معادله سرعت، حجم بهینه را به دست آورید. واکنش انجام شده در راکتورها از درجه اول است $(A \rightarrow P)$.



حل؟؟؟

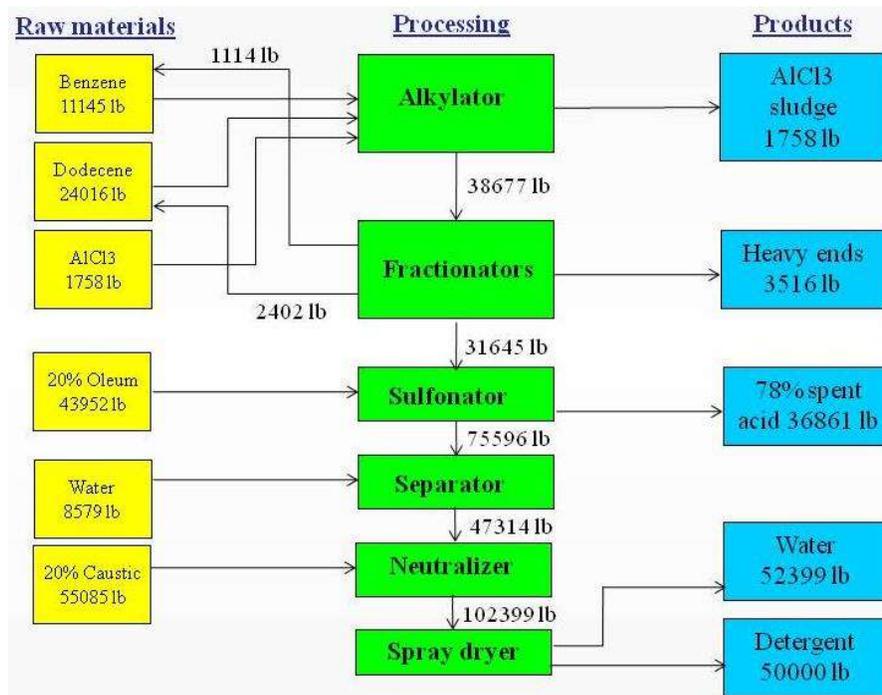
طراحی سیستم های راکتور

- برای یک راکتور مخلوط شونده و یک راکتور لوله ای به صورت سری



مثال

- طراحی واحد آلکیلاسیون



17

مثال

- تعیین حجم راکتور
- عملکرد راکتور آلکیلاسیون را در دمای ثابت ۱۱۵ °F و فشار ثابت ۱ atm طی مدت ۴ ساعت در نظر بگیرید.
- حجم مواد اولیه در روز عبارتست از:

$$V_r = \frac{12259 \frac{\text{lb}}{\text{day}} \times 7.48 \frac{\text{gal}}{\text{ft}^3}}{0.88 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3} \times \frac{62.43 \text{lb} / \text{ft}^3}{\text{gr} / \text{cm}^3}} + \frac{26418}{8.34 \times 0.7533} + \frac{1758}{8.34 \times 2.44}$$

$$= 1670 + 4160 + 86 = 5916 \text{ gal} / \text{day}$$

18

مثال

با توجه به این که واکنش آلکیلاسیون در طی ۴ ساعت انجام می گیرد، در طول روز (۲۴ ساعت) ۶ سیکل واکنشی می تواند انجام شود. در نتیجه حجم مورد نیاز برای هر سیکل عبارتست از:

$$\frac{5916}{6} = 986 \text{ gal / cycle}$$

اگر فرض کنیم ۷۵٪ از حجم راکتور در هر سیکل پر می شود، حجم لازم برابر است با

$$V_R = \frac{986}{0.75} = 1315 \text{ gal}$$

در نتیجه، یک راکتور همزن دار با حجم ۱۳۰۰ گالن باید انتخاب شود.

19

مثال

• تعیین اندازه مخازن ذخیره سازی:

مقدار ذخیره بنزن و دودسن به ترتیب عبارتست از

$$V_{Benzene} = 1670 \times 6 = 10020 \text{ gal}$$

$$V_{Dodecene} = 4160 \times 6 = 24960 \text{ gal}$$

در نتیجه یک مخزن به حجم ۱۰۰۰ گالن از جنس کربن استیل برای بنزن و یک مخزن با حجم ۲۵۰۰۰ گالن از جنس کربن استیل برای ذخیره سازی دودسن مناسب است.

• تعیین ظرفیت پمپ ها

پر کردن راکتور از بنزن و دودسن برای یک سیکل در مدت ۱۰ دقیقه نتایج زیر را به دست می دهد:

$$q_{Benzene} = \frac{1670}{6 \times 10} = 27.8 \text{ gpm}$$

$$q_{Dodecene} = \frac{4160}{6 \times 10} = 69.3 \text{ gpm}$$

در نتیجه، یک پمپ سانتریفیوژ با ظرفیت ۳۰ gpm برای بنزن و یک پمپ سانتریفیوژ با ظرفیت ۷۰ gpm از جنس کربن استیل برای دودسن انتخاب می شود.

20



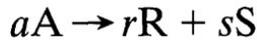
آثار دما و فشار

مقدمه

- در درس طراحی راکتور، برای تعیین شرایط مناسب برای انجام واکنش، تاثیر نوع و ابعاد راکتور بر میزان پیشرفت واکنش ها و نحوه توزیع محصولات بیش از سایر عوامل مورد توجه قرار داشتند.
- علاوه بر این موارد، **دمای واکنش و فشار عملیاتی** نیز تاثیر به سزایی در پیشرفت واکنش دارند.
- باید تعیین شود تغییر دما و فشار واکنش تا چه اندازه بر روی سینتیک واکنش (تعادلی) و توزیع محصولات تاثیرگذار است. هم چنین باید مشخص شود آثار گرمایی واکنش (گرمای واکنش) چه تاثیری بر روی دمای واکنش خواهد داشت.
- با دانستن این موارد، می توان آرایشی از راکتورهای مناسب و سیستم های انتقال حرارت پیشنهاد کرد که به بهترین شکل به حالت بهینه نزدیک شویم.
- انتخاب سیستم بهینه در نهایت با در نظر گرفتن ملاحظات اقتصادی انجام خواهد گرفت.

گرمای واکنش

- در این بخش، دو موضوع میزان تبدیل واکنش دهنده ها و پایداری راکتور در شرایط عملیاتی مدنظر قرار می گیرد. با استفاده از علم ترمودینامیک واکنش های تعادلی، دو پارامتر «میزان حرارت آزاد شده واکنش برای یک میزان تبدیل مشخص» و «حداکثر پیشرفت واکنش» مورد بحث خواهد بود.
- واکنش منفرد زیر را در نظر بگیرید:



طبق تعریف، گرمای واکنش در دمای T ، مقدار گرمایی است که در هنگام تبدیل a مول از A به r مول R و s مول از S از محیط به سیستم واکنش دهنده منتقل می شود.

$$aA \rightarrow rR + sS, \quad \Delta H_{rT} \begin{cases} \text{positive, endothermic} \\ \text{negative, exothermic} \end{cases} \quad \text{طبق قرارداد می دانیم}$$

برای محاسبه گرمای واکنش در یک دمای خاص (T_2) از رابطه زیر استفاده می شود:

$$\Delta H_{r2} = \Delta H_{r1} + \int_{T_1}^{T_2} \nabla C_p dT$$

که در آن

$$\nabla C_p = rC_{pR} + sC_{pS} - aC_{pA}$$

23

گرمای واکنش

- در صورتی که گرمای ویژه مولی به صورت تابعی از دما باشد:

$$C_{pA} = \alpha_A + \beta_A T + \gamma_A T^2$$

$$C_{pR} = \alpha_R + \beta_R T + \gamma_R T^2$$

$$C_{pS} = \alpha_S + \beta_S T + \gamma_S T^2$$

رابطه تعیین گرمای واکنش به صورت زیر تبدیل می شود:

$$\begin{aligned} \Delta H_{r2} &= \Delta H_{r1} + \int_{T_1}^{T_2} (\nabla \alpha + \nabla \beta T + \nabla \gamma T^2) dT \\ &= \Delta H_{r1} + \nabla \alpha (T_2 - T_1) + \frac{\nabla \beta}{2} (T_2^2 - T_1^2) + \frac{\nabla \gamma}{3} (T_2^3 - T_1^3) \end{aligned}$$

$$\nabla \alpha = r\alpha_R + s\alpha_S - a\alpha_A$$

که در آن

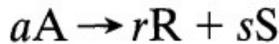
$$\nabla \beta = r\beta_R + s\beta_S - a\beta_A$$

$$\nabla \gamma = r\gamma_R + s\gamma_S - a\gamma_A$$

24

ثابت تعادل واکنش

▪ واکنش مقابل را در نظر بگیرید:



انرژی آزاد گیبس استاندارد این واکنش در دمای T به شکل زیر تعریف می شود:

$$\Delta G^{\circ} = rG_{\text{R}}^{\circ} + sG_{\text{S}}^{\circ} - aG_{\text{A}}^{\circ} = -RT \ln K = -RT \ln \frac{\left(\frac{f}{f^{\circ}}\right)_{\text{R}}^r \left(\frac{f}{f^{\circ}}\right)_{\text{S}}^s}{\left(\frac{f}{f^{\circ}}\right)_{\text{A}}^a}$$

حالت استاندارد در مواد به شکل زیر تعریف می شود:

۱- گازها: جسم خالص در فشار 1 atm (تقریب قانون گاز کامل)

۲- جامدات: جسم خالص در فشار واحد

۳- مایعات: مایع خالص در فشاری برابر با فشار بخار خود مایع

25

ثابت تعادل واکنش

▪ قبل از ادامه بحث، برخی ثوابت را به شکل زیر تعریف می کنیم:

$$K_f = \frac{f_{\text{R}}^r f_{\text{S}}^s}{f_{\text{A}}^a}, \quad K_p = \frac{p_{\text{R}}^r p_{\text{S}}^s}{p_{\text{A}}^a}, \quad K_y = \frac{y_{\text{R}}^r y_{\text{S}}^s}{y_{\text{A}}^a}, \quad K_C = \frac{C_{\text{R}}^r C_{\text{S}}^s}{C_{\text{A}}^a}$$

▪ برای واکنش های گازی که حالت استاندارد در فشار 1 atm تعریف می شود. در این حالت، انحراف از حالت ایده آل ناچیز است. در نتیجه $f^{\circ} = p^{\circ} = 1 \text{ atm}$.

$$\Delta G^{\circ} = -RT \ln K \Rightarrow K = e^{-\Delta G^{\circ}/RT} = K_p \{p^{\circ} = 1 \text{ atm}\}^{-\Delta n}$$

از آن جا که برای هر جزء i به عنوان یک جزء ایده آل، فشار با فوگاسیته برابر است، داریم: $K_f = K_p$.

بنابراین

$$K = \frac{K_p}{\{p^{\circ} = 1 \text{ atm}\}^{\Delta n}} = \frac{K_y \pi^{\Delta n}}{\{p^{\circ} = 1 \text{ atm}\}^{\Delta n}} = \frac{K_c (RT)^{\Delta n}}{\{p^{\circ} = 1 \text{ atm}\}^{\Delta n}}$$

برای مواد جامد هم تغییرات فوگاسیته با فشار ناچیز است. در نتیجه $\left(\frac{f}{f^{\circ}}\right)_{\text{solid component}} = 1$

26

اثر دما بر ثابت تعادل

از آن جا که دمای حالت استاندارد همان دمای مخلوط تعادلی است (فقط فشار متفاوت است)، تغییرات خاصیت استاندارد مانند ΔG° و ΔH° با تغییر دمای تعادل تغییر می کنند. در بخش قبل دیدیم که

$$\frac{d(\Delta G^\circ/RT)}{dT} = \frac{-\Delta H^\circ}{RT^2} \Rightarrow \left(\frac{d(\ln K)}{dT}\right)_P = \frac{\Delta H^\circ}{RT^2} \Rightarrow \begin{cases} \text{Exothermic reaction } (\Delta H^\circ < 0) \Rightarrow T \nearrow; K \searrow \\ \text{Endothermic reaction } (\Delta H^\circ > 0) \Rightarrow T \nearrow; K \nearrow \end{cases}$$

$$\frac{\Delta G^\circ}{RT} = -\ln K$$

در صورتی که گرمای واکنش ΔH° را بتوان در یک بازه دمایی مستقل از دما در نظر گرفت، داریم:

$$\int_{\ln K'}^{\ln K} d(\ln K) = \int_{T'}^T \frac{\Delta H^\circ}{RT^2} dT \Rightarrow \ln \frac{K}{K'} = -\frac{\Delta H^\circ}{R} \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T'} \right)$$

رسم $\ln K$ بر حسب $1/T$ یک خط مستقیم را به دست می دهد که شیب آن خط، همان $-\frac{\Delta H^\circ}{R}$ می باشد.

27

مثال

برای واکنش $A \longrightarrow B + 2C$ ثابت تعادل در دمای 577°C برابر با $2/5$ است. با توجه به اطلاعات زیر، مقدار ثابت تعادل در دمای 377°C را به دست آورید.

$$c_{pA} = 25 \text{ cal/mol}^\circ\text{C} \quad , \quad c_{pB} = 9 \text{ cal/mol}^\circ\text{C}$$

$$\Delta H_{r,298K}^\circ = 1900 \text{ cal/mol} \cdot A$$

$$c_{pC} = 8 \text{ cal/mol}^\circ\text{C} \quad , \quad R = 1.987 \text{ cal/(mol} \cdot \text{K)}$$

28

اثر دما بر ثابت تعادل

در صورتی که گرمای واکنش تابع دما باشد، انتگرال به شکل زیر خواهد بود:

$$\ln \frac{K_2}{K_1} = \frac{1}{R} \int_{T_1}^{T_2} \frac{\Delta H_r}{T^2} dT$$

گرمای واکنش نیز به شکل زیر تعریف می شود:

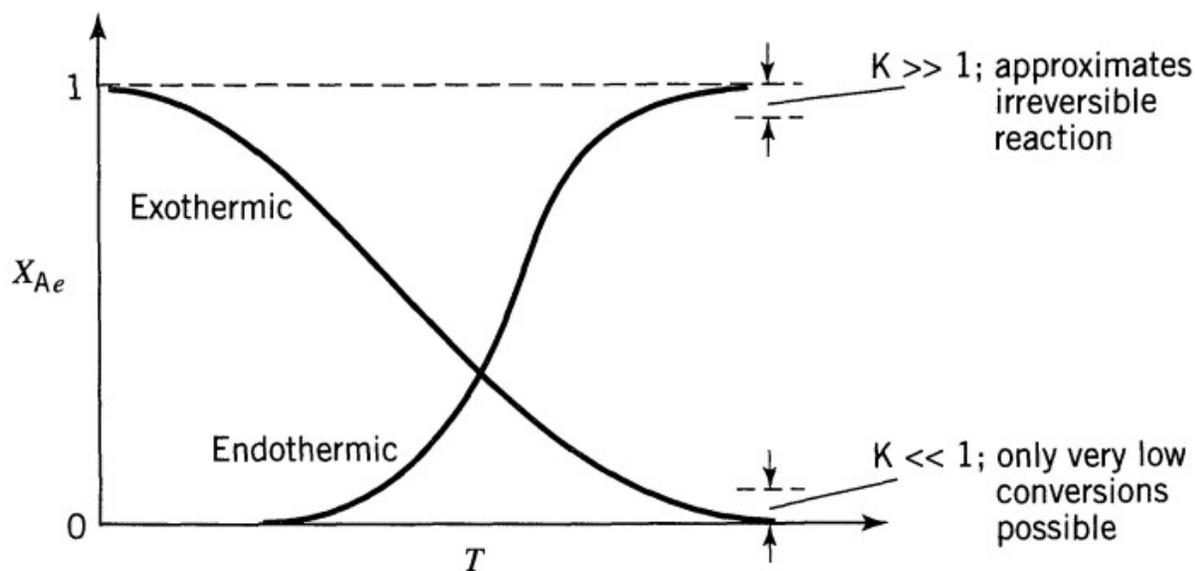
$$\Delta H_r = \Delta H_{r0} + \int_{T_0}^T \nabla C_p dT$$

$$\begin{aligned} R \ln \frac{K_2}{K_1} = & \nabla \alpha \ln \frac{T_2}{T_1} + \frac{\nabla \beta}{2} (T_2 - T_1) + \frac{\nabla \gamma}{6} (T_2^2 - T_1^2) \\ & + (-\Delta H_{r0} + \nabla \alpha T_0 + \frac{\nabla \beta}{2} T_0^2 + \frac{\nabla \gamma}{3} T_0^3) \left(\frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1} \right) \end{aligned}$$

29

اثر دما بر تعادل

اثر دما بر میزان تبدیل تعادلی طبق روابط ترمودینامیکی (فشار ثابت فرض شده است)



30

اثر دما بر تعادل

به کمک قوانین ترمودینامیکی می توان به نتایج زیر رسید:

۱. ثابت تعادلی یک واکنش شیمیایی تنها تابعی است از دمای عملیاتی سیستم و حضور و عدم حضور اجسام بی اثر، تغییرات فشار و سینتیک واکنش هیچ تأثیری روی مقدار آن نخواهد داشت.
۲. با اینکه ثابت تعادلی یک واکنش شیمیایی تابع فشار و حضور اجسام بی اثر نیست اما غلظت تعادلی اجزای شرکت کننده در یک واکنش تحت تأثیر این عوامل قرار دارد.
۳. مقدار $K >> 1$ نشان دهنده این واقعیت است که ممکن است دستیابی به تبدیل کامل امکان پذیر باشد و می توان واکنش را برگشت ناپذیر در نظر گرفت. مقدار $K << 1$ دلالت بر این امر دارد که واکنش پیشرفت چندانی نخواهد داشت.
۴. با افزایش دما، میزان تبدیل تعادلی در مورد واکنش های گرماگیر افزایش یافته و برای واکنش های گرمازا کاهش می یابد.

31

اثر دما بر تعادل

به کمک قوانین ترمودینامیکی می توان به نتایج زیر رسید:

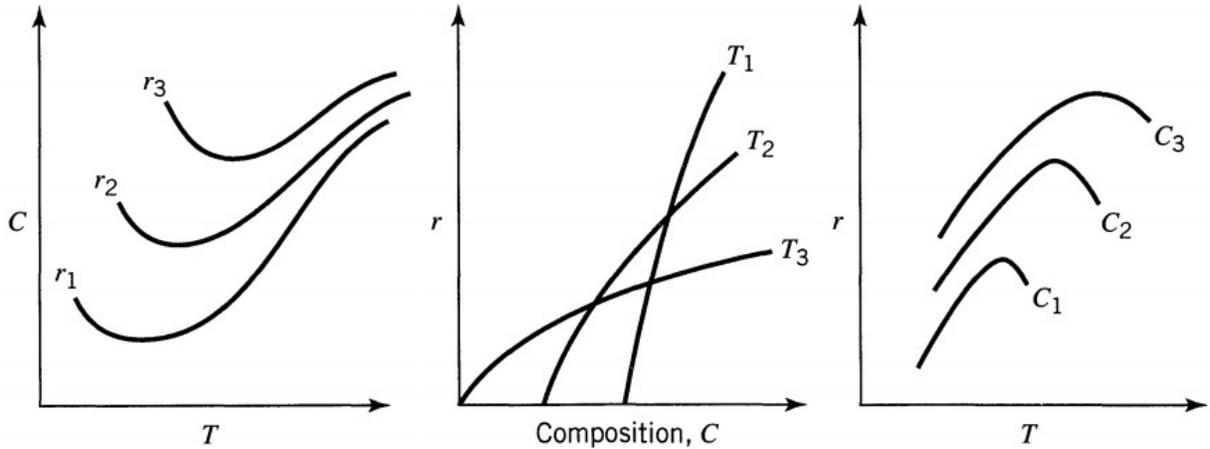
۵. با افزایش فشار در واکنش های گازی، اگر با انجام واکنش تعداد مول ها کاهش یابد ($\Delta n < 0$) میزان تبدیل افزایش یافته و اگر تعداد مول ها با انجام واکنش افزایش یابد، کاهش می یابد.
۶. کاهش مواد بی اثر در واکنش های شیمیایی تأثیری شبیه به افزایش فشار در واکنش های گازی خواهد داشت.

32

ارتباط دما، غلظت و سرعت

قبلاً در درس سینتیک و طراحی راکتور بیان شده است که برای یک واکنش همگن داریم:

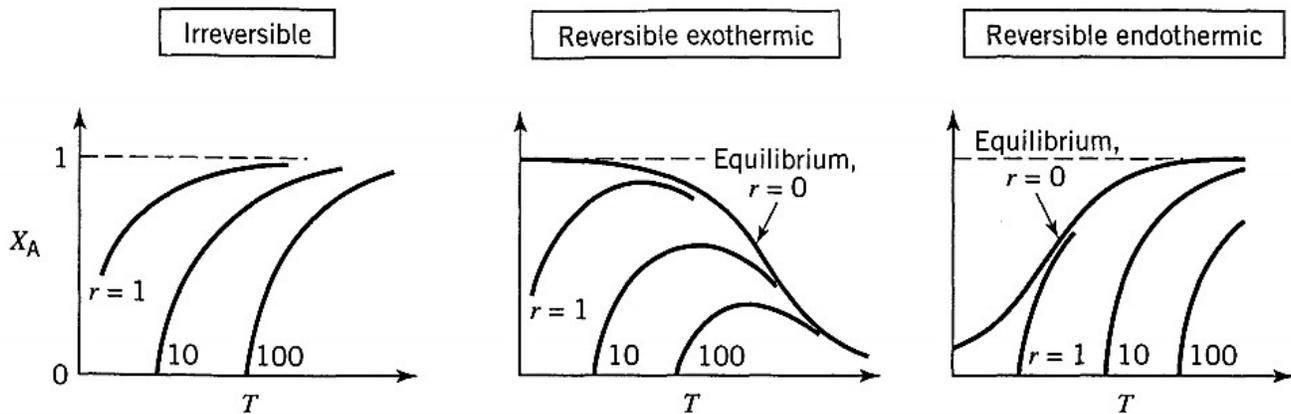
$$\text{reaction rate } (r) = f(C, T)$$



33

ارتباط دما، غلظت و سرعت

برای یک خوراک مشخص (C_{A0} ، C_{B0} و ... مقادیری ثابت و معلوم دارند) منحنی X_A بر حسب T



34

تعیین ابعاد بهینه در دمای مطلوب

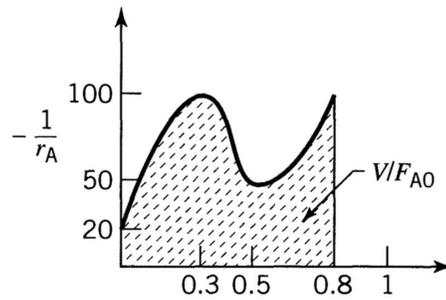
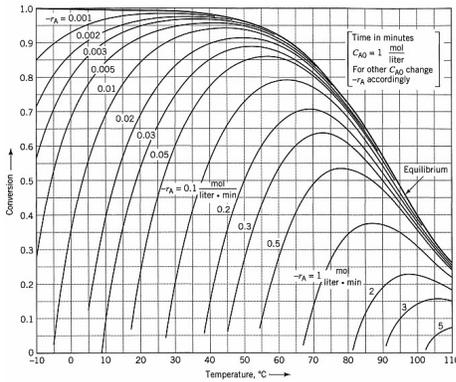
مراحل این کار به شکل زیر است:

۱- مشخص کردن مسیر واکنش روی منحنی X_A-T یا همان «خط عملکردی فرآیند» (مثال ۹.۳ کتاب لوشپیل)

۲- به دست آوردن سرعت های واکنش به ازای مقادیر مختلف X_A

۳- رسم نمودار $1/(-r_A)$ بر حسب X_A با استفاده از داده های مرحله ۲

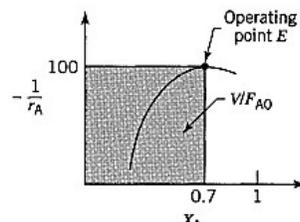
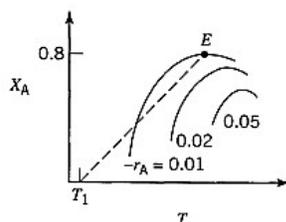
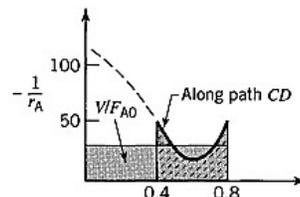
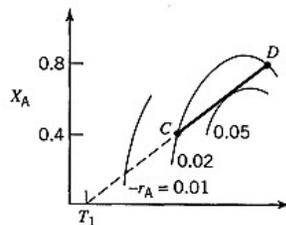
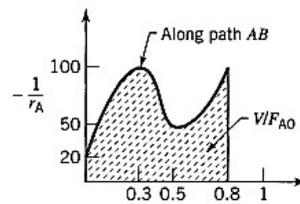
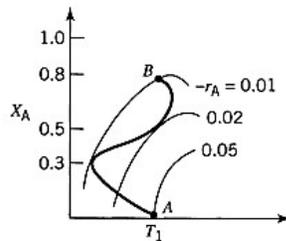
۴- سطح زیر منحنی برابر با V/F_{A0} می باشد



35

تعیین ابعاد بهینه در دمای مطلوب

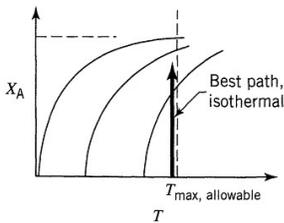
به عنوان مثال برای یک واکنش گرما زا، تعیین حجم بهینه به شکل زیر خواهد بود:



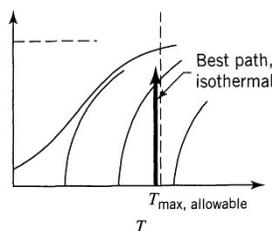
36

مسیر بهینه دما

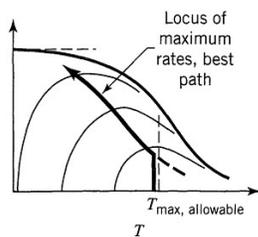
- مسیر دمای بهینه یک واکنش برای عملکرد یک راکتور، مسیر فرضی است که جهت رسیدن به میزان تبدیل مشخص، V/F_{A0} را حداقل می کند.



- در واکنش های برگشت ناپذیر، با افزایش دما سرعت واکنش افزایش یافته و بهتر است در حداکثر دمای مجاز عمل کرد.



- در واکنش های برگشت پذیر گرماگیر، با افزایش دما سرعت واکنش و میزان تبدیل تعادلی افزایش یافته و بهتر است در حداکثر دمای مجاز عمل کرد.

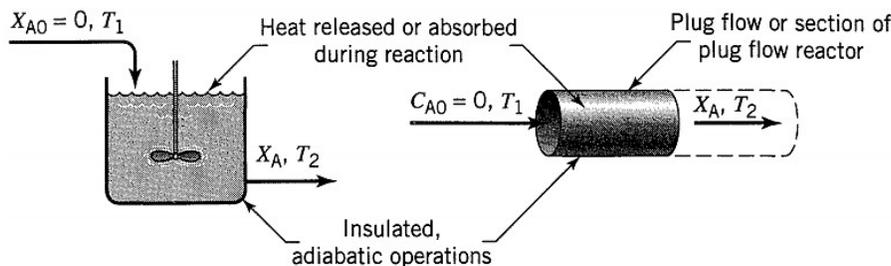


- در واکنش های برگشت پذیر گرمازا، با افزایش دما سرعت واکنش افزایش یافته و میزان تبدیل کاهش می یابد. در نتیجه بهتر است در این حالت واکنش را در دمای بالا آغاز کرده و با افزایش میزان تبدیل، دما را کاهش داد.

37

عملکرد آدیاباتیک

- مطابق با شکل زیر، بخشی از یک راکتور لوله ای یا کل یک راکتور مخلوط شونده با میزان تبدیل X_A را در نظر بگیرید.



- در صورتی که برای این سیستم ها، موازنه انرژی نوشته شود (T_1 دمای مبدأ)، به معادله زیر خواهیم رسید:

$$X_A = \frac{C_p' (T_2 - T_1)}{-\Delta H_{r1} - (C_p'' - C_p') (T_2 - T_1)} = \frac{C_p' \Delta T}{-\Delta H_{r2}} = \left(\frac{\text{heat needed to raise feed stream to } T_2}{\text{heat released by reaction at } T_2} \right)$$

- C_p' و C_p'' به ترتیب ظرفیت گرمایی متوسط خوراک و محصولات به ازای هر مول از ماده محدود کننده است.

- می توان گفت

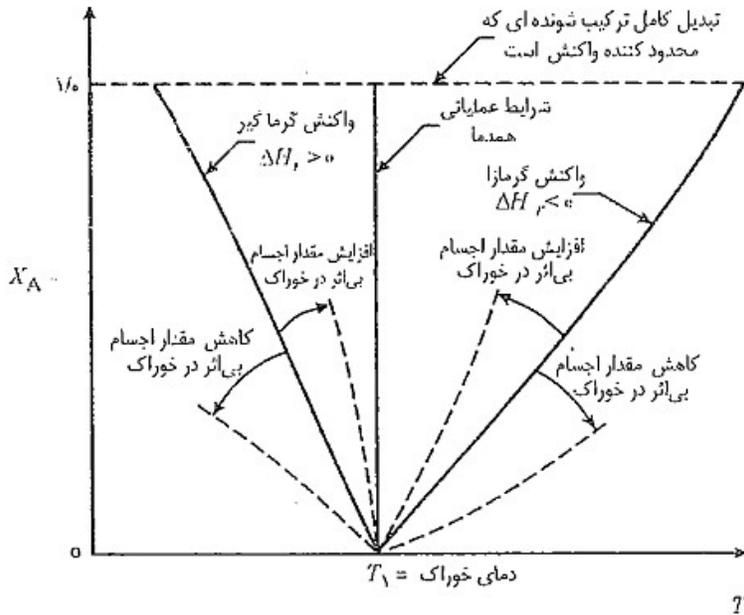
$$\text{if } X_A = 1 \Rightarrow -\Delta H_{r2} = C_p' \Delta T$$

38

عملکرد آدیباتیک

- در صورتی که گرمای واکنش مستقل از دما باشد ($c_p - c_p' = 0$)، منحنی تغییرات X_A بر حسب دما به خطوط با شیب ثابت $(-\frac{C_p}{-\Delta H_r})$ تبدیل می شود. معادله به شکل زیر خواهد بود:

$$X_A = \frac{C_p \Delta T}{-\Delta H_r}$$



39

مثال

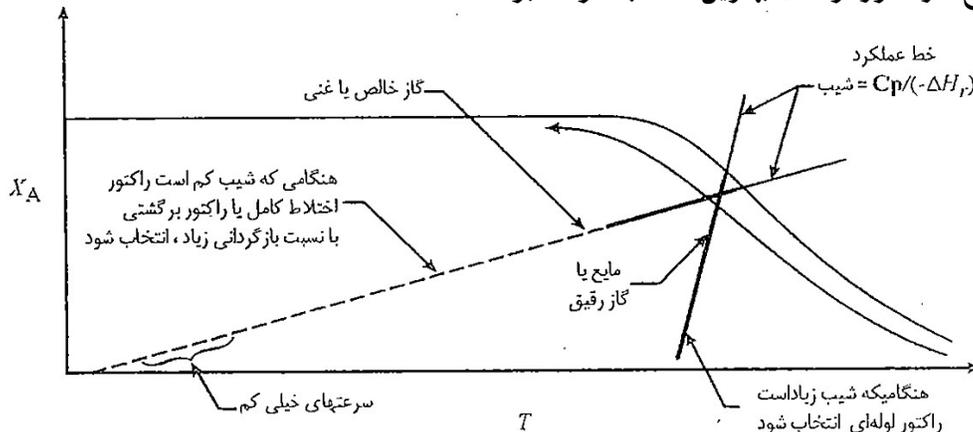
- واکنش $A \rightarrow R$ در فاز مایع و در یک راکتور مخلوط شونده به صورت آدیباتیک انجام می شود. شیب خط آدیباتیک برابر با K^{-1} با $-\frac{1}{70}$ می باشد. میزان تبدیل در راکتور برابر با $X_A = 0.7$ است. تغییر دمای سیال را به دست آورید.

40

عملکرد آدیباتیک

▪ در حالتی که شیب $\frac{C_p}{-\Delta H_r}$ کم باشد (ترکیب شونده‌گان گازی خالص)، راکتور اختلاط کامل گزینه مناسبی است. زیرا هنگامی که شیب نمودار (X_A-T) کم باشد، با تغییر میزان افزایش دما خیلی زیاد خواهد بود.

▪ در حالتی که شیب $\frac{C_p}{-\Delta H_r}$ زیاد باشد (ترکیب شونده‌گان گازی با مقدار زیادی از مواد بی اثر یا سیستم های مایع)، راکتور لوله ای بهترین انتخاب خواهد بود.



عملکرد غیر آدیباتیک

▪ در صورتی که عملیات به صورت غیر آدیباتیک باشد (ناشی از اتلاف حرارت به محیط و ...)، از موازنه جرم و انرژی معادله زیر به دست می آید:

$$X_A = \frac{C_p' \Delta T - Q}{-\Delta H_{r2}} = \left(\frac{\text{net heat still needed after heat transfer to raise feed to } T_2}{\text{heat released by reaction at } T_2} \right)$$

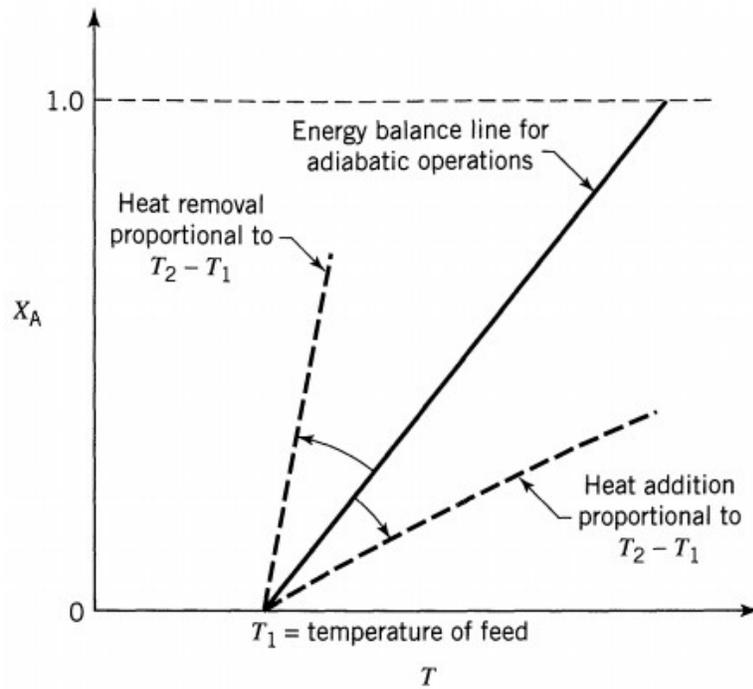
▪ در حالتی که $c_p' = c_p$ باشد

$$X_A = \frac{C_p \Delta T - Q}{-\Delta H_r}$$

در این معادلات، Q مقدار گرمای اضافه شده به راکتور به ازای یک مول از ماده A است که شامل اتلاف گرمایی به محیط نیز خواهد شد.

عملکرد غیرآدیباتیک

تبادل حرارت با محیط موجب تغییر مکان خط موازنه انرژی در حالت آدیباتیک می شود.



Any Question?