

پارسه ماهان سنجش  
www.arshd87.blogfa.com  
09195367497

# طراحی راکتورهای شیمیایی

مجموعه مهندسی شیمی

دکتر رضا طاهری

مؤسسه آموزش عالی آزاد پارسه

پارسه

پارسه ماهان سنجش  
www.arshd87.blogfa.com  
09195367497

پارسه ماهان سنجش  
www.arshd87.blogfa.com  
09195367497

## فصل اول واکنش‌های شیمیایی و معادلات سرعت

۷	تقسیم‌بندی واکنش‌های شیمیایی
۷	تقسیم‌بندی واکنش‌های شیمیایی از نظر تعداد فازها
۸	سرعت واکنش
۸	تقسیم‌بندی واکنش‌های شیمیایی از نظر استوکیومتری واکنش
۹	تقسیم‌بندی واکنش‌های شیمیایی از نظر مکانیسم واکنش
۹	ثابت سرعت واکنش
۱۰	معادله سرعت
۱۲	تعادل در واکنش‌های شیمیایی
۱۵	انرژی فعال‌سازی و وابستگی دما
۱۶	واکنش‌های آنزیمی
۱۸	تست‌های طبقه‌بندی شده فصل اول
۲۳	حل تست‌های طبقه‌بندی شده فصل اول

## فصل دوم تفسیر نتایج حاصل از راکتورهای ناپیوسته

۲۹	مقدمه
۲۹	دستیابی به معادله سرعت واکنش
۳۰	بررسی نتایج اندازه‌گیری فشار کلی در یک سیستم با حجم ثابت
۳۳	معادلات تجربی سرعت واکنش‌های درجه ۱m
۳۴	واکنش‌های درجه صفر

۳۴	..... زمان نیمه عمر
۳۵	..... واکنش‌های برگشت‌ناپذیر موازی
۴۶	..... تست‌های طبقه‌بندی شده فصل دوم
۵۶	..... حل تست‌های طبقه‌بندی شده فصل دوم

### فصل سوم مقدمات طراحی راکتور

۶۶	..... مقدمه
۶۸	..... راکتور ناپیوسته
۶۹	..... راکتور مخلوط کننده مداوم با حالت پایدار
۷۱	..... راکتور پیستونی یا plug
۷۵	..... تست‌های طبقه‌بندی شده فصل سوم
۸۱	..... حل تست‌های طبقه‌بندی شده فصل سوم

### فصل چهارم طراح راکتور برای واکنش‌های منفرد

۹۰	..... راکتور Batch
۹۲	..... سیستم‌های متشکل از چند راکتور
۹۴	..... واکنش درجه یک راکتورهای mixed پشت سر هم
۹۴	..... واکنش درجه صفر در راکتورهای mixed پشت سر هم
۹۶	..... راکتور دوره‌ای
۹۷	..... حالت‌های خاص
۹۹	..... تست‌های طبقه‌بندی شده فصل چهارم
۱۰۸	..... حل تست‌های طبقه‌بندی شده فصل چهارم

### فصل پنجم طرح راکتور برای واکنش‌های چندگانه

۱۲۰	..... مطالعه کیفی و کمی واکنش‌های موازی
۱۲۲	..... نسبت تشکیل آنی و تابع تشکیل آنی
۱۲۴	..... مطالعه کیفی و کمی واکنش‌های سری
۱۲۴	..... واکنش سری در راکتور Plug
۱۲۴	..... واکنش سری در راکتور mixed
۱۲۵	..... واکنش‌های سری - موازی
۱۲۷	..... تست‌های طبقه‌بندی شده فصل پنجم
۱۳۵	..... حل تست‌های طبقه‌بندی شده فصل پنجم

### فصل ششم اثرات دما و فشار

۱۴۳	..... واکنش‌های منفرد
۱۴۴	..... ثابت تعادل از نظر ترمودینامیک
۱۴۶	..... بهترین مسیر درجه حرارت
۱۴۷	..... عملکرد آدیاباتیک
۱۴۸	..... واکنش‌های چند گانه
۱۵۱	..... تست‌های طبقه‌بندی شده فصل ششم
۱۵۵	..... حل تست‌های طبقه‌بندی شده فصل ششم

## فصل اول

# واکنش‌های شیمیایی و معادلات سرعت

### تقسیم‌بندی واکنش‌های شیمیایی

واکنش‌های شیمیایی را از سه دید تقسیم‌بندی می‌کنند:

- ۱) از نظر تعداد فازهای موجود در واکنش
- ۲) از نظر استوکیومتری واکنش
- ۳) از نظر مکانیسم واکنش

### تقسیم‌بندی واکنش‌های شیمیایی از نظر تعداد فازها

بر اساس تعداد فازهای موجود در واکنش، واکنش‌ها را به دو دسته عمده تقسیم می‌کنند:

- ۱- واکنش‌های همگن یا متجانس (Homogeneous): واکنش‌هایی هستند که تنها در یک فاز انجام می‌شوند.
  - ۲- واکنش‌های غیرهمگن یا نامتجانس (Hetrogeneous): واکنش‌هایی که برای انجام آن‌ها حداقل دو فاز لازم است. مثل اغلب واکنش‌های کاتالیستی که در آن‌ها کاتالیست جامد با واکنشگر مایع یا گاز واکنش می‌دهد و محصول تولید می‌شود.
- لازم به ذکر است که لازم وجود یک فاز، وجود دما، فشار و غلظت یکسان در سراسر سیستم است. در سیستم‌های نامتجانس مقاومت‌های موجود در مقابل انتقال جرم و حرارت، بسیار بیش‌تر از سیستم‌های متجانس است، در نتیجه لازم است تا تمهیداتی جهت نزدیک کردن خواص سیستم‌های نامتجانس به سیستم‌های متجانس در نظر گرفته شود. بعضی از این راه‌ها عبارتند از:

- ۱- استفاده از همزن که مقاومت انتقال جرم را کاهش می‌دهد.
- ۲- استفاده از حلال‌ها جهت رقیق کردن محیط که باعث کاهش مقاومت‌های انتقال جرم می‌شود.
- ۳- استفاده از مواد تعلیق‌کننده و امولسیون‌کننده، سبب افزایش سطح تماس لازم برای انجام واکنش شده و مقاومت انتقال جرم را کاهش می‌دهد.
- ۴- در واکنش‌های بسیار سریع با پدیده‌های انتقال حرارتی (نظیر ایجاد نقاط داغ) مواجه می‌شویم که می‌توان با استفاده از کندکننده‌ها و کاهش سرعت واکنش از این پدیده جلوگیری کرد.

## سرعت واکنش

سرعت واکنش نسبت به یکی از اجزای شرکت کننده در واکنش یا یکی از محصولات بیان می‌شود و بنا به تعریف عبارت‌است از تعداد مول‌های آن جز که در واحد زمان و در واحد حجم از بین می‌رود و یا تولید می‌شوند. البته به غیر از حجم (که منظور حجم واکنش است) سرعت را بر مبنای دیگری مثل حجم راکتور  $(V_r)$ ، حجم فضای خالی راکتور و وزن کاتالیست به کار رفته در واکنش‌های کاتالیستی هم می‌توان بیان کرد.

به‌طور مثال اگر  $A$  مطابق واکنش زیر تجزیه شود و محصول  $B$  را ایجاد کند:



آن‌گاه سرعت واکنش بر مبنای تبدیل  $A$  به این صورت تعریف می‌شود:

$$-r_A = \frac{-1}{V} \frac{dN_A}{dt} \quad (1-2)$$

چون  $A$  در حال تجزیه شدن است  $dN_A < 0$  است بنابراین یک علامت منفی قرار می‌دهند تا سرعت از نظر عددی مثبت شود پس سرعت منفی یک ماده در واکنش، نشان دهنده تجزیه آن ماده است و سرعت با علامت مثبت نشان دهنده تولید آن ماده است. به طور کلی معادله سرعت واکنش را می‌توان حاصل ضرب دو تابع در نظر گرفت مثلاً برای معادله (1-1) می‌توان نوشت:

$$-r_A = f_1 \cdot f_2 \quad (1-3)$$

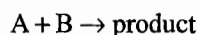
$f_1$  در معادله (1-3) فقط تابع دما است و بعد آن را به نام ثابت سرعت معرفی خواهیم کرد ولی تابعیت  $f_2$  بستگی به متجانس یا نامتجانس بودن واکنش دارد. در سیستم‌های نامتجانس  $f_2$  تابعی از دما، فشار، غلظت، سرعت همزن و ... می‌باشد که تابع بسیار پیچیده‌ای می‌شود ولی در سیستم‌های متجانس  $f_2$  فقط تابع غلظت است پس:

$$-r_A = f_1(T) \times f_2(C_A) \quad (1-4)$$

## تقسیم‌بندی واکنش‌های شیمیایی از نظر استوکیومتری واکنش

### واکنش‌های منفرد و واکنش‌های چندگانه:

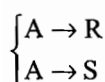
با در نظر گرفتن و مطالعه معادله شیمیایی و اجسام حاصل از واکنش در چند دما می‌توان پی برد که واکنش صورت گرفته منفرد و یا مرکب است. واکنش منفرد واکنشی است که یک معادله سرعت و یک معادله شیمیایی برای نشان دادن پیشرفت آن‌ها کافی است. مثل:



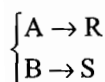
ولی در واکنش‌های چند گانه بیش از یک معادله شیمیایی برای توجیه تغییرات در واکنش و بیش از یک معادله سرعت برای محاسبه این تغییرات لازم است.



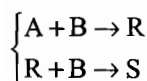
واکنش‌های پشت سر هم یا سری



واکنش موازی رقابتی



واکنش موازی جانبی



واکنش‌های سری - موازی

## تقسیم‌بندی واکنش‌های شیمیایی از نظر مکانیسم واکنش

### واکنش‌های ابتدایی و غیرابتدایی

اگر واکنش  $A+B \rightarrow C$  را در نظر بگیریم مکانیسمی که سرعت واکنش  $A$  و  $B$  را کنترل می‌کند، برخورد مولکول‌های منفرد  $A$  با  $B$  بوده و در نتیجه محصول واکنش حاصل می‌شود. پس سرعت واکنش با تعداد برخوردهای مولکول‌های  $A$  با  $B$  متناسب است. اما تعداد برخوردهای بین مولکول‌های  $A$  با  $B$  در یک دمای ثابت متناسب با غلظت ترکیب‌شوندگان در مخلوط واکنش است پس سرعت از بین رفتن مولکول‌های  $A$  با معادله زیر داده می‌شود:

$$-r_A = k C_A C_B$$

این قبیل واکنش‌ها که در آن معادله سرعت واکنش را از روی استوکیومتری واکنش می‌توان نوشت، به واکنش‌های ابتدایی (Elementary) معروف هستند.

در برخی واکنش‌ها هیچ رابطه مستقیمی بین معادله سرعت واکنش و معادله شیمیایی وجود ندارد این واکنش را غیرابتدایی می‌نامیم مثلاً واکنش زیر غیرابتدایی می‌باشد:



### ثابت سرعت واکنش

تابع  $f_1$  که در معادله (۱-۳) به عنوان تابعی از دما معرفی شد ثابت سرعت واکنش است و آن را با  $k$  نشان می‌دهیم. طبق تعریف:

$$k = k_0 T^m \exp\left(\frac{-E}{RT}\right) \quad (1-5)$$

که در آن:

$k_0$ : ضریب برخورد (frequency factor) که فقط تابع دماست.

$T$ : دمای مطلق

$E$ : انرژی فعال‌سازی، عبارت‌است از مقدار انرژی که مواد اولیه باید جذب کنند تا به محصولات تبدیل شوند یا مقدار انرژی که محصولات یک واکنش برگشت‌پذیر باید جذب کنند تا به مواد اولیه تبدیل شوند.

$R$ : ثابت عمومی گازها

$m$ : عدد ثابت و  $0 \leq m \leq 1$

چگونگی واکنش بین مواد شرکت کننده در واکنش با تئوری‌های مختلفی مورد بحث قرار گرفته است مانند تئوری آرنیوس، تئوری برخوردی و تئوری حالت واسطه.

فرض می‌شود که اجسام ترکیب‌شونده ابتدا جسم واسطه ناپایداری که کمپلکس فعال نامیده می‌شود ایجاد می‌کنند و سپس این جسم خودبه‌خود تجزیه و به محصولات واکنش تبدیل می‌گردد.

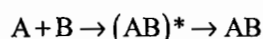
آرنیوس با استفاده از مباحث ترمودینامیکی و حالت تعادل به بررسی تغییرات سرعت می‌پردازد. از نظر تئوری آرنیوسی در معادله (۵)  $m=0$ ، (۱-)

تئوری برخوردی واکنش را نتیجه برخورد بین مولکولهای مواد شرکت کننده در واکنش می داند. در تئوری برخوردی در معادله (۵-۱)،  $m = \frac{1}{2}$  است.

در تئوری حالت واسطه یا کمپلکس فعال، واکنش را با استفاده از ترمودینامیک آماری و شیمی کوانتومی بررسی می کنند. در تئوری حالت واسطه در معادله (۵-۱)،  $m = 1$  است.

### مقایسه تئوری برخوردی و تئوری حالت واسطه

اگر فرض کنیم که مکانیسم واکنش  $A + B \rightarrow AB$  به صورت زیر باشد:



تئوری برخوردی مرحله کنترل کننده سرعت (RDS) را برخورد دو مولکول A و B و تشکیل جسم واسطه  $(AB)^*$  می داند، و فرض می کند که جسم واسطه  $(AB)^*$  بسیار سریع به AB تبدیل می شود ولی تئوری حالت واسطه مرحله کنترل کننده سرعت را تبدیل جسم واسطه  $(AB)^*$  به AB می داند و فرض می کند که سرعت تشکیل  $(AB)^*$  بسیار سریع است و چگونگی آن مهم نیست. تئوری آرنیوس هر دو مرحله را در سرعت واکنش دخیل می داند.

تئوری آرنیوس و تئوری برخوردی هیچ روشی برای محاسبه انرژی فعال سازی پیشنهاد نمی کنند، ولی تئوری حالت واسطه بیان می کند که انرژی فعال سازی تغییر آنتالپی برای تشکیل کمپلکس فعال از واکنش دهنده هاست. مطابق با تئوری آرنیوس

$$k = k_0 \exp\left(\frac{-E}{RT}\right) \quad (۱-۶)$$

$$\ln k = \ln k_0 - \frac{E}{RT}$$

در معادله (۱-۶) هم E و هم  $k_0$  تابع دما هستند، ولی در یک دامنه دمایی کم می توان E و  $k_0$  را با خطای ناچیزی ثابت فرض کرد پس:

$$\frac{d \ln k}{dT} = \frac{E}{RT^2}$$

$$\ln \frac{k_2}{k_1} = \frac{-E}{R} \left( \frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1} \right) \quad (۱-۷)$$

$k_1$  ثابت سرعت واکنش در دمای  $T_1$  و  $k_2$  ثابت سرعت واکنش در دمای  $T_2$  است.

طبق معادله (۱-۶)،  $\ln k$  بر حسب  $\frac{1}{T}$  یک خط راست با شیب  $-\frac{E}{R}$  می باشد. که هرچه E بزرگتر باشد شیب بیش تر و حساسیت ثابت سرعت به دما بیش تر است.

### معادله سرعت

اگر A و B طبق معادله زیر با هم ترکیب شوند و محصولات R و S را به وجود آورند:



معادله سرعت به صورت زیر تعریف می شود:

$$-r_A = k C_A^p C_B^q \quad (۱-۹)$$



که در آن  $n = p + q$  درجه کلی سرعت است و واحد  $k$ ،  $\frac{1-n}{\text{غلظت}}$  (غلظت) است. واکنش نسبت به  $A$  از درجه  $p$  و نسبت به  $B$  از درجه  $q$  (زمان)

می‌باشد. توجه کنید لازم نیست  $p$  و  $q$  ضرایب معادله شیمیایی باشد. هم‌چنین الزامی ندارد که  $p$  و  $q$  اعداد صحیح باشند. رابطه بین سرعت اجزا شرکت‌کننده در واکنش (۱-۸) به صورت زیر می‌باشد:

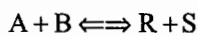
$$\frac{-r_A}{a} = \frac{-r_B}{b} = \frac{r_R}{r} = \frac{r_S}{s}$$

$$\frac{N_{A_0} - N_A}{a} = \frac{N_{B_0} - N_B}{b} = \frac{N_{R_0} - N_R}{-r} = \frac{N_{S_0} - N_S}{-s}$$

که اگر حجم واکنش ثابت باشد به صورت زیر هم می‌توان نوشت:

$$\frac{C_{A_0} - C_A}{a} = \frac{C_{B_0} - C_B}{b} = \frac{C_{R_0} - C_R}{-r} = \frac{C_{S_0} - C_S}{-s} \quad (1-10)$$

در واکنش‌های برگشت‌پذیر سرعت کلی عبارت‌است از سرعت واکنش رفت، منهای سرعت واکنش برگشت. مثلاً برای واکنش ابتدایی زیر:



$$-r_A = -r_B = r_R = r_S = k_1 C_A C_B - k_2 C_R C_S$$

$k_1$  ثابت سرعت واکنش رفت و  $k_2$  ثابت سرعت واکنش برگشت است.

$-r_A$  سرعت تجزیه شدن  $A$  است و  $k_1 C_A C_B$  در تجزیه شدن  $A$  اثر مثبت دارد پس با علامت مثبت می‌آید و  $k_2 C_R C_S$  در تجزیه اثر منفی دارد ( $A$  از این طریق تولید می‌شود) پس با علامت منفی می‌آید.

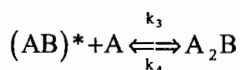
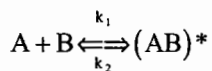
لازم به ذکر است که در بیان معادله سرعت به جای غلظت می‌توان از متغیرهای دیگری نظیر فشار نیز استفاده کرد که این کار باعث تغییر بعد ثابت سرعت خواهد شد.

## ملکولاریته

عبارت‌است از تعداد مولکول‌هایی که در مرحله کنترل‌کننده سرعت واکنش شرکت می‌کنند. ملکولاریته واکنش‌ها 1 یا 2 و به ندرت 3 می‌باشد. قابل ذکر است که ملکولاریته عددی صحیح می‌باشد و فقط برای واکنش‌های ابتدایی تعریف می‌شود.

در صورتی که واکنش ابتدایی نباشد برای به‌دست آوردن معادله سرعت آن می‌توان واکنش را مجموعه‌ای از واکنش‌های ابتدایی فرض کرد که در آن‌ها یک سری مواد واسطه به‌وجود می‌آیند و سپس تجزیه شده و محصولات را به وجود می‌آورند.

مثلاً اگر بدانیم که واکنش  $2A + B \rightarrow A_2B$  یک واکنش غیرابتدایی است می‌توان آن را متشکل از واکنش‌های ابتدایی زیر در نظر گرفت:



معادله سرعت تولید  $A_2B$  به صورت زیر است:

$$r_{A_2B} = k_3 [AB^*][A] - k_4 [A_2B] \quad (1-11)$$

از طرفی با توجه به این که غلظت حد واسطه  $(AB)^*$  بسیار اندک است، بنابراین می‌توان تغییرات آن را در زمان‌های کوتاه ناچیز فرض کرد. پس:

$$r_{(AB)^*} = \frac{d[AB^*]}{dt} = 0$$

این تقریب را تقریب حالت مداوم یا رژیم ثابت می گویند پس:

$$r_{(AB)^*} = k_1 [A][B] - k_2 [AB^*] - k_3 [AB^*][A] + k_4 [A_2B] = 0$$

از این رابطه می توان غلظت  $(AB)^*$  را به شکل زیر به دست آورد:

$$[AB^*] = \frac{k_1 [A][B] + k_4 [A_2B]}{k_2 + k_3 [A]}$$

با جانشینی در رابطه (۱-۱۱) داریم:

$$r_{A_2B} = \frac{k_1 k_3 [A]^2 [B] - k_2 k_4 [A_2B]}{k_2 + k_3 [A]}$$

## تبادل در واکنش های شیمیایی

در واکنش های برگشت پذیر، تبادل سینتیکی زمانی به وجود می آید که سرعت واکنش رفت با سرعت واکنش برگشت برابر شود. مثلاً در واکنش ابتدایی زیر



$$r_f = k_1 C_A^a C_B^b \quad \text{سرعت واکنش رفت}$$

$$r_r = k_2 C_R^r C_S^s \quad \text{سرعت واکنش برگشت}$$

ثابت تبادل به صورت زیر تعریف می شود:

$$K = \frac{k_1}{k_2} = \frac{C_R^r C_S^s}{C_A^a C_B^b} \quad (1-13)$$

که این غلظت ها، غلظت های تعادلی اجزای می باشند.

از نظر ترمودینامیکی تبادل هنگامی به وجود می آید که انرژی آزاد گیبس سیستم به کمترین مقدار خود برسد. در این حالت در معادله

$$\Delta G^0 = rG_R^0 + sG_S^0 - aG_A^0 - bG_B^0 = -RT \ln K \quad (1-14)$$

$$K = \frac{\left(\frac{f}{f^0}\right)_R^r \left(\frac{f}{f^0}\right)_S^s}{\left(\frac{f}{f^0}\right)_A^a \left(\frac{f}{f^0}\right)_B^b} \quad (1-15)$$

$f$  عبارت است از فوگاسیته در حالت تعادل و  $f^0$  فوگاسیته در شرایط مبنا می باشد که دمای مبنا همان دمای به کار رفته برای محاسبه  $\Delta G^0$  است.

$$\Delta G^0 = -RT \ln K \quad (1-16)$$

$$K = \exp\left(\frac{-\Delta G^0}{RT}\right)$$

در مورد گازها شرایط مینا را معمولاً فشار 1 atm فرض می‌کنند، در نتیجه تحت این فشار کم، انحراف از حالت کامل اندک است. در مورد گازهای کامل داریم:

$$f_i = P_i = y_i \Pi (C_i RT) \quad (1-17)$$

که  $\Pi$  فشار کل مخلوط،  $y_i$  و  $C_i$  و  $f_i$  به ترتیب جزو مولی، غلظت و فوگاسیته سازنده  $\bar{f}_i$  می‌باشند.

که اگر  $f^0 = P^0 = 1 \text{ atm}$  باشد در رابطه (1-15) خواهیم داشت:

$$K_f = \frac{f_R^r f_S^s}{f_A^a f_B^b} = K \times (P^0)^{\Delta n} \quad (1-18)$$

$$\Delta n = (r+s) - (a+b)$$

برای گازهای کامل:

$$f_i = P_i$$

$$K_f = K_p = \frac{P_R^r P_S^s}{P_A^a P_B^b} = K (P^0)^{\Delta n} \quad (1-19)$$

$$K_y = \frac{y_R^r y_S^s}{y_A^a y_B^b} = K_p (P \pi)^{-\Delta n} = K_f (\pi)^{-\Delta n} \quad (1-20)$$

$$K_c = \frac{C_R^r C_S^s}{C_A^a C_B^b} = K_p (RT)^{-\Delta n} = K_y \left( \frac{\pi}{RT} \right)^{\Delta n} \quad (1-21)$$

ثابت تعادل ترمودینامیکی طبق رابطه زیر به دما وابسته است:

$$\frac{d(\ln K)}{dT} = \frac{\Delta H_r}{RT^2} \quad (1-22)$$

$\Delta H_r$  گرمای واکنش است و خود تابع دما است. ولی اگر بتوان در یک دامنه کوچک دمایی آن را ثابت فرض کرده آن‌گاه:

$$\ln \frac{K_2}{K_1} = \frac{-\Delta H_r}{R} \left( \frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1} \right) \quad (1-23)$$

$K_1$  ثابت تعادل در دمای  $T_1$  و  $K_2$  ثابت تعادل در دمای  $T_2$  می‌باشد. به وسیله این رابطه می‌توان تغییرات ثابت تعادلی و در نتیجه میزان تبدیل تعادلی را با دما به دست آورد.

گرمای واکنش ( $\Delta H_r$ ) برای واکنش‌های گرمازا منفی و برای واکنش‌های گرماگیر مثبت است.

## نکات مهم:

- ۱- ثابت تعادل فقط تابع دما است و با فشار، سینتیک واکنش و حضور یا عدم حضور مواد بی‌اثر (Inert) هیچ ارتباطی ندارد.
- ۲- ثابت تعادل تحت تأثیر فشار و اجسام بی‌اثر واقع نمی‌شود ولی غلظت و میزان تبدیل تعادلی تابعی از متغیرهای فوق است.
- ۳- اگر  $K \gg 1$  باشد می‌توان واکنش را بازگشت‌ناپذیر تصور کرد و اگر  $K \ll 1$  باشد واکنش به میزان قابل توجهی انجام نخواهد شد.
- ۴- با افزایش دما، تبدیل تعادلی در واکنش‌های گرماگیر ( $\Delta H_r > 0$ ) زیاد می‌شود، ولی در واکنش‌های گرمازا ( $\Delta H_r < 0$ ) کم می‌شود.
- ۵- افزایش فشار، تعادل را به سمت تولید تعداد مول‌های کمتر جابه‌جا می‌کند. اگر  $\Delta n = 0$  باشد فشار روی تعادل اثر ندارد.
- ۶- مواد بی‌اثر، اثر عکس فشار را خواهند داشت. افزایش مواد بی‌اثر مانند کاهش فشار است.

**مثال:** واکنش  $A \rightarrow B + C$  در فاز مایع و با غلظت‌های اولیه  $C_{A_0} = 1 \frac{\text{mol}}{\text{lit}}$  و  $C_{B_0} = C_{C_0} = 0$  در فشار کل 10 atm و دمای 1000 K انجام می‌شود. ثابت تعادل این واکنش برابر  $\frac{1}{3}$  باشد، درجه تبدیل ماده A برابر است با:

A	$\Leftrightarrow$	B + C		
1		0	0	تعداد مول اجزا قبل از واکنش
1-x		x	x	تعداد مول اجزا بعد از واکنش
				(۱) 25%
				(۲) 50%
				(۳) 75%
				(۴) 90%

$$n_t = 1 - x + x + x = 1 + x$$

$$y_A = \frac{1-x}{1+x}, \quad y_B = \frac{x}{1+x}, \quad y_C = \frac{x}{1+x}$$

$$K_y = \frac{y_B \times y_C}{y_A} = \frac{\left(\frac{x}{1+x}\right)^2}{\frac{1-x}{1+x}} = \frac{1}{3} \rightarrow x = 0.5 \rightarrow x = 50\%$$

گزینه ۲ صحیح می‌باشد.

**مثال:** سرعت یک واکنش درجه ۲ در  $20^\circ\text{C}$  دو برابر سرعت این واکنش در  $0^\circ\text{C}$  می‌باشد. انرژی فعال‌سازی واکنش مذکور برحسب cal برابر است با:

- (۱) 6454      (۲) 3640      (۳) 4514      (۴) 5514

$$\frac{-r_A}{-r'_A} = 2 = \frac{e^{-\frac{E}{RT}}}{e^{-\frac{E}{RT'}}} \rightarrow \ln 2 = \frac{-E}{R} \left( \frac{1}{T} - \frac{1}{T'} \right)$$

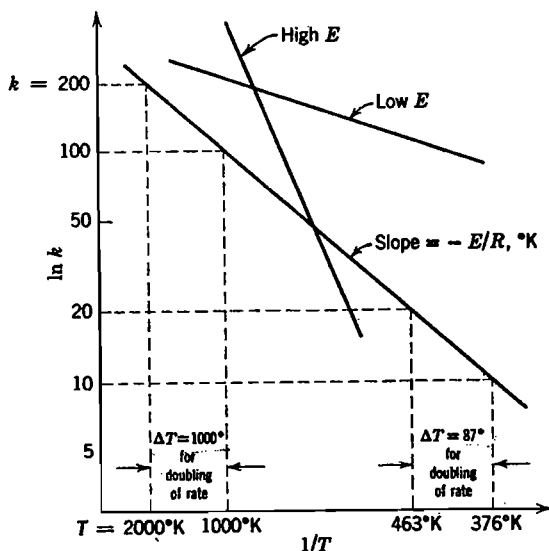
$$\ln 2 = \frac{-E}{R} \left( \frac{1}{293.15} - \frac{1}{273.15} \right), \quad R = 1.987 \frac{\text{Cal}}{\text{gmolK}}$$

$$E = 5514.2 \text{ Cal}$$

گزینه ۴ صحیح می‌باشد.

## انرژی فعال‌سازی و وابستگی دما

شکل (۱-۱) وابستگی ثابت سرعت واکنش به دما را نشان می‌دهد. با توجه به شکل نتایج زیر به دست می‌آید:



شکل (۱-۱): نمایش وابستگی ثابت سرعت واکنش به دما

۱- با توجه به قانون آرنیوس منحنی تغییرات  $\ln k$  بر حسب  $\frac{1}{T}$  یک خط مستقیم است که شیب آن در مورد انرژی فعال‌سازی زیاد تند و در مورد انرژی فعال‌سازی کم کوچک می‌باشد.

۲- واکنش‌های با انرژی فعال‌سازی زیاد در مقابل دما بسیار حساس بوده و بالعکس، واکنش‌های با انرژی فعال‌سازی کم تقریباً در برابر دما غیر حساس هستند.

۳- یک واکنش شیمیایی در برابر دما، در درجات حرارت پایین‌تر بسیار حساس‌تر از درجات حرارت بالاتر است. همان‌طور که از شکل (۱-۱) مشخص است در دمای 376 K افزایش دما به میزان 87 K سرعت واکنش را دو برابر می‌کند در حالی که در دمای 1000 K افزایش دما به میزان 1000 K سرعت واکنش را دو برابر می‌کند.

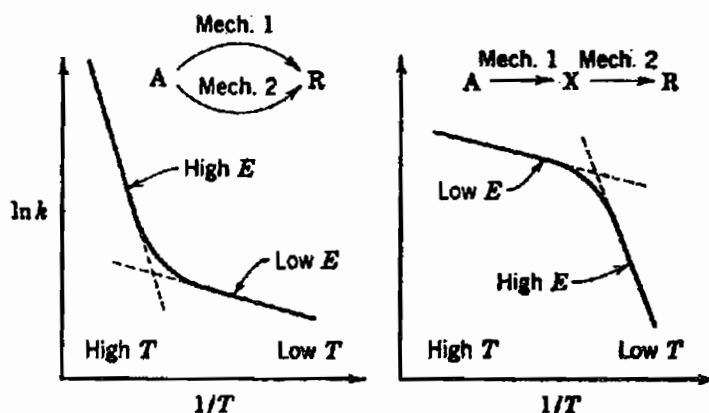
۴- با توجه به قانون آرنیوس عامل برخورد ( $k_0$ ) تأثیری بر روی حساسیت واکنش در مقابل دما ندارد.

۵- اگر  $k_1$  و  $r_{A1}$  به ترتیب سرعت واکنش و ثابت سرعت واکنش در دمای  $T_1$  و  $k_2$  و  $r_{A2}$  به ترتیب سرعت واکنش و ثابت سرعت واکنش در دمای  $T_2$  باشند می‌توان نوشت:

$$\frac{r_{A2}}{r_{A1}} = \frac{k_2}{k_1} = e^{\frac{-E}{R} \left( \frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1} \right)} \rightarrow E = \frac{RT_2 T_1}{(T_2 - T_1)} \ln \left( \frac{k_2}{k_1} \right) \quad (1-24)$$

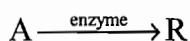
۶- مقادیر تجربی سرعت واکنش‌ها معمولاً در حد، کمتر از آن مقداری است که از تئوری برخوردی تخمین زده می‌شود. بنابراین می‌توان از این تئوری برای تخمین حد بالای سرعت واکنش استفاده نمود.

۷- تغییر در مقدار انرژی فعال‌سازی با دما مبین جهشی در مکانیسم کنترل‌کننده واکنش می‌باشد. افزایش  $E$  با اضافه شدن دما مبین آن است که مکانیسم کنترل‌کننده به یک مسیر موازی و یا متفاوت تغییر کرده است و برعکس کاهش  $E$  با افزایش دما نشان دهنده آن است که مکانیسم کنترل‌کننده از یک مرحله ابتدایی به یک مرحله دیگر انتقال یافته است.



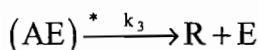
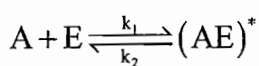
## واکنش‌های آنزیمی

در این واکنش‌ها جسمی که به نام ماده ترکیب‌پذیر (سوبسترا) نامیده می‌شود، در اثر عمل یک آنزیم که جسمی شبیه پروتیین و دارای جرم مولکولی زیاد است به محصول تبدیل می‌گردد. آنزیم انجام تنها یک واکنش یا یک دسته واکنش خاص را میسر می‌سازد:



واکنش‌های آنزیمی دارای مشخصات زیر هستند:

- ۱- سرعت واکنش متناسب با غلظت اولیه آنزیم موجود در مخلوط است.
  - ۲- در غلظت‌های کمتر از جسم ترکیب‌شونده، سرعت واکنش متناسب با غلظت سوبسترا است.
  - ۳- در غلظت‌های زیادتر جسم ترکیب‌شونده، سرعت واکنش به حد ثابت رسیده و مستقل از غلظت ترکیب‌شونده می‌شوند.
- Michaelis و Menten برای نخستین بار این مشخصات عمومی را به وسیله مکانیسم زیر توضیح دادند:



یکی از فرضیات این مدل آن است که غلظت جسم واسطه می‌تواند قابل توجه باشد و در این حالت مقدار کلی آنزیم به صورت زیر توزیع می‌گردد:

$$[E_0] = [E] + [(AE)^*] \quad (1-25)$$

$$-r_A = k_3 [(AE)^*] \quad (1-26)$$

از طرف دیگر برای غلظت ماده واسطه می‌توان رابطه زیر را نوشت:

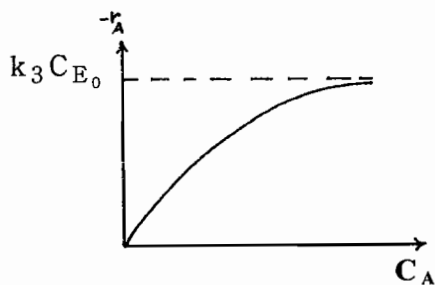
$$\frac{d[(AE)^*]}{dt} = 0 \rightarrow k_1 [A][E] - k_2 [(AE)^*] - k_3 [(AE)^*] = 0$$

$$\rightarrow [(AE)^*] = \frac{k_1 [A][E_0]}{k_1 [A] + (k_2 + k_3)} \quad (1-27)$$

و با جای‌گذاری رابطه (۲۷ - ۱) در فرمول سرعت خواهیم داشت :

$$-r_A = \frac{k_3 [A][E_0]}{[A] + M} = \frac{k_3 C_A C_{E_0}}{C_A + M} \quad (1 - 28)$$

M در این رابطه ثابت میکاییل می‌باشد. اگر نمودار (سرعت - غلظت) را برای معادله بالا رسم کنیم، خواهیم داشت:



نکته: در واکنش‌های آنزیمی ماکزیمم مقدار سرعت برابر است با:

$$(-r_A)_{\max} = \lim_{C_A \rightarrow \infty} (-r_A) = k_3 C_{E_0} \quad (1 - 29)$$

## « تست‌های طبقه‌بندی شده فصل اول »

۱- یکی از مهم‌ترین اختلاف‌ها بین سیستم‌های متجانس و نامتجانس در این است که:

- (۱) درجه حرارت در سیستم‌های متجانس ثابت است ولی در سیستم‌های نامتجانس متغیر است.
- (۲) درجه حرارت در سیستم‌های متجانس بیش‌تر از نامتجانس عوض می‌شود.
- (۳) فرآیندهای فیزیکی در سیستم‌های نامتجانس نسبت به سیستم‌های متجانس بیش‌تر مطرح هستند.
- (۴) هیچ‌کدام از موارد فوق

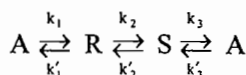
۲- کدام‌یک از تعاریف زیر برای سرعت واکنش صحیح است؟

- (۱) تعداد مول‌های A که در واحد زمان تبدیل یا تولید می‌شوند.
- (۲) تعداد مول‌های A که در واحد زمان در واحد حجم تبدیل یا تولید می‌شوند.
- (۳) تعداد مول‌های A که در واحد حجم راکتور تبدیل و یا تولید می‌شوند.
- (۴) تعداد کل مول‌های A که در خروجی راکتور به محصول تبدیل می‌شوند.

۳- در واکنش  $aA + bB \rightleftharpoons cC + dD$  سرعت واکنش A و B به چه صورت زیر به هم مربوط می‌شوند؟

$$ar_A = br_B \quad (۱) \quad ar_A = -br_B \quad (۲) \quad br_A = ar_B \quad (۳) \quad (a-b)r_A = r_B \quad (۴)$$

۴- در مجموعه واکنش‌های زیر معادله سرعت واکنش A برابر است با:



$$r_A = -k_1 C_A + k'_1 C_R - k'_3 C_A + k_3 C_S \quad (۲) \quad r_A = k_1 C_A - k'_1 C_R + k'_3 C_A - k_3 C_S \quad (۱)$$

$$r_A = -k_1 C_A - k'_1 C_R + k'_3 C_A - k_3 C_S \quad (۴) \quad r_A = k_1 C_A - k'_1 C_R - k'_3 C_A - k_3 C_S \quad (۳)$$

۵- انرژی فعال‌سازی (activation energy) عبارت است از:

- (۱) مقدار انرژی که در انجام هر واکنش آزاد یا جذب می‌شود.
- (۲) مقدار انرژی که واکنشگرها (reactants) جذب می‌کنند تا پس از فعال شدن به محصول تبدیل شوند.
- (۳) مقدار انرژی که محصولات یک واکنش برگشت‌پذیر جذب می‌کنند تا پس از فعال شدن به واکنشگرها تبدیل شوند.
- (۴) ۲ و ۳

۶- کدام‌یک از جملات زیر صحیح است؟

- (۱) ثابت سرعت واکنش با افزایش انرژی فعال‌سازی افزایش می‌یابد.
- (۲) ثابت سرعت واکنش با افزایش انرژی فعال‌سازی کاهش می‌یابد.
- (۳) ثابت سرعت واکنش تابعی از انرژی فعال‌سازی نیست.
- (۴) ثابت سرعت واکنش با افزایش فشار کاهش می‌یابد.

۷- در کلیه واکنش‌های شیمیایی ضریب ثابت سرعت با افزایش درجه حرارت:

- (۱) افزایش پیدا می‌نماید.
- (۲) تغییر نمی‌کند.

- (۳) برای واکنش‌های گرمازا کاهش پیدا می‌نماید.



۸- اگر در دماهای معمولی درجه حرارت واکنشی را ده درجه سانتی‌گراد اضافه کنیم معمولاً سرعت واکنش به مقدار:

- (۱) ده درصد اضافه می‌شود. (۲) بیست و پنج درصد اضافه می‌شود.  
(۳) صد درصد اضافه می‌شود. (۴) پنجاه درصد اضافه می‌شود.

۹- ارتباط ثابت سرعت واکنش با دما به طور کلی به صورت  $K = aT^m e^{-E/RT}$  داده می‌شود که  $a$  و  $m$  دو مقدار ثابت هستند. در تئوری برخوردی (Collision Theory) مقدار  $m$  برابر است با:

- (۱) صفر (۲) 0.5 (۳) 1 (۴) مقداری بین صفر و 0.5

۱۰- واکنش ابتدایی  $A + 2R \rightarrow S + D$  (Elementary) را در نظر بگیرید. کدام یک از موارد زیر صحیح است؟

- (۱) درجه واکنش برابر سه می‌باشد. (۲) درجه واکنش برابر پنج می‌باشد.  
(۳) درجه واکنش نسبت به  $A$  یک و نسبت به  $S$  یک می‌باشد. (۴) ۱ و ۳

۱۱- معادله سرعت  $-r_A = \frac{KC_A^2}{C_B}$  را در نظر بگیرید. کدام یک از موارد زیر صحیح است؟

- (۱) درجه کلی واکنش برابر سه می‌باشد.  
(۲) درجه واکنش نسبت به  $A$  دو و نسبت به  $B$  یک می‌باشد.  
(۳) درجه واکنش نسبت به  $A$  دو و نسبت به  $B$  منهای یک می‌باشد.  
(۴) برای این نوع معادلات سرعت درجه خاصی را نمی‌توان تعریف نمود.

۱۲- واکنش برگشت پذیر  $A + 2B \xrightleftharpoons[K_f]{K_r} 3S + T$  در آزمایشگاه مورد مطالعه قرار گرفته است و معادله سرعت واکنش رفت به صورت

زیر به دست آمده است:  $-r_f = K_f C_A^{0.5} C_B$  بنابراین معادله سرعت واکنش برگشت باید به صورت زیر باشد:

- (۱)  $r_r = K_r C_S^{0.5} C_T^{0.5}$  (۲)  $r_r = K_r C_S C_T$  (۳)  $r_r = K_r C_S^{1.5} C_T^{0.5}$  (۴)  $r_r = K_r C_S^{0.5} C_T^{1.5}$

۱۳- در واکنش  $2A \rightarrow R$  سرعت واکنش که با توجه به تئوری برخوردی محاسبه می‌گردد، 25 برابر سرعتی است که با توجه به

تئوری آرنیوسی محاسبه می‌گردد. در این صورت دما چند درجه سانتی‌گراد است؟ (ضرایب برخورد برابر است)

- (۱) 625 (۲) 526 (۳) 352 (۴) 253

۱۴- رابطه ثابت سرعت واکنش با دما به صورت زیر گزارش شده است.

T(K)	573	600	623.5
k (min <sup>-1</sup> )	4.15 × 10 <sup>-3</sup>	26.8 × 10 <sup>-3</sup>	114 × 10 <sup>-3</sup>

انرژی فعال‌سازی واکنش (activation energy) برابر است با:

- (۱) 27221 R (۲) 32557 R (۳) 18952 R (۴) 23751 R

۱۵- وقتی دما از 740K به 750K افزایش می‌یابد سرعت واکنش چند برابر می‌شود: ( $E = 32545 R$ )

- (۱) 2 برابر (۲) 2.2 برابر (۳) 1.6 برابر (۴) 1.8 برابر

۱۶- در رابطه آرنیوس  $k = A e^{-E/RT}$ ، اگر چنانچه درجه حرارت خیلی عوض نشود معمولاً می‌توان:

- (۱)  $A$  را ثابت فرض کرد. (۲)  $E$  را ثابت فرض کرد. (۳)  $R$  را ثابت فرض کرد. (۴)  $E$  و  $A$  را ثابت فرض کرد.

۱۷ - سرعت انجام یک واکنش دو مولکولی در  $500^{\circ}\text{C}$  ، ده برابر بیش از سرعت انجام آن در  $400^{\circ}\text{C}$  می باشد. انرژی اکتیواسیون این واکنش را تعیین کنید.  
( $R = 1.98 \text{ Cal/gmolK}$ )

- (۱) 25.5 Kcal (۲) 23.8 Kcal (۳) 18.2 Kcal (۴) 12.5 Kcal

۱۸ - در  $500 \text{ K}$  سرعت یک واکنش دو مولکولی  $1000$  برابر آن در  $400 \text{ K}$  است. اگر همین واکنش را در دمای  $600 \text{ K}$  انجام دهیم. سرعت واکنش چند برابر آن در  $500 \text{ K}$  خواهد شد؟

- (۱) 40 (۲) 60 (۳) 80 (۴) 100

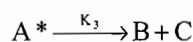
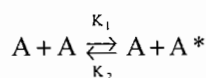
۱۹ - واکنشی دارای  $E = 300 \text{ KJ/mole}$  می باشد. اگر دما از  $400 \text{ K}$  به  $410 \text{ K}$  افزایش یابد، سرعت واکنش چند درصد تغییر می کند؟  
( $R = 8.3 \text{ J/mol.K}$ )

- (۱) 8 % (۲) 9 % (۳) 800 % (۴) 900 %

۲۰ - سرعت یک واکنش در  $327^{\circ}\text{C}$  سه برابر سرعت آن در  $200^{\circ}\text{C}$  است. انرژی اکتیواسیون واکنش چند کیلوکالری بر گرم مول است؟ (ثابت گازها  $R = 1.98 \text{ Cal/g mol.K}$  می باشد)

- (۱) 5.19 (۲) 4.86 (۳) 6.14 (۴) 12.32

۲۱ - واکنش  $A \rightarrow B + C$  طبق مکانیزم زیر صورت می گیرد.



چنانچه  $A^*$  واسطه پر انرژی باشد کدام معادله سرعت واکنش صحیح است؟

$$-r_A = \frac{K_1[A]^2}{K_3 + K_2} \quad (۴) \quad -r_A = \frac{K_1 K_2}{K_3} [A] \quad (۳) \quad -r_A = \frac{K_1 K_3 [A]^2}{K_3 + K_2 [A]} \quad (۲) \quad -r_A = \frac{K_1 K_2 [A]^2}{K_3 + K_2 [A]} \quad (۱)$$

۲۲ - واکنش  $A \rightarrow P$  را در نظر بگیرید، در این واکنش  $K_1 = 10^{18} e^{-\frac{20000}{RT}}$  و  $K_2 = 10^5 e^{-\frac{25000}{RT}}$  و  $-r_A = K_1 C_A^2 / (1 + K_2 C_A)$  در یک راکتور ناپیوسته صورت می گیرد، انرژی فعالیت در مراحل پایانی واکنش برابر است با:

- (۱)  $E = 45000$  (۲)  $E = 5000$  (۳)  $E = 20000$  (۴)  $E = 22500$

۲۳ - برای واکنش تعادلی  $\text{CO} + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{CO}_2 + \text{H}_2$  در فاز گاز با فرض این که تبدیل تعادلی  $\text{CO}$  برابر 40 % باشد ثابت تعادل،  $K_p$  ، چقدر است؟ خوراک شامل یک مول  $\text{CO}$  ، یک مول  $\text{H}_2$  و دو مول  $\text{H}_2\text{O}$  بوده و فشار کل 1 اتمسفر می باشد.

- (۱)  $\frac{7}{12}$  (۲)  $\frac{14}{12}$  (۳)  $\frac{7}{14}$  (۴)  $\frac{12}{7}$

۲۴ - کدام یک از موارد زیر درباره کاتالیزورها صحیح نیست؟

(۱) معمولاً مقدار زیادی کاتالیزور نسبت به مقدار محصول لازم است.

(۲) میزان تبدیل تعادلی به وسیله کاتالیزور عوض نمی شود.

(۳) کاتالیزورها معمولاً دارای سطح قابل ملاحظه ای به ازای هر گرم از وزن خود هستند.

(۴) کاتالیزورها احتمالاً انجام واکنش ها را به وسیله ارایه مسیری که دارای انرژی فعال سازی کمتر می باشد انجام پذیر می سازند.

۲۵- ثابت تعادل واکنش‌های برگشت پذیر تابع ..... است.

- (۱) دما (۲) فشار (۳) فشار و غلظت (۴) غلظت و ناخالصی

۲۶- واکنش گرماگیر  $A \leftrightarrow 3B$  در دمای .....، فشار ..... و مواد بی اثر بهترین درصد تبدیل تعادلی را ایجاد می‌کند.

- (۱) بالا، بالا، حضور (۲) بالا، پایین، حضور (۳) پایین، بالا، بدون (۴) پایین، پایین، بدون

۲۷- کدام یک از جملات زیر صحیح است؟

- (۱) در واکنش‌های تعادلی گرمازا با افزایش دما واکنش به سمت چپ پیش می‌رود.  
(۲) در واکنش‌های تعادلی گرماگیر با کاهش دما واکنش به سمت چپ پیش می‌رود.  
(۳) در واکنش‌های تعادلی، ثابت تعادل فقط تابعی از دما می‌باشد.  
(۴) هر سه

۲۸- برای واکنش  $2N_2O \leftrightarrow 2N_2 + O_2$  معادله سرعت به صورت  $r_{N_2O} = k_c C_{N_2O} \frac{gmol}{S.cm^3}$  گزارش شده است. در  $900^\circ C$  مقدار

$k_c = 0.013 S^{-1}$  می‌باشد. اگر معادله سرعت به صورت  $r_{N_2O} = k_p P_{N_2O}$  بیان شود مقدار  $k_p$  برابر خواهد بود با:

$$R = 82 \text{ atm.cm}^3 / \text{gmol.K}$$

- (۱)  $1.3504 \times 10^{-7}$  (۲)  $1.3504 \times 10^{-3}$  (۳)  $1.25 \times 10^3$  (۴) 1.25

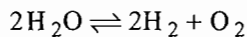
۲۹- حداکثر سرعت ( $r_{max}$ ) در یک واکنش آنزیمی به معادله  $-r_A = \frac{KC_{E_0}C_A}{M+C_A}$  چیست؟

- (۱) 1 (۲)  $\frac{K}{M}$  (۳)  $\frac{KC_{E_0}}{M}$  (۴)  $KC_{E_0}$

۳۰- اگر سرعت واکنشی به صورت  $-r_A = \frac{0.2C_A}{1+C_A}$  باشد، کدام عبارت زیر درباره آن صادق است؟

- (۱) درجه واکنش در محدوده‌ای از غلظت صفر است.  
(۲) ثابت واکنش در محدوده‌ای از غلظت برابر 0.2 است.  
(۳) ثابت واکنش در محدوده پایین غلظت A برابر 0.2 است.  
(۴) همه موارد

۳۱- در دمای  $2100^\circ C$  و فشار یک اتمسفر، بخار آب برطبق واکنش زیر به مقدار 1.18 % تجزیه شده است، مقدار  $k_p$  را در این دما به دست آورید.



- (۱) اتمسفر  $5 \times 10^{-6}$  (۲) اتمسفر  $20 \times 10^{-8}$  (۳) اتمسفر  $82 \times 10^{-8}$  (۴) اتمسفر  $8 \times 10^{-7}$

۳۲- اگر دمای مطلق یک راکتور دو برابر شود ثابت سرعت واکنش نسبت به دمای اولیه به چه صورت تغییر می‌نماید؟

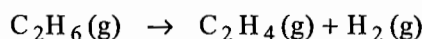
- (۱)  $k_2 = \frac{1}{2}k_1$  (۲)  $k_2 = 2k_1$  (۳)  $k_2 = k_1 e^{\frac{E}{2RT_1}}$  (۴)  $k_2 = k_1 e^{\frac{-E}{2RT_1}}$

۳۳- در مورد بعضی از واکنش‌های شیمیایی، ثابت سرعت در معادله سرعت، رفتار عادی آرنیوس را نشان نمی‌دهد. در این قبیل موارد، کدام یک از تصحیحات ذیل را می‌توان پیشنهاد داد؟

(۱)  $\ln k_c = A \exp(-E/RT)$  (۲)  $\ln k_c^\circ = A \exp(-E/RT)$

(۳)  $\ln k_c = \frac{-E}{R} \left( \frac{1}{T} - \frac{1}{T_0} \right) + \ln k_c^\circ$  (۴)  $k_c = k_0 \exp(-E/RT)$

۳۴- یک فرآیند شیمیایی احتیاج به گاز اتان ( $C_2H_6$ ) در دمای 750 K و فشار 5 بار دارد که توسط:



تجزیه می‌شود. تعیین کنید چه درصدی از گاز اتان تحت این شرایط به  $C_2H_4$  تبدیل می‌شود؟ در صورتی که واکنش به تعادل برسد و

$$\Delta G^\circ = 10176 \text{ (cal)} \text{ در دمای } 750 \text{ K} \text{ باشد.}$$

(۱) 3.40 (۲) 1.47 (۳) 2.00 (۴) 35.00

۳۵- یک فرآیند در طی 20 دقیقه در درجه حرارت  $50^\circ C$  و همان فرآیند طی 20 ثانیه در درجه حرارت  $70^\circ C$  انجام می‌شود.

انرژی اکتیواسیون این فرآیند برابر است با:

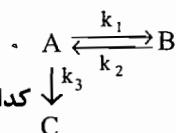
(۱) 45066 J/mol (۲) 255565 J/mol (۳) 422000 J/mol (۴) 188565 J/mol

۳۶- انرژی فعال‌سازی یک واکنش شیمیایی چه نوع کمیتی است؟

- (۱) منفی و تابع دمای واکنش  
(۲) منفی و ثابت  
(۳) مثبت و ثابت  
(۴) مثبت و تابع دمای واکنش

۳۷- برای نزدیک کردن یک سیستم واکنشی نامتجانس به شبه متجانس کدام روش مناسب است؟

- (۱) اضافه کردن بخار آب  
(۲) گرم کردن مخلوط واکنش  
(۳) سرد کردن مخلوط واکنش  
(۴) استفاده از یک همزن و یا یک حلال شیمیایی



۳۸- برای واکنش ابتدایی در حجم ثابت کدام یک از معادلات زیر سرعت تولید C را نشان می‌دهد؟

(۱)  $\frac{dC_C}{dt} + (k_1 + k_3)C_A = 0$   
(۲)  $\frac{dC_C}{dt} - k_3 C_A = 0$   
(۳)  $\frac{dC_C}{dt} + (k_1 + k_3)C_A - k_2 C_B = 0$   
(۴)  $\frac{dC_C}{dt} + k_2 C_B - k_1 C_A = 0$

۳۹- در صورتی که غلظت ماده اولیه A را 4 برابر نماییم، سرعت واکنش 2 برابر می‌شود. درجه واکنش برابر است با:

(مهندسی شیمی سراسری - ۸۸)

(۱)  $n = \frac{1}{2}$  (۲)  $n = \ln\left(\frac{1}{2}\right)$  (۳)  $n = \frac{\ln 2}{\ln 4}$  (۴)  $n = \frac{\ln 4}{\ln 2}$

۴۰- نتایج آزمایشگاهی زیر از یک راکتور ناپیوسته ایزوترمال را در نظر بگیرید در این صورت معادله سرعت واکنش کدام است؟

(مهندسی شیمی سراسری - ۸۸)

(۱)  $-r_A = 1.5 C_A^2 C_B^{\frac{3}{2}}$  (۲)  $-r_A = 2 C_A^2 C_B^3$   
(۳)  $-r_A = 3 C_A^{\frac{1}{2}} C_B^2$  (۴)  $-r_A = C_A^{\frac{1}{2}} C_B^{\frac{2}{3}}$

$C_A \begin{cases} 4 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 8 \\ 2 & 1 & 4 \end{cases} \begin{matrix} (\text{mol/lit}) \\ (\text{mol/lit}) \\ (\text{mol/lit.hr}) \end{matrix}$

۴۱- در خصوص یک واکنش شیمیایی تعادلی که در حال تعادل است، کدام گزینه صحیح است؟ (آزمون آزمایشی پارسه - ۸۸)

- (۱) حتماً ثابت سرعت رفت بیشتر از ثابت سرعت برگشت است.  
(۲) حتماً ثابت سرعت رفت کمتر از برگشت است.  
(۳) واکنش انجام نمی‌شود.

## « پاسخ تست‌های طبقه‌بندی شده فصل اول »

۱ - گزینه ۳ صحیح می‌باشد.

۲ - گزینه ۲ صحیح می‌باشد.

۳ - گزینه ۳ صحیح می‌باشد.

چون  $\frac{-r_A}{a} = \frac{-r_B}{b}$  می‌باشد

۴ - گزینه ۲ صحیح می‌باشد.

۵ - گزینه ۴ صحیح می‌باشد.

۶ - گزینه ۲ صحیح می‌باشد.

مطابق رابطه  $k = k_0 \cdot T^m e^{-E/RT}$  چون با افزایش انرژی فعال‌سازی، ثابت سرعت واکنش کاهش می‌یابد،

۷ - گزینه ۱ صحیح می‌باشد.

۸ - گزینه ۳ صحیح می‌باشد.

همان طوری که در متن درس کتاب طراحی راکتورهای شیمیایی (اکتا و لونشپیل) توضیح داده شده است، اگر در دماهای معمولی درجه حرارت واکنشی را  $10^\circ\text{C}$  اضافه کنیم معمولاً سرعت واکنش دو برابر می‌شود. (توجه می‌کنیم که برای محاسبه دقیق باید انرژی فعال‌سازی واکنش معلوم باشد).

۹ - گزینه ۲ صحیح می‌باشد.

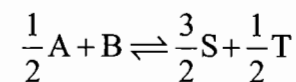
۱۰ - گزینه ۱ صحیح می‌باشد.

چون واکنش مذکور ابتدایی (elementary) می‌باشد لذا درجه کلی واکنش ۳ می‌باشد

۱۱ - گزینه ۳ صحیح می‌باشد.

۱۲ - گزینه ۳ صحیح می‌باشد.

چون ثابت تعادل ترمودینامیکی و سینتیکی با هم برابر و یکسان هستند لذا:



$$K = \frac{C_S^3 C_T^{\frac{1}{2}}}{C_A^{\frac{1}{2}} C_B}$$

ترمودینامیکی

$$K = \frac{K_f}{K_r} = \frac{C_S^n C_T^m}{C_A^{0.5} C_B}$$

سینتیکی

از مقایسه دو رابطه فوق نتیجه می‌شود که:  $n = \frac{3}{2}$  و  $m = \frac{1}{2}$

۱۳ - گزینه ۳ صحیح می باشد.

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{از تئوری برخوردی} \Rightarrow k_1 = k_{o1} T^{\frac{1}{2}} e^{-E/RT} \\ \text{از تئوری آرنیوسی} \Rightarrow k_2 = k_{o2} e^{-E/RT} \end{array} \right. \Rightarrow \frac{k_1}{k_2} = T^{\frac{1}{2}} \Rightarrow T^{\frac{1}{2}} = 25 \Rightarrow T = 625K = 352^\circ C$$

۱۴ - گزینه ۴ صحیح می باشد.

اگر از رابطه و انتیپوف استفاده کنیم در این صورت:

$$\ln\left(\frac{k_2}{k_1}\right) = \frac{-E}{R} \left( \frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1} \right) \Rightarrow \ln\left(\frac{26.8 \times 10^{-3}}{4.1 \times 10^{-3}}\right) = \frac{-E}{R} \left( \frac{1}{600} - \frac{1}{573} \right)$$

$$E = 23751.4R$$

$$\ln \frac{k_2}{k_1} = -32545 \left( \frac{1}{750} - \frac{1}{740} \right) \Rightarrow \frac{k_2}{k_1} \cong 1.8$$

۱۵ - گزینه ۴ صحیح می باشد.

۱۶ - گزینه ۴ صحیح می باشد.

۱۷ - گزینه ۲ صحیح می باشد.

اگر از رابطه و انتیپوف استفاده کنیم در این صورت :

$$\ln(10) = \frac{-E}{R} \left( \frac{1}{773} - \frac{1}{673} \right) \Rightarrow E = 23.8 \text{ Kcal}$$

۱۸ - گزینه ۴ صحیح می باشد.

$$\ln \frac{k_2}{k_1} = \frac{-E}{R} \left( \frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1} \right) \Rightarrow \ln(1000) = \frac{-E}{R} \left( \frac{1}{500} - \frac{1}{400} \right) \rightarrow E = 27448 \text{ Cal}$$

$$\ln \frac{k_{600}}{k_{500}} = \frac{-27448}{1.987} \left( \frac{1}{600} - \frac{1}{500} \right) \Rightarrow \frac{k_{600}}{k_{500}} = 100$$

۱۹ - گزینه ۳ صحیح می باشد.

اگر از معادله و انتیپوف استفاده کنیم در این صورت :

$$\ln \frac{k_2}{k_1} = \frac{-300000}{8.3} \left( \frac{1}{410} - \frac{1}{400} \right) = 2.2039 \Rightarrow \frac{k_2}{k_1} = 9.06$$

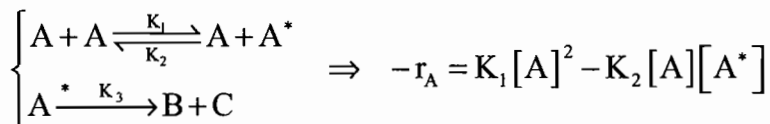
$$\text{درصد افزایش سرعت} = \left( \frac{k_2 - k_1}{k_1} \right) \times 100 = \left( \frac{k_2}{k_1} - 1 \right) \times 100 = 806\%$$

۲۰ - گزینه ۲ صحیح می باشد.

اگر از رابطه و انتیپوف استفاده کنیم در این صورت :

$$\ln(3) = \frac{-E}{1.987} \left( \frac{1}{600} - \frac{1}{473} \right) \Rightarrow E = 4.86 \text{ Kcal}$$

۲۱ - گزینه ۲ صحیح می‌باشد.



اکنون با استفاده از تعریف شرط رژیم یکنواخت داریم:

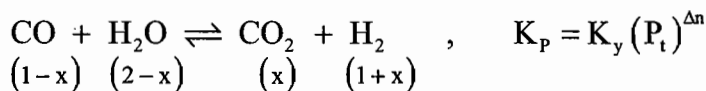
$$\frac{d[A^*]}{dt} = K_1[A]^2 - K_2[A][A^*] - K_3[A^*] = 0 \Rightarrow [A^*] = \frac{K_1[A]^2}{K_3 + K_2[A]}$$

$$-r_A = K_1[A]^2 - \frac{K_2K_1[A]^3}{K_3 + K_2[A]} = \frac{K_1K_3[A]^2}{K_3 + K_2[A]} \quad \text{بنابراین:}$$

۲۲ - گزینه ۳ صحیح می‌باشد.

مراحل پایانی واکنش، غلظت ترکیب‌شونده A کاهش یافته و معادله سرعت به صورت  $-r_A = K_1C_A^2$  تبدیل می‌شود. بنابراین انرژی فعالیت در لحظات پایانی واکنش، معادل ۲۰۰۰۰ می‌باشد

۲۳ - گزینه ۱ صحیح می‌باشد.



از آن جا که:  $\Delta n = 2 - 2 = 0$  می‌باشد، بنابراین  $K_p = K_y$  می‌باشد. لذا:

$$n_t = 1 - x + 2 - x + x + 1 + x = 4$$

$$K_y = \frac{y_{CO_2} \times y_{H_2}}{y_{CO} \times y_{H_2O}} = \frac{\frac{x}{4} \times \frac{1+x}{4}}{\frac{1-x}{4} \times \frac{2-x}{4}} = \frac{x(1+x)}{(1-x)(2-x)}, \quad x = 0.4$$

$$K_y = K_p = \frac{7}{12}$$

۲۴ - گزینه ۱ صحیح می‌باشد.

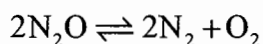
۲۵ - گزینه ۱ صحیح می‌باشد.

۲۶ - گزینه ۲ صحیح می‌باشد.

برای به دست آوردن بهترین درصد تبدیل تعادلی، باید واکنش در دمای بالا، فشار پایین و حضور مواد بی‌اثر انجام شود.

۲۷ - گزینه ۴ صحیح می‌باشد.

چون هر سه مورد مذکور در گزینه‌های ۱ تا ۳ صحیح می‌باشد



۲۸ - گزینه ۱ صحیح می‌باشد.

$$r_{N_2O} = k_c C_{N_2O}, \quad C_{N_2O} = \frac{P_{N_2O}}{RT}$$

$$r_{N_2O} = \frac{k_c}{RT} P_{N_2O} = 1.35 \times 10^{-7} P_{N_2O}$$

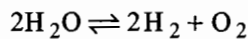
۲۹ - گزینه ۴ صحیح می باشد.

در واکنش های آنزیمی :

$$-r_A = \frac{kC_E C_A}{M + C_A} \rightarrow (-r_A)_{\max} = kC_E$$

۳۰ - گزینه ۴ صحیح می باشد.

۳۱ - گزینه ۳ صحیح می باشد.



هرگاه فرض کنیم  $\alpha$  مقدار تبدیل واکنش باشد:

جز	مول اولیه	مول نهایی	کسر مولی نهایی
H <sub>2</sub> O	2	2-2 $\alpha$	$\frac{2-2\alpha}{2+\alpha}$
H <sub>2</sub>	0	2 $\alpha$	$\frac{2\alpha}{2+\alpha}$
O <sub>2</sub>	0	$\alpha$	$\frac{\alpha}{2+\alpha}$
		2+ $\alpha$	1

$$k_p = \frac{P_{H_2}^2 P_{O_2}}{P_{H_2O}^2} = \frac{y_{H_2}^2 y_{O_2}}{y_{H_2O}^2} P_t = \frac{\left(\frac{2\alpha}{2+\alpha}\right)^2 \left(\frac{\alpha}{2+\alpha}\right)}{\left(\frac{2-2\alpha}{2+\alpha}\right)^2} \times P_t = \frac{4\alpha^3}{(2+\alpha)(2-2\alpha)^2} P_t$$

$$= \frac{4 \times 0.0118^3}{(2+0.0118)(2-2 \times 0.0118)^2} \times 1 = 82 \times 10^{-8} \text{ atm}$$

با توجه به این که درصد تبدیل آب کم است می توان تست را به صورت ساده زیر حل کرد:

$$k_p = \frac{y_{H_2}^2 y_{O_2}}{y_{H_2O}^2} P_t$$

$$y_{H_2O} \approx 1, y_{H_2} = 2y_{O_2} \Rightarrow y_{O_2} = \frac{y_{H_2}}{2}$$

$$k_p = \frac{0.0118^2 \times \left(\frac{0.0118}{2}\right)}{1^2} \times 1 = 82 \times 10^{-8} \text{ atm}$$

۳۲ - گزینه ۳ صحیح می باشد.

$$\frac{k_2}{k_1} = \exp\left[\frac{-E}{R}\left(\frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1}\right)\right] \Rightarrow \frac{k_2}{k_1} = \exp\left[-\frac{E}{R}\left(\frac{1}{2T_1} - \frac{1}{T_1}\right)\right] = \exp\left(\frac{E}{2RT_1}\right) \Rightarrow k_2 = k_1 e^{\frac{E}{2RT_1}}$$

۳۳ - گزینه ۳ صحیح می باشد.

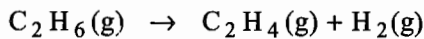
۳۴ - گزینه ۲ صحیح می باشد.

$$k = \exp\left(-\frac{\Delta G}{RT}\right) = \exp\left(\frac{-10176}{1.987 \times 750}\right) = 1.1 \times 10^{-3}$$



روش اول:

اگر  $\alpha$  تبدیل اتان باشد داریم:



جز	مول اولیه	مول نهایی	کسر مولی نهایی
$\text{C}_2\text{H}_6$	1	$1-\alpha$	$\frac{1-\alpha}{1+\alpha}$
$\text{C}_2\text{H}_4$	0	$\alpha$	$\frac{\alpha}{1+\alpha}$
$\text{H}_2$	0	$\alpha$	$\frac{\alpha}{1+\alpha}$
		$1+\alpha$	1

$$k = \frac{P_{\text{C}_2\text{H}_4} P_{\text{H}_2}}{P_{\text{C}_2\text{H}_6}} = \frac{y_{\text{C}_2\text{H}_4} y_{\text{H}_2}}{y_{\text{C}_2\text{H}_6}} P_t = \frac{\left(\frac{\alpha}{1+\alpha}\right) \left(\frac{\alpha}{1+\alpha}\right)}{\left(\frac{1-\alpha}{1+\alpha}\right)} \times 5 = 5 \frac{\alpha^2}{1-\alpha^2} = 1.1 \times 10^{-3} \Rightarrow \alpha = 0.0148 \text{ یا } 1.48\%$$

روش دوم:

با توجه به گزینه‌ها تبدیل اتان کم است و می‌توان فرض کرد:

$$y_{\text{C}_2\text{H}_4} = y_{\text{H}_2}, \quad y_{\text{C}_2\text{H}_6} \approx 1$$

$$k = \frac{y_{\text{C}_2\text{H}_4} y_{\text{H}_2}}{y_{\text{C}_2\text{H}_6}} P_t = \frac{y_{\text{C}_2\text{H}_4}^2}{1} \times 5 = 1.1 \times 10^{-3} \Rightarrow y_{\text{C}_2\text{H}_4} = 0.148$$

$$\alpha = \frac{0.0148}{1-0.0148} = 0.015 \text{ یا } 1.5\%$$

اگر گزینه ۴ صحیح بود، نمی‌توانستیم از روش دوم استفاده کنیم. در روش دوم فرض کردیم که تبدیل اتان خیلی کم باشد

۳۵ - گزینه ۴ صحیح می‌باشد.

$$\frac{(-r_A)_2}{(-r_A)_1} = \frac{k_2}{k_1} = \frac{t_1}{t_2} = \frac{60 \times 20}{20} = 60$$

$$\ln \frac{k_2}{k_1} = \frac{-E}{R} \left( \frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1} \right) \rightarrow \ln 60 = \frac{-E}{8.314} \left( \frac{1}{343.15} - \frac{1}{323.15} \right)$$

$$E = 188565 \text{ J/mol}$$

۳۶ - گزینه ۳ صحیح می‌باشد.

۳۷ - گزینه ۴ صحیح می‌باشد.

۳۸ - گزینه ۲ صحیح می‌باشد.

۳۹ - گزینه ۳ صحیح می باشد.

$$-r_A = kC_A^n$$

$$\frac{(-r_A)}{(-r_A)} = \left( \frac{C_{A_2}}{C_{A_1}} \right)^n$$

با 4 برابر کردن غلظت ماده اولیه، سرعت واکنش 2 برابر می شود. داریم:

$$2 = 4^n \rightarrow \ln 2 = n \ln 4 \rightarrow n = \frac{\ln 2}{\ln 4}$$

۴۰ - گزینه ۴ صحیح می باشد.

روش تستی: باید اعداد جدول در گزینه ها صدق کنند که در این صورت فقط گزینه ۴ صحیح است.

۴۱ - گزینه ۴ صحیح می باشد.

## فصل دوم

### تفسیر نتایج حاصل از راکتورهای ناپیوسته

#### مقدمه

دستگاه‌هایی که در آن‌ها آزمایش‌های سرعت صورت می‌گیرد، به دو دسته ناپیوسته (batch) و جاری (flow) تقسیم می‌شوند. راکتورهای ناپیوسته را در آزمایش‌های سرعت سیستم‌های متجانس به کار می‌بریم در صورتی که راکتورهای جاری برای سیستم‌های نامتجانس کاربرد دارند. ضمناً واکنش‌هایی که دنبال کردن آن‌ها دشوار است یا محصولات متفاوتی تولید می‌کنند یا بسیار سریع هستند و یا در فاز گاز صورت می‌گیرند در راکتورهای جاری مطالعه می‌شوند.

برای این‌که بدانیم غلظت یا میزان تبدیل اجزا با زمان چگونه تغییر می‌کند، باید معادله سرعت واکنش را داشته باشیم، معادله سرعت واکنش از روی داده‌های به دست آمده از آزمایش‌های مختلف به دست می‌آید. ابتدا جمله وابسته به غلظت در یک دمای ثابت به دست می‌آید و سپس وابستگی سرعت به دما تعیین می‌شود و در نتیجه معادله کامل سرعت واکنش حاصل می‌شود.

دو روش مختلف برای بررسی نتایج سرعت واکنش وجود دارد که عبارتند از روش انتگرال و روش دیفرانسیل، روش انتگرال آسان‌تر بوده ولی روش دیفرانسیل در موارد پیچیده‌تر دقیق‌تر است.

#### دست‌یابی به معادله سرعت واکنش

همان‌طور که گفتیم سرعت یک واکنش عبارت‌است از تغییر تعداد مول‌های یکی از اجزا نسبت به زمان در واحد حجم مثلاً برای واکنش  $A \rightarrow P$  داریم:

$$-r_A = \frac{-1}{V} \frac{dN_A}{dt}$$

$$C_A = \frac{N_A}{V}$$

اگر واکنش در حجم ثابت انجام شود:

$$-r_A = \frac{-d\left(\frac{N_A}{V}\right)}{dt} = -\frac{dC_A}{dt} \quad (2-1)$$

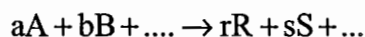
در مورد گازهای کامل  $C_A = \frac{P_A}{RT}$  پس:

$$-r_A = -\frac{1}{RT} \frac{dP_A}{dt} \quad (2-2)$$

گفتیم برای به دست آوردن معادله سرعت از داده‌های تجربی استفاده می‌کنند. داده‌های تجربی را از راه‌های مختلف می‌توان به دست آورد مثل اندازه‌گیری غلظت یک سازنده در واکنش در زمان‌های مختلف یا تغییر یکی از خواص فیزیکی محیط واکنش نسبت به زمان مثل ضریب شکست یا ضریب هدایت حرارتی و یا تغییرات فشار کل سیستم بر حسب زمان.

### بررسی نتایج اندازه‌گیری فشار کلی در یک سیستم با حجم ثابت

یک معادله شیمیایی کلی در نظر می‌گیریم:



اگر تعداد مول‌های اولیه هر ماده موجود در واکنش را با  $N_{i0}$  نمایش دهیم در لحظه  $t$  تعداد کل مول‌های موجود برابر است با:

$$N = N_0 + x\Delta n \quad (2-3)$$

که در آن  $N_0$  تعداد کل مول‌ها در  $t = 0$  می‌باشد و  $\Delta n = r + s + \dots - a - b - \dots$ . با فرض قانون گازهای کامل برای سازنده  $A$  می‌توان نوشت:

$$C_A = \frac{P_A}{RT} = \frac{N_A}{V} = \frac{N_{A_0} - ax}{V} \quad (2-4)$$

$$C_A = \frac{N_{A_0}}{V} - \frac{a}{\Delta n} \times \frac{N - N_0}{V} \quad (2-5)$$

پس برای هر ماده واکنش دهنده مثل  $A$  داریم:

$$P_A = C_A RT = P_{A_0} - \frac{a}{\Delta n} (\pi - \pi_0) \quad (2-6)$$

$$P_{A_0} = y_{A_0} \pi_0$$

که در این رابطه  $y_{A_0}$  جزء مولی  $A$  در خوراک در لحظه  $t = 0$  است.

و به همین ترتیب برای هر محصولی از جمله  $R$ :

$$P_R = C_R RT = P_{R_0} + \frac{r}{\Delta n} (\pi - \pi_0) \quad (2-7)$$

$$P_{R_0} = y_{R_0} \pi_0$$

که  $\pi_0$  و  $\pi$  فشار کل سیستم در زمان  $t = 0$  و  $t$  می‌باشد.  $y_{R_0}$  جزء مولی  $R$  در خوراک است.

توجه شود که اگر مول‌های اولیه یک سازنده  $A$  و یک محصول  $R$  در زمان  $t_0$  برابر  $N_{A_0}$  و  $N_{R_0}$  باشد با توجه به معادله شیمیایی داده شده و در زمان  $t$  با فرض این که میزان پیشرفت واکنش  $x$  باشد تعداد مول  $A$  و  $R$  به ترتیب برابر است با  $N_{A_0} - ax$  و  $N_{R_0} + rx$

### واکنش‌های تک مولکولی برگشت ناپذیر درجه اول

محصولات  $A \rightarrow$

$$-r_A = \frac{-dC_A}{dt} = kC_A \rightarrow -\ln \frac{C_A}{C_{A_0}} = kt \quad (2-8)$$

اگر میزان تبدیل (Fractional conversion) یک ترکیب‌شونده A را با  $x_A$  نمایش دهیم:

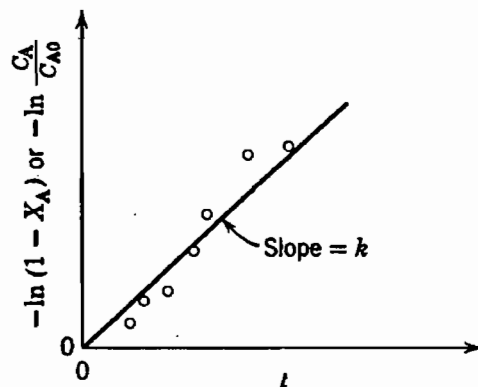
$$x_A = \frac{N_{A_0} - N_A}{N_{A_0}} \quad (2-9)$$

اگر با یک سیستم حجم (جرم ویژه) ثابت سرو کار داشته باشیم:

$$C_A = \frac{N_A}{V} = \frac{N_{A_0}(1-x_A)}{V} = C_{A_0}(1-x_A) \quad (2-10)$$

$$-\ln(1-x_A) = kt \quad (2-11)$$

از معادلات (۲-۸) و (۲-۱۱) مشخص است که در واکنش درجه اول  $-\ln \frac{C_A}{C_{A_0}}$  و  $-\ln(1-x_A)$  برحسب زمان خط راستی است که از مبدأ عبور می‌کند. این نکته در شکل (۲-۱) نشان داده شده است.



شکل (۲-۱): امتحان واکنش درجه اول

### واکنش‌های دو مولکولی برگشت ناپذیر درجه دوم

محصولات  $A + B \rightarrow$

$$-r_A = -\frac{dC_A}{dt} = kC_A C_B \quad (2-12)$$

در زمان  $t$  می‌توان نوشت:

$$C_A = C_{A_0} - C_{A_0} x_A \quad (2-13)$$

$$C_B = C_{B_0} - C_{B_0} x_B \quad (2-14)$$

$$C_{A_0} x_A = C_{B_0} x_B \quad (2-15)$$

با جای‌گذاری روابط (۲-۱۳)، (۲-۱۴) و (۲-۱۵) در رابطه (۲-۱۲) خواهیم داشت:

$$-r_A = kC_{A_0}^2 (1-x_A) \left( \frac{C_{B_0}}{C_{A_0}} - x_A \right)$$

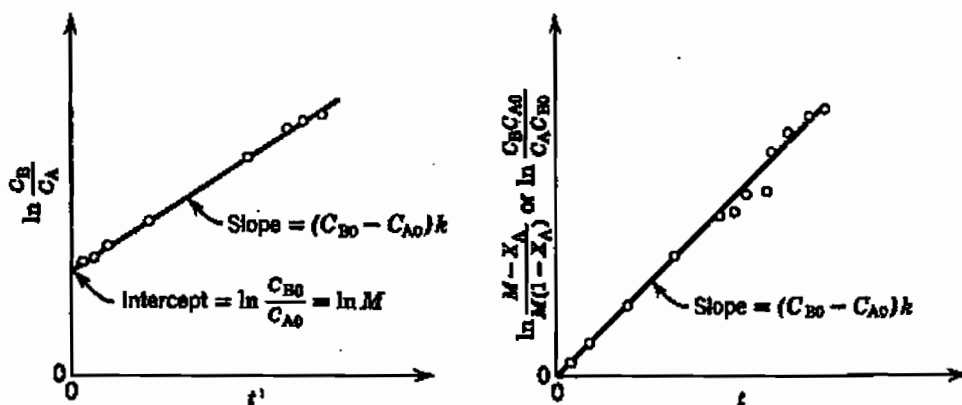
اگر فرض کنیم  $\frac{C_{B_0}}{C_{A_0}} = M$  باشد:

$$-\frac{dC_A}{dt} = C_{A_0} \frac{dx_A}{dt} = kC_{A_0}^2 (1-x_A)(M-x_A)$$

$$\ln \frac{1-x_B}{1-x_A} = \ln \frac{M-x_A}{M(1-x_A)} = \ln \frac{C_B C_{A_0}}{C_{B_0} C_A} = \ln \frac{C_B}{M C_A} =$$

$$C_{A_0} (M-1)kt = (C_{B_0} - C_{A_0})kt \quad M \neq 1 \quad (2-16)$$

توجه: در صورتی که  $C_{B_0}$  خیلی بزرگتر از  $C_{A_0}$  باشد، در تمام مدت تقریباً ثابت خواهد ماند و واکنش درجه دوم به یک واکنش درجه اول تبدیل خواهد شد.



شکل (۲-۲): امتحان صحت مکانیسم واکنش دو مولکولی  $A+B \rightarrow R$  با فرض  $C_{A_0} \neq C_{B_0}$

شکل (۲-۲) امتحان مکانیسم واکنش دو مولکولی  $A+B \rightarrow R$  را در حالتی که  $C_{A_0} \neq C_{B_0}$  باشد نشان می‌دهد.

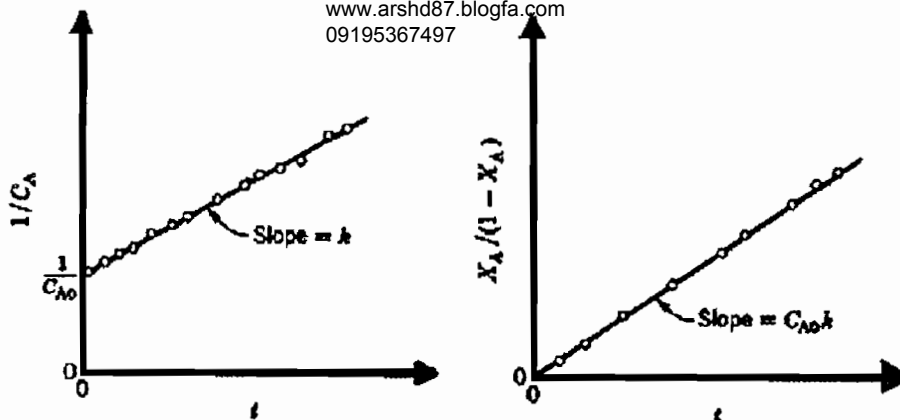
برای حالتی که A و B به میزان برابر وارد شوند یا  $M=1$  و یا برای حالتی که معادله به صورت، (محصولات  $2A \rightarrow$ ) باشد:

$$-r_A = -\frac{dC_A}{dt} = kC_A^2 = kC_{A_0}^2 (1-x_A)^2 \quad (2-17)$$

$$\rightarrow \frac{1}{C_A} - \frac{1}{C_{A_0}} = \frac{1}{C_{A_0}} \frac{x_A}{1-x_A} = kt \quad (2-18)$$

شکل (۲-۳) امتحان صحت مکانیسم واکنش دو مولکولی  $A+B \rightarrow R$  را وقتی  $C_{A_0} = C_{B_0}$  باشد و نیز صحت مکانیسم واکنش (محصولات  $2A \rightarrow$ ) را نشان می‌دهد.

پارسه ماهان سنجش  
www.arshd87.blogfa.com  
09195367497



شکل (۳-۲): امتحان صحت مکانیسم واکنش دو مولکولی  $A+B \rightarrow R$  وقتی  $C_A = C_B$  باشد و

یا واکنش درجه دوم  $2A \rightarrow \text{product}$

### معادلات تجربی سرعت واکنش‌های درجه n ام

وقتی مکانیسم واکنشی روشن نباشد غالباً سعی می‌شود که نتایج تجربی را به وسیله معادله سرعتی از درجه n بیان کنند:

$$-r_A = -\frac{dC_A}{dt} = kC_A^n \quad (۲-۱۹)$$

که پس از انتگرال‌گیری خواهیم داشت :

$$C_A^{1-n} - C_{A_0}^{1-n} = (n-1)kt, \quad n \neq 1 \quad (۲-۲۰)$$

در این معادله n از طریق حدس و خطا محاسبه می‌گردد.

**توجه:** نکته مهمی که از این معادله استنباط می‌گردد آن است که واکنش‌هایی که در آن‌ها  $n > 1$  باشد هرگز به پایان نمی‌رسند. به

عبارت دیگر برای مقادیر  $n > 1$  نمی‌توان  $x_A$  را به سمت یک و  $C_A$  را به سمت صفر میل داد. برعکس به ازای مقادیر  $n < 1$

غلظت ترکیب شونده به صفر رسیده و داریم :

$$(C_A \rightarrow 0 \quad \text{or} \quad x_A = 1) \Rightarrow t = \frac{C_{A_0}^{1-n}}{(1-n)k} \quad (۲-۲۱ \text{ الف})$$

**توجه:** t زمان رسیدن به پایان واکنش می‌باشد. واکنش‌هایی که درجه آن‌ها کمتر از یک است به تدریج با مصرف ترکیب شونده به درجه یک نزدیک می‌شوند.

زمان اتمام واکنش‌های درجه صفرم را می‌توان با استفاده از فرمول (۲-۲۱ ب) محاسبه کرد :

$$t = \frac{C_{A_0}}{k} \quad (۲-۲۱ \text{ ب})$$

**مثال:** واکنش  $A \xrightarrow{k} R$  از درجه ۰/۵ می‌باشد  $\left( k = 1 \frac{\text{mole}^{0.5}}{\text{lit}^{0.5} \text{ min}}, C_{A_0} = 1 \frac{\text{mole}}{\text{lit}} \right)$  زمان پایان یافتن واکنش مذکور

عبارت‌است از :

(۲) ۴ دقیقه

(۱) این واکنش به پایان نمی‌رسد

(۴) ۲ دقیقه

(۳) ۱ دقیقه

حل: گزینه ۴ صحیح می‌باشد.

$$A \rightarrow R \quad -\frac{dC_A}{dt} = kC_A^{0.5} \rightarrow \int_{C_{A0}}^{C_A} \frac{dC_A}{C_A^{0.5}} = -\int_0^t k dt$$

$$2(\sqrt{C_{A0}} - \sqrt{C_A}) = kt \rightarrow 2(\sqrt{1} - 0) = t \rightarrow t = 2 \text{ min}$$

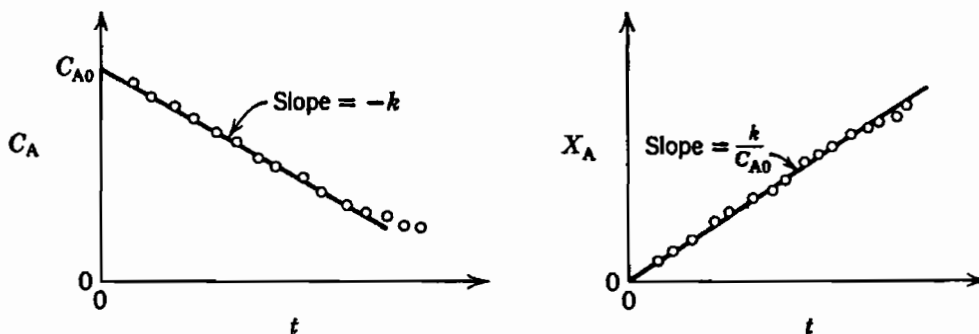
### واکنش‌های درجه صفر

واکنشی را که سرعت آن مستقل از غلظت مواد باشد درجه صفر گویند یعنی:

$$-r_A = \frac{-dC_A}{dt} = k \rightarrow C_{A0} - C_A = C_{A0} x_A = kt \quad (۲ - ۲۲)$$

$$(x_A)_{\max} = 1 \rightarrow t_{\max} = \frac{C_{A0}}{k} \quad (۲ - ۲۳)$$

نکته قابل توجه آن است که واکنش‌ها فقط در بعضی از غلظت‌های مشخص و بالا از درجه صفر تبعیت می‌کند در صورتی که غلظت به میزان کافی کاهش پذیرد واکنش به تدریج تابع غلظت گردیده و در این حالت درجه واکنش از صفر به بالا خواهد رفت. به‌طور کلی واکنش‌های درجه صفر آن‌هایی هستند که سرعتشان به وسیله عواملی غیر از غلظت مواد ترکیب‌شونده معین می‌گردد. مثلاً در مورد واکنش‌های فتوشیمی شدت تشعشع رسیده به راکتور و یا در مورد واکنش‌های گازی که توسط کاتالیزوهای جامد تسریع می‌گردند سطح موجود عوامل مؤثر را تشکیل می‌دهند.



شکل (۴ - ۲): امتحان صحت واکنش درجه صفر

### زمان نیمه عمر

مدت زمان لازم برای آنکه غلظت ترکیب‌شونده به نصف مقدار اولیه برسد را زمان نیمه عمر گویند.

محصولات  $\alpha A + \beta B + \dots \rightarrow$

برای واکنش‌های برگشت‌ناپذیر به شکل:

که مواد ترکیب‌شونده به نسبت‌های استوکیومتری موجود هستند می‌توان نوشت:

$$-r_A = \frac{-dC_A}{dt} = k C_A^a \left( \frac{\beta}{\alpha} C_A \right)^b \dots = k \left( \frac{\beta}{\alpha} \right)^b \dots C_A^{a+b+\dots} \quad (۲ - ۲۴)$$

$$-r_A = k' C_A^n$$

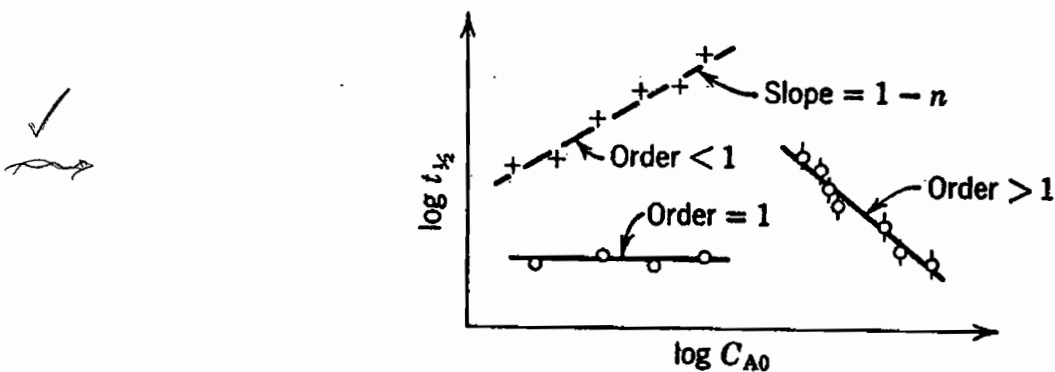


که در آن ....  $k' = k(\beta/\alpha)^b$  اگر  $n = a + b + \dots$  و  $b$  و ... درجه واکنش نسبت به  $A$  و  $B$  و .. می باشند ( باشد، پس از انتگرال گیری و ساده کردن خواهیم داشت:

$$C_A^{1-n} - C_{A_0}^{1-n} = k'(n-1)t \quad (2-25)$$

$$C_A = C_{A_0} / 2 \quad \rightarrow \quad t_{1/2} = \frac{2^{n-1} - 1}{k'(n-1)} C_{A_0}^{1-n} \quad (2-26)$$

این رابطه نشان می دهد که رسم منحنی تغییرات  $\log t_{1/2}$  بر حسب  $\log C_{A_0}$  خط مستقیمی با ضریب زاویه  $(1-n)$  به دست می دهد که از آن می توان درجه کلی  $n$  را به دست آورد.

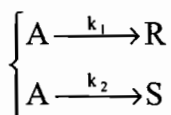


شکل (۵ - ۲): تعیین درجه کلی واکنش توسط یک رشته آزمایش های زمان نیمه عمر با غلظت های اولیه متفاوت

با توجه به شکل (۵ - ۲) می توان نشان داد که درجه تبدیل در یک زمان مشخص با افزایش غلظت در مورد واکنش هایی با درجات بزرگ تر از یک بالا می رود ، ( به عبارت دیگر برای  $n > 1$  با افزایش غلظت  $t_{1/2}$  کاهش می یابد. ) درجه تبدیل با افزایش غلظت در مورد واکنش هایی با درجات کوچک تر از یک پایین می آید و در واکنش های درجه اول مستقل از غلظت است. از این روش نمی توان در مورد واکنش هایی که نسبت موازنه ترکیب شوندگان به هم می خورد مانند واکنش های اتوکاتالیزوری استفاده نمود.

## واکنش های برگشت ناپذیر موازی

یک واکنش را که در آن  $A$  توسط واکنش های ابتدایی در دو مسیر رقابتی تجزیه می شود در نظر بگیریم:



$$-r_A = -\frac{dC_A}{dt} = (k_1 + k_2)C_A \quad (2-27)$$

$$r_R = \frac{dC_R}{dt} = k_1 C_A \quad (2-28)$$

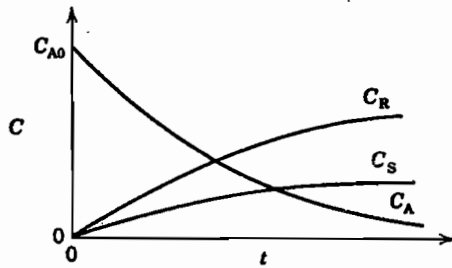
$$r_S = \frac{dC_S}{dt} = k_2 C_A \quad (2-29)$$

توجه شود که در چنین واکنش‌هایی مجموع  $(C_A + C_R + C_S)$  مقداری ثابت می‌باشد و در طول واکنش تغییر نمی‌کند. با توجه به روابط قبلی:

$$-\ln \frac{C_A}{C_{A_0}} = (k_1 + k_2)t \quad (2-30)$$

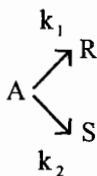
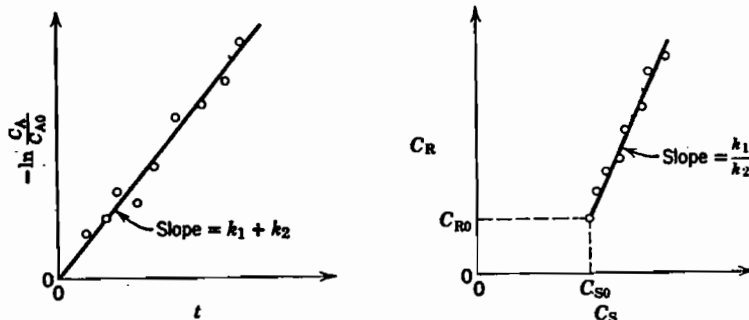
$$\frac{r_R}{r_S} = \frac{dC_R}{dC_S} = \frac{k_1}{k_2} \rightarrow \frac{C_R - C_{R_0}}{C_S - C_{S_0}} = \frac{k_1}{k_2} \quad (2-31)$$

منحنی‌های تغییرات غلظت‌های سازنده برحسب زمان در یک راکتور ناپیوسته در حالتی که  $C_{R_0} = C_{S_0} = 0$  و  $k_1 > k_2$  در شکل ۶-۲ نشان داده شده است.



شکل (۶-۲): منحنی تغییرات غلظت اجزای واکنش در واکنش‌های برگشت‌ناپذیر موازی

معادله (۲-۳۰) نشان می‌دهد که ترسیم  $-\ln \frac{C_A}{C_{A_0}}$  برحسب زمان خط راستی خواهد بود که از شیب آن می‌توان  $k_1 + k_2$  را محاسبه نمود.



شکل (۷-۲): تعیین ثابت‌های سرعت برای دو واکنش موازی - رقابتی ابتدایی با معادله

مثال: فعل و انفعال  $A \begin{cases} \xrightarrow{k_1} R \\ \xrightarrow{k_2} S \end{cases}$  با  $k_1 = k_2 = 1 \text{ min}^{-1}$  و  $C_{A_0} = 1 \frac{\text{mole}}{\text{lit}}$  در یک راکتور mixed انجام

می‌شود. اگر میزان تبدیل A برابر ۸۰٪ باشد، غلظت R خروجی از راکتور چیست؟

- (۱) ۰/۲ (۲) ۰/۴ (۳) ۰/۵ (۴) ۰/۸

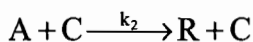
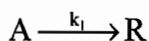
حل:  $A = C_{A_0} x_A = C_R + C_S \rightarrow C_R + C_S = 0.8$

$$\frac{r_R}{r_S} = \frac{k_1}{k_2} \Rightarrow \frac{C_R - C_{R_0}}{C_S - C_{S_0}} = 1 \Rightarrow C_R = C_S = 0.4 \frac{\text{mole}}{\text{lit}}$$

گزینه ۲ صحیح می‌باشد.

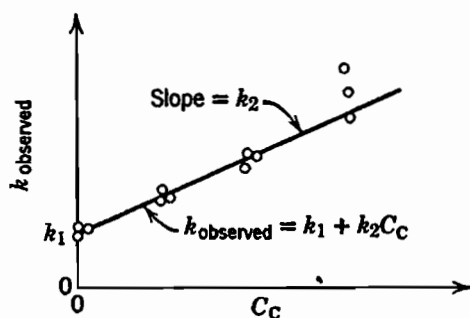
### واکنش‌های کاتالیزوری متجانس

سرعت واکنش کاتالیزوری متجانس برابر با مجموع سرعت‌های دو مسیر کاتالیزوری و غیر کاتالیزوری است:



$$-\frac{dC_A}{dt} = (k_1 + k_2 C_C) C_A \rightarrow -\ln(1 - x_A) = (k_{\text{observed}}) t = (k_1 + k_2 C_C) t \quad (2-32)$$

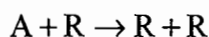
یک رشته آزمایش با غلظت‌های متفاوت از کاتالیزور امکان محاسبه  $k_1$  و  $k_2$  را می‌سازد. این امر با رسم تغییرات  $k$  مشاهده شده بر حسب غلظت کاتالیزور مطابق شکل (۲-۸) صورت می‌گیرد. شیب چنین خطی برابر با  $k_2$  و محل تلاقی آن با محور عرض‌ها  $k_1$  می‌باشد.



شکل (۲-۸): محاسبه ثابت‌های سرعت یک واکنش کاتالیزوری متجانس با غلظت‌های متفاوت کاتالیزور

### واکنش‌های اتوکاتالیزوری

واکنشی است که یکی از محصولات آن به صورت کاتالیزور عمل می‌نماید. ساده‌ترین نوع این واکنش‌ها عبارت‌است از:



که معادله سرعت آن برابر است با:

$$-r_A = \frac{-dC_A}{dt} = k C_A C_R \quad (2-33)$$

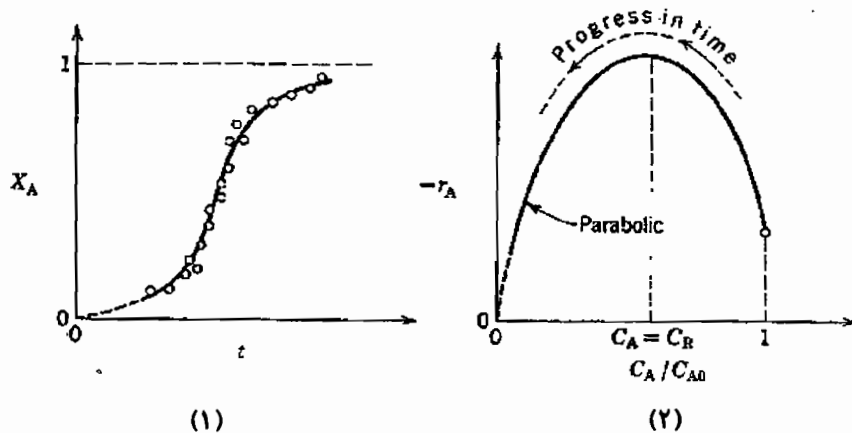
توجه کنید که در چنین واکنشی در طول واکنش تعداد کل مول‌های A و R ثابت خواهد ماند یعنی :

$$C_o = C_{A_o} + C_{R_o} = C_A + C_R = \text{Constant} \quad (2-34)$$

پس از نوشتن معادلات سرعت و ساده‌سازی خواهیم داشت :

$$\ln \frac{C_R / C_{R_o}}{C_A / C_{A_o}} = (C_{A_o} + C_{R_o}) kt \quad (2-35)$$

در یک واکنش اتوکاتالیزوری برای شروع واکنش حتماً باید مقداری از محصول، یعنی R موجود باشد. شکل (۲-۹) نشان می‌دهد که پس از شروع واکنش به تدریج با افزایش R سرعت افزایش خواهد یافت و در غلظت  $C_A = C_R = \frac{C_o}{2}$  به ماکزیمم مقدار خود خواهد رسید.

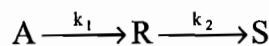


شکل (۲-۹): منحنی (۱) درجه تبدیل - زمان و (۲) سرعت - غلظت برای واکنش اتوکاتالیزوری

توجه: مدت زمانی که طول می‌کشد تا سرعت واکنش اتوکاتالیزوری به حداکثر برسد از رابطه زیر قابل محاسبه است:

$$t = \frac{1}{KC_o} \ln \frac{C_{A_o}}{C_{R_o}}$$

### واکنش‌های پشت سر هم برگشت‌ناپذیر



$$\begin{cases} r_A = \frac{dC_A}{dt} = -k_1 C_A \\ r_R = \frac{dC_R}{dt} = k_1 C_A - k_2 C_R \\ r_S = \frac{dC_S}{dt} = k_2 C_R \end{cases} \quad (2-36)$$

اگر واکنش را با غلظت‌های اولیه  $C_{A_o}$  و  $C_{R_o} = C_{S_o} = 0$  شروع کنیم خواهیم داشت :

$$C_{A_o} = C_A + C_R + C_S \quad (2-37)$$

به عبارت دیگر تعداد کل مول‌ها در طول واکنش تغییر نمی‌نماید.

با حل معادلات بالا خواهیم داشت :

$$C_A = C_{A_o} e^{-k_1 t} \quad (2-38)$$

$$C_R = C_{A_0} k_1 \left( \frac{e^{-k_1 t}}{k_2 - k_1} - \frac{e^{-k_2 t}}{k_2 - k_1} \right) \quad (2-39)$$

$$C_S = C_{A_0} \left( 1 + \frac{k_1}{k_2 - k_1} e^{-k_2 t} - \frac{k_2}{k_2 - k_1} e^{-k_1 t} \right) \quad (2-40)$$

**نکات مهم:**

**نکته:** در صورتی که  $k_2$  خیلی بزرگتر از  $k_1$  باشد معادله (۲-۴۰) به شکل زیر درمی آید:

$$C_S = C_{A_0} (1 - e^{-k_1 t}) \quad (2-41)$$

**نکته:** در صورتی که  $k_1$  خیلی بزرگتر از  $k_2$  باشد معادله (۲-۴۰) را می توان به صورت زیر نوشت:

$$C_S = C_{A_0} (1 - e^{-k_2 t}) \quad (2-42)$$

**نکته:** در واکنش های پشت سر هم ، کندترین مرحله حداکثر اثر ممکن را در سرعت کلی واکنش خواهد داشت، بنابراین :

اولین مرحله واکنش تعیین کننده سرعت است  $\Rightarrow k_2 \gg k_1$  اگر

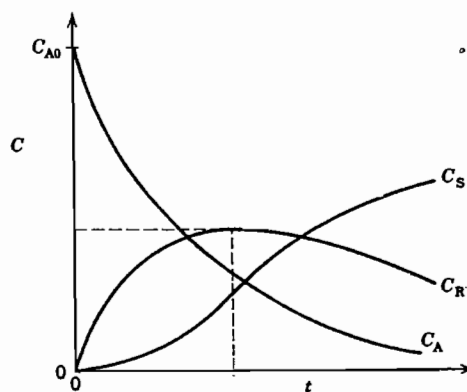
دومین مرحله واکنش تعیین کننده سرعت است  $\Rightarrow k_1 \gg k_2$  اگر

**نکته:** تغییرات غلظت سه سازنده A ، R و S با زمان در شکل (۲-۱۰) نشان داده شده است. A به صورت اکسپونانسیلی نزول

می کند. غلظت R ابتدا به حداکثر رسیده و سپس کم می شود و S پیوسته افزایش می یابد. حداکثر سرعت افزایش S زمانی است که

R ماکزیمم است. برای محاسبه زمانی که در آن غلظت R به حداکثر می رسد کافیهست  $\frac{dC_R}{dt}$  را محاسبه کرده و مساوی صفر

قرار دهیم، نتیجه به شکل زیر خواهد شد:



شکل (۲-۱۰): شکل عمومی منحنی های غلظت - زمان برای واکنش های پشت سر هم درجه اول

$$\frac{dC_R}{dt} = 0 \rightarrow \begin{cases} t_{\max} = \frac{1}{k_{\log \text{mean}}} = \frac{\ln(k_2/k_1)}{k_2 - k_1} & (k_1 \neq k_2) \\ \frac{C_{R\max}}{C_{A_0}} = \left(\frac{k_1}{k_2}\right)^{\frac{k_2}{k_2 - k_1}} & (k_1 \neq k_2) \end{cases} \quad (2-43)$$

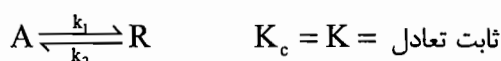
در صورتی که  $k_1 = k_2$  باشد روابط (2-43) به صورت زیر درمی آیند:

$$t_{\max} = \frac{1}{k} \quad (2-44)$$

$$C_{R\max} = \frac{C_{A_0}}{e} \quad (e=2.718) \quad (2-45)$$

**نکته:** برای روشن کردن سرعت واکنش‌های پشت سر هم که درجات مراحل مختلف آن معلوم نیست به نکات زیر توجه نمایید:  
اگر اولین مرحله درجه اول بوده و نسبت  $C_{R\max}/C_{A_0}$  مستقل از  $C_{A_0}$  باشد مرحله دوم واکنش نیز درجه اول است. ولی اگر  $C_{R\max}/C_{A_0}$  با افزایش مقدار  $C_{A_0}$  کاهش یابد، حذف R سریع‌تر از تولید آن خواهد گردید و مرحله دوم بیش‌تر از مرحله اول نسبت به غلظت حساس بوده و در نتیجه درجه آن از مرحله اول بزرگ‌تر خواهد بود. برعکس در صورتی که R با افزایش  $C_{A_0}$  بالا رود، درجه مرحله دوم کمتر از مرحله اول بوده و تولید آن بیش از مصرف آن است.

### واکنش‌های درجه اول برگشت پذیر



برای چنین واکنشی می‌توان نوشت:

$$\text{در هر لحظه} \begin{cases} C_A = C_{A_0} - C_{A_0} X_A \\ C_R = C_{R_0} + C_{A_0} X_A \end{cases} \xrightarrow{\text{در حالت تعادل}} \begin{cases} C_{A_e} = C_{A_0} - C_{A_0} X_{Ae} \\ C_{R_e} = C_{R_0} + C_{A_0} X_{Ae} \end{cases} \quad (2-46)$$

$$(2-47)$$

اگر برای این واکنش معادله سرعت را بنویسیم و فرض کنیم که  $M = C_{R_0}/C_{A_0}$  با توجه به این که در حالت تعادل  $\frac{dC_A}{dt} = 0$  است، داریم:

$$K_c = \frac{k_1}{k_2} = \frac{C_{R_e}}{C_{A_e}} = \frac{M + X_{Ae}}{1 - X_{Ae}} \quad (2-48)$$

که  $X_{Ae}$  درجه تبدیل A در حال تعادل می‌باشد.

با ترکیب معادلات فوق و انتگرال گیری رابطه سرعت را بر حسب درجه تبدیل می‌توان به دست آورد:

$$-\ln \left( 1 - \frac{X_A}{X_{Ae}} \right) = -\ln \frac{C_A - C_{Ae}}{C_{A_0} - C_{Ae}} = \frac{M+1}{M+X_{Ae}} k_1 t \quad (2-49)$$

واکنش‌های برگشت پذیر را در صورتی که غلظت بر حسب  $C_A - C_{Ae}$  و یا غلظت مازاد بر مقدار تعادل سنجیده شود می‌توان برگشت‌ناپذیر در نظر گرفت. به عبارت دیگر واکنش‌های برگشت‌ناپذیر حالت خاصی از واکنش‌های برگشت پذیرند که در آن‌ها  $C_{Ae} = 0$  یا  $X_{Ae} = 1$  یا  $K_c = \infty$  است.

مثال: واکنش ابتدایی  $A \xrightleftharpoons[k_2]{k_1} R$ ,  $k_1 = 50 \text{ min}^{-1}$ ,  $k_2 = 0.05 \text{ min}^{-1}$ ,  $C_{A_0} = 10 \frac{\text{mole}}{\text{lit}}$  و  $C_{R_0} = 0$  در یک راکتور

Batch انجام می‌شود، چه زمانی به طول خواهد انجامید تا میزان تبدیل به ۸۰٪ میزان تبدیل تعادلی برسد؟

(۱) ۲ ثانیه (۲) یک دقیقه (۳) ۲۵ ثانیه (۴) ۱۰ دقیقه

حل: با توجه به این که  $k = \frac{k_1}{k_2} = \frac{50}{0.05} = 1000$  لذا ثابت تعادل بسیار بزرگ بوده و واکنش را می‌توان برگشت‌ناپذیر فرض کرد:

$$\frac{dC_A}{dt} = -k_1 C_A \rightarrow -\ln(1-x_A) = k_1 t \xrightarrow{x_{Ae}=1, x_A=0.8} -\ln(1-0.8) = 50t$$

$$t = 0.032 \text{ min} = 1.93 \text{ Sec} \approx 2 \text{ Sec}$$

گزینه ۱ صحیح می‌باشد.

### واکنش‌های با درجات انتقالی

در یک واکنش به معادله کلی سرعت

$$-r_A = -\frac{dC_A}{dt} = \frac{k_1 C_A^m}{1 + k_2 C_A^n} \quad (2-50)$$

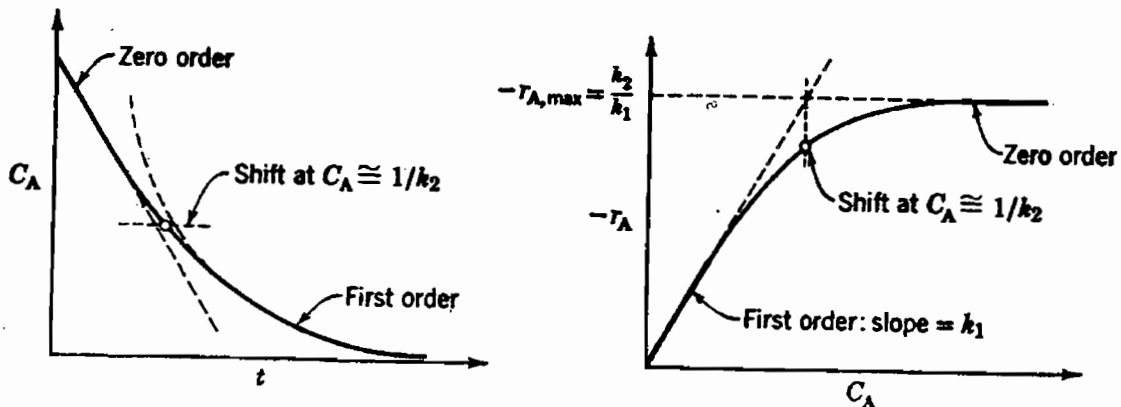
هنگامی که غلظت A کاهش می‌یابد، واکنش از درجه  $m-n$  به درجه  $m$  انتقال خواهد یافت. (در لحظات اولیه واکنش از درجه  $m-n$  و در لحظات انتهایی واکنش از درجه  $m$  است) نمونه‌ای از واکنش‌هایی با این قبیل معادله، سرعت واکنش‌های آنزیمی می‌باشند.

اگر واکنش زیر را در نظر بگیریم:

$$A \rightarrow R, \quad -r_A = \frac{dC_A}{dt} = \frac{k_1 C_A}{1 + k_2 C_A} \quad (2-51)$$

مشخص است که: در لحظات اولیه واکنش،  $C_A$  زیاد بوده و واکنش از درجه صفر با ثابت سرعت  $\frac{k_1}{k_2}$  می‌باشد. در لحظات انتهایی

واکنش،  $C_A$  کم بوده و واکنش از درجه ۱ با ثابت سرعت  $k_1$  است. این حالت‌ها در شکل (۲-۱۱) نشان داده شده‌اند.



شکل (۲-۱۱): مشخصات یک واکنش با معادله  $A \rightarrow R, \quad -r_A = \frac{k_1 C_A}{1 + k_2 C_A}$

### راکتور ناپیوسته با حجم متغیر

معادله عمومی سرعت تغییر سازنده  $i$  در یک سیستم با حجم ثابت یا متغیر به صورت زیر می باشد:

$$r_i = \frac{1}{V} \frac{dN_i}{dt} = \frac{1}{V} \frac{d(C_i \cdot V)}{dt} = \frac{dC_i}{dt} + \frac{C_i}{V} \frac{dV}{dt} \quad (2-52)$$

برای مواردی که با حجم متغیر سرو کار داریم این گونه تجزیه و تحلیل مشکل به نظر می رسد بنابراین فرض می کنیم که حجم سیستم با درجه تبدیل به صورت خطی تغییر می کند یا

$$V = V_0(1 + \epsilon_A x_A) \quad (2-53)$$

که در معادله اخیر  $\epsilon_A$  عبارت است از تغییر حجم سیستم از حالت خالص تا تبدیل کامل سازنده  $A$ . توجه کنید که:

۱- اگر جرم مخصوص سیستم ثابت باشد - مثلاً در فاز مایع  $\epsilon_A$  برابر صفر می باشد و حجم ثابت است.

۲- حتی اگر واکنش ما یک واکنش تعادلی باشد، ما باید برای محاسبه  $\epsilon_A$  واکنش کامل را مد نظر قرار دهیم.

$$\epsilon_A = \frac{V_{x_A=1} - V_{x_A=0}}{V_{x_A=0}} \quad (2-54)$$

$$N_A = N_{A_0}(1 - x_A) \quad , \quad V = V_0(1 + \epsilon_A x_A)$$

از تقسیم دو رابطه فوق برهم داریم:

$$C_A = \frac{N_A}{V} = \frac{N_{A_0}(1 - x_A)}{V_0(1 + \epsilon_A x_A)} = C_{A_0} \left( \frac{1 - x_A}{1 + \epsilon_A x_A} \right) \quad (2-55)$$

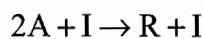
$$\frac{C_A}{C_{A_0}} = \frac{1 - x_A}{1 + \epsilon_A x_A} \quad \text{یا} \quad x_A = \frac{1 - C_A/C_{A_0}}{1 + \epsilon_A C_A/C_{A_0}} \quad (2-56)$$

و بنابراین:

$$-r_A = \frac{-1}{V} \frac{dN_A}{dt} = \frac{C_{A_0}}{1 + \epsilon_A x_A} \cdot \frac{dx_A}{dt} \quad (2-57)$$

مثال: واکنش  $2A \rightarrow R$  در فاز گاز و تا میزان تبدیل ۶۰٪ پیش می رود. اگر خوراک شامل دو مول  $A$  و ۱ مول گاز بی اثر باشد ضریب انبساط  $A$  ( $\epsilon_A$ ) برابر است با:

$$\frac{1}{3} \quad (1) \qquad \frac{-1}{3} \quad (2) \qquad \frac{1}{5} \quad (3) \qquad \frac{-1}{5} \quad (4)$$



حل:

$$\epsilon_A = \frac{\Delta n}{a} \times y_{A_0} = \frac{(1-2)}{2} \times \frac{2}{3} = \frac{-1}{3}$$

گزینه ۲ صحیح می باشد.

ضریب انبساط خطی ( $\epsilon$ ) تابع درصد تبدیل نمی باشد بلکه تابع استوکیومتری واکنش و ترکیب درصد مواد در شروع واکنش است.

### الف) واکنش های درجه صفر در فاز گاز

همان طور که قبلاً گفته شد در یک چنین واکنشی معادله سرعت مستقل از غلظت ترکیب شونده می باشد:



$$-r_A = \frac{C_{A_0}}{1 + \varepsilon_A X_A} \frac{dx_A}{dt} = k \quad (2-58)$$

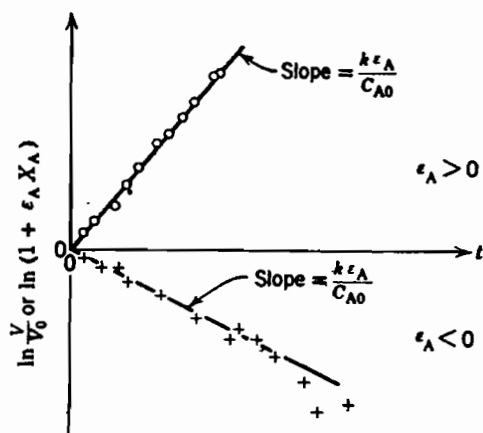
پس از انتگرال گیری و ساده سازی خواهیم داشت:

$$\frac{C_{A_0}}{\varepsilon_A} \ln \frac{V}{V_0} = kt \quad (2-59)$$

$$\frac{C_{A_0}}{\varepsilon_A} \ln(1 + \varepsilon_A X_A) = kt \quad (2-60)$$

معادلات (۲-۵۹) و (۲-۶۰) نشان می دهند از ترسیم  $\ln \frac{V}{V_0}$  یا  $\ln(1 + \varepsilon_A X_A)$  بر حسب زمان خط راستی با شیب  $\frac{k \varepsilon_A}{C_{A_0}}$  به دست

می آید که از شیب آن می توان مقدار  $k$  را به دست آورد. این مطلب در شکل (۲-۱۲) نشان داده شده است.



شکل (۲-۱۲): امتحان یک واکنش متجانس درجه صفر در یک راکتور با فشار ثابت و حجم متغیر

### ب) واکنش های درجه یک در فاز گاز

$$-r_A = -\frac{1}{V} \frac{dN_A}{dt} = kC_A$$

$$-r_A = \frac{C_{A_0}}{1 + \varepsilon_A X_A} \frac{dx_A}{dt} = kC_{A_0} \frac{1 - x_A}{1 + \varepsilon_A X_A} \quad (2-61)$$

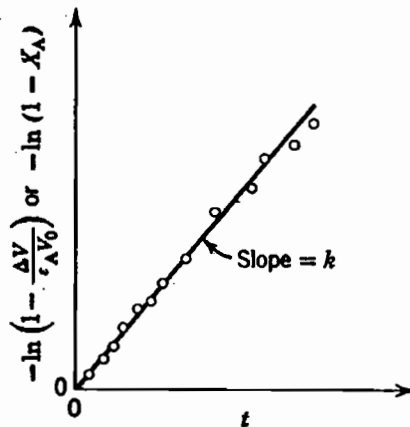
پس از انتگرال گیری و استفاده از رابطه (۲-۶۱) خواهیم داشت:

$$-\ln(1 - x_A) = kt \quad \text{یا} \quad -\ln\left(1 - \frac{\Delta V}{\varepsilon_A V_0}\right) = kt \quad (2-62)$$

مقایسه معادله (۲-۶۲) و آنچه در سیستم های حجم ثابت به دست آمد، نشان می دهد که درجه تبدیل در هر زمان برای هر دو مورد یکسان است. اما غلظت مواد در دو حالت برابر نمی باشد.

معادله (۲-۶۲) نشان می دهد رسم  $-\ln(1 - x_A)$  یا  $-\ln\left(1 - \frac{\Delta V}{\varepsilon_A V_0}\right)$  بر حسب زمان می تواند برای محاسبه  $k$  مورد استفاده قرار

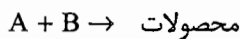
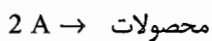
گیرد. در شکل (۲-۱۳) امتحان چنین معادله سرعتی نشان داده شده است.



شکل (۱۳-۲): امتحان یک واکنش درجه اول در فاز گاز در یک راکتور فشار ثابت و حجم متغیر

### ج) واکنش‌های درجه دوم در فاز گاز

در یک واکنش دو مولکولی از درجه دوم مثل



$(C_{A_0} = C_{B_0})$

یا

معادله سرعت ترکیب A را می‌توان به صورت زیر نوشت:

$-r_A = kC_A^2$

$$-r_A = \frac{C_{A_0}}{1 + \epsilon_A X_A} \frac{dx_A}{dt} = kC_{A_0}^2 \left( \frac{1 - X_A}{1 + \epsilon_A X_A} \right)^2 \quad (۲-۶۳)$$

پس از انتگرال گیری خواهیم داشت:

$$(1 + \epsilon_A) \left( \frac{X_A}{1 - X_A} \right) + \epsilon_A \ln(1 - X_A) = kC_{A_0} t \quad (۲-۶۴)$$

این معادله نشان می‌دهد رسم عبارت سمت چپ تساوی بر حسب زمان می‌تواند برای محاسبه k مورد استفاده قرار گیرد.

**مثال:** واکنش  $A \rightarrow 3R$  در فاز گاز و تا میزان تبدیل 80% پیش می‌رود. اگر خوراک A خالص باشد ضریب انبساط  $(\epsilon_A)$  برابر است با:

-1.6 (۴)

+2 (۳)

-2 (۲)

+1.6 (۱)

$\epsilon_A = \frac{3-1}{1} = +2$

حل: گزینه ۳ صحیح می‌باشد.

**مثال:** در یک واکنش سری  $A \xrightarrow{k_1} B \xrightarrow{k_2} C$  مقادیر  $k_1$  و  $k_2$  به ترتیب  $10 \text{ min}^{-1}$  و  $0.1 \text{ min}^{-1}$  می‌باشد. اگر غلظت اولیه ماده

A برابر  $2 \frac{\text{mol}}{\text{lit}}$  باشد، پس از گذشت مدت زمان 2 دقیقه غلظت ماده C بر حسب  $\frac{\text{mol}}{\text{lit}}$  چقدر خواهد بود؟  $(C_{B_0} = C_{C_0} = 0)$

0.64 (۴)

2 (۲)

1.64 (۱)

حل: گزینه ۳ صحیح است.

$\frac{k_1}{k_2} = 100$  و نشان می‌دهد که  $k_1$  در مقایسه با  $k_2$  خیلی زیاد است و غلظت ماده C را می‌توان با دقت خوبی از رابطه

(۲-۴۲) محاسبه کرد:

$$C_C = C_{A_0} (1 - e^{-k_2 t}) = 2(1 - e^{-0.2}) = 0.36 \frac{\text{mol}}{\text{lit}}$$

مثال: یک واکنش درجه اول در فاز گاز با معادله  $(3A \rightarrow 2B)$  در یک راکتور ناپیوسته تحت فشار ثابت با واکنش‌گر خالص A شروع

می‌شود. اگر ثابت سرعت واکنش  $0.035 \text{ min}^{-1}$  باشد پس از 5 دقیقه از شروع واکنش حجم سیستم:

- (۱) حجم سیستم 15.4% افزایش می‌یابد.  
(۲) حجم سیستم 15.4% کاهش می‌یابد.  
(۳) حجم سیستم 5.4% افزایش می‌یابد.  
(۴) حجم سیستم 5.4% کاهش می‌یابد.

حل: گزینه ۴ صحیح می‌باشد.

$$\varepsilon_A = \frac{2-3}{3} = \frac{-1}{3}$$

$$-\ln(1 - x_A) = kt \rightarrow -\ln(1 - x_A) = 0.035 \times 5 \rightarrow x_A = 0.16$$

$$V = V_0 (1 + \varepsilon_A x_A) \rightarrow V = V_0 \left(1 - \frac{0.16}{3}\right) \rightarrow V = 0.946 V_0$$

$$\text{درصد تغییر حجم} = \left(\frac{\Delta V}{V_0}\right) \times 100 = \left(\frac{V - V_0}{V_0}\right) \times 100 = -5.4\%$$

علامت منفی نشان‌دهنده کاهش حجم سیستم است.

## «تست‌های طبقه‌بندی شده فصل دوم»

۱- واکنش غیربازگشتی  $A+B \xrightarrow{K} C$  که در شرایط ایزوترمال صورت می‌گیرد را در نظر بگیرید، در یک راکتور ناپیوسته اطلاعات ذیل به دست آمده است:

درجه کلی واکنش چیست؟

0.5 (۱)      1 (۲)      1.2 (۳)      2 (۴)

$C_A$	$C_B$	سرعت واکنش
0.5	2	1.41
1	1	1
5	1	1

۲- برای واکنش  $A + B \rightarrow P$  داده‌های زیر موجود است. درجه واکنش نسبت به A و B چقدر است؟

$C_A$	2	2	3
$C_B$	125	64	64
$-r_A$	50	32	48

(۱) نسبت به A برابر یک و نسبت به B برابر  $\frac{2}{3}$

(۲) نسبت به A برابر  $\frac{2}{3}$  و نسبت به B برابر یک

(۳) نسبت به A برابر  $\frac{3}{2}$  و نسبت به B برابر یک

(۴) نسبت به A یک و نسبت به B برابر  $\frac{3}{2}$

۳- در کدام یک از موارد زیر می‌توان واکنش درجه 2 را به صورت واکنش درجه یک در نظر گرفت:

(۱) هر وقت که انتگرال‌گیری از معادله سرعت مشکل باشد.

(۲) هیچ وقت نمی‌توان واکنش درجه 2 را درجه یک در نظر گرفت.

(۳) وقتی که غلظت یکی از ترکیب‌شونده‌ها نسبت به دیگری خیلی زیاد باشد.

(۴) وقتی که غلظت ترکیب‌شونده‌ها مساوی باشند.

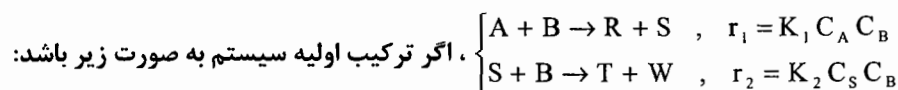
۴- برای واکنش گازی  $A + B \rightarrow R$ ،  $C_{B_0} = 200$  و  $C_A = 50$  و  $C_{A_0} = 100$  می‌باشد. مقدار  $X_A$  برابر است با:

0.70 (۱)      0.6 (۲)      0.43 (۳)      0.50 (۴)

۵- واکنش  $A \rightarrow R$  در فاز مایع و در یک راکتور ناپیوسته (Batch) انجام می‌گیرد در یک دقیقه اول غلظت از  $C_{A0} = 2.03$  به  $C_{Af} = 1.97 \text{ mol/lit}$  کاهش می‌یابد. ثابت سرعت این واکنش درجه دو برابر است با:

0.017  $\text{min}^{-1}$  (۱)      0.04  $\text{lit/min.mol}$  (۲)      0.03  $\text{min}^{-1}$  (۳)      0.015  $\text{lit/min.mol}$  (۴)

۶- دو واکنش زیر به صورت هم‌زمان در یک راکتور ناپیوسته در فاز مایع و درجه حرارت ثابت صورت می‌گیرند:



$C_{S_0} = 0.7 \text{ gmol/lit}$  و  $C_{B_0} = 1.9$  و  $C_{A_0} = 0.6$  و غلظت سایر اجزا برابر با صفر است، یک رابطه جبری بین  $C_A$ ،  $C_B$  و  $C_S$

عبارت است از:

$C_B = C_S + C_A$  (۴)       $C_S = C_B + 2 C_A$  (۳)       $C_S = C_B - 2 C_A$  (۲)       $C_A + C_B + C_S = 2$  (۱)

۷-  $A + 2B \rightarrow C + D$  با معادله سرعت  $r = K C_A^{0.5} C_B$  در یک ظرف با حجم و درجه حرارت ثابت انجام می‌شود در حالی که  $C_{A_0} = 0.34$  و  $C_{B_0} = 0.68 \text{ Kg mole/m}^3$  است. کدام معادله زیر بین تغییرات غلظت A با زمان در طول انجام واکنش برقرار است؟

$$\frac{1}{C_A} - \frac{1}{C_{A0}} = kt \quad (f) \quad \ln \frac{C_A}{C_{A0}} = -2kt \quad (g) \quad \frac{1}{C_A} - \frac{1}{C_{A0}} = 2kt \quad (h) \quad \frac{1}{\sqrt{C_A}} - \frac{1}{\sqrt{C_{A0}}} = kt \quad (i)$$

۸- واکنش  $A + B \rightarrow 2C + D$  در یک ظرف در فاز گاز تحت فشار و درجه حرارت ثابت انجام می‌شود. در حالی که ترکیب حجمی مواد در ابتدای واکنش عبارت است از:

جزء	A	B	C	D	I (گاز بی‌اثر)
درصد حجمی	40	20	0	25	15

درصد افزایش حجم مخلوط واکنش را وقتی که 50 درصد از B وارد واکنش می‌شود حساب کنید.

(۱) 10% (۲) 20% (۳) 25% (۴) 30%

۹- واکنش  $A \rightarrow 3R$  در فاز گاز و تا میزان تبدیل 80% پیش می‌رود. اگر خوراک A خالص باشد، ضریب انبساط ( $\epsilon_A$ ) برابر است با:

(۱) 1.6 (۲) -2 (۳) +2 (۴) -1.6

۱۰- واکنش  $2A \rightarrow R$  در فاز گاز و تا میزان تبدیل 60% پیش می‌رود. اگر خوراک شامل دو مول A و 1 مول گاز بی‌اثر باشد، ضریب انبساط ( $\epsilon_A$ ) برابر است با:

(۱) 1.3 (۲) 1.5 (۳) -1.5 (۴) -0.33

۱۱- واکنش درجه اول گازی  $2A \rightarrow B$  در یک راکتور ناپیوسته تحت فشار ثابت با واکنش‌گر خالص A شروع می‌شود. حجم سیستم در مدت 5 دقیقه 10% کاهش می‌یابد ثابت سرعت واکنش بر حسب  $\text{min}^{-1}$  چیست؟

(۱) 0.060 (۲) 0.100 (۳) 0.024 (۴) 0.040

۱۲- واکنش  $A \rightarrow B$  از درجه  $\frac{1}{2}$  با  $C_{A_0} = 1 \text{ molar}$  و  $k=1$  می‌باشد. زمان پایان یافتن واکنش مذکور عبارت است از:

(۱) این واکنش در زمان محدودی به پایان نمی‌رسد. (۲) 3 دقیقه

(۳) 2 دقیقه (۴) 4 دقیقه

۱۳- واکنش ابتدایی (Elementary)  $A + 2B \rightarrow 2D$  در فاز مایع در یک راکتور ناپیوسته (Batch) و در دمای 60 درجه سانتی‌گراد انجام می‌گیرد. در شروع واکنش غلظت مواد شامل 0.1 مول ماده A و 2.1 مول ماده B بوده است و بعد از 10 دقیقه میزان تبدیل 85% می‌باشد ثابت این واکنش بر حسب ( $\text{lit}^2 / \text{mol}^2 \cdot \text{min}$ ) برابر است با:

(۱) 0.0181 (۲) 0.0363 (۳) 0.0452 (۴) 0.0752

۱۴ - واکنش ابتدایی (Elementary)  $A \xrightarrow{k_1} R \xleftarrow{k_2}$  ،  $k_1 = 50 \text{ min}^{-1}$  و  $k_2 = 0.05 \text{ min}^{-1}$  و  $C_{R_0} = 0$  و  $C_{A_0} = 10 \text{ mol/lit}$  در

یک راکتور batch انجام می‌شود. چه زمانی به طول خواهد انجامید تا میزان تبدیل به 80% میزان تبدیل تعادلی برسد؟

- (۱) 2 ثانیه (۲) یک ثانیه (۳) 25 ثانیه (۴) 10 دقیقه

۱۵ - واکنش  $A \xrightarrow{k} R$  از درجه 0.5 می‌باشد  $C_{A_0} = 1 \text{ mole/lit}$  و  $k = 1 \text{ (mole}^{0.5} / \text{lit}^{0.5} \text{ min)}$  زمان پایان یافتن واکنش

مذکور عبارت است از:

- (۱) این واکنش به پایان نمی‌رسد (۲) 4 دقیقه (۳) 1 دقیقه (۴) 2 دقیقه

۱۶ - واکنش پشت سر هم  $A \xrightarrow{k_1} R \xrightarrow{k_2} S$  که تمام مراحل آن از درجه دوم است در یک راکتور batch انجام می‌شود

$(C_{R_0} = C_{S_0} = 0, C_{A_0} = 1 \text{ mol/lit})$  غلظت R در حال تعادل چه خواهد بود؟

- (۱) صفر (۲) 0.5 (۳) 0.25 (۴) برای تعیین این غلظت باید مقادیر ثابت‌های سرعت معلوم باشند.

۱۷ - برای واکنش درجه اول  $A \rightarrow P$  با  $-r_A = kC_A$  و  $C_{A_0} = 2 \text{ mole/lit}$  ، زمان نیمه عمر A برابر خواهد بود با:

- (۱)  $0.59 / k$  (۲)  $0.65 / k$  (۳)  $0.69 / k$  (۴) نامحدود

۱۸ - واکنش درجه اول برگشت‌ناپذیر (Irreversible) حالت خاصی از یک واکنش درجه اول برگشت‌پذیر (reversible) می‌باشد که

در آن ضریب تعادل  $K_c$  برابر باشد با:

- (۱)  $K_c = 0$  (۲)  $K_c = k_1$  (۳)  $K_c = k_2$  (۴)  $K_c = \infty$

۱۹ - واکنش درجه صفر  $2A \rightarrow R$  در فاز گاز و با A خالص در یک راکتور batch با حجم ثابت و دمای  $500^\circ \text{K}$  انجام می‌شود. چهار

دقیقه پس از شروع واکنش، فشار کل از 2 اتمسفر به 1.5 اتمسفر سقوط می‌کند. ثابت سرعت واکنش بر حسب  $\text{mole/lit} \cdot \text{min}$

چیست؟

- (۱)  $6.1 \times 10^{-3}$  (۲)  $2.2 \times 10^{-3}$  (۳)  $3.1 \times 10^{-4}$  (۴) 0.45

۲۰ - واکنش  $A \xrightarrow{k_1} R + S \xleftarrow{k_2}$  ( $k_1 = 2 \text{ min}^{-1}$  و  $k_2 = 0.05 \text{ lit / mon} \cdot \text{min}$ ) در یک راکتور batch انجام می‌شود پس از چند

ثانیه میزان تبدیل A به 50% تبدیل تعادلی می‌رسد.  $(C_{R_0} = C_{S_0} = 0)$

- (۱) 21 (۲) 43 (۳) 55 (۴) 84

۲۱ - اگر سرعت واکنشی به صورت  $-r_A = \frac{0.2C_A}{1+C_A}$  باشد، کدام عبارت زیر درباره آن صادق است؟

- (۱) درجه واکنش در محدوده‌ای از غلظت صفر است. (۲) ثابت سرعت در محدوده‌ای از غلظت برابر 0.2 است.  
(۳) ثابت سرعت در محدوده پایین غلظت A برابر 0.2 است. (۴) همه موارد

۲۲ - جسم A در فاز مایع در یک راکتور ناپیوسته (batch) با سرعت درجه دوم ( $2A \rightarrow C$ ) از بین می‌رود اگر در مدت 6 دقیقه

نصف مول‌های A ترکیب شود، بعد از چند دقیقه تحت شرایط یکسان 75 درصد مول‌های A از بین خواهد رفت:

- (۱) 12 (۲) 18 (۳) 24 (۴) 30

۲۳ - ثابت تعادل واکنش ابتدایی (Elementary)  $A \leftrightarrow R$  در  $C = 25$  برابر 4 است. میزان تبدیل تعادلی این واکنش عبارت است از:

$$(C_{R_0} = 0)$$

80 % (۴)

50 % (۳)

40 % (۲)

60 % (۱)

۲۴ - واکنش  $A + B \xrightarrow[k_2]{k_1} R$  به معادله سرعت  $-r_A = k_1 C_A C_B - k_2 C_R$  در یک راکتور Batch انجام می‌شود.

$C_{R_0} = 0$  و  $C_{A_0} = C_{B_0} = 1$  Mole/liter است. غلظت A در حالت تعادل 0.5 mol/lit است. وقتی  $C_A = 0.6$  mol/lit باشد،

سرعت واکنش  $-r_A = 0.16$  mole/lit.min است. ثابت‌های سرعت  $k_1$  و  $k_2$  چیست؟

$$k_1 = 1 \text{ lit/mol.min}, k_2 = 0.5 \text{ min}^{-1} \quad (۲)$$

$$k_1 = 3 \text{ lit/mol.min}, k_2 = 1.5 \text{ min}^{-1} \quad (۱)$$

$$k_1 = 0.5 \text{ lit/mol.min}, k_2 = 0.25 \text{ min}^{-1} \quad (۴)$$

$$k_1 = 2 \text{ lit/mol.min}, k_2 = 1 \text{ min}^{-1} \quad (۳)$$

۲۵ - محلول آبی ترکیب شونده A از طریق یک واکنش غیرابتدایی در یک راکتور ناپیوسته به محصول B در این محلول تبدیل می‌شود. اگر درجه واکنش 1.5 باشد و پس از 5 دقیقه نصف A تجزیه شود، زمان لازم برای رسیدن به 100 درصد تبدیل A برابر:

18 دقیقه است. (۲)

15 دقیقه است. (۱)

محدود نمی‌تواند باشد. (۴)

دو برابر زمان لازم برای نصف شدن مقدار A است. (۳)

۲۶ - در چه واکنش‌هایی، زمان نیمه عمر مستقل از غلظت اولیه ترکیب شونده است:

واکنش‌های درجه اول (۲)

واکنش‌های درجه صفر (۱)

واکنش‌های ابتدایی (Elementary) (۴)

واکنش‌های درجه دوم (۳)

۲۷ - یک واکنش اتوکاتالیزوری  $A + R \leftrightarrow R + R$  به معادله سرعت  $-r_A = k C_A C_R$  در یک راکتور batch انجام می‌شود

( $C_{A_0} = 2$  mol/lit و  $C_{R_0} = 0.2$  mol/lit) حداکثر سرعت در چه غلظتی از A حاصل می‌شود؟

0.8 (۲)

1.1 (۱)

برای تعیین این غلظت بایستی سرعت واکنش معلوم باشد. (۴)

4.0 (۳)

۲۸ - جسم A در فاز مایع با معادله سرعت درجه دو در یک راکتور ناپیوسته تجزیه می‌شود. اگر بعد از گذشت 5 دقیقه نصف A از

بین برود، زمان لازم برای تجزیه شدن کامل A برابر خواهد بود با:

چهار برابر زمان لازم برای نصف شدن مقدار A (۲)

دو برابر زمان لازم برای نصف شدن مقدار A (۱)

در زمان محدود واکنش کامل نمی‌شود. (۴)

هشت برابر زمان لازم برای نصف شدن مقدار A (۳)

۲۹ - واکنش ساده  $A \xrightarrow{k_1} R \xrightarrow{k_2} S$  در یک راکتور ناپیوسته انجام می‌گیرد اگر چنانچه  $k_1 = k_2$  باشد، زمانی که مقدار R

حداکثر است برابر است با:

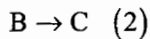
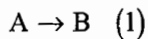
$$\frac{k_1}{k_2} \quad (۴)$$

$$\frac{1}{k_2} \quad (۳)$$

$$\frac{1}{k_1} \quad (۲)$$

$$\frac{k_2}{k_1} \quad (۱)$$

۳۰- واکنش زیر در یک راکتور batch که در ابتدا حاوی A خالص با غلظت  $C_{A_0} = 2 \text{ g mole/lit}$  است صورت می‌گیرد، غلظت B بعد از دو دقیقه چند mol/lit است؟ ( $k_1 = 0.001 \text{ Sec}^{-1}$  و  $k_2 = 0.003 \text{ Sec}^{-1}$  و  $k_3 = 0.002 \text{ Sec}^{-1}$ )



0.385 (۴)

0.250 (۳)

0.081 (۲)

0.136 (۱)

۳۱- فعل و انفعال  $A \xrightarrow[k_2]{k_1} R$  با  $k_1 = k_2 = 1 \text{ min}^{-1}$  و  $C_{A_0} = 1 \text{ mol/lit}$  و  $C_{R_0} = C_{S_0} = 0$  در یک راکتور mixed انجام می‌شود. اگر میزان تبدیل A برابر 80% باشد، غلظت R خروجی از راکتور چیست؟

0.8 (۴)

0.5 (۳)

0.4 (۲)

0.2 (۱)

۳۲- در واکنش موازی و ابتدایی  $A \xrightarrow[k_2]{k_1} R$  ،  $k_1 = k_2 = 1.5$  می‌باشد. وقتی  $C_R = 2 \text{ mole/lit}$  است غلظت S چند مولار خواهد بود؟

$(C_{R_0} = 2C_{S_0} = 1 \text{ mole/lit})$

2.66 (۴)

1.16 (۳)

0.86 (۲)

0.36 (۱)

۳۳- واکنش درجه اول  $A \rightarrow 2R$  در یک راکتور batch با فشار ثابت و  $C_{A_0} = 4 \text{ mol/lit}$  انجام می‌شود و پس از 5 دقیقه  $C_A = 1 \text{ mol/lit}$  می‌گردد. اگر این واکنش در حجم ثابت انجام شود و شرایط دیگر تغییر نکند، چه مدت زمان برای رسیدن به  $C_A = 1 \text{ mol/lit}$  کافی است؟

(۴) اطلاعات کافی نیست.

(۳) بیش تر از 5 دقیقه

(۲) 5 دقیقه

(۱) کمتر از 5 دقیقه

۳۴- واکنش درجه صفرم  $2A \rightarrow \text{Products}$  مفروض است ثابت سرعت واکنش  $k = 0.012 \frac{\text{lit}}{\text{mole} \cdot \text{sec}}$  و غلظت اولیه A برابر  $1 \text{ mol/liter}$  می‌باشد. پس از 4 دقیقه درصد تبدیل چقدر است؟

83 (۴)

74 (۳)

61 (۲)

23 (۱)

۳۵- در واکنش گازی درجه اول  $2A \rightarrow R$  که در آن فشار ثابت می‌باشد، حجم مخلوط واکنش که با 80% جسم خالص A شروع شده است (20% بقیه گاز بی‌اثر می‌باشد) در مدت سه دقیقه 20% کم می‌شود. ثابت سرعت واکنش بر حسب دقیقه برابر است با:

100.567 (۴)

0.1 (۳)

1.2 (۲)

0.231 (۱)

۳۶- واکنش درجه دوم  $2A \rightarrow 5R + S$  در حالی که ماده A خالص و فشار اولیه 2 اتمسفر می‌باشد انجام می‌شود. ثابت سرعت واکنش  $k = 0.2 \text{ atm/min}$  است. اگر حجم ثابت باشد فشار سیستم بعد از 5 دقیقه بر حسب اتمسفر چیست؟

4 (۴)

2.5 (۳)

2 (۲)

1.5 (۱)



۳۷ - واکنش درجه دوم  $2A \xrightarrow{k} R + 2S$  در فاز گاز و در یک ظرف صلب (حجم ثابت) به صورت ایزوترمال انجام می‌شود  
 $[k=0.2(\text{atm})^{-1}(\text{min})^{-1}]$  فشار کل ظرف پس از 3 دقیقه چه خواهد شد: (فشار اولیه گاز یک اتمسفر و محتوی 50% گاز A و 50% گاز خنثی است)

(۱) 0.06 اتمسفر (۲) 1.59 اتمسفر (۳) 2.05 اتمسفر (۴) هیچ کدام از ارقام فوق

۳۸ - واکنش رورسیبل  $A + B \leftrightarrow R + S$  در حالی اتفاق می‌افتد که  $C_{A_0} = C_{B_0} = 2 \text{ mol/lit}$  و  $C_{R_0} = C_{S_0} = 0$  و سرعت واکنش رفت  $-r_A = 0.5 C_A C_B$  و سرعت واکنش بازگشت  $r_A = 0.25 C_R C_S$  است. ماکزیمم تبدیل در واکنش فوق را محاسبه کنید.

(۱) 0.59 (۲) 0.42 (۳) 0.66 (۴) 0.75

۳۹ - واکنش فاز مایع  $A + 2B \leftrightarrow C + D$  با 2 مول A و 3 مول B شروع می‌شود. اگر  $X_{Ae} = 0.7$  باشد، ثابت تعادل دینامیکی چقدر است؟ ( $C_{A_0} = 2 \text{ mol/lit}$ )

(۱) 8.2 (۲) 11.7 (۳) 43 (۴) 82

۴۰ - در واکنش سری  $A \xrightarrow{k_1} R \xrightarrow{k_2} S$ ، زمان ماکزیمم تولید R، 5 دقیقه است. اگر  $k_1 = 0.2 \text{ min}^{-1}$  باشد. مقدار  $k_2$  کدام است؟

(۱)  $0.2 \text{ min}^{-1}$  (۲)  $0.4 \text{ min}^{-1}$  (۳)  $2 \text{ min}^{-1}$  (۴)  $4 \text{ min}^{-1}$

۴۱ - واکنشی از درجه 1.5 در دست می‌باشد. چنانچه غلظت ماده اولیه  $2.5 \text{ mol/lit}$  باشد زمان نیمه عمر برابر با 12.2 دقیقه می‌گردد. اگر غلظت را دو برابر کنیم، زمان نیمه عمر به چه مقداری می‌رسد؟

(۱) 10.61 دقیقه (۲) 8.63 دقیقه (۳) 7.03 دقیقه (۴) 5.56 دقیقه

۴۲ - در یک واکنش گازی درجه یک، زمان نیمه عمر با افزایش فشار از یک اتمسفر به سه اتمسفر:

(۱) دو برابر می‌شود. (۲) سه برابر می‌شود.  
 (۳) تغییر نمی‌کند. (۴) متناسب با غلظت افزایش پیدا می‌نماید.

۴۳ - ترکیب شونده A در یک راکتور ناپیوسته تبدیل می‌شود. اگر سرعت تبدیل متناسب با میزان باقی مانده A باشد، سرعت از بین رفتن A از کدام درجه است؟

(۱) اول (۲) دوم (۳) درجه مشخصی ندارد (۴) صفر

۴۴ - واکنش درجه اول ( $A \rightarrow nR$ ) در زمان 30 دقیقه در راکتور batch با کاهش 80% ماده اولیه و دمای  $100^\circ\text{C}$  انجام می‌گیرد، اگر انرژی اکتیواسیون این واکنش را 3 کیلوکالری به ازای هر گرم مول در نظر بگیریم، درجه حرارت مورد نظر برای افزایش راندمان به 90% را محاسبه کنید. (در صورتی که زمان واکنش تغییری نکند)

(۱)  $145^\circ\text{C}$  (۲)  $200^\circ\text{C}$  (۳)  $252^\circ\text{C}$  (۴)  $136^\circ\text{C}$

۴۵ - در یک واکنش آنزیمی سرعت پیشرفت واکنش با غلظت اولیه آنزیم چه رابطه‌ای دارد؟

(۱) ارتباطی با آن ندارد. (۲) متناسب است.  
 (۳) متناسب با معکوس آن است. (۴) در بعضی موارد ارتباط ندارد.

۴۶ - واکنش  $A \rightarrow R$  با معادله سرعت:

$$k_2 = 10^9 \exp(-20000/RT) \text{ lit/mole} \text{ و } k_1 = 10^{10} \exp(-18000/RT) \text{ min}^{-1} \text{ و } -r_A = \frac{k_1 C_A}{1 + k_2 C_A} \text{ (mol/lit.min)}$$

در یک راکتور batch انجام می‌گیرد انرژی فعال سازی واکنش (E) در لحظات پایانی واکنش چیست؟

- ۱) 1000 (۲) 9000 (۳) 18000 (۴) 20000

۴۷ - حداکثر سرعت  $(V_{max})$  در یک واکنش آنزیمی به معادله  $-r_A = \frac{k C_{E_0} C_A}{M + C_A}$  چیست؟

- ۱)  $k$  (۲)  $\frac{k}{M}$  (۳)  $\frac{k C_{E_0}}{M}$  (۴)  $k C_{E_0}$

۴۸ - در یک واکنش آنزیمی هنگامی که سرعت نصف ماکزیمم است، غلظت ترکیب‌شونده برابر است با:

- ۱) نصف غلظت اولیه آن (۲) غلظت اولیه آنزیم (۳) ثابت سرعت  $k_1$  (۴) ثابت Michaelis

۴۹ - واکنش  $A \xrightarrow{\text{آنزیم}} R$  را در نظر بگیرید. معادله سرعت برابر است با  $-r_A = \frac{200 C_A C_{E_0}}{2 + C_A}$  (mol/lit.min)، اگر غلظت

آنزیم  $C_{E_0} = 0.001 \text{ mol/lit}$  و  $C_{A_0} = 10 \text{ mol/lit}$  باشد، زمان لازم برای رسیدن به  $C_{Af} = 0.025 \text{ mol/lit}$  چقدر است؟ توجه کنید که غلظت آنزیم در طول واکنش تغییر نمی‌کند.

- ۱) 10.9 min (۲) 107.3 min (۳) 109.8 min (۴) 10.7 min

۵۰ - در یک واکنش آنزیمی اگر مقدار ثابت میکائلیس - متن از غلظت سوبسترات خیلی بزرگ‌تر باشد، می‌توان واکنش را:

- ۱) اتوکاتالیزوری در نظر گرفت (۲) می‌توان از غلظت آنزیم در معادله سرعت صرف‌نظر کرد (۳) درجه صفر فرض کرد (۴) درجه اول فرض کرد

۵۱ - واکنش آنزیمی  $A \xrightarrow{E} R$  که در آن غلظت آنزیم  $C_{E_0} = 0.01 \text{ mol/lit}$  و  $C_{A_0} = 1 \text{ mol/lit}$  است زمان نیمه عمر 5.32 min دارد. به علاوه سرعت اولیه این واکنش 0.1 mol/lit.min است. معادله سرعت واکنش  $-r_A$  برابر است با:

۱)  $\frac{1.5 C_A}{0.4 + C_A}$  (۲)  $\frac{0.26 C_A}{0.3 + C_A}$  (۳)  $\frac{0.2 C_A}{1 + C_A}$  (۴)  $\frac{0.12 C_A}{0.2 + C_A}$

۵۲ - واکنش‌های غیرقابل برگشت حالت خاصی از واکنش‌های برگشت‌پذیر هستند که در آن‌ها:

- ۱) غلظت تعادلی ترکیب‌شونده‌ها ثابت باشد. (۲) درصد تبدیل تعادلی ترکیب‌شونده‌ها صفر باشد. (۳) غلظت تعادلی محصولات بیش‌تر از غلظت تعادلی ترکیب‌شونده‌ها باشد. (۴) غلظت ترکیب‌شونده‌ها به صفر برسد.

۵۳ - واکنش  $A \xrightarrow{k_1} B$  از درجه نیم با غلظت خوراک یک مول بر لیتر واکنش‌گر و ثابت سرعت واحد می‌باشد. زمان پایان یافتن

تجزیه A برابر است با:

- ۱) 4 دقیقه (۲) این واکنش بعد از مدت طولانی متوقف می‌شود. (۳) 10 دقیقه (۴) 2 دقیقه

۵۴ - در راکتور ناپیوسته برای واکنش مرتبه یک در شرایطی که حجم راکتور ثابت باشد، زمان لازم برای مصرف  $\frac{1}{4}$  مقدار اولیه واکنش گر محدود کننده برابر کدام یک از مقادیر ذیل است:

$$\ln\left(\frac{4}{3}\right) \quad (۴) \qquad \left(\frac{3}{2}\right) \quad (۳) \qquad \frac{\ln(2)}{k} \quad (۲) \qquad \frac{\ln\left(\frac{3}{2}\right)}{k} \quad (۱)$$

۵۵ - اگر واکنش  $P \xrightarrow{\frac{k}{2}} 2A$  از مرتبه یک باشد و در یک راکتور ناپیوسته با حجم ثابت انجام پذیرد و غلظت اولیه A برابر  $C_{A_0}$  باشد، چه کسری از A در زمان t باقی می ماند؟

$$1 - e^{-kt} \quad (۴) \qquad 1 - e^{-2kt} \quad (۳) \qquad 1 - e^{-kt} \quad (۲) \qquad 1 - e^{-kt/2} \quad (۱)$$

۵۶ - با ماده اولیه A خالص سرعت تجزیه (ثانیه / 10 درصد) است و با حضور 90 درصد مواد خنثی، سرعت تجزیه به (ثانیه / 5 درصد) کاهش می یابد. مرتبه واکنش چقدر است؟

$$\frac{2}{3} \quad (۴) \qquad \frac{1}{7} \quad (۳) \qquad \frac{1}{5} \quad (۲) \qquad \frac{1}{3} \quad (۱)$$

۵۷ - آمپول کوچکی حاوی گاز رادیواکتیو  $Kr - 89$  با زمان نیمه عمر 76 دقیقه به مدت 24 ساعت در محل نگهداری می شود، فعالیت گاز چند درصد کاهش یافته است؟

$$99.99 \quad (۴) \qquad 85.55 \quad (۳) \qquad 76.4 \quad (۲) \qquad 66.66 \quad (۱)$$

۵۸ - در واکنش: محصولات  $A + B \rightarrow$ ، وقتی غلظت اولیه واکنش گرها مساوی و برابر یک مول در لیتر است، زمان نیمه عمر آن 5 دقیقه است. اما اگر غلظت اولیه آن ها 0.1 مول در لیتر باشد زمان نیمه عمر آن 500 دقیقه می گردد. درجه واکنش چقدر است؟

$$2 \quad (۲) \qquad 1 \quad (۱) \qquad 3 \quad (۳) \qquad (۴) \text{ نیاز به اطلاعات بیش تر است.}$$

۵۹ - برای واکنش با درجه 0.6، غلظت اولیه جسم واکنش دهنده 1 mol/lit و مقدار عددی ثابت سرعت معادل 5 است. پس از گذشت 1 دقیقه غلظت جسم واکنش دهنده چقدر است؟

$$0.5 \quad (۱) \qquad 0.2 \quad (۲) \qquad \text{صفر} \quad (۳) \qquad (۴) \text{ ثابت می ماند.}$$

۶۰ - در واکنش اتوکاتالیستی  $A + R \rightarrow R + R$  به معادله سرعت  $-r_A = k C_A C_R$  که در یک راکتور Batch انجام می شود،

$(C_{A_0} + C_{R_0} = C_0)$  حداکثر سرعت واکنش چیست؟

$$\frac{k C_0^2}{C_{R_0}} \quad (۴) \qquad \frac{k C_0^2}{4} \quad (۳) \qquad \frac{k C_0^2}{2} \quad (۲) \qquad k C_0^2 \quad (۱)$$

۶۱ - اگر واکنش ابتدایی  $3A \xrightarrow{k_c} P$  در یک راکتور ناپیوسته در حجم ثابت انجام شود، زمان لازم برای تبدیل A:

$$t = \frac{V^2}{2k_c} \left[ \left( \frac{N_A}{N_{A_0}} \right)^2 - 1 \right] \quad (۲) \qquad t = \frac{V}{k_c} \left[ \frac{1}{N_A} - \frac{1}{N_{A_0}} \right] \quad (۱)$$

$$t = \frac{V^2}{2k_c} \left[ \left( \frac{1}{N_A} \right)^2 - \left( \frac{1}{N_{A_0}} \right)^2 \right] \quad (۴) \qquad t = \frac{V}{k_c} \left[ \left( \frac{N_{A_0}}{N_A} \right)^2 + 1 \right] \quad (۳)$$

۶۲ - چنانچه فرض شود ضد عفونی کردن آب به وسیله کلرواکنشی از درجه اول است تعیین کنید چه زمانی طول می کشد تا غلظت میکروارگانیزمها از  $10^4$  به 1 تقلیل پیدا کند؟ با فرض آن که ثابت بیولوژیکی مرگ میکروارگانیزمها معادل  $0.3 \text{ min}^{-1}$  باشد.

- (۱) 15 دقیقه (۲) 10 دقیقه (۳) 60 دقیقه (۴) 30 دقیقه

۶۳ - در واکنش اتوکاتالیتی:  $R + A \xrightleftharpoons[k_2]{k_1} 2R$

بین  $k_1, k_2$  کدام نسبت برقرار است؟  
 $-r_A = k_1 C_A C_R$  ,  $r_R = k_2 C_A C_R$   
 (۱)  $k_1 = k_2$  (۲)  $k_2 = 1.5 k_1$  (۳)  $k_2 = 2k_1$  (۴)  $k_1 = 2k_2$

۶۴ - گاز A با غلظت اولیه  $0.8 \frac{\text{mol}}{\text{lit}}$  جهت انجام واکنش  $A \rightarrow 3R$  (نیز یک محصول گازی است) به یک راکتور وارد می شود. اگر غلظت A در خروجی به  $0.01 \frac{\text{mol}}{\text{liter}}$  برسد درصد تبدیل برابر است با:

- (۱) حدود 91% (۲) 78% (۳) 64% (۴) حدود 96%

۶۵ - سرعت یک واکنش در غلظت های مختلف در جدول زیر ارائه شده است. زمان اقامت لازم را برای آن که غلظت واکنش گر A در یک راکتور ناپیوسته از  $1.2 \frac{\text{kmol}}{\text{m}^3}$  به  $0.4 \frac{\text{kmol}}{\text{m}^3}$  برسد بر حسب ثانیه برابر است با:

$C_A \text{ (kmol/m}^3\text{)}$	1.5	1.2	0.8	0.4
$-r_A \text{ (kmol/m}^3 \cdot \text{s)}$	0.003	0.0015	0.001	0.0008
	789 (۴)	965 (۳)	227 (۲)	641 (۱)

۶۶ - برای واکنش ابتدایی  $2A \rightleftharpoons 2R$  اطلاعات زیر موجود است. ثابت تعادل این واکنش برابر است با:

t	0	1	3	$\infty$
$x_A$	0	0.15	0.47	0.67
	1.8 (۴)	0.492 (۳)	2.03 (۲)	4.12 (۱)

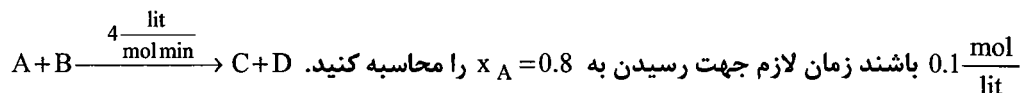
۶۷ - واکنش  $A + 2B \rightarrow R$  در فاز گازی انجام می شود. غلظت های اولیه  $C_{A_0} = C_{B_0} = 100$  می باشد. زمانی که  $C_B = 20$  است میزان تبدیل A ( $x_A$ ) چقدر می باشد؟

- (۱) 0.23 (۲) 0.4 (۳) 0.6 (۴) 0.67

۶۸ - در واکنش کاتالیزوری همگن زیر وقتی غلظت کاتالیزور از  $1 \frac{\text{mol}}{\text{lit}}$  به  $2 \frac{\text{mol}}{\text{lit}}$  تغییر می کند سرعت واکنش 50% افزایش می یابد. نتیجه می گیریم:

$A \xrightarrow{k_1} R$   
 $A + C \xrightarrow{k_2} R$   
 (۱)  $k_1 = k_2$  (۲)  $k_1 = 0.5 k_2$  (۳)  $k_1 = 2k_2$  (۴)  $k_1 = 5k_2$

۶۹ - واکنش ابتدایی زیر در فاز مایع در یک راکتور ناپیوسته انجام می‌پذیرد. در صورتی که غلظت ماده A و غلظت ماده B هر کدام



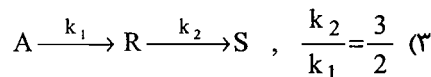
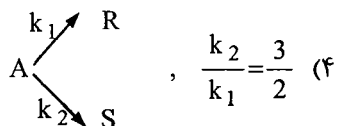
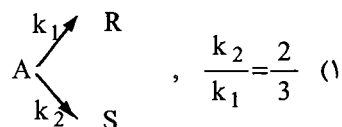
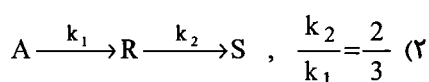
(۱) 8 دقیقه (۲) 10 دقیقه (۳) 12.5 دقیقه (۴) 15 دقیقه

۷۰ - در یک راکتور مخزنی همزن دار پیوسته واکنش اتوکاتالیستی  $A \xrightarrow{k} R$  انجام می‌شود. رابطه سرعت  $-r_A = k C_A C_R^2$  می‌باشد. به ازای چه درجه تبدیل حجم راکتور حداقل می‌شود؟

(۱)  $x_A = 1$  (۲)  $x_A = \frac{1}{2}$  (۳)  $x_A = \frac{1}{3}$  (۴)  $x_A = \frac{2}{3}$

۷۱ - ماده A خالص وارد یک راکتور مخزنی همزن دار پیوسته شده و R و S به وجود می‌آیند. در صورتی که غلظت‌های زیر از طریق آزمایشی ثبت شده باشند واکنش یا واکنش‌هایی را که با این اعداد همخوانی داشته باشند پیشنهاد نمایید.

آزمایش	غلظت A	غلظت R	غلظت S
1	15	3	2
2	5	9	6



۷۲ - در واکنش برگشت پذیر ابتدایی  $A \xrightleftharpoons[k_2]{k_1} B$  که با خوراک خالص A آغاز شده است. در صورتی که حداکثر تبدیل تعادلی 60 درصد باشد، کدام رابطه بین  $k_2 - k_2'$  برقرار است؟ (مهندسی شیمی سراسری - ۸۸)

(۱)  $k_2 = 0.6k_2'$  (۲)  $k_2' = 1.5k_2$  (۳)  $k_2 = 1.5k_2'$  (۴)  $k_2' = 2.5k_2$

۷۳ - محلول آبی ترکیب شونده A از طریق یک واکنش غیرابتدایی با درجه 1.5 به صورت یک طرفه در یک راکتور ناپیوسته به محصول B تبدیل می‌شود. اگر پس از 5 دقیقه نصف A تجزیه شود، زمان لازم برای رسیدن به 100% تبدیل A چقدر است؟ (مهندسی بیوتکنولوژی سراسری - ۸۸)

(۱) 10 دقیقه (۲) 15 دقیقه (۳) 18 دقیقه (۴) بی‌نهایت

۷۴ - واکنش ابتدایی  $A \xrightleftharpoons[k_2]{k_1} B$  ،  $k_1 = k_2 = 1 \text{ min}^{-1}$  ،  $C_{B_0} = 0$  در یک راکتور مخلوط شونده صورت می‌گیرد. در

صورتی که  $\tau = 0.5 \text{ min}$  باشد. تبدیل A چند درصد تبدیل تعادلی خواهد بود؟ (آزمون‌های آزمایشی پارسه - ۸۸)

(۱) 25% (۲) 50% (۳) 45% (۴) 75%

## پاسخ تست‌های طبقه‌بندی شده فصل دوم

۱ - گزینه ۱ صحیح می‌باشد.

اگر معادله سرعت واکنش را به صورت زیر فرض کنیم در این صورت خواهیم داشت:

$$-r_A = K C_A^\alpha C_B^\beta \Rightarrow \ln(-r_A) = \ln K + \alpha \ln C_A + \beta \ln C_B$$

$$0 = \ln K + 0 + 0 \Rightarrow K = 1$$

$$0 = 0 + \alpha \ln 5 + 0 \Rightarrow \alpha = 0$$

$$\ln(1.41) = 0 + 0 + \beta \ln 2 \Rightarrow \beta = 0.5$$

$$\text{درجه کلی واکنش} = \alpha + \beta = 0.5$$

با قرار دادن شرایط قسمت دوم در رابطه فوق:

اکنون با قرار دادن شرایط قسمت سوم در رابطه فوق:

اکنون با قرار دادن شرایط قسمت اول در رابطه فوق:

۲ - گزینه ۱ صحیح می‌باشد.

اگر معادله سرعت واکنش را به صورت:  $-r_A = K C_A^\alpha C_B^\beta$  فرض کنیم، در این صورت

$$\frac{-r_{A1}}{-r_{A2}} = \frac{50}{32} = \left(\frac{125}{64}\right)^\beta \Rightarrow \beta = \frac{2}{3}$$

$$\frac{-r_{A2}}{-r_{A2}} = \frac{32}{48} = \left(\frac{2}{3}\right)^\alpha \Rightarrow \alpha = 1$$

چون شرایط ایزوترمال است لذا:

۳ - گزینه ۳ صحیح می‌باشد.

زیرا وقتی غلظت یکی از ترکیب‌شونده‌ها نسبت به دیگری خیلی زیاد باشد در این صورت می‌توان از تغییرات غلظت آن سازنده نسبت به زمان صرف‌نظر کرد به طوری که در واکنش فرضی:  $A + B \rightarrow$  محصول، وقتی غلظت B خیلی زیادتر از غلظت A باشد در این صورت:

$$-r_A = K C_A C_{B_0} = K' C_A \quad ; \quad K' = K C_{B_0}$$

صورت:

یعنی واکنش مذکور از درجه اول می‌گردد.

۴ - گزینه ۲ صحیح می‌باشد.

$$C_A = C_{A_0} \left( \frac{1 - X_A}{1 + \varepsilon_A X_A} \right), \quad \varepsilon_A = \frac{\Delta n}{n_0} \times y_{A_0}$$

$$\varepsilon_A = \frac{(100+100) - (100+200)}{100+200} = \frac{-1}{3} \Rightarrow 50 = 100 \left( \frac{2 - X_A}{1 - \frac{1}{3} X_A} \right) \rightarrow X_A = 0.6$$

۵ - گزینه ۴ صحیح می‌باشد.

چون واکنش در فاز مایع صورت می‌گیرد،  $\varepsilon_A = 0$  می‌باشد و از آنجا که واکنش مذکور درجه دوم می‌باشد پس:

$$\frac{1}{C_A} - \frac{1}{C_{A_0}} = K t \rightarrow \frac{1}{1.97} - \frac{1}{2.03} = K(1) \Rightarrow K = 0.015 \text{ lit}/(\text{mole} \cdot \text{min})$$

۶- گزینه ۲ صحیح می باشد.

به همان میزان که S تولید می شود، به همان میزان S مصرف می شود لذا غلظت آن ثابت می ماند و چون میزان مصرف B دو برابر میزان مصرف A می باشد لذا:

$$C_{B_0} - C_B = 2(C_{A_0} - C_A) \Rightarrow 1.9 - C_B = 2 \times (0.6 - C_A) \Rightarrow C_B - 2C_A = 0.7$$

و از آن جا که  $C_s = C_{s_0} = 0.7$  می باشد بنابراین  $C_B - 2C_A = C_s$

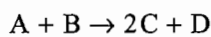
۷- گزینه ۱ صحیح می باشد.

$$C_{B_0} - C_B = 2(C_{A_0} - C_A) \Rightarrow 0.68 - C_B = 0.68 - 2C_A$$

$$C_B = 2C_A \quad \text{و} \quad -r_A = kC_A^{0.5}C_B \Rightarrow -r_A = kC_A^{0.5}(2C_A)$$

$$\frac{-dC_A}{dt} = 2kC_A^{1.5} \Rightarrow \int_{C_{A_0}}^{C_A} \frac{-dC_A}{C_A^{1.5}} = 2k \int_0^t dt \Rightarrow \frac{1}{\sqrt{C_A}} - \frac{1}{\sqrt{C_{A_0}}} = kt$$

۸- گزینه ۱ صحیح می باشد.

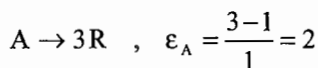


$$V = V_0(1 + \varepsilon_A X_A) \quad , \quad \varepsilon_A = \frac{(120) - (100)}{100} = 0.2$$

$$V = V_0(1 + 0.2 \times 0.5) = 1.1V_0$$

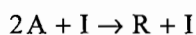
پس حجم مخلوط 10% افزایش یافته است.

۹- گزینه ۳ صحیح می باشد.



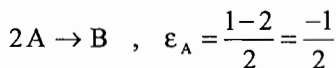
۱۰- گزینه ۴ صحیح می باشد.

چون خوراک شامل دو مول A و 1 مول گاز بی اثر (Inert) می باشد بنابراین می توان گفت:



$$\varepsilon_A = \frac{2-3}{3} = \frac{-1}{3}$$

۱۱- گزینه ۴ صحیح می باشد.



$$V = V_0(1 + \varepsilon_A X_A) \Rightarrow 0.9V_0 = V_0 \left(1 - \frac{1}{2} X_A\right) \Rightarrow X_A = 0.2$$

$$-\ln(1 - X_A) = k \cdot t$$

$$-\ln(1 - 0.2) = k \times 5 \Rightarrow k = 0.44 \text{ min}^{-1}$$

و از آن جا که واکنش مذکور درجه اول می باشد بنابراین:

۱۲- گزینه ۳ صحیح می باشد.

$$t = \frac{C_{A_0}^{1-n}}{(1-n)k} = \frac{(1)^{\frac{1}{2}}}{\frac{1}{2} \times 1} = 2 \text{ min}$$

۱۳ - گزینه ۳ صحیح می باشد.

چون واکنش  $A + 2B \rightarrow 2D$  ابتدایی می باشد، لذا می توان گفت درجه واکنش ۳ می باشد در این صورت:

$$-r_A = kC_A C_B^2$$

غلظت B در مقایسه با غلظت A خیلی زیاد است  $\left(\frac{C_B}{C_A} = 21\right)$  پس می توان غلظت B را تقریباً ثابت گرفت و نوشت:

$$-r_A = k' C_A \rightarrow -\ln(1 - 0.85) = k' t, \quad k' = k C_B^2 = 0.2$$

$$k = 0.0452 \text{ lit}^2 / \text{mol}^2 \cdot \text{min}$$

با قرار دادن  $C_B$  و  $C_A$  در رابطه فوق:

$$A \xrightleftharpoons[k_2]{k_1} R \quad \text{و} \quad \frac{k_1}{k_2} = \frac{50}{0.05} = 1000$$

۱۴ - گزینه ۱ صحیح می باشد.

لذا می توان واکنش مذکور را یک طرفه (برگشت ناپذیر) فرض کرد بنابراین:

$$-\ln(1 - X_A) = k_1 t \Rightarrow -\ln(1 - 0.8) = 50 \times t \Rightarrow t = 1.93 \text{ Sec} \cong 2 \text{ Sec}$$

$$t_f = \frac{C_{A_0}^{1-n}}{(1-n)k} \Rightarrow t_f = \frac{1}{\frac{1}{2} \times 1} = 2 \text{ min}$$

۱۵ - گزینه ۴ صحیح می باشد.

۱۶ - گزینه ۱ صحیح می باشد.

چون واکنش تبدیل R به S یک طرفه است، بنابراین غلظت R در حال تعادل (غلظت نهایی R) صفر خواهد بود.

۱۷ - گزینه ۳ صحیح می باشد.

چون در مورد واکنش درجه اول  $t_{\frac{1}{2}} = \frac{0.693}{k}$  می باشد

۱۸ - گزینه ۴ صحیح می باشد.

۱۹ - گزینه ۱ صحیح می باشد.

$$P_A = P_{A_0} - \frac{a}{\Delta n} (P_t - P_{t_0}) \Rightarrow P_A = 2 - \frac{2}{(1-2)} (1.5 - 2) = 1 \text{ atm}$$

$$C_{A_0} - C_A = kt \Rightarrow \frac{P_{A_0}}{RT} - \frac{P_A}{RT} = kt \Rightarrow k = 6.093 \times 10^{-3} \text{ mol/lit} \cdot \text{min}$$

۲۰ - گزینه ۱ صحیح می باشد.

$$A \xrightleftharpoons[k_2]{k_1} R + S \quad \text{و} \quad \frac{k_1}{k_2} = \frac{2}{0.05} = 40$$

از آن جا که کسر  $\frac{k_1}{k_2}$  خیلی بزرگ می باشد می توان واکنش مذکور را برگشت ناپذیر فرض کرد در این صورت:

$$-\ln(1 - X_A) = k_1 t \Rightarrow -\ln(1 - 0.5) = 2t \Rightarrow t = 0.346 \text{ min} = 20.7 \text{ Sec} \cong 21 \text{ Sec}$$



۲۱ - گزینه ۴ صحیح می باشد.

$$-r_A = \frac{0.2C_A}{1+C_A}$$

چون در ابتدای واکنش غلظت A زیاد می باشد پس در ابتدای واکنش  $-r_A = 0.2$  می گردد و چون در انتهای واکنش غلظت A کم می باشد پس در انتهای واکنش  $-r_A = 0.2C_A$  می گردد.

۲۲ - گزینه ۲ صحیح می باشد.

چون واکنش  $2A \rightarrow C$  از درجه دوم بوده و در فاز مایع صورت می گیرد ( $\epsilon_A = 0$ )

$$\frac{x_A}{1-x_A} = kC_{A_0}t \Rightarrow \frac{0.5}{1-0.5} = kC_{A_0} \times 6 \Rightarrow kC_{A_0} = \frac{1}{6}$$

بنابراین:

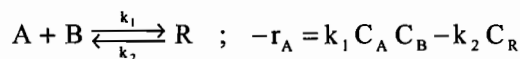
$$\frac{x_A}{1-x_A} = kC_{A_0}t \Rightarrow \frac{0.75}{1-0.75} = \frac{1}{6}t \Rightarrow t = 18 \text{ min}$$

۲۳ - گزینه ۴ صحیح می باشد.

$$A \rightleftharpoons R, \quad K = \frac{C_{R_e}}{C_{A_e}} = \frac{C_{R_0} + C_{A_0}x_{A_e}}{C_{A_0}(1-x_{A_e})} = \frac{C_{A_0}x_{A_e}}{C_{A_0}(1-x_{A_e})}$$

$$4 = \frac{x_{A_e}}{1-x_{A_e}} \Rightarrow x_{A_e} = 0.8$$

۲۴ - گزینه ۲ صحیح می باشد.



از آن جا که  $C_{A_0} - C_A = C_{B_0} - C_B$  می باشد لذا،  $C_A = C_B$  پس:

$$\left. \begin{aligned} -r_A &= k_1 C_A^2 - k_2 C_R \\ -r_A &= k_1 C_{A_0}^2 (1-X_A)^2 - k_2 C_{A_0} X_A \\ C_A &= 0.6, \quad X_A = 0.4 \end{aligned} \right\} \Rightarrow 0.16 = k_1 (1)^2 (1-0.4)^2 - k_2 (1)(0.4) \quad (1)$$

و در حالت تعادل چون  $X_{A_e} = 0.5$  می باشد لذا:

$$0.25k_1 = 0.5k_2 \Rightarrow k_1 = 2k_2 \quad (2)$$

از روابط (۱) و (۲) نتیجه می شود که:

$$k_2 = 0.5 \text{ min}^{-1}, \quad k_1 = 1 \text{ lit/mol.min}$$

۲۵ - گزینه ۴ صحیح می باشد.

چون درجه واکنش بزرگتر از واحد می باشد ( $n > 1$ )، بنابراین زمان پایان واکنش محدود نیست.

۲۶ - گزینه ۲ صحیح می باشد.

چون در واکنش درجه اول زمان نیمه عمر به صورت  $t_{\frac{1}{2}} = \frac{0.693}{K}$  می باشد.

۲۷ - گزینه ۱ صحیح می باشد.

سرعت زمانی حداکثر است که:

$$C_A = \frac{C_{A_0} + C_{R_0}}{2} = 1.1 \text{ mol/Lit}$$

۲۸ - گزینه ۴ صحیح می باشد.

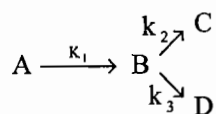
چون درجه واکنش مذکور بزرگتر از واحد می باشد، لذا واکنش در زمان محدود کامل نمی شود.

۲۹ -



هر دو گزینه ۲ و ۳ صحیح می باشند.

۳۰ -



$$r_B = k_1 C_A - (k_2 + k_3) C_B \Rightarrow r_B = 0.001 C_A - 0.005 C_B$$

از آن جا که:  $C_B = C_{A_0} k_1 \left( \frac{e^{-k_1 t}}{k_2 + k_3 - k_1} + \frac{e^{-k_2 t}}{k_2 + k_3 - k_1} \right)$  می باشد، بنابراین با قرار دادن اعداد مذکور در معادله فوق،

$C_B = 0.169 \text{ mol/lit}$  می گردد. لذا هیچ کدام از گزینه های مذکور جواب صحیح نمی باشند.

$$A = C_{A_0} X_A = C_R + C_S \Rightarrow C_R + C_S = 0.8$$

۳۱ - گزینه ۲ صحیح می باشد.

$$\frac{r_R}{r_S} = \frac{k_1}{k_2} \Rightarrow \frac{C_R - C_{R_0}}{C_S - C_{S_0}} = 1 \Rightarrow C_R = C_S \Rightarrow C_R = C_S = 0.4 \text{ mol/lit}$$

۳۲ - گزینه ۳ صحیح می باشد.

۳۳ - گزینه ۳ صحیح می باشد.

$$A \rightarrow 2R \Rightarrow \text{در حالت اول: } \varepsilon_A = \frac{2-1}{1} = 1 \text{ و } C_A = C_{A_0} \left( \frac{1-x_A}{1+\varepsilon_A x_A} \right)$$

$$1 = 4 \left( \frac{1-x_A}{1+x_A} \right) \Rightarrow x_A = 0.6, \quad -\ln(1-x_A) = kt$$

$$-\ln(1-0.6) = k \times 5 \Rightarrow k = 0.18325 \text{ min}^{-1}$$

$$C_A = C_{A_0} (1-x_A) \Rightarrow 1 = 4(1-x_A)$$

$$\Rightarrow x_A = 0.75, \quad -\ln(1-0.75) = 0.18325 t \Rightarrow t = 7.565 \text{ min}$$

اما در حالت دوم چون  $\varepsilon_A = 0$  می باشد بنابراین:

۳۴ - گزینه ۳ صحیح می باشد.

$$(2A \rightarrow \text{محصول}) \Rightarrow \frac{x_A}{1-x_A} = k C_{A_0} t$$

$$\frac{x_A}{1-x_A} = 0.012 \times 4 \times 60 \times 1 \Rightarrow x_A = 0.7422 \Rightarrow x_A = 74.22\%$$

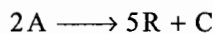
۳۵ - گزینه ۱ صحیح می باشد.

$$\varepsilon_A = \frac{\Delta n}{n_0} \times y_{A_0} \Rightarrow \varepsilon_A = \frac{-1}{2} \times 0.8 \Rightarrow \varepsilon_A = -0.4$$

$$0.8 V_0 = V_0 (1 - 0.4 x_A) \Rightarrow x_A = 0.5, \quad -\ln(1 - x_A) = k \times t$$

$$-\ln(1 - 0.5) = k \times 3 \Rightarrow k = 0.231 \text{ min}^{-1}$$

۳۶ - گزینه ۴ صحیح می باشد.



چون واکنش گازی درجه صفر می باشد:

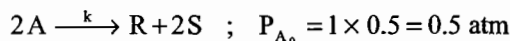
$$\frac{-dP_A}{dt} = 0.2 \Rightarrow \int_{P_{A_0}}^{P_A} -dP_A = 0.2 \int_0^t dt \Rightarrow P_{A_0} - P_A = 0.2 t$$

بنابراین:

$$2 - P_A = 0.2 \times 5 \Rightarrow P_A = 1 \text{ atm}$$

$$P_A = P_{A_0} - \frac{a}{\Delta n} (P_t - P_{t_0}) \Rightarrow 1 = 2 - \frac{2}{4} (P_t - 2) \Rightarrow P_t = 4 \text{ atm}$$

۳۷ - گزینه ۴ صحیح می باشد.

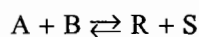


$$\frac{-dP_A}{dt} = 0.2 P_A^2 \Rightarrow \frac{-dP_A}{P_A^2} = 0.2 dt \Rightarrow \int_{P_{A_0}}^{P_A} \frac{-dP_A}{P_A^2} = 0.2 \int_0^t dt$$

$$\frac{1}{P_A} - \frac{1}{P_{A_0}} = 0.2 t \Rightarrow \frac{1}{P_A} - \frac{1}{0.5} = 0.2 \times 3 \Rightarrow P_A = 0.3846 \text{ atm}$$

$$P_A = P_{A_0} - \frac{a}{\Delta n} (P_t - P_{t_0}) \Rightarrow 0.3846 = 0.5 - \frac{2}{1} (P_t - 1) \Rightarrow P_t = 1.057 \text{ atm}$$

۳۸ - گزینه ۱ صحیح می باشد.



در حالت تعادل سرعت واکنش رفت و برگشت با یکدیگر برابر بوده لذا:

$$0.5 C_A C_B = 0.25 C_R C_S$$

$$C_A = C_B = C_{A_0} (1 - x_A)$$

$$C_R = C_S = C_{A_0} x_A$$

$$0.5 [C_{A_0} (1 - x_A)]^2 = 0.25 (C_{A_0} x_A)^2 \Rightarrow x_A = 0.585 \approx 0.59$$

اما چون  $\varepsilon_A = 0$  می باشد بنابراین:

۳۹ - گزینه ۴ صحیح می باشد.



$$C_A = 2(1 - 0.7) = 0.6, \quad C_{B_0} - C_B = 2(C_{A_0} - C_A) \Rightarrow C_B = 0.2 \text{ mol/lit}$$

$$K_C = \frac{C_C \cdot C_D}{C_A \cdot C_B^2} \Rightarrow K_C = \frac{(1.4)^2}{(0.6)(0.2)^2} = 81.666 \approx 82$$

بنابراین:

۴۰ - گزینه ۱ صحیح می باشد.

مشخص است که  $t_{\max} = \frac{1}{k_1}$  می باشد و می دانیم در حالتی که  $k_1 = k_2$  باشد  $t_{\max} = \frac{1}{k_1} = \frac{1}{k_2}$  پس در این تست:

$$k_1 = k_2 = 0.2 \text{ min}^{-1}$$

۴۱ - گزینه ۲ صحیح می باشد.

$$t_{\frac{1}{2}} = \frac{2^{n-1}}{k'(n-1)} C_{A_0}^{1-n} \Rightarrow \frac{t_{\frac{1}{2}}}{t'_{\frac{1}{2}}} = \left( \frac{C_{A_0}}{C'_{A_0}} \right)^{1-n}$$

$$\frac{12.2}{t'_{\frac{1}{2}}} = \left( \frac{2.5}{2 \times 2.5} \right)^{1-1.5} \Rightarrow t'_{\frac{1}{2}} = 8.626 \text{ min}$$

۴۲ - گزینه ۳ صحیح می باشد.

چون در مورد واکنش‌ها درجه اول زمان نیمه عمر برابر  $\frac{0.693}{k}$  می باشد و از آن جا که  $k$  فقط تابع دما می باشد بنابراین با افزایش فشار از 1 اتمسفر تا 3 اتمسفر، زمان نیمه عمر تغییری نمی کند.

۴۳ - گزینه ۱ صحیح می باشد.

۴۴ - گزینه ۴ صحیح می باشد.

$$A \rightarrow nR \quad ; \quad -\ln(1-x_A) = kt$$

$$-\ln(1-0.8) = k_1 \times 30 \Rightarrow k_1 = 0.0564 \text{ min}^{-1}$$

$$-\ln(1-0.9) = k_2 \times 30 \Rightarrow k_2 = 0.76752 \text{ min}^{-1}$$

اکنون اگر از تئوری آرنیوسی استفاده کنیم در این صورت:

$$\ln\left(\frac{k_2}{k_1}\right) = \frac{-E}{R} \left( \frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1} \right) \Rightarrow \ln\left(\frac{0.76752}{0.0564}\right) = \frac{-3000}{1.987} \left( \frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1} \right) \xrightarrow{T_1=373K} T_2 = 409.3K = 136.2^\circ C$$

۴۵ - گزینه ۲ صحیح می باشد.

۴۶ - گزینه ۳ صحیح می باشد.

در لحظات پایانی واکنش  $K_2 C_A \ll 1$  بوده و  $-r_A = K_1 C_A$  و لذا در لحظات پایانی انرژی اکتیواسیون برابر 18000 می باشد.

۴۷ - گزینه ۴ صحیح می باشد.

$$-r_A = \frac{kC_{E_0} C_A}{M + C_A} \Rightarrow (-r_A)_{\max} = kC_{E_0}$$

۴۸ - گزینه ۴ صحیح می باشد.

$$-r_A = \frac{kC_{E_0} C_A}{M + C_A} \quad ; \quad -r_A = \frac{(-r_A)_{\max}}{2} = \frac{kC_{E_0}}{2}$$

$$\frac{kC_{E_0}}{2} = \frac{kC_{E_0} C_A}{M + C_A} \Rightarrow C_A = M = \text{ثابت}$$

$$-r_A = \frac{-dC_A}{dt} = \frac{200 C_A C_{E_0}}{2 + C_A} \Rightarrow \frac{-(2 + C_A) dC_A}{C_A} = 200 C_{E_0} dt$$

۴۹ - گزینه ۳ صحیح می باشد.

$$-2 \int_{C_{A_0}}^{C_{Af}} \frac{dC_A}{C_A} - \int_{C_{A_0}}^{C_{Af}} dC_A = 200 C_{E_0} \int_0^t dt \Rightarrow -2 \ln \frac{C_{Af}}{C_{A_0}} - (C_{Af} - C_{A_0}) = 200 C_{E_0} t \longrightarrow t = 109.8 \text{ (min)}$$

۵۰ - گزینه ۴ صحیح می باشد.

$$-r_A = \frac{kC_{E_0}C_A}{M+C_A} ; M \gg C_A \Rightarrow -r_A = \frac{kC_{E_0}C_A}{M}$$

۵۱ - گزینه ۴ صحیح می باشد.

$$-r_A = \frac{kC_{E_0}C_A}{M+C_A} \Rightarrow 0.1 = \frac{k \times 0.01 \times 1}{M+1} \Rightarrow k = 10(M+1)$$

$$\frac{-dC_A}{dt} = \frac{kC_{E_0}C_A}{M+C_A} \Rightarrow -M \ln C_A + C_A \Big|_1^{0.5} = kC_{E_0} t_{\frac{1}{2}} \Rightarrow M \cong 0.2 , k = 12$$

$$-r_A = \frac{0.12C_A}{0.2+C_A}$$

۵۲ - گزینه ۴ صحیح می باشد.

$$t_f = \frac{C_{A_0}^{1-n}}{(1-n)k} \Rightarrow t_f = \frac{1^{\frac{1}{2}}}{\left(\frac{1}{2}\right) \times 1} = 2 \text{ min}$$

۵۳ - گزینه ۴ صحیح می باشد.

۵۴ - گزینه ۴ صحیح می باشد.

برای یک واکنش درجه اول با حجم ثابت، معادله سرعت واکنش برابر است با:

$$-\ln \frac{C_A}{C_{A_0}} = kt \Rightarrow -\ln \frac{3}{4} = kt \Rightarrow t = \frac{\ln\left(\frac{4}{3}\right)}{k}$$

۵۵ - گزینه ۱ صحیح می باشد.

$$-r_A = \left(\frac{k}{2}\right)C_A \Rightarrow \frac{-dC_A}{dt} = \frac{k}{2}C_A \Rightarrow \frac{C_A}{C_{A_0}} = e^{-\frac{kt}{2}}$$

۵۶ - گزینه ۱ صحیح می باشد.

اگر سرعت واکنش را به صورت  $-r_A = kC_A^n$  در نظر بگیریم:

$$\left(\frac{-r'_A}{-r_A}\right) = \left(\frac{C'_A}{C_A}\right)^n \longrightarrow \frac{10}{5} = \left(\frac{1}{0.1}\right)^n \longrightarrow 2 = 10^n \longrightarrow n = \frac{1}{3}$$

۵۷ - گزینه ۴ صحیح می باشد.

واکنش های مواد رادیو اکتیو عموماً درجه اول فرض می شوند:

$$t_{\frac{1}{2}} = \frac{0.69}{k} , t_{\frac{1}{2}} = \frac{76}{60} = 1.266 \text{ hr}^{-1} \rightarrow k = 0.545$$

$$-\ln(1-x_A) = kt \rightarrow -\ln(1-x_A) = 0.545 \times 24$$

$$\rightarrow x_A = 0.9999 \text{ یا } 99.99\%$$

$$-r_A = k C_A^\alpha C_B^\beta = k C_A^{\alpha+\beta} = k C_A^n, \quad t_{1/2} \propto C_A^{1-n}$$

۵۸ - گزینه ۳ صحیح می باشد.

$$\frac{t_{1/2}}{t'_{1/2}} = \left( \frac{C_{A_0}}{C'_{A_0}} \right)^{1-n} \rightarrow \frac{5}{500} = \left( \frac{1}{0.1} \right)^{1-n} \rightarrow n = 3$$

۵۹ - گزینه ۳ صحیح می باشد.

برای یک واکنش درجه n می توان نوشت:

$$\frac{C_{A_0}^{1-n} - C_A^{1-n}}{1-n} = kt \rightarrow \frac{1 - C_A^{0.4}}{0.4} = 5 \rightarrow C_A < 0$$

علامت منفی نشان می دهد که ماده A در ظرف تمام شده است.

۶۰ - گزینه ۳ صحیح می باشد.

۶۱ - گزینه ۴ صحیح می باشد.

$$-r_A = k_c C_A^3 \rightarrow \frac{-dC_A}{dt} = k C_A^3 \rightarrow -\frac{dC_A}{C_A^3} = k dt \rightarrow \frac{1}{C_A^2} - \frac{1}{C_{A_0}^2} = 2k t$$

$$C_A = \frac{N_A}{V}, \quad C_{A_0} = \frac{N_{A_0}}{V}$$

پس از جای گذاری خواهیم داشت:

$$t = \frac{V^2}{2k} \left[ \left( \frac{1}{N_A} \right)^2 - \left( \frac{1}{N_{A_0}} \right)^2 \right]$$

۶۲ - گزینه ۴ صحیح می باشد.

$$\ln \frac{C_A}{C_{A_0}} = -k t \rightarrow \ln \frac{1}{10^4} = -0.3 t \rightarrow t = 30 \text{ min}$$

۶۳ - گزینه ۱ صحیح می باشد.

$$-r_A = k_1 C_A C_R, \quad r_R = k_2 C_A C_R$$

$$k_1 C_A C_R = k_2 C_A C_R \rightarrow k_1 = k_2$$

۶۴ - گزینه ۴ صحیح می باشد.

$$\varepsilon_A = \frac{3-1}{1} = 2, \quad C_A = C_{A_0} \left( \frac{1-x_A}{1+\varepsilon_A x_A} \right)$$

$$C_A = 0.01, \quad C_{A_0} = 0.8 \rightarrow 0.01 = 0.8 \left( \frac{1-x_A}{1+2x_A} \right) \rightarrow x_A = 0.96 \text{ یا } 96\%$$

۶۵ - گزینه ۴ صحیح می باشد.

$$t = - \int_{C_{A0}}^{C_A} \frac{dC_A}{-r_A} = - \int_{1.2}^{0.4} \frac{dC_A}{-r_A} = \int_{0.4}^{1.2} \frac{dC_A}{-r_A}$$

$$t = \frac{0.4}{3} \left[ \frac{1}{0.008} + \frac{4}{0.001} + \frac{1}{0.0015} \right] = 789 \text{ Sec}$$

۶۶ - گزینه ۱ صحیح می باشد.

$$K_e = \frac{C_{Re}^2}{C_{Ae}^2} = \frac{C_{A0}^2 x_{Ae}^2}{C_{A0}^2 (1 - x_{Ae})^2} = \frac{x_{Ae}^2}{(1 - x_{Ae})^2}$$

$$K_e = \frac{0.67^2}{(1 - 0.67)^2} = 4.12$$

۶۷ - گزینه ۲ صحیح می باشد.

$$C_{A0} - C_A = \frac{C_{B0} - C_B}{2} \rightarrow 100 - C_A = \frac{100 - 20}{2}$$

$$C_A = 60 \rightarrow x_A = 1 - \frac{60}{100} = 0.4$$

۶۸ - گزینه ۱ صحیح می باشد.

$$(-r_A) = k_1 C_A + k_2 C_A C_C = (k_1 + k_2 C_C) C_A$$

$$\frac{(-r_A)_2}{(-r_A)_1} = \frac{k_1 + k_2 C_{C2}}{k_1 + k_2 C_{C1}} \rightarrow 1.5 = \frac{k_1 + 2k_2}{k_1 + k_2} \rightarrow k_1 = k_2$$

۶۹ - گزینه ۲ صحیح می باشد.

$$-r_A = k C_A C_B \xrightarrow{\frac{C_{A0} = C_{B0} = 0.1}{C_A = C_B}} -r_A = k C_A^2 \rightarrow \frac{1}{C_A} - \frac{1}{C_{A0}} = k t$$

$$\frac{1}{C_{A0}(1 - x_A)} = k t \rightarrow t = \frac{x_A}{k C_{A0}(1 - x_A)}$$

$$t = \frac{0.8}{4 \times 0.1(1 - 0.8)} = \frac{0.8}{4 \times 0.1 \times 0.2} = 10 \text{ min}$$

۷۰ - گزینه ۲ صحیح می باشد.

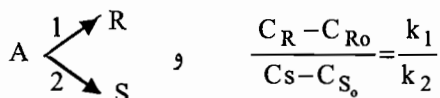
$$\tau_m = \frac{C_{A0} x_A}{k C_{A0} (1 - x_A) (C_{R0} + C_{A0} x_A)^2} \xrightarrow{C_{R0} = 0} \tau_m = \frac{C_{A0} x_A}{k C_{A0} (1 - x_A) (C_{A0} x_A)^2}$$

$$\tau_m = \frac{1}{k C_{A0}^2 (1 - x_A) x_A} \rightarrow \frac{\partial \tau_m}{\partial x_A} = 0 \rightarrow \frac{\partial \left[ \frac{1}{x_A (1 - x_A)} \right]}{\partial x_A} = 0$$

$$\rightarrow \frac{(1-x_A)^{-x_A}}{[x_A(1-x_A)]^2} = 0 \rightarrow x_A = \frac{1}{2}$$

۷۱ - گزینه ۱ صحیح می باشد.

چنانچه واکنشها را ابتدایی فرض کنیم خواهیم داشت:



چون  $C_{R0} = C_{S0} = 0$  پس باید  $\frac{C_R}{C_S} = \frac{k_1}{k_2}$  باشد که فقط با گزینه ۱ تطبیق دارد:

۱ آزمایش:  $\frac{C_R}{C_S} = \frac{k_1}{k_2} \rightarrow \frac{3}{2} = \frac{k_1}{k_2} \rightarrow \frac{k_2}{k_1} = \frac{2}{3}$

۲ آزمایش:  $\frac{C_R}{C_S} = \frac{k_1}{k_2} \rightarrow \frac{9}{6} = \frac{k_1}{k_2} \rightarrow \frac{k_2}{k_1} = \frac{2}{3}$

۷۲ - گزینه ۳ صحیح می باشد.

چون واکنش با A خالص آغاز شده است:

$$\frac{k_2}{k'_2} = \frac{M + x_{Ae}}{1 - x_{Ae}}$$

$$M = \frac{C_{B_0}}{C_{A_0}} = 0$$

$$\frac{k_2}{k'_2} = \frac{x_{Ae}}{1 - x_{Ae}} = \frac{0.6}{1 - 0.6} = \frac{3}{2} = 1.5 \rightarrow k_2 = 1.5k'_2$$

۷۳ - گزینه ۴ صحیح می باشد.

برای واکنشهای با درجه بزرگتر از ۱، ( $n > 1$ )، واکنش هیچگاه تمام نمی شود و برای رسیدن به ۱۰۰٪ تبدیل A، بی نهایت زمان لازم است.

۷۴ - گزینه ۲ صحیح می باشد.

$$-r_A = k_1 C_A - k_2 C_B = C_A - C_B = C_{A0}(1 - x_A) - C_{A0} x_A = C_{A0}(1 - 2x_A)$$

$$\tau = \frac{x_A C_{A0}}{-r_A} = \frac{x_A C_{A0}}{(1 - 2x_A) C_{A0}} = \frac{x_A}{1 - 2x_A}$$

$$0.5 = \frac{x_A}{1 - 2x_A} \rightarrow x_A = 0.25$$

$$K = \frac{k_1}{k_2} = \frac{C_{Bc}}{C_{Ac}} = \frac{C_{A0} x_{Ae}}{C_{A0}(1 - x_{Ae})} = \frac{x_{Ae}}{1 - x_{Ae}} = 1 \Rightarrow x_{Ae} = 0.5$$

$$\frac{x_A}{x_{Ae}} = \frac{0.25}{0.5} = 0.5 = 50\%$$



## فصل سوم

### مقدمات طراحی راکتور

#### مقدمه

معادله سرعت ترکیب‌شونده یا سازنده  $i$  ام یک مقیاس (متمرکز) intensive بوده و سرعت تشکیل یا از بین رفتن آن را در یک محیط مشخص و به صورت تابعی از شرایط به دست می‌دهد. در طراحی راکتور می‌خواهیم بدانیم برای یک عمل مشخص چه نوع راکتور و چه اندازه‌ای باید انتخاب نمود و نیز روش به کار بستن آن چگونه است. برای این مهم لازم است ابتدا انواع راکتورها و معادلات حاکم بر آن‌ها بررسی شود. توجه شود که راکتورهایی که در صنعت استفاده می‌گردد سه دسته می‌باشند؛

۱- راکتورهای ناپیوسته (Batch)

۲- راکتورهای نیمه پیوسته (Semi batch)

۳- راکتورهای حالت جاری یا پیوسته (Continuous)

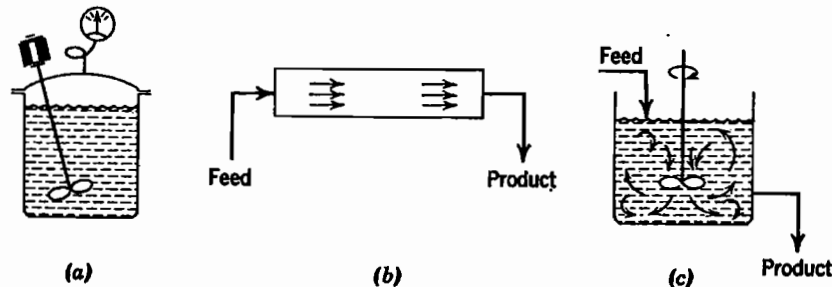
اکنون به طور مختصر زمینه‌های اصلی کاربرد این قبیل راکتورها را توضیح می‌دهیم. راکتور ناپیوسته ساده بوده و احتیاج به وسایل کمکی و اضافی ندارد. بنابراین برای مطالعات سرعت‌های واکنش در مقیاس کوچک بسیار مطلوب است. در صنعت زمانی مورد استفاده قرار می‌گیرد که مواد کمی مورد استفاده باشد. راکتورهای جاری یا حالت پایدار در صنایع وقتی بخواهند مقادیر زیادی از مواد را مورد عمل قرار دهند و سرعت واکنش نیز تقریباً زیاد تا بسیار سریع باشد به کار برده می‌شود. دستگاه‌های کمکی زیادی مورد احتیاج است. در این حالت کنترل مرغوبیت محصولات واکنش امکان‌پذیر است. این نوع راکتور بیش‌تر در صنایع نفت مورد استفاده قرار می‌گیرد.

راکتورهای نیمه پیوسته انعطاف‌پذیر هستند، ولی تفسیر نتایج حاصل از آن‌ها دشوارتر از انواع دیگر می‌باشد. به وسیله این قبیل راکتورها می‌توان سرعت واکنش را کنترل کرد، زیرا فعل و انفعال ضمن افزودن ترکیب‌شوندگان آن جام می‌گیرد.

در راکتور Batch شکل (۳-۱-a)، ترکیب‌شوندگان را که ابتدا وارد ظرف کرده‌اند به شدت مخلوط کرده و می‌گذارند تا عمل ترکیب به مدت معینی آن جام گیرد، سپس مخلوط حاصل را تخلیه می‌نمایند. این عمل غیر مداوم بوده و غلظت اجسام با زمان تغییر می‌کند.

راکتورهای جاری یا به صورت Plug flow می‌باشند و یا به صورت mixed flow. راکتور Plug که آن را گاهی راکتور پیستونی، حلزونی، لوله‌ای کامل می‌نامند در شکل (۳-۱-b) نشان داده شده است. در راکتورهای Plug جریان به صورت قالبی می‌باشد. یعنی زمان اقامت (residence time) برای تمام اجزای سیال یکسان است و این یک شرط لازم و کافی است، به عبارت دیگر در جریان

Plug هیچ نوع اختلاط در مسیر جریان اتفاق نمی‌افتد. نوع دیگر راکتورهای به نام mixed یا CSTR معروف است. در این راکتور محتویات راکتور به خوبی مخلوط شده و در تمام راکتور به صورت یکنواخت در می‌آید، بنابراین در یک راکتور mixed ترکیب نسبی جریان خروجی از راکتور با سیال موجود در آن یکسان است. شکل ساده این راکتور در (c-1-3) نشان داده شده است.



شکل (۳-۱): انواع راکتورهای ایده آل الف) راکتور ناپیوسته ب) راکتور لوله‌ای ج) راکتور مخلوط شونده

در مطالبی که بعد از این ذکر خواهد شد، منظور از  $V$ ، که اصطلاحاً حجم راکتور خوانده می‌شود، حجم سیال موجود در آن می‌باشد و در راکتورهای محتوی کانالیزور اگر فضای تهی موجود را با  $\epsilon$  نشان دهیم خواهیم داشت:

$$V = \epsilon V_r \quad (3-1)$$

### راکتور ناپیوسته یا Batch

نظر به این که در راکتور batch ورودی و خروجی نداریم:

تجمع A در راکتور = سرعت از بین رفتن A توسط واکنش

$$(-r_A)V = \frac{dN_A}{dt} = \frac{d[N_{A_0}(1-x_A)]}{dt} = -N_{A_0} \frac{dx_A}{dt}$$

$$t = N_{A_0} \int_0^{x_A} \frac{dx_A}{(-r_A)V} \quad (3-2)$$

این یک معادله کلی بوده و زمان لازم را برای حصول درجه تبدیل  $x_A$  در یک راکتور batch در یک واکنش ایزوترمال و یا غیر ایزوترمال نشان می‌دهد.

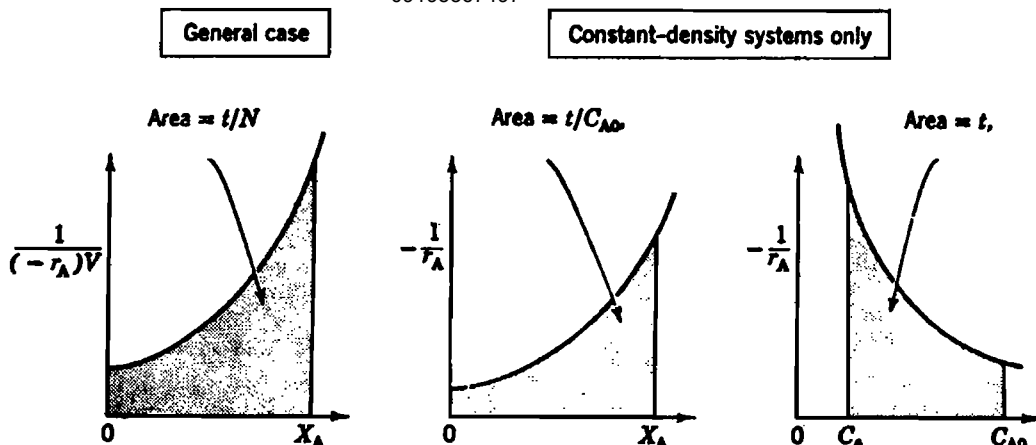
در صورتی که جرم ویژه سیال ثابت بماند خواهیم داشت:

$$t = C_{A_0} \int_0^{x_A} \frac{dx_A}{(-r_A)} = - \int_{C_{A_0}}^{C_A} \frac{dC_A}{(-r_A)} \quad (3-3)$$

این معادله نشان می‌دهد سطح زیر منحنی  $\left(\frac{1}{-r_A}\right)$  بر حسب  $x_A$  برابر با  $\frac{t}{C_{A_0}}$  می‌باشد. این مطلب در شکل (۳-۲) نشان داده شده است.

برای واکنش‌هایی که در فاز گاز صورت گرفته و در آن‌ها تغییر جرم اتفاق می‌افتد، معادله (۳-۳) را می‌توان به شکل زیر نوشت:

$$t = C_{A_0} \int_0^{x_A} \frac{dx_A}{(-r_A)(1+\epsilon_A x_A)} \quad (3-4)$$



شکل (۲-۳): شکل عمومی معادلات راکتورهای batch در عمل ایزوترمال و غیر ایزوترمال در واکنش‌های فاز گاز

زمان پرشدن (Space-time,  $\tau$ ) و سرعت پر شدن (Space-velocity,  $S$ )

همان طوری که زمان واکنش  $t$  مقیاس طبیعی اندازه‌گیری سرعت تحول در یک راکتور batch می‌باشد، زمان پر شدن و سرعت پر شدن نیز مقیاس‌های مناسب اندازه‌گیری در راکتورهای جاری می‌باشند این دو کمیت به صورت زیر تعریف می‌شوند:

$$\tau = \frac{1}{S} = \text{time} = \text{زمان لازم برای آن جام تغییرات مورد نظر در خوراک به میزانی برابر حجم راکتور}$$

$$S = \frac{1}{\tau} = \text{time}^{-1} = \text{چند برابر حجم راکتور از خوراک که در واحد زمان مورد عمل قرار می‌گیرد}$$

طبق تعاریف بالا سرعت پر شدن برابر  $4 \text{hr}^{-1}$  یعنی در یک ساعت چهار برابر حجم راکتور از خوراک در شرایط معلوم وارد راکتور می‌شود و زمان پر شدن دو دقیقه، یعنی در هر دو دقیقه مقداری از خوراک برابر با حجم راکتور در شرایط معلوم مورد عمل قرار می‌گیرد. اگر برای محاسبه این مقادیر مبنا را همان حالت ورودی به داخل راکتور فرض نماییم:

$$\tau = \frac{1}{S} = \frac{C_{A_0} V}{F_{A_0}} = \frac{V}{v_0} \quad (3-5)$$

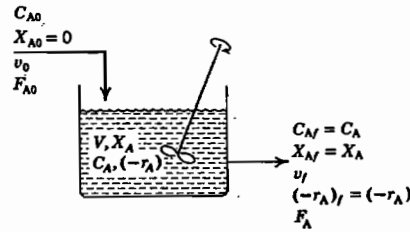
که در این فرمول  $F_{A_0}$  برابر مول ورودی در واحد زمان است و  $v_0$  شدت جریان حجمی خوراک ورودی است.

رابطه بین سرعت پر شدن و زمان پر شدن برای شرایط ورودی و شرایط استاندارد (که به وسیله پریم مشخص می‌شود) به صورت زیر است:

$$\frac{\tau'}{\tau} = \frac{C'_{A_0}}{C_{A_0}} \quad (3-6)$$

## راکتور مخلوط کننده مداوم با حالت پایدار

بنابر موازنه جرم در این نوع راکتور می‌توان نوشت:



شکل (۳-۳): علایم اختصاری برای مشخصات یک راکتور mixed

تجمع + از بین رفتن در اثر واکنش + خروجی = ورودی

$$F_{A_0} = F_{A_0}(1 - x_A) + (-r_A)V + 0$$

$$F_{A_0} x_A = (-r_A)V \rightarrow \tau = \frac{V}{v_0} = \frac{VC_{A_0}}{F_{A_0}} = \frac{C_{A_0} x_A}{-r_A} \quad (3-7)$$

اگر  $i$  شرایط ورودی به راکتور و  $f$  شرایط خروجی باشد:

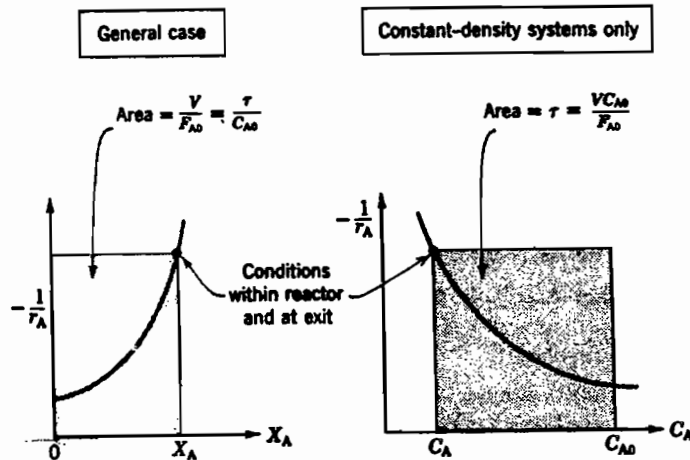
$$\frac{V}{F_{A_0}} = \frac{\Delta x_A}{(-r_A)_f} = \frac{x_{Af} - x_{Ai}}{(-r_A)_f} \quad (3-8)$$

$$\tau = \frac{VC_{A_0}}{F_{A_0}} = \frac{C_{A_0}(x_{Af} - x_{Ai})}{(-r_A)_f} \quad (3-9)$$

در موارد خاصی که با سیستم‌های جرم ویژه ثابت سرو کار باشد:

$$x_A = 1 - \frac{C_A}{C_{A_0}} \rightarrow \tau = \frac{V}{v_0} = \frac{C_{A_0} x_A}{-r_A} = \frac{C_{A_0} - C_A}{-r_A} \quad (3-10)$$

در هر یک از معادلات بالا با داشتن  $(-r_A)$  برای هر میزان تبدیل می‌توان حجم راکتور مورد نیاز را محاسبه نمود. توجه شود که معادلات نوشته شده برحسب درجه تبدیل برای سیستم‌هایی که جرم ویژه متغیر دارند بسیار مطلوب‌است حال آن‌که در مورد سیستم‌های با جرم ویژه ثابت میزان استفاده از هر دو شکل یکسان خواهد بود. در شکل (۳-۴) نمایش ترسیمی معادلات (۳-۷) و (۳-۱۰) نشان داده شده است.



شکل (۳-۴): نمایش ترسیمی معادلات حاکم بر راکتورهای mixed

واکنش درجه ۱ فاز مایع در راکتور mixed :

$$C_A = C_{A_0}(1 - x_A) \quad , \quad \varepsilon_A = 0 \longrightarrow k\tau = \frac{x_A}{1 - x_A} = \frac{C_{A_0} - C_A}{C_A} \quad (3-11)$$

واکنش درجه ۱ فاز گاز در راکتور mixed :

$$V = V_0(1 + \varepsilon_A x_A) \quad , \quad C_A = C_{A_0} \left( \frac{1 - x_A}{1 + \varepsilon_A x_A} \right) \longrightarrow k\tau = \frac{x_A}{1 - x_A} (1 + \varepsilon_A x_A) \quad (3-12)$$

مثال: مقدار یک لیتر در دقیقه از یک خوراک مایع که محتوی اجسام A و B می باشد (C<sub>B<sub>0</sub></sub> = 0.09 mol/lit , C<sub>A<sub>0</sub></sub> = 0.1 mol/lit) وارد یک راکتور مخلوط کننده به حجم ۱ لیتر می گردد. اجسام به شکل پیچیده ای با یکدیگر ترکیب می شوند که معادلات شیمیایی مربوطه در دست نیست. جریان خروجی از راکتور محتوی A و B و C می باشد. C<sub>Bf</sub> = 0.03 mol/lit و C<sub>Af</sub> = 0.02 mol/lit و C<sub>Cf</sub> = 0.04 mol/lit سرعت های ترکیب A و B و C را در شرایط داخل راکتور به دست آورید ؟

حل: با توجه به این که جرم ویژه ثابت است و ε<sub>A</sub> = 0 :

$$-r_A = \frac{C_{A_0} - C_A}{\tau} \quad \text{و} \quad -r_B = \frac{C_{B_0} - C_B}{\tau} \quad \text{و} \quad -r_C = \frac{C_{C_0} - C_C}{\tau} \quad \text{و} \quad \tau = \frac{V}{v_0} = 1 \text{ min}$$

$$\rightarrow -r_A = 0.08 \text{ mol/lit.min} \quad \text{و} \quad -r_B = -0.02 \text{ mol/lit.min} \quad \text{و} \quad -r_C = -0.04 \text{ mol/lit.min}$$

بنابراین A و B بتدریج از بین می روند حال آن که C بوجود می آید.

مثال: واکنش گازی A → 2.5R در یک راکتور مخلوط شونده (mixed) آن جام می گیرد. اگر غلظت ماده اولیه C<sub>A<sub>0</sub></sub> = 1  $\frac{\text{mole}}{\text{lit}}$  و معادله سرعت C<sub>A</sub> = (10 min<sup>-1</sup>) C<sub>A</sub> - r<sub>A</sub> باشد ، حجم راکتور مورد نیاز برای به دست آوردن ۸۰٪ تبدیل ماده A ، چند لیتر است ؟

۸۸ (۴)

۴۴ (۳)

۳۵ (۲)

۲۲ (۱)

حل: با فرض این که واکنش درجه اول باشد :

$$\varepsilon = \frac{2.5 - 1}{1} = 1.5$$

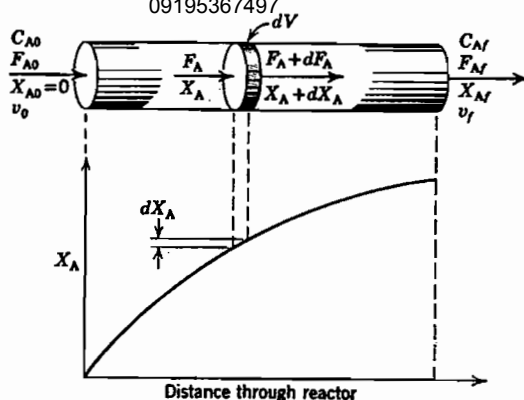
$$\tau_m = \frac{C_{A_0} x_A}{k C_{A_0} \left( \frac{1 - x_A}{1 + \varepsilon_A x_A} \right)} \rightarrow k \tau_m = \frac{x_A}{\frac{1 - x_A}{1 + \varepsilon_A x_A}} = \frac{0.8}{\frac{0.2}{1 + (1.5 \times 0.8)}} = 8.8$$

$$\tau_m = 0.88 \text{ min} , \tau_m = \frac{C_{A_0} V_m}{F_{A_0}} = 0.88 \Rightarrow V_m = 88 \text{ lit}$$

راکتور Plug در حالت پایدار

در شکل (۳-۵) یک راکتور Plug مشاهده می گردد. با توجه به این که در این نوع راکتور ترکیب نسبی سیال در مسیر جریان در حال تغییر است موازنه را برای جزو حجمی dV خواهیم نوشت :

پارسه ماهان سنجش  
www.arshd87.blogfa.com  
09195367497



شکل (۳-۵): علایم اختصاری برای راکتور Plug

تجمع + از بین رفتن در اثر واکنش + خروجی = ورودی

ورودی =  $F_A$  , moles / time

خروجی =  $F_A + dF$  , moles / time

واکنش در اثر بین رفتن  $= (-r_A) dV$  moles / time

با قرار دادن این سه جمله در معادله مربوط به موازنه جرم خواهیم داشت:

$$F_A = (F_A + dF_A) + (-r_A) dV$$

$$dF_A = d[F_{A_0} (1 - X_A)] = -F_{A_0} dx_A$$

از طرفی داریم:

$$F_{A_0} dx_A = (-r_A) dV$$

$$\frac{V}{F_{A_0}} = \frac{\tau}{C_{A_0}} = \int_0^{x_{Af}} \frac{dx_A}{-r_A} \quad \text{یا} \quad \tau = \frac{V}{v_0} = C_{A_0} \int_0^{x_{Af}} \frac{dx_A}{-r_A} \quad (3-13)$$

توجه شود که در راکتور Plug،  $r_A$  تغییر می‌نماید حال آن‌که در راکتور mixed،  $r_A$  ثابت است.

در صورتی که خوراک ورودی به راکتور Plug قبلاً به میزان کمی تبدیل یافته باشد، و شرایط ورودی را با  $i$  و شرایط خروجی را با  $f$  نمایش دهیم، خواهیم داشت:

$$\frac{V}{F_{A_0}} = \int_{x_{Ai}}^{x_{Af}} \frac{dx_A}{-r_A} \quad (3-14)$$

$$\tau = \frac{V}{v_0} = C_{A_0} \int_{x_{Ai}}^{x_{Af}} \frac{dx_A}{-r_A} \quad (3-15)$$

برای حالت خاصی که جرم ویژه سیستم ثابت باشد داریم:

$$\tau = \frac{V}{v_0} = C_{A_0} \int_0^{x_{Af}} \frac{dx_A}{-r_A} = - \int_{C_{A_0}}^{C_{Af}} \frac{dc_A}{-r_A} \quad (3-16)$$

### حالت‌های خاص:

#### واکنش درجه صفر با $\varepsilon_A$ ثابت در راکتور Plug:

با جای گذاری  $-r_A = k$  در رابطه (۳-۱۳) می‌توان نوشت:

$$k\tau = \frac{kC_{A_0}V}{F_{A_0}} = C_{A_0}x_A \quad (3-17)$$

#### واکنش درجه یک برگشت‌ناپذیر ( $A \rightarrow \text{Product}$ ) و با $\varepsilon_A$ ثابت در راکتور Plug

$$k\tau = -(1 + \varepsilon_A) \ln(1 - x_A) - \varepsilon_A x_A \quad (3-18)$$

با مقایسه روابط مربوط به راکتورهای batch و معادلات مربوط به راکتور Plug خواهیم دید که:

۱- برای سیستم‌های با جرم ویژه ثابت (راکتور batch با حجم ثابت و راکتور Plug با جرم ویژه ثابت) معادلات عملکرد کاملاً یکسان هستند و  $\tau$  در مورد راکتورها Plug، معادل با  $t$  برای راکتور batch بوده و روابط موجود را می‌توان به‌جای یکدیگر به‌کار برد.

۲- برای سیستم‌های با جرم ویژه متغیر رابطه مستقیمی بین معادلات راکتورهای batch و Plug وجود ندارد.

### زمان باقی ماندن و زمان پر شدن در سیستم‌های جاری

در یک راکتور mixed زمان پر شدن بنا به تعریف عبارت است از:

$$\tau_{\text{mixed}} = \frac{V}{v_0} \quad (3-19)$$

که  $V$  حجم راکتور و  $v_0$  شدت جریان حجمی می‌باشد. در این حالت زمان باقی ماندن یا زمان متوسط اقامت عبارت است:

$$\bar{t}_{\text{mixed}} = \frac{V}{v_f} \quad (3-20)$$

در حالت جرم ویژه ثابت که اکثراً در فاز مایع اتفاق می‌افتد زمان باقی ماندن و زمان پر شدن برابرند. اگر جرم ویژه متغیر باشد در این صورت:

$$\bar{t}_{\text{mixed}} = \frac{V}{v_f} = \frac{V}{v_0(1 + \varepsilon_A x_A)} \quad (3-21)$$

نکته: تغییر حجم در راکتور Plug نه بلافاصله پس از ورود به راکتور و نه به‌طور ناگهانی در ضمن خروج صورت می‌گیرد بنابراین  $\bar{t}_{\text{Plug}}$  مقداری بین  $\tau_{\text{Plug}}$  و  $\bar{t}_{\text{mixed}}$  خواهد بود.

مثال: محلول ترکیب‌شونده  $A$  به غلظت  $C_{A_0} = 1 \frac{\text{mole}}{\text{lit}}$  و شدت جریان  $10 \frac{\text{mole}}{\text{min}}$  وارد یک راکتور لوله‌ای (Plug) می‌شود. اگر

درصد تبدیل 60% باشد، زمان پر شدن برای راکتور چند دقیقه است؟ (واکنش به صورت  $A \rightarrow 2R$  و معادله سرعت آن

$$-r_A = 2C_A^{0.5} \text{ (می‌باشد)}$$

0.37 (۴)

0.27 (۳)

0.74 (۲)

0.54 (۱)

حل: گزینه ۴ صحیح می‌باشد.

$$\tau_P = C_{A_0} \int_0^{x_A} \frac{dx_A}{-r_A}$$

از آن جا که  $\varepsilon_A = 0$  پس:  $C_A = C_{A_0}(1 - x_A)$  بنابراین:

$$\tau_P = \int_0^{0.6} \frac{dx_A}{2C_{A_0}^{0.5}(1-x_A)^{0.5}} = -(1-x_A)^{0.5} \Big|_0^{0.6} = 0.37 \text{ min}$$

**مثال:** برای تبدیل 99 درصد A در واکنش گازی  $A \rightarrow R$  حجم راکتور لوله‌ای مورد نیاز 32 لیتر است. اگر واکنش درجه اول باشد حجم راکتور لازم برای استوکیومتری واقعی  $A \rightarrow 3R$  عبارت خواهد بود از:

(۱) 41 لیتر      (۲) 82 لیتر      (۳) 123 لیتر      (۴) 164 لیتر

**حل:** گزینه ۲ صحیح می‌باشد.

در حالت اول:  $\varepsilon_A = 0$  ( $A \rightarrow R$ )

$$\tau = \frac{C_{A_0} V}{F_{A_0}} = C_{A_0} \int_0^{x_A} \frac{dx_A}{-r_A} = C_{A_0} \int_0^{x_A} \frac{dx_A}{kC_{A_0}(1-x_A)}$$

$$k\tau = -\ln(1-x_A) \rightarrow k\tau = 4.605$$

در حالت دوم:  $\varepsilon_A = \frac{3-1}{1} = 2$  ( $A \rightarrow 3R$ )

$$\frac{V_P}{F_{A_0}} = \int_0^{x_A} \frac{dx_A}{kC_{A_0} \left( \frac{1-x_A}{1+\varepsilon_A x_A} \right)} \Rightarrow \frac{kC_{A_0} V_P}{F_{A_0}} = \int_0^{x_A} \frac{(1+2x_A) dx_A}{1-x_A}$$

$$\frac{kC_{A_0} V_P}{F_{A_0}} = \int_0^{0.99} \frac{3dx_A}{1-x_A} - 2 \int_0^{0.99} dx_A \Rightarrow \frac{kC_{A_0} V_P}{F_{A_0}} = 11.835$$

$$\frac{V_P}{V} = \frac{11.835}{4.605} = 2.57 \rightarrow V_P = (2.57)(32) = 82.24 \text{ lit}$$



## «تست‌های طبقه‌بندی شده فصل سوم»

۱- در کدام یک از موارد زیر از راکتور ناپیوسته (batch) می‌توان استفاده کرد؟

- (۱) محصول زیادی مورد نیاز باشد.  
(۲) ثابت نگهداشتن درجه حرارت الزامی باشد.  
(۳) واکنش احتیاج به کاتالیزور داشته باشد.  
(۴) محصول کمی مورد نیاز باشد.

۲- برای تولید محصول متنوع از کدام راکتور استفاده می‌شود؟

- (۱) مخلوط شونده (Mixed) (۲) لوله‌ای با جریان برگشتی  
(۳) لوله ای (۴) ناپیوسته

۳- کدام عیب مربوط به راکتور ناپیوسته نیست؟

- (۱) مقیاس زیاد تولید نمی‌شود.  
(۲) هزینه کارگری زیاد است.  
(۳) تکنولوژی آن در مقایسه با راکتورهای دیگر پیچیده است.  
(۴) مصرف انرژی و آب نسبت به راکتورهای دیگر زیاد است.

۴- زمان پر شدن گنجایش یک سیال در راکتور Plug برای واکنش گازی  $A \rightarrow nP$  برابر است با:

$$\tau = C_{A_0} \int_0^{x_A} \frac{dx_A}{-r_A} \quad (۲)$$

$$\tau = C_{A_0} \int_0^{x_A} \frac{dx_A}{(-r_A)(1 + \varepsilon_A X_A)} \quad (۱)$$

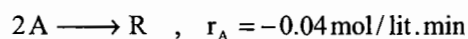
$$\tau = C_{A_0} \int_0^{x_A} \frac{(1 + \varepsilon_A X_A) dx_A}{-r_A} \quad (۴)$$

$$\tau = C_{A_0} \int_0^{x_A} \frac{dx_A}{(-r_A)(1 + \varepsilon_A X_A)^2} \quad (۳)$$

۵- واکنش درجه یک  $A \rightarrow 2R$  را در نظر می‌گیریم که در فاز گاز و فشار ثابت آن جام می‌گیرد.  $k = 0.124 \text{ Sec}^{-1}$  و  $v_0 = 0.193 \text{ ft}^3 / \text{Sec}$  می‌باشد. حجم راکتور لوله‌ای لازم برای حصول میزان تبدیل 90%، چند  $\text{ft}^3$  می‌باشد؟

- (۱)  $5.78 \text{ ft}^3$  (۲)  $10.00 \text{ ft}^3$  (۳)  $150.85 \text{ ft}^3$  (۴)  $72.65 \text{ ft}^3$

۶- خوراک گازی A خالص  $C_{A_0} = 0.6 \text{ mole/lit}$  وارد یک راکتور لوله‌ای (Plug) می‌شود.  $F_{A_0} = 2 \text{ mol/min}$  است. با توجه به معادله سرعت واکنش، حجم لازم برای رسیدن به  $C_{A_f} = 0.3 \text{ mol/min}$  چند لیتر است؟



- (۱) 25 (۲) 20 (۳) 37 (۴) 33

۷- واکنش  $A \rightarrow R$  با معادله سرعت  $-r_A = \frac{0.1C_A}{1 + 0.5C_A}$  در یک راکتور قالبی (plug) آن جام می‌گیرد. خوراک با شدت جریان

$25 \text{ lit/min}$  و  $C_{A_0} = 2 \text{ mol/lit}$  وارد راکتور می‌شود. حجم لازم برای رسیدن به میزان تبدیل 95%، چند لیتر می‌باشد؟

- (۱) 986 lit (۲) 954 lit (۳) 914 lit (۴) 999 lit

۸- واکنش  $4A \rightarrow B + 6C$  را با معادله سرعت  $-r_A = (10 \text{ h}^{-1})C_A$  در فاز مایع در نظر بگیرید. راکتور در  $650^\circ \text{C}$  و  $11.4 \text{ atm}$  کار

می‌کند. خوراک شامل A خالص و  $F_{A_0} = 1 \text{ mol/hr}$  می‌باشد. حجم راکتور برای رسیدن به میزان تبدیل 75% چند لیتر است؟

- (۱) 17.1 (۲) 9.24 (۳) 10.3 (۴) 11.2

۹ - جریانی از خوراک A با دبی حجمی 4 lit / min و غلظت اولیه 1 mol / lit وارد یک راکتور با اختلاط کامل به حجم 2 لیتر شده و واکنش  $A \rightarrow R$  اتفاق می افتد. در جریان خروجی  $C_A = 0.01 \text{ mol/lit}$  می باشد. سرعت واکنش A برابر است با:

- 1.98 (۱)                      1.80 (۲)                      1.72 (۳)                      1.65 (۴)

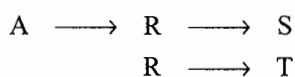
۱۰ - واکنش  $A \rightleftharpoons R$  با معادله سرعت  $-r_A = 0.04 C_A - 0.01 C_R$  در یک راکتور با اختلاط کامل (mixed) با حجم  $2 \text{ m}^3$  آن جام می گیرد. دبی حجمی خوراک 100 lit / min بوده و شامل A با  $C_{A_0} = 100 \text{ mol/lit}$  می باشد. میزان تبدیل خروجی برابر است با:

- 45 % (۱)                      60 % (۲)                      40 % (۳)                      65 % (۴)

۱۱ - محلول ترکیب شونده A به غلظت  $C_{A_0} = 1 \text{ mole/lit}$  و شدت جریان 10 mol / min وارد یک راکتور لوله ای (Plug) می شود. اگر درصد تبدیل 91 باشد، زمان پر شدن برای راکتور چند دقیقه است؟ (واکنش به صورت  $A \rightarrow 2R$  و معادله سرعت آن  $-r_A = 2C_A^{0.5}$  می باشد)

- 10 (۱)                      7 (۲)                      5.5 (۳)                      0.7 (۴)

۱۲ - تجزیه ترکیب شونده A بر اساس واکنش ذیل در دمای  $350^\circ \text{K}$  صورت می گیرد. اگر ماده اولیه A با غلظت 1 mole / lit وارد یک راکتور لوله ای (Plug) شده و 99 درصد تبدیل حاصل شود، زمان پر شدن راکتور چند دقیقه است؟  $k_1 = 10 e^{-3500/T}$  و  $k_2 = 10^{12} e^{-10500/T}$  و  $k_3 = 10^8 e^{-7000/T}$  می باشد.



- 52 (۱)                      74 (۲)                      105 (۳)                      170 (۴)

۱۳ - واکنش  $A \rightarrow 2R$  در فاز مایع و در یک راکتور mixed آن جام می شود و  $X_A = 0.6$  است. اگر به جای این راکتور یک راکتور Plug با نصف حجم راکتور mixed قرار دهیم. تبدیل چقدر خواهد شد؟

- 0.31 (۱)                      0.44 (۲)                      0.53 (۳)                      0.76 (۴)

۱۴ - واکنش ابتدایی  $A + B \rightleftharpoons 2C$  با ثابت های سرعت  $k_1 = 1 \text{ lit/mole.min}$  و  $k_2 = 0.05 \text{ lit/mol.min}$  را در نظر بگیرید خوراکی از A و B با غلظت های برابر یک مولار از یک راکتور mixed عبور می کند. زمان اقامت در این راکتور 90 دقیقه است غلظت C تولید شده چند مولار است؟

- 0.8 (۱)                      0.9 (۲)                      1.8 (۳)                      2 (۴)

۱۵ - خوراک مایع A با دبی حجمی 100 lit / min وارد یک راکتور با اختلاط کامل (mixed) با حجم  $2 \text{ m}^3$  می شود. معادله سرعت واکنش به صورت  $A \rightleftharpoons R$  می باشد. میزان تبدیل تعادلی و میزان تبدیل واقعی راکتور چقدر است؟

$$-r_A = 0.04 C_A - 0.01 C_R \text{ (mole/lit.min)}$$

- $X_{A_c} = 0.6$  ,  $X_A = 0.4$  (۲)                       $X_{A_c} = 0.8$  ,  $X_A = 0.4$  (۱)  
 $X_{A_c} = 0.8$  ,  $X_A = 0.6$  (۴)                       $X_{A_c} = 0.7$  ,  $X_A = 0.5$  (۳)

۱۶ - واکنش ساده  $A \xrightarrow{k_1} R \xrightarrow{k_2} S$  در یک راکتور لوله‌ای پیوسته (Plug) آن جام می‌گیرد. اگر چنانچه در شرایط یکسان فقط سرعت حجمی را دو برابر کنیم، غلظت خروجی از راکتور:

- (۱) 2.5 برابر می‌شود.  
(۲) 2.7 برابر می‌شود.  
(۳) 7.6 برابر می‌شود.  
(۴) اطلاعات مذکور ناقص است.

۱۷ - برای تبدیل 99 درصد A در واکنش گازی  $A \rightarrow R$ ، حجم راکتور لوله‌ای (Plug) مورد نیاز 32 لیتر است. اگر واکنش درجه اول باشد، حجم لازم برای استوکیومتری واقعی  $A \rightarrow 3R$  عبارت خواهد بود از:

- (۱) 82 لیتر  
(۲) 72 لیتر  
(۳) 62 لیتر  
(۴) 52 لیتر

۱۸ - زمان پر شدن گنجایش (Space time) در یک راکتور جاری:

- (۱) همان زمان اقامت (Residence Time) است.  
(۲) هیچ‌گاه با زمان اقامت برابر نیست.  
(۳) در بعضی موارد با زمان اقامت برابر می‌شود.  
(۴) نمی‌توان ارتباط بین دو کمیت را پیش‌بینی کرد.

۱۹ - واکنش  $A \rightarrow 2R$  در فاز گاز و در یک راکتور Mixed آن جام می‌شود. اگر میزان تبدیل 50% باشد، حجم سیال خروجی از راکتور در واحد زمان چند برابر حجم سیال ورودی به راکتور است. خوراک متشکل از 80% حجمی A و 20% گاز خنثی (Inert) می‌باشد.

- (۱) 2 برابر  
(۲) 1.4 برابر  
(۳) 1.8 برابر  
(۴) 1.5 برابر

۲۰ - واکنش ابتدایی (elementary)  $A \xrightarrow{k_1} R \xrightleftharpoons[k_3]{k_2} S$  در یک راکتور mixed صورت می‌گیرد.

$[C_{A_0} = 1 \text{ mole/lit}]$ . اگر زمان اقامت سیال در راکتور بسیار طولانی باشد ( $\tau \rightarrow \infty$ )، غلظت R خروجی از راکتور چیست؟

$(C_{R_0} = C_{S_0} = 0)$

- (۱) 0.35  
(۲) 0.33  
(۳) 0.5  
(۴) 0.75

۲۱ - واکنش درجه اول گازی  $A \xrightarrow{k} 2.5R$  در یک راکتور CSTR (اختلاط کامل) آن جام می‌شود. چنانچه ماده A خالص فرض شود، زمان اقامت متوسط در راکتور را برای رسیدن به تبدیل 60% تعیین کنید؟ ( $k = 0.1 \text{ min}^{-1}$ )

- (۱) 10 دقیقه  
(۲) 12 دقیقه  
(۳) 15 دقیقه  
(۴) 20 دقیقه

۲۲ - واکنش گازی  $A + 2B \rightarrow 2D$  در یک راکتور Plug ایزوترمال و در فشار ثابت 5 اتمسفر صورت می‌گیرد. خوراک شامل 20% مولی A، 50% مولی B و 30% مولی گاز خنثی است.  $C_B$  (غلظت B) به صورت تابعی از درصد تبدیل A در هر لحظه مساوی است با  $C_{A_0}$  ضربدر ...

(۱)  $\frac{2}{5}(1-X_A)$   
(۲)  $\frac{5}{2}(1-X_A)$   
(۳)  $\frac{2.5-2.1X_A}{1-0.2X_A}$   
(۴)  $\frac{5-2X_A}{1-0.2X_A}$

۲۳ - جسم A در فاز مایع در یک راکتور بشکهای (Mixed) با سرعت واکنش درجه اول ( $A \rightarrow C$ ) از بین می‌رود. اگر در سرعت حجمی 6 لیتر در دقیقه، غلظت A خروجی از راکتور نصف غلظت A ورودی باشد، تحت شرایط ثابت، غلظت A خروجی از راکتور در سرعت حجمی 12 لیتر در دقیقه برابر خواهد بود، با:

$$C_A = \frac{7}{8} C_{A_0} \quad (۴) \quad C_A = \frac{4}{5} C_{A_0} \quad (۳) \quad C_A = \frac{2}{3} C_{A_0} \quad (۲) \quad C_A = \frac{4}{6} C_{A_0} \quad (۱)$$

۲۴ - واکنش ساده و یک مولکولی  $A \rightarrow R$  در فاز گاز در یک راکتور کاملاً مخلوط کننده آن جام و درصد تبدیل نهایی 0.5 می‌باشد. چنانچه خوراک ورودی به راکتور را 4 برابر کنیم ولی سایر شرایط ثابت بماند. درصد تبدیل نهایی چه تغییری خواهد کرد؟

- (۱) درصد تبدیل 10% کاهش پیدا می‌کند.  
(۲) درصد تبدیل 20% کاهش پیدا می‌کند.  
(۳) درصد تبدیل 40% کاهش پیدا می‌کند.  
(۴) درصد تبدیل 60% کاهش پیدا می‌کند.

۲۵ - برای واکنش ابتدایی  $A \xrightleftharpoons[k_2]{k_1} B$  (elementary reactions) رابطه  $\frac{C_A}{C_{A_0}}$  در یک راکتور mixed (CSTR) با شرایط  $C_{B_0} = 0$  و حجم راکتور  $V$  و با سرعت حجمی مساوی  $v$  عبارت خواهد بود از:

$$\frac{C_A}{C_{A_0}} = \frac{1+k_2\tau}{1+k_1\tau} \quad (۴) \quad \frac{C_A}{C_{A_0}} = \frac{1-k_2\tau}{1-k_1\tau} \quad (۳) \quad \frac{C_A}{C_{A_0}} = \frac{1-k_2\tau}{1+k_1\tau} \quad (۲) \quad \frac{C_A}{C_{A_0}} = \frac{2}{1+k_1\tau} \quad (۱)$$

۲۶ - یک واکنش رقابتی ابتدایی در فاز مایع به صورت  $A \xrightarrow{k_1} 3B$  و  $A \xrightarrow{k_2} 4C$  در یک راکتور Mixed پیوسته به صورت ایزوترمال صورت می‌گیرد. در صورتی که تعداد مول‌های تولیدی B دو برابر تعداد مول‌های C باشد کدام گزینه نسبت صحیح  $k_1$  به  $k_2$  را نشان می‌دهد. (در ضمن با خوراک خالص A شروع می‌کنیم).

$$\frac{8}{3} \quad (۲) \quad 8 \quad (۳) \quad \frac{16}{3} \quad (۴) \quad \frac{3}{4} \quad (۱)$$

۲۷ - گروه بدون بعد سرعت  $(kC_0 t)$  در مورد یک واکنش درجه دوم که در یک راکتور mixed صورت می‌گیرد، برابر با 20 است، میزان تبدیل در واکنش چیست؟

$$0.6 \quad (۱) \quad 0.8 \quad (۲) \quad 0.9 \quad (۳) \quad 1.0 \quad (۴)$$

۲۸ - واکنش گازی  $A \rightarrow 2.5R$  در یک راکتور مخلوط شونده (Mixed) آن جام می‌گیرد. اگر غلظت ماده اولیه  $C_{A_0} = 2 \text{ mol/lit}$  و معادله سرعت  $-r_A = (10 \text{ min}^{-1}) C_A$  باشد، حجم راکتور مورد نیاز برای به دست آوردن 80% تبدیل ماده A، چند لیتر است؟

(دبی مولی خوراک 100 mole / min می‌باشد)

$$22 \quad (۱) \quad 35 \quad (۲) \quad 44 \quad (۳) \quad 60 \quad (۴)$$

۲۹ - میزان تبدیل (x) یک واکنش درجه اول در فاز مایع در یک راکتور همزن دار (mixed) ایده آل 60% است. در شرایطی که 10 درصد حجم راکتور به توسط مایع ساکن (Dead Zone) اشغال شده باشد، میزان تبدیل چند درصد است؟

$$51.5 \quad (۱) \quad 54 \quad (۲) \quad 57.5 \quad (۳) \quad 55.5 \quad (۴)$$

۳۰- رابطه  $C_A / C_{A_0} = 1 + k\tau$  در رابطه با کدام یک از موارد زیر است؟

- (۱) موازنه جرم برای واکنش درجه صفر در یک راکتور لوله‌ای است.
- (۲) موازنه جرم برای واکنش درجه اول در یک راکتور بشکه‌ای است.
- (۳) موازنه جرم برای واکنش درجه یک در یک راکتور لوله‌ای است.
- (۴) موازنه جرم برای واکنش درجه صفر در یک راکتور بشکه‌ای است.

۳۱- واکنش درجه صفر  $A \xrightarrow{k} 2R$  ( $-r_A = k = 2 \text{ mol/lit.hr}$ ) در فاز گاز در یک راکتور پلاگ به حجم 120 لیتر آن جام می‌شود. خوراک متشکل از A خالص به غلظت 0.1 mol / lit و شدت جریان ورودی 40 lit / min است. شدت جریان خروجی سیال از راکتور چیست؟

- (۱) 80 lit / min      (۲) 40 lit / min      (۳) 60 lit / min      (۴) 100 lit / min

۳۲- واکنش فاز گازی و در شرایط آدیاباتیک  $\frac{1}{2} A + B \rightarrow 2C$  در یک راکتور مخلوط شونده صورت می‌گیرد. اجزای A , B به نسبت‌های استوکیومتری وارد راکتور می‌شوند. نسبت شدت مولی جزو A ورودی به سرعت واکنش برحسب لیتر به صورت رابطه  $\frac{F_{A_0}}{-r_A} = 100 + 800 \times A$  داده شده است. حجم راکتور برای میزان تبدیل 50 درصد برابر است با:

- (۱) 250 لیتر      (۲) 200 لیتر      (۳) 150 لیتر      (۴) 100 لیتر

۳۳- واکنش برگشت پذیر  $A \rightleftharpoons 2R$  به معادله سرعت:

$$-r_A = C_A - C_R^2 \text{ mol/lit} \cdot \text{min}$$

در فاز گاز و در یک راکتور Mixed آن جام می‌شود. خوراک شامل A خالص به غلظت  $C_{A_0} = 1 \text{ mmol/lit}$  است. اگر زمان اقامت متوسط  $\bar{t}$  (Mean residence time) در این راکتور 20 دقیقه باشد، میزان تبدیل A چیست؟

- (۱) 22 %      (۲) 38 %      (۳) 44 %      (۴) 56 %

۳۴- در مقایسه مدل‌های راکتور لوله‌ای (Plug flow) و مدل حرکت آرام سیال در لوله (Laminar flow) می‌توان گفت:

- (۱) هر دو مدل اختلاط در جهت شعاعی (radial) لوله را می‌پذیرند.
- (۲) هر دو مدل اختلاط در جهت شعاعی (radial) لوله را نمی‌پذیرند.
- (۳) مدل دوم برخلاف اولی اختلاط در جهت شعاعی لوله (radial) را می‌پذیرد.
- (۴) مدل اول بر خلاف دومی اختلاط در جهت شعاعی لوله (radial) را می‌پذیرد.

۳۵- یک واکنش با درجه مثبت در یک راکتور با اختلاط کامل آن جام گرفته و میزان تبدیل حدود 4 درصد به دست می‌آید. اگر این واکنش در یک راکتور لوله‌ای آن جام گیرد، برای رسیدن به همان میزان تبدیل، نسبت حجم دو راکتور  $(V_m/V_p)$  تقریباً چقدر باید باشد؟

- (۱) ~ 10      (۲) ~ 1      (۳) ~ 0.1      (۴) ~ 100

۳۶ - واکنش برگشت پذیر و ابتدایی فاز مایع  $A + B \xrightleftharpoons[k_2]{k_1} R$ ،  $k_1 = 1 \frac{\text{lit}}{\text{mol} \cdot \text{min}}$  و  $k_2 = 0.2 \text{ min}^{-1}$  در یک راکتور mixed آن جام

می شود. خوراک متشکل از A، B و R به غلظت های  $C_{A_0} = C_{B_0} = 1 \frac{\text{mol}}{\text{lit}}$ ،  $C_{R_0} = 0.5 \frac{\text{mol}}{\text{lit}}$  است. اگر میانگین زمان

اقامت در راکتور 10 دقیقه باشد، میزان تبدیل A به چند درصد تبدیل تعادلی رسیده است؟

- (۱) حدود 30% (۲) حدود 50% (۳) حدود 70% (۴) حدود 90%

۳۷ - واکنش همگن در فاز گاز  $A \rightarrow 3R$  در دمای  $215^\circ \text{C}$  آن جام می گیرد. اگر سرعت واکنش  $-r_A = C_A$  باشد و خوراک به راکتور لوله ای پیوسته شامل 50 درصد A و 50 درصد گاز خنثی باشد زمان ظاهری لازم برای تبدیل 80 درصد برابر خواهد بود با:

- (۱)  $\tau = 2 \ln 0.2 + 0.8$  (۲)  $\tau = 2 \ln 0.2 - 0.8$  (۳)  $\tau = -(2 \ln 0.2 + 0.8)$  (۴)  $\tau = -2 \ln 0.2 + 0.8$

۳۸ - می خواهیم میزان تبدیل ترکیب شونده A را که در یک راکتور مخزنی همزن دار پیوسته 40% است به 80% افزایش دهیم. در صورتی که شدت جریان خوراک و غلظت ترکیب شونده ورودی تغییر نکنند، حجم راکتور را باید به چند برابر افزایش دهیم؟

معادله سرعت واکنش  $-r_A = kC_A^2$  فرض می شود.

- (۱) 18 برابر (۲) 10 برابر (۳) 9 برابر (۴) 6 برابر

۳۹ - در آن جام واکنش گازی ساده  $A \rightarrow 2R$  از یک راکتور مخزنی همزن دار پیوسته استفاده می شود. اگر برای حصول تبدیل 50 درصد زمان ماند لازم یک ساعت باشد، ثابت سرعت واکنش برابر خواهد بود با:

- (۱)  $k=1$  (۲)  $k=1.5$  (۳)  $k=1.75$  (۴)  $k=2$

۴۰ - برای یک واکنش تعادلی بنیادی  $A \xrightleftharpoons[k_2]{k_1} B$  که با خوراک A خالص در یک راکتور مخزنی همزن دار پیوسته آغاز شود رابطه

$\tau$  با  $x_A$  به چه صورت است؟

$$k_1 \tau = \frac{x_{Ae}}{(1-x_A) - x_{Ae}(1-x_A)} \quad (۲)$$

$$k_1 \tau = \frac{(1-x_{Ae})x_A}{(1-x_A)x_{Ae}} \quad (۱)$$

$$k_1 \tau = \frac{x_A}{(1-x_A) - \frac{x_A(1-x_{Ae})}{x_{Ae}}} \quad (۴)$$

$$k_1 \tau = \frac{x_A(1-x_{Ae})}{(1-x_A) + x_A(1-x_{Ae})} \quad (۳)$$

۴۱ - واکنش  $A \rightarrow 2B$  با ثابت واکنش  $k=2 \frac{\text{mol}}{\text{lit} \cdot \text{hr}}$  در فاز گاز در یک راکتور لوله ای پیوسته انجام می پذیرد. در صورتی که

خوراک خالص A با غلظت 0.1 مولار و شدت جریان ورودی  $40 \frac{\text{lit}}{\text{min}}$  وارد راکتور شده و جریان خروجی با شدت  $80 \frac{\text{lit}}{\text{min}}$

راکتور را ترک نماید. حجم راکتور مذکور بر حسب (lit) چقدر است؟ (مهندسی بیوتکنولوژی سراسری - ۸۸)

- (۱) 60 (۲) 0.6 (۳) 0.8 (۴) 1

۴۲ - واکنش گازی  $A \rightarrow 2.5B$  در یک راکتور بشکه ای همزن دار پیوسته انجام می گیرد. اگر غلظت خوراک A خالص 1 مولار

باشد و ثابت سرعت واکنش  $10 \text{ min}^{-1}$ ، حجم راکتور مورد نیاز جهت حصول 80% تبدیل برای دبی مولی  $10 \text{ min}^{-1}$ ، حجم راکتور

مورد نیاز جهت حصول 80% تبدیل برای دبی مولی  $100 \frac{\text{mol}}{\text{hr}}$  چند لیتر باید باشد؟ (مهندسی شیمی سراسری - ۸۸)

- (۱) 35 (۲) 40 (۳) 60 (۴) 88

## حل تست های طبقه بندی شده فصل سوم

۱- گزینه ۴ صحیح می باشد.

۲- گزینه ۴ صحیح می باشد.

۳- گزینه ۳ صحیح می باشد.

۴- گزینه ۲ صحیح می باشد.

۵- گزینه ۱ صحیح می باشد.

$$A \rightarrow 2R ; \epsilon_A = 1 , k\tau_p = -(1 + \epsilon_A) \ln(1 - X_A) - \epsilon_A X_A$$

$$0.124 \times \frac{V_p}{0.193} = -2 \ln(1 - 0.9) - 0.9 \Rightarrow V_p = 5.766 \cong 5.78 \text{ ft}^3$$

۶- گزینه ۴ صحیح می باشد.

$$2A \rightarrow R ; -r_A = 0.04 , \epsilon_A = \frac{1-2}{2} = -\frac{1}{2}$$

$$\tau_p = C_{A_0} \int_0^{x_A} \frac{dx_A}{-r_A} \Rightarrow k\tau_p = C_{A_0} x_A , C_A = C_{A_0} \left( \frac{1-x_A}{1+\epsilon_A x_A} \right)$$

$$0.3 = 0.6 \left( \frac{1-x_A}{1-0.5x_A} \right) \Rightarrow x_A = 0.666 , 0.04\tau_p = 0.6(x_A)$$

$$0.04 \times \frac{C_{A_0} V_p}{F_{A_0}} = 0.6(0.666) \Rightarrow V_p = 33.33 \text{ lit}$$

۷- گزینه ۱ صحیح می باشد.

$$A \rightarrow R , \tau_p = - \int_{C_{A_0}}^{C_A} \frac{dC_A}{-r_A}$$

$$C_A = 2(1-0.95) = 0.1 \text{ mole/lit} \Rightarrow \tau_p = - \int_2^{0.1} \frac{(1+0.5C_A)dC_A}{0.1C_A}$$

$$\tau_p = -10 \ln \left( \frac{0.1}{2} \right) - 5 \ln(0.1-2) = 39.45 , \tau_p = \frac{V_p}{v_0}$$

$$V_p = 39.45(25) = 986.25 \text{ lit}$$

-۸

چون در این تست نوع راکتور ذکر نشده است، تست اشتباه می باشد به طوری که اگر ما هر دو نوع راکتور را در نظر بگیریم در این صورت داریم:

$$\tau_m = \frac{V_m}{v_0} \Rightarrow \frac{V_m}{1} = \frac{0.75}{10C_{A_0}(1-0.75)}$$

راکتور Mixed :

اما با توجه به این که غلظت اولیه A داده نشده است لذا امکان محاسبه  $V_m$  و به همین ترتیب امکان محاسبه  $V_p$  وجود ندارد، حال اگر به جای فاز مایع فاز گاز در نظر بگیریم در این صورت:

$$C_{A_0} = \frac{P_{A_0}}{RT} = \frac{11.4}{(0.082)(923)} = 0.15 \text{ mole/lit}$$

$$\frac{V_m}{F_{A_0}} = \frac{X_A}{kC_{A_0} \left( \frac{1-X_A}{1+\varepsilon_A X_A} \right)}, \quad \varepsilon_A = \frac{7-4}{3} = \frac{3}{4}$$

برای راکتور Mixed داریم:

که با جایگزینی اعداد فوق در رابطه مذکور  $V_m = 3.125$  لیتر می‌شود و همین طور برای راکتور Plug داریم:

$$k\tau_p = -(1+\varepsilon_A)\ln(1-X_A) - \varepsilon_A X_A$$

$$10\tau_p = -\left(1 + \frac{3}{4}\right)\ln(1-0.75) - \frac{3}{4}(0.75) \Rightarrow V_p = 1.24 \text{ lit}$$

لذا هیچ کدام از گزینه‌های مذکور، جواب صحیح نمی‌باشند.

۹ - گزینه ۱ صحیح می‌باشد.

$$A \rightarrow R; \quad \tau_m = \frac{C_{A_0} - C_A}{-r_A} \Rightarrow \frac{20}{4} = \frac{1-0.01}{-r_A}$$

$$-r_A = 1.98 \text{ mole/lit.min}$$

۱۰ - گزینه ۳ صحیح می‌باشد.

$$A \xrightleftharpoons[k_2]{k_1} R; \quad -r_A = 0.04C_A - 0.01C_R \Rightarrow \tau_m = \frac{C_{A_0} X_A}{k_1 C_{A_0} (1-X_A) - k_2 C_{A_0} X_A}$$

$$\frac{2000}{100} = \frac{X_A}{0.04(1-X_A) - 0.01X_A} \Rightarrow X_A = 0.4$$

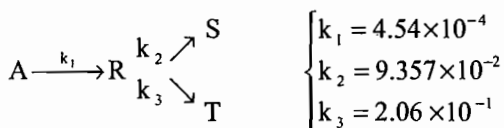
۱۱ - گزینه ۴ صحیح می‌باشد.

$$A \rightarrow 2R, \quad \tau_p = C_{A_0} \int_0^{X_A} \frac{dx_A}{-r_A}$$

از آنجا که  $\varepsilon_A = 0$  می‌باشد پس:  $C_A = C_{A_0}(1-X_A)$  ، بنابراین:

$$\tau_p = \int_0^{0.91} \frac{dx_A}{2C_{A_0}^{0.5}(1-X_A)^{0.5}} = -\left[(1-X_A)^{0.5}\right]_0^{0.91} = 0.7 \text{ min}$$

۱۲ - گزینه ۴ صحیح می‌باشد.



چون  $K_1$  کوچک‌تر از  $K_2$  و  $K_3$  می‌باشد لذا مرحله تعیین‌کننده سرعت واکنش فقط مرحله  $A \xrightarrow{K_1} R$  می‌باشد، اکنون با فرض

$$K_1 \tau_p = -\ln(1-X_A)$$

این که واکنش مذکور درجه یک باشد:

$$4.54 \times 10^{-4} \times \tau_p = -\ln(1-0.99) \Rightarrow \tau_p = 10143.56 \text{ Sec} = 169.06 \text{ min}$$

۱۳ - گزینه ۳ صحیح می‌باشد.

با فرض این که واکنش ابتدایی باشد، خواهیم داشت:



$$A \rightarrow 2R, \quad \varepsilon_A = 0, \quad \tau_m = \frac{C_{A_0} X_A}{k C_{A_0} (1 - X_A)}$$

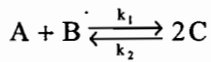
$$k \tau_m = \frac{X_A}{1 - X_A} = \frac{0.6}{0.4} \Rightarrow k \tau_m = 1.5$$

از آن جا که:  $k \tau_p = \frac{k \tau_m}{2}$  پس:

$$k \tau_p = -\ln(1 - X_A) \Rightarrow \frac{1.5}{2} = -\ln(1 - X_A) \Rightarrow X_A = 0.5276 \approx 0.53$$

۱۴ - گزینه ۳ صحیح می باشد.

چون  $\frac{k_1}{k_2} = 20$  می باشد لذا می توان واکنش را یک طرفه در نظر گرفت در این صورت:



$$-r_A = k_1 C_A C_B$$

$$C_{A_0} - C_A = C_{B_0} - C_B \Rightarrow C_A = C_B \Rightarrow -r_A = k_1 C_A^2$$

از طرفی:

$$\tau_m = \frac{C_{A_0} - C_A}{-r_A} \Rightarrow 90 = \frac{1 - C_A}{k_1 C_A^2} \Rightarrow C_A = 0.1 \text{ mole/lit}$$

بنابراین:

$$\frac{C_{A_0} - C_A}{1} = \frac{C_C - C_{C_0}}{2} \Rightarrow C_C = 2(1 - 0.1) = 1.8 \text{ mole/lit}$$

۱۵ - گزینه ۱ صحیح می باشد.

از آن جا که در حالت تعادل  $-r_A = 0$  می گردد، بنابراین:  $0.04 C_A = 0.01 C_R$  پس با فرض این که  $C_{R_0} = 0$  باشد:

$$0.04 [C_{A_0} (1 - X_{Ac})] = 0.01 [C_{R_0} + C_{A_0} X_{Ac}] \Rightarrow X_{Ac} = 0.8$$

$$\tau_m = \frac{V_m}{V_0} = \frac{C_{A_0} X_A}{0.04(1 - X_A) - 0.01 C_{A_0} X_A}$$

$$\frac{2000}{100} = \frac{X_A}{0.04 C_{A_0} (1 - X_A) - 0.01 X_A} \Rightarrow X_A = 0.44$$

۱۶ - گزینه ۴ صحیح می باشد.

صورت مسئله اشکال دارد زیرا اولاً مشخص نیست که غلظت چه ماده‌ای مورد نظر است و ثانیاً غلظت اولیه A داده نشده است.

۱۷ - گزینه ۱ صحیح می باشد.

$$A \rightarrow R \text{ (غیرواقعی)} \Rightarrow \varepsilon_A = 0, \quad k \tau_p = -\ln(1 - X_A)$$

$$\frac{k}{v_0} \times 32 = -\ln(1 - 0.99) \Rightarrow \frac{k}{v_0} = 0.14391$$

اما چون معادله واقعی واکنش به صورت  $A \rightarrow 3R$  می باشد لذا:  $\varepsilon_A = 2$ ، بنابراین:

$$k \tau_p = -(1 + \varepsilon_A) \ln(1 - X_A) - \varepsilon_A X_A \Rightarrow \frac{k}{v_0} \times V_p = -3 \ln(0.01) - 2 \times 0.99$$

$$V_p = 82.242 \text{ lit}$$

۱۸ - گزینه ۳ صحیح می باشد.

چون در مورد واکنش‌هایی که  $\varepsilon_A = 0$  می باشد  $v_0 = v_f$  می گردد، بنابراین:

۱۹ - گزینه ۲ صحیح می باشد.  $A \rightarrow 2R$  ,  $\epsilon_A = \frac{\Delta n}{n_0} \times y_{A_0} \Rightarrow \epsilon_A = 0.8$

$$v_f = v_0 (1 + \epsilon_A X_A) \Rightarrow \frac{v_f}{v_0} = 1 + (0.8 \times 0.5) = 1.4$$

۲۰ - گزینه ۳ صحیح می باشد.

چون واکنش تبدیل A به R برگشتناپذیر است، بنابراین اگر زمان اقامت در راکتور بسیار طولانی باشد، میزان A باقیمانده صفر خواهد بود و تعادل  $R \xrightleftharpoons[k_3]{k_2} S$  برقرار خواهد شد لذا:

$$-r_R = k_2 C_R - k_3 C_S \Rightarrow k_2 C_R = k_3 C_S$$

$$\frac{k_2}{k_3} = \frac{C_S}{C_R} = 1 \Rightarrow C_S = C_R \quad \text{و} \quad C_R + C_S = C_{A_0} = 1 \Rightarrow C_R = C_S = 0.5 \text{ mole/lit}$$

۲۱ - گزینه ۳ صحیح می باشد.

$$A \xrightarrow{k} 2.5R \Rightarrow \epsilon_A = \frac{2.5-1}{1} = 1.5$$

$$\bar{t} = \frac{V}{v_f} = \frac{\tau_m}{1 + \epsilon_A X_A}, \quad \tau_m = \frac{C_{A_0} X_A}{k C_{A_0} \left( \frac{1 - X_A}{1 + \epsilon_A X_A} \right)} \Rightarrow 0.1 \times \tau_m = \frac{0.6}{1 + 1.5 \times 0.6}$$

$$\tau_m = 28.5 \text{ min} \Rightarrow \bar{t} = 15 \text{ min}$$

۲۲ - گزینه ۳ صحیح می باشد.

چون  $\frac{C_{B_0}}{C_{A_0}} = 2.5$  می باشد و از نسبت استوکیومتری مذکور در واکنش مربوطه بزرگتر است لذا سازنده A محدود کننده واکنش است در این صورت:

	(A)	(B)	(D)	(I)
تعداد مولها قبل از واکنش	0.2	0.5	—	0.3
تعداد مولها بعد از واکنش	—	0.1	0.4	0.3

در این صورت:

$$\epsilon_A = \frac{0.8-1}{1} = -0.2$$

$$C_A = C_{A_0} \left( \frac{1 - X_A}{1 + \epsilon_A X_A} \right) \Rightarrow C_A = C_{A_0} \left( \frac{1 - X_A}{1 - 0.2 X_A} \right)$$

$$C_{B_0} - C_B = 2(C_{A_0} - C_A) \Rightarrow C_B = C_{B_0} - 2C_{A_0} + 2C_A$$

$$C_B = C_{B_0} + C_{A_0} \left( \frac{-1.6 X_A}{1 - 0.2 X_A} \right) \Rightarrow C_B = C_{A_0} \left( \frac{2.5 - 2.1 X_A}{1 - 0.2 X_A} \right)$$

۲۳ - گزینه ۲ صحیح می باشد.

$$A \rightarrow C, \tau_m = \frac{C_{A_0} - C_A}{kC_A} \Rightarrow k \left( \frac{V_m}{v_0} \right) = \frac{C_{A_0} - C_A}{C_A}$$

$$k \frac{V_m}{6} = \frac{C_{A_0} - \frac{C_{A_0}}{2}}{\frac{C_{A_0}}{2}} \Rightarrow kV_m = 6, \quad k \frac{V_m}{12} = \frac{C_{A_0} - C_A}{C_A}$$

$$\frac{6}{12} = \frac{C_{A_0} - C_A}{C_A} \Rightarrow C_A = \frac{2}{3} C_{A_0}$$

۲۴ - گزینه ۴ صحیح می باشد.

$$A \rightarrow R, \varepsilon_A = 0 \Rightarrow k\tau_m = \frac{x_A}{1-x_A} = \frac{0.5}{1-0.5} = 1$$

$$k \frac{V_m}{v_0} = 1, \quad v'_0 = 4v_0 \Rightarrow k \frac{V_m}{v'_0} = k \frac{V_m}{4v_0} = \frac{1}{4}$$

$$k \frac{V_m}{v'_0} = \frac{x'_A}{1-x'_A} \Rightarrow \frac{1}{4} = \frac{x'_A}{1-x'_A} \Rightarrow x'_A = 0.2$$

$$\frac{0.5-0.2}{0.5} \times 100 = 60\% \quad \text{بنابراین:}$$

۲۵ - هیچ کدام از گزینه ها صحیح نمی باشد.

از آن جا که:  $C_{A_0} - C_A = C_B - C_{B_0}$  می باشد پس:

$C_B = C_{A_0} - C_A$  و در نتیجه:

$$\tau_m = \frac{C_{A_0} - C_A}{k_1 C_A - k_2 C_{A_0} + k_2 C_A}$$

$$\frac{C_A}{C_{A_0}} = \frac{1 + k_2 \tau_m}{1 + (k_1 + k_2) \tau_m}$$

۲۶ - گزینه ۲ صحیح می باشد.

$$\frac{r_B}{r_C} = \frac{3k_1 C_A}{4k_2 C_A} \Rightarrow \frac{r_B}{r_C} = \frac{3k_1}{4k_2} = \frac{2}{1} \Rightarrow \frac{k_1}{k_2} = \frac{8}{3}$$

۲۷ - گزینه ۲ صحیح می باشد.

با فرض این که واکنش در فاز مایع صورت گیرد،  $\varepsilon_A = 0$  می باشد. بنابراین:

$$\tau_m = \frac{C_{A_0} x_A}{k C_{A_0}^2 (1-x_A)^2} \Rightarrow k \tau_m C_{A_0} = \frac{x_A}{(1-x_A)^2}$$

$$20 = \frac{x_A}{(1-x_A)^2} \Rightarrow x_A = 0.8$$

۲۸ - گزینه ۳ صحیح می باشد.

با فرض این که واکنش درجه اول باشد

$$\tau_m = \frac{C_{A_0} x_A}{k C_{A_0} \left( \frac{1-x_A}{1+\varepsilon_A x_A} \right)} \Rightarrow k \tau_m = \frac{x_A}{\frac{1-x_A}{1+\varepsilon_A x_A}} = \frac{0.8}{\frac{0.2}{1+(1.5 \times 0.8)}} = 8.8$$

$$\tau_m = 0.88 \text{ min} , \tau_m = \frac{C_{A_0} V_m}{F_{A_0}} = 0.88 \Rightarrow V_m = 44 \text{ lit}$$

۲۹ - گزینه ۳ صحیح می باشد.

$$A \longrightarrow \text{محصول} , \varepsilon_A = 0 , \tau_m = \frac{C_{A_0} x_A}{k C_{A_0} (1-x_A)} \Rightarrow k \tau_m = \frac{x_A}{1-x_A} = 1.5$$

از آن جا که 10 درصد حجم راکتور توسط مایع ساکن اشغال شده است، بنابراین:

$$0.9 k \tau_m = \frac{x'_A}{1-x'_A} \Rightarrow 0.9 \times 1.5 = \frac{x'_A}{1-x'_A} \Rightarrow x'_A = 0.5744 \rightarrow X'_A \cong 57.5\%$$

۳۰ - گزینه ۲ صحیح می باشد.

۳۱ - گزینه ۱ صحیح می باشد.

برای واکنش متجانس درجه صفر با  $\varepsilon_A$  ثابت، خواهیم داشت:

$$k \left( \frac{V}{V_0} \right) = C_{A_0} x_A \Rightarrow 2 \times \frac{120 \text{ lit}}{40 \frac{\text{lit}}{\text{min}} \times \frac{60 \text{ min}}{\text{hr}}} = 0.1 x_A \Rightarrow x_A = 1$$

با توجه به این که  $\varepsilon_A = 1$  می باشد، بنابراین:

$$v_f = v_0 (1 + \varepsilon_A x_A) \Rightarrow v_f = 40(1+1) = 80 \frac{\text{lit}}{\text{min}}$$

لذا گزینه ۱ صحیح می باشد.

۳۲ - گزینه ۱ صحیح می باشد.

$$\frac{V}{F_{A_0}} = \frac{x_A}{-r_A} \rightarrow \frac{F_{A_0}}{-r_A} = \frac{V}{x_A} \rightarrow \frac{V}{x_A} = 100 + 800 x_A$$

$$V = (100 + 800 x_A) x_A \rightarrow V = 0.5 (100 + 800 \times 0.5) = 250 \text{ lit}$$

۳۳ - گزینه ۳ صحیح می باشد.

$$\varepsilon = \frac{2-1}{1} = 2$$

$$C_A = C_{A_0} \left( \frac{1-x_A}{1+\varepsilon_A x_A} \right) = 1 \times \frac{1-x_A}{1+x_A} = \frac{1-x_A}{1+x_A}$$

$$C_R = 2 C_{A_0} \frac{x_A}{1+\varepsilon_A x_A} = \frac{2 x_A}{1+x_A}$$

$$20 = \frac{1 \times x_A}{\left( \frac{1-x_A}{1+x_A} \right) - \left( \frac{2 x_A}{1+x_A} \right)^2} \rightarrow x_A = 0.44$$

۳۴ - گزینه ۳ صحیح می باشد.

۳۵ - گزینه ۲ صحیح می باشد.

در درصد تبدیل های کم، عملکرد راکتور تنها به میزان خیلی کم به نوع راکتور بستگی دارد. در این مسئله درصد تبدیل خیلی کم (4%) بوده و در نتیجه  $\frac{V_m}{V_p}$  تقریباً برابر 1 خواهد بود.

۳۶ - گزینه ۴ صحیح می باشد.

$$-r_A = k_1 C_A C_B - k_2 C_R = k_1 C_A^2 - k_2 C_R$$

$$C_A = C_{A_0} (1 - x_A) = 1 \times (1 - x_A) = 1 - x_A$$

$$C_R = C_{R_0} + C_{A_0} x_A = 0.5 + x_A$$

$$-\frac{dC_A}{dt} = (1 - x_A)^2 - 0.2(0.5 + x_A)$$

$$\tau_m = \frac{C_{A_0} x_A}{-r_A} \Rightarrow 10 = \frac{1 \times x_A}{(1 - x_A)^2 - 0.2(0.5 + x_A)} \rightarrow x_A = 0.5$$

$$\text{تعالی} \Rightarrow (1 - x_{Ae})^2 - 0.2(0.5 + x_{Ae}) = 0 \rightarrow x_{Ae} = 0.54$$

$$\frac{x_A}{x_{Ae}} = \frac{0.5}{0.54} = 0.92$$

۳۷ - گزینه ۳ صحیح می باشد.

برای واکنش درجه یک در راکتور لوله ای می توان نوشت:

$$\tau = -(1 + \varepsilon_A) \ln(1 - x_A) - \varepsilon_A x_A$$

برای واکنش مورد نظر ( $3R \rightarrow A$ ) با 50 درصد گاز خنثی داریم:

$$\varepsilon_A = \left( \frac{\Delta n}{a} \right) y_{A_0} = \left( \frac{3-1}{1} \right) \times 0.5 = 1$$

با جای گذاری خواهیم داشت:

$$\tau = -2 \ln 0.2 - 0.8 = -(2 \ln 0.2 + 0.8)$$

۳۸ - گزینه ۱ صحیح می باشد.

$$\tau_m = \frac{C_{A_0} x_A}{-r_A} = \frac{C_{A_0} x_A}{k C_{A_0}^2 (1 - x_A)^2} \rightarrow \tau_m = \frac{x_A}{k C_{A_0} (1 - x_A)^2}$$

$$k \tau_m C_{A_0} = \frac{x_A}{(1 - x_A)^2} \rightarrow \frac{\tau_{m_2}}{\tau_{m_1}} = \frac{\frac{x_{A_2}}{(1 - x_{A_2})^2}}{\frac{x_{A_1}}{(1 - x_{A_1})^2}}$$

$$\frac{\tau_{m_2}}{\tau_{m_1}} = \frac{\frac{0.8}{(0.2)^2}}{\frac{0.4}{(0.6)^2}} = \frac{20}{1.111} = 18 \Rightarrow \frac{\tau_{m_2}}{\tau_{m_1}} = \frac{V_2}{V_1} = 18 \rightarrow V_2 = 18V_1$$

۳۹ - گزینه ۲ صحیح می باشد.

$$\tau = \frac{C_{A0} x_A}{-r_A} = \frac{C_{A0} x_A}{k C_{A0} \left( \frac{1-x_A}{1+\varepsilon_A x_A} \right)} = \frac{x_A}{k \left( \frac{1-x_A}{1+\varepsilon_A x_A} \right)}$$

$$k\tau = \frac{0.5}{\left( \frac{1-0.5}{1+0.5} \right)} = 1.5 \rightarrow k\tau = 1.5 \xrightarrow{\tau=1hr} k = 1.5$$

۴۰ - گزینه ۴ صحیح می باشد.

$$\tau = \frac{C_{A0} x_A}{-r_A} = \frac{C_{A0} x_A}{k_1 C_A - k_2 C_B} = \frac{C_{A0} x_A}{k_1 C_{A0} (1-x_A) - k_2 C_{A0} x_A}$$

$$k_1 \tau = \frac{x_A}{(1-x_A) - \frac{k_2}{k_1} x_A} \quad (1)$$

$$k_1 C_A - k_2 C_B = 0 \rightarrow k_1 C_{A0} (1-x_{Ae}) = k_2 C_{A0} x_{Ae}$$

$$\frac{k_2}{k_1} = \frac{1-x_{Ae}}{x_{Ae}} \quad (2)$$

با جایگذاری (۲) در (۱) خواهیم داشت:

$$k_1 \tau = \frac{x_A}{(1-x_A) - \frac{x_A(1-x_{Ae})}{x_{Ae}}}$$

۴۱ - گزینه ۲ صحیح می باشد.

$$S = 5 \text{ min}^{-1} \rightarrow \tau_x = \frac{1}{5}$$

$$\tau_x = \frac{C_{A0} x_A}{-r_A} = \frac{C_{A0} x_A}{k C_A} \rightarrow \frac{C_A}{C_{A0}} = x_A, \quad \varepsilon_A = \frac{4-1}{1} = 3$$

$$k\tau_m = \frac{x_A}{1-x_A} (1+\varepsilon_A x_A) \rightarrow 5 \left( \frac{1}{5} \right) = \frac{x_A}{1-x_A} (1+3x_A)$$

$$\rightarrow 3x_A^2 + 2x_A = 0 \xrightarrow{x_A \neq 0} \frac{C_A}{C_{A0}} = 0.016$$

۴۲ - گزینه ۳ صحیح می باشد.

$$V_f = V_o (1 + \varepsilon_A x_A)$$

$$\varepsilon_A = \frac{2-1}{1} = 1$$

$$80 = 40(1 + x_A) \rightarrow x_A = 1$$

$$k = 2 \frac{\text{mol}}{\text{lit.hr}} = \frac{2}{60} \frac{\text{mol}}{\text{lit.min}}$$

$$C_{A0} x_A = k\tau \rightarrow 0.1(1) = \frac{2}{60} \left( \frac{V}{v_0} \right) \rightarrow V = 120 \text{ lit}$$

۴۳ - گزینه ۴ صحیح می باشد.

برای واکنش های درجه اول در فاز گاز در راکتور mixed داریم:

$$k\tau_x = \left( \frac{x_A}{1-x_A} \right) (1 + \varepsilon_A x_A)$$

$$x_A = 0.8, \quad \varepsilon_A = \frac{2.5-1}{1} = 1.5, \quad k=10, \quad v_0=100 \rightarrow \tau_m = \frac{V}{V_0} = 0.88 \rightarrow V=88$$

## فصل چهارم

### طرح راکتور برای واکنش‌های منفرد

#### راکتور Batch

راکتور Batch از نقطه نظر بهای اندک و قابلیت انعطاف دارای مزایایی می‌باشد. ولی در عین حال معایبی نیز مثل هزینه زیاد کارگر و کارکرد، زمان طولانی لازم برای خالی کردن، تمیز نمودن و پر کردن مجدد، کنترل کیفیت بد محصول دارد. به طور کلی می‌توان گفت batch مناسب‌ترین وسیله برای تهیه مقدار کم محصول و یا فراهم کردن تعداد زیادی محصول متنوع از یک دستگاه است. برعکس برای تهیه مقدار زیادی از مواد در مقیاس وسیع استفاده از روش‌های مداوم همواره اقتصادی‌تر از روش batch است. در مورد اندازه راکتور، مقایسه معادلات (۳ - ۳) و (۳ - ۱۳) در حالتی که  $\varepsilon = 0$  است نشان می‌دهد که زمان لازم برای آن که یک جزو سیال به مقدار معینی ترکیب شود در راکتورهای Batch و Plug یکسان می‌باشد.

#### مقایسه راکتور mixed با راکتور Plug

برای انجام یک عمل معین نسبت اندازه راکتور mixed و Plug بستگی به پیشرفت واکنش، معادله شیمیایی و شکل معادله سرعت دارد به‌طور کلی مقایسه معادلات (۳ - ۷) و (۳ - ۱۳) این نسبت را به دست خواهد داد. ما این مقایسه را در مورد دسته بزرگی از واکنش‌ها که سرعت آن‌ها را بتوان به شکل یک معادله ساده از درجه n نشان داد به عمل می‌آوریم:

$$-r_A = -\frac{1}{V} \frac{dN_A}{dt} = kC_A^n$$

که n مقداری بین صفر و سه است.

برای راکتور mixed و Plug می‌توان نوشت:

$$\tau_m = \left( \frac{C_{A_0} V}{F_{A_0}} \right)_m = \frac{C_{A_0} X_A}{-r_A} = \frac{1}{k C_{A_0}^{n-1}} \frac{x_A (1 + \varepsilon_A x_A)^n}{(1 - x_A)^n} \quad (4-1)$$

$$\tau_p = \left( \frac{C_{A_0} V}{F_{A_0}} \right)_p = C_{A_0} \int_0^{x_A} \frac{dx_A}{-r_A} = \frac{1}{k C_{A_0}^{n-1}} \int_0^{x_A} \frac{(1 + \varepsilon_A x_A)^n dx_A}{(1 - x_A)^n} \quad (4-2)$$



پس از تقسیم دو رابطه اخیر:

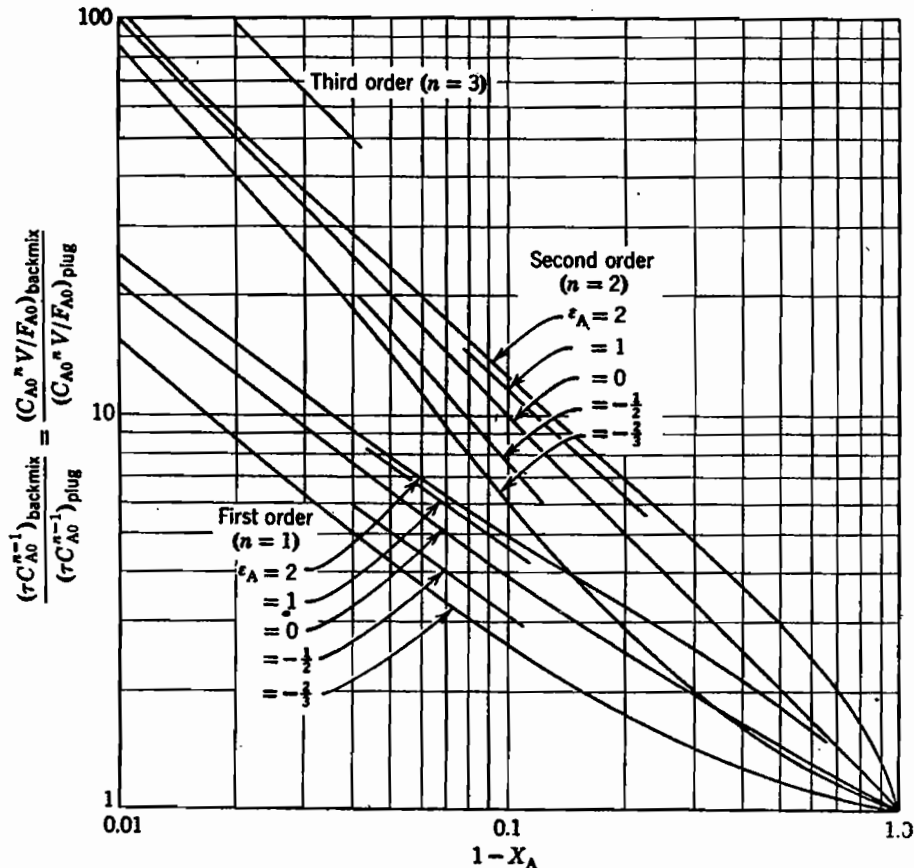
$$\frac{(\tau C_{A_0}^{n-1})_m}{(\tau C_{A_0}^{n-1})_p} = \frac{\left(\frac{C_{A_0}^n V}{F_{A_0}}\right)_m}{\left(\frac{C_{A_0}^n V}{F_{A_0}}\right)_p} = \frac{\left[ x_A \left( \frac{1 + \varepsilon_A x_A}{1 - x_A} \right)^n \right]_m}{\int_0^{x_A} \frac{(1 + \varepsilon_A x_A)^n}{(1 - x_A)^n} dx_A} \quad (4-3)$$

در حالت جرم ویژه ثابت و یا  $\varepsilon = 0$  معادله بالا پس از انتگرال‌گیری خواهد شد:

$$\frac{(\tau C_{A_0}^{n-1})_m}{(\tau C_{A_0}^{n-1})_p} = \frac{\left[ \frac{x_A}{(1 - x_A)^n} \right]_m}{\left[ \frac{(1 - x_A)^{1-n} - 1}{n - 1} \right]_p} \quad n \neq 1 \quad (4-4)$$

$$\frac{(\tau C_{A_0}^{n-1})_m}{(\tau C_{A_0}^{n-1})_p} = \frac{\left( \frac{x_A}{1 - x_A} \right)_m}{[-\ln(1 - x_A)]_p} \quad n = 1 \quad (4-5)$$

برای سهولت مقایسه عملکرد راکتورهای Plug و mixed معادلات (4-3)، (4-4) و (4-5) را به صورت ترسیمی در شکل (4-1) نشان داده‌ایم.



شکل (4-1): مقایسه راکتورهای Plug و mixed برای واکنش‌های درجه  $n$  ام

به شکل (۴-۱) توجه نمایید؛ در حالتی که ترکیب خوراک و شدت جریان ورودی به دو راکتور یکسان باشد محور عرض‌ها در این شکل مستقیماً نسبت حجم‌های لازم را نشان می‌دهد:

۱- برای هر وظیفه مشخص و نیز در مورد تمام واکنش‌هایی که درجه سرعت آن مثبت است همواره حجم راکتور mixed بزرگ‌تر از راکتور Plug می‌باشد. این نسبت با افزایش درجه واکنش بیش‌تر می‌گردد.

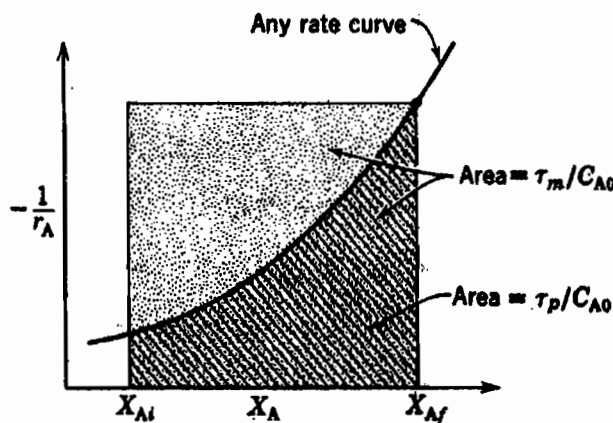
۲- واکنش‌های درجه صفر مستقل از نحوه جریان سیال هستند یا به عبارت دیگر همواره برای این نوع واکنش‌ها داریم:

$$\left( \frac{V_{\text{mixed}}}{V_{\text{plug}}} \right) = 1$$

۳- وقتی درجه تبدیل کم باشد، عملکرد راکتور تنها به میزان اندکی تحت تأثیر چگونگی جریان قرار می‌گیرد و وقتی درجه تبدیل به سمت صفر رود نسبت بین دو حجم نیز به سمت واحد میل می‌نماید. در درجات تبدیل بالا این نسبت به شکل سریعی افزایش یافته و در این حدود از تبدیل نحوه جریان سیال مهم خواهد بود.

۴- تغییرات جرم ویژه در طول واکنش در انتخاب راکتور مؤثر است ولی اهمیت آن کمتر از نوع جریان می‌باشد. انبساط (یا کاهش جرم ویژه) در طول واکنش سبب افزایش نسبت حجم‌ها می‌گردد؛ به عبارت دیگر اثر و قدرت راکتور mixed را نسبت به راکتور Plug کاهش می‌دهد. افزایش جرم ویژه اثر معکوس دارد.

شکل (۴-۲) مقایسه ترسیمی راکتورهای mixed و Plug را نشان می‌دهد. نمودار ترسیم شده شامل تمام واکنش‌های درجه n ام، n > 0 می‌باشد که سرعت آن‌ها با نزدیک شدن به تعادل به تدریج کم می‌شود. مشاهده می‌گردد که برای انجام وظیفه معینی حجم راکتور mixed همواره بزرگ‌تر از راکتور Plug می‌باشد.



شکل (۴-۲): مقایسه عملکرد راکتور mixed و Plug

## سیستم‌های متشکل از چند راکتور

الف) اتصال راکتورهای Plug به صورت سری:

تعداد N راکتور Plug را که به صورت سری به یکدیگر متصل هستند، در نظر بگیرید و فرض کنید که  $x_1, x_2, \dots, x_N$  به ترتیب درجات تبدیل جسم A خروجی از راکتورهای 1, 2, ..., N باشند با برقراری موازنه جرم برای راکتور i ام داریم:

$$\frac{V_i}{F_0} = \int_{x_{i-1}}^{x_i} \frac{dx}{-r} \quad (۴-۶)$$

و برای N راکتور سری داریم:

$$\frac{V}{F_A} = \sum_{i=1}^N \frac{V_i}{F_0} = \frac{V_1 + V_2 + \dots + V_N}{F_0} = \int_0^{x_1} \frac{dx}{-r} + \int_{x_1}^{x_2} \frac{dx}{-r} + \dots + \int_{x_{N-1}}^{x_N} \frac{dx}{-r} = \int_0^{x_N} \frac{dx}{-r} \quad (4-7)$$

بنابراین با استفاده از N راکتور Plug که به صورت سری به هم اتصال دارند و حجم کلی آن‌ها برابر V است همان تبدیلی را که از یک راکتور Plug به حجم V انتظار می‌رود می‌توان به دست آورد. یعنی اگر N راکتور Plug را پشت سر هم قرار دهیم مشابه یک راکتور Plug که به اندازه همه حجم داشته باشد، عمل می‌کنند.

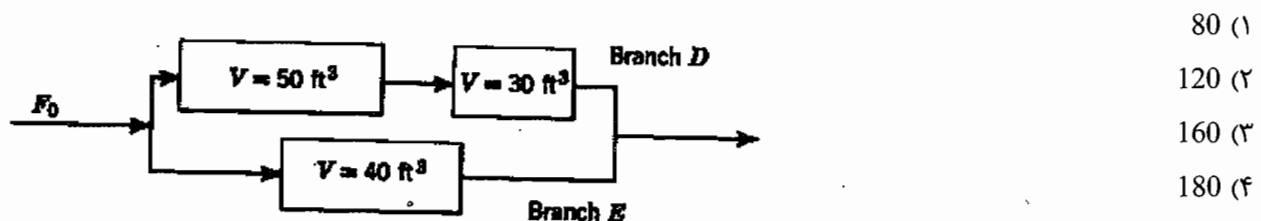
### ب) اتصال راکتورهای Plug به صورت موازی

اتصال راکتورهای Plug موازی بیش‌تر از این جنبه حایز اهمیت است که سیال زمان اقامت کمی داشته باشد. این مسئله در واکنش‌های گرمازا بسیار مهم است. اتصال موازی راکتورهای Plug هنگامی بهترین عملکرد را خواهد داشت که  $\tau$  یا  $\frac{V}{F_A}$  در تمام شاخه‌ها برابر باشد یعنی:

$$\left(\frac{V}{F}\right)_1 = \left(\frac{V}{F}\right)_2 = \dots = \left(\frac{V}{F}\right)_n$$

$$x_{A_1} = x_{A_2} = \dots = x_{A_n}$$

**مثال:** آرایشی از راکتورهای Plug در شکل روبه‌رو نموده شده است؛ شدت جریان خوراک در شاخه D برای این که سیستم با حداکثر تبدیل کار کند چقدر خواهد بود؟ دبی ورودی به مجموعه  $240 \text{ ft}^3/\text{sec}$  است.



**حل:** با توجه به شکل برای حصول بیش‌ترین بهره می‌توان نوشت:

$$\left(\frac{V}{F}\right)_D = \left(\frac{V}{F}\right)_E \rightarrow \frac{30+50}{F_D} = \frac{40}{F_E} \rightarrow F_D / F_E = 2, \quad F_D + F_E = 240 \rightarrow F_E = 80 \frac{\text{ft}^3}{\text{Sec}}, \quad F_D = 160 \frac{\text{ft}^3}{\text{Sec}}$$

گزینه ۳ صحیح می‌باشد.

### ج) راکتورهای mixed هم حجم در اتصال سری

در راکتور Plug غلظت به تدریج کاهش می‌یابد در حالی که در یک راکتور mixed کاهش غلظت پله‌ای و ناگهانی است. بنابراین در مورد واکنش‌هایی که سرعت آن‌ها با افزایش غلظت زیاد می‌شود (همه واکنش‌هایی با درجه  $n > 0$ ) راکتور Plug دارای بهره بیش‌تری از راکتور mixed خواهد بود.

## واکنش درجه یک در راکتورهای mixed پشت سر هم

موازنه جرم برای راکتور  $i$  ام از  $N$  راکتور mixed که به صورت سری به هم متصل شده‌اند برای واکنش‌های درجه یک به صورت زیر خواهد بود:

$$\tau_i = \frac{V_i}{v} = \frac{C_0(x_i - x_{i-1})}{-r_i} \quad (4-8)$$

$$\tau_i = \frac{C_{i-1} - C_i}{kC_i} \quad (4-9)$$

بنابراین می‌توان نوشت:

$$\frac{C_{i-1}}{C_i} = 1 + k\tau_i \quad (4-10)$$

اما زمان پر شدن برای تمامی این راکتورها یکسان است:

$$\frac{C_0}{C_N} = \frac{C_0}{C_1} \times \frac{C_1}{C_2} \times \dots \times \frac{C_{N-1}}{C_N} = (1 + k\tau_i)^N$$

پس از تنظیم معادله برای تمام سیستم خواهیم داشت:

$$\tau_{N \text{ reactor}} = N\tau_i = \frac{N}{k} \left[ \left( \frac{C_0}{C_N} \right)^{1/N} - 1 \right] \quad (4-11)$$

هرچه  $N$  بزرگ‌تر شود رفتار  $N$  راکتور mixed به یک راکتور Plug نزدیکتر خواهد شد. در حد هنگامی که  $N \rightarrow \infty$  خواهیم داشت:

$$\tau_p = \tau_{N \text{ reactor}}$$

$$\tau_p = \frac{1}{k} \ln \frac{C_0}{C} \quad (4-12)$$

در مورد واکنش‌های درجه دوم نیز همین گونه است. یعنی هرچه تعداد راکتورهای mixed که برای حصول تبدیل معینی سری می‌شوند بیش‌تر باشد حجم کل به حجم یک راکتور Plug تقلیل می‌یابد و بیش‌ترین جهش در این تقلیل حجم زمانی است که یک راکتور mixed به راکتور دومی افزوده می‌گردد. در تبدیل‌های بالا مزیت راکتورهای mixed سری از موازی بسیار بیش‌تر است.

## واکنش درجه صفر در راکتورهای mixed پشت سر هم

اگر تمام راکتورهای mixed را هم حجم فرض کنیم و با فرض یکنواخت بودن دما در تمام راکتورها می‌توان ثابت سرعت واکنش را در تمام راکتورها برابر  $k$  در نظر گرفته و  $(\tau_1 = \tau_2 = \dots = \tau_n)$  در نظر گرفت:

$$\left. \begin{array}{l} C_{A_0} - C_{A_1} = k\tau_1 \\ C_{A_1} - C_{A_2} = k\tau_2 \\ \dots \\ C_{A_{N-1}} - C_{A_N} = k\tau_N \end{array} \right\} \xrightarrow{\tau_1 = \tau_2 = \dots = \tau_N} C_{A_0} - C_{A_N} = Nk\tau_i \quad (4-13)$$

**مثال:** یک واکنش درجه صفر در 4 راکتور mixed هم حجم پشت سر هم صورت می‌گیرد. اگر زمان اقامت هر راکتور 2 min و میزان تبدیل نهایی 80% باشد، ثابت سرعت واکنش چیست؟ (غلظت اولیه خوراک 2 mole / lit است)

0.4  $\frac{\text{mol}}{\text{lit} \cdot \text{min}}$  (۴)

0.3  $\frac{\text{mol}}{\text{lit} \cdot \text{min}}$  (۳)

0.2  $\frac{\text{mol}}{\text{lit} \cdot \text{min}}$  (۲)

0.1  $\frac{\text{mol}}{\text{lit} \cdot \text{min}}$  (۱)

حل:

$$C_{A_0} - C_{A_4} = 4k\tau \quad (1)$$

$$C_{A_4} = C_{A_0}(1 - x_A) = 2(1 - 0.8) = 0.4 \text{ mol/lit}$$

با جای گذاری در (1) داریم:

$$2 - 0.4 = 4k(2) \rightarrow k = 0.2 \frac{\text{mole}}{\text{lit} \cdot \text{min}}$$

### ج) راکتورهای mixed به اندازه‌های متفاوت با اتصال پشت سرهم:

قبل از هر چیز باید توجه کرد که اتصال راکتورهای mixed هم حجم به شکل سری عملکرد بهتری نسبت به اتصال راکتورهای mixed غیر هم حجم دارند یعنی برای رسیدن به یک درصد تبدیل مشخص با استفاده از چند راکتور mixed، راکتورهای mixed هم حجم، کمترین حجم را خواهند داشت.

اگر مجبور باشیم از راکتورهای mixed غیر هم اندازه استفاده کنیم به نکات زیر توجه می‌کنیم:

\* برای واکنش‌های با  $n > 1$ ، راکتورهای mixed را از کوچک به بزرگ قرار می‌دهیم.

\* برای واکنش‌های با  $n < 1$ ، راکتورهای mixed را از بزرگ به کوچک مرتب می‌کنیم.

\* برای واکنش‌های با  $n = 1$ ، ترتیب تفاوتی ندارد.

حال دو راکتور mixed را در نظر می‌گیریم که یک واکنش درجه اول در آن صورت می‌گیرد. می‌خواهیم بدانیم به ازای چه حجم‌هایی از دو راکتور مجموع حجم دو راکتور حداقل خواهد شد:

$$\tau_1 = \frac{V_1}{v} \rightarrow V_1 = \frac{v(C_{A_0} - C_{A_1})}{-r_{A_1}}$$

$$\tau_2 = \frac{V_2}{v} \rightarrow V_2 = \frac{v(C_{A_1} - C_{A_2})}{-r_{A_2}}$$

اگر فرض کنیم واکنش درجه اول در این صورت  $-r_A = kC_A$  پس:

$$\frac{\partial(V_1 + V_2)}{\partial C_{A_1}} = 0 \rightarrow C_{A_1} = \sqrt{C_{A_0} C_{A_2}} \quad (4-14)$$

حال با جای‌گذاری این مقدار در روابط بالا حجم  $V_1$  و  $V_2$  به دست می‌آید:

$$V_1 = V_2 = \frac{v}{k} \left[ \sqrt{\frac{C_{A_0}}{C_{A_2}}} - 1 \right] \quad (4-15)$$

بنابراین نتیجه می‌شود برای واکنش‌های درجه اول در دو راکتور mixed پشت سرهم مجموع حجم‌ها زمانی حداقل است که حجم دو راکتور برابر باشد.

مثال: می‌خواهیم یک واکنش درجه اول  $A \xrightarrow{k} R$  را در دو راکتور mixed پشت سرهم تا میزان تبدیل 75% انجام دهیم.

$k = 0.2 \text{ min}^{-1}$  و دبی حجمی خوراک  $v_0 = 100 \frac{\text{lit}}{\text{min}}$  می‌باشد. حجم هر کدام از راکتورها را چند لیتر در نظر بگیریم تا حجم

کل سیستم حداقل باشد؟

۱- راکتور اول به حجم 1000 لیتر و دومی به حجم 500 لیتر ۲- دو راکتور با حجم‌های مساوی و برابر 500 لیتر

۳- دو راکتور با حجم‌های مساوی و برابر 1000 لیتر ۴- دو راکتور با حجم‌های مساوی و برابر 1500 لیتر

حل: همان طور که قبلاً گفتیم برای یک واکنش درجه اول در دو راکتور mixed پشت سرهم زمانی مجموع حجم‌ها حداقل است که حجم دو راکتور برابر باشد پس:

$$\begin{cases} V_1 = V_2 = \frac{V}{k} \left[ \sqrt{\frac{C_{A_0}}{C_{A_2}}} - 1 \right] \rightarrow V_1 = V_2 = \frac{100}{0.2} \left[ \sqrt{\frac{1}{0.25}} - 1 \right] = 500 \text{ lit} \\ C_{A_2} = C_{A_0} (1 - x_{A_2}) \Rightarrow C_{A_2} = 0.25 \frac{\text{mol}}{\text{lit}} \end{cases}$$

پس گزینه ۲ صحیح می‌باشد.

#### د) انواع متفاوت راکتورها با اتصال پشت سرهم:

در مورد مؤثرترین طرز استفاده از یک دسته از راکتورهای ایده‌آل قوانین زیر موجود می‌باشد:

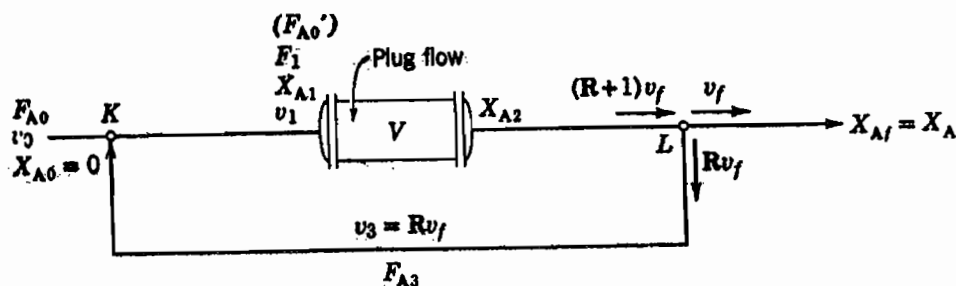
برای واکنش‌هایی که در آن‌ها منحنی سرعت برحسب غلظت صعودی است (هر واکنش درجه n ام،  $n > 1$ ) راکتورها باید به صورت سری به یکدیگر متصل شوند. اتصال باید به نحوی انجام گیرد که اگر منحنی سرعت - غلظت مقعر است ( $n > 1$ ) ترکیب‌شوندگان زیاد و اگر منحنی محدب است ( $n < 1$ ) غلظت تا حد امکان کم باشد. به عنوان مثال برای واکنش با درجه بیش‌تر از یک ترتیب اتصال واحدها به صورت زیر است؛ ابتدا راکتور Plug، بعد راکتور mixed کوچک و بالاخره راکتور بزرگ‌تر. در مورد  $n < 1$  ترکیب عکس حالت اخیر است.

#### راکتور دوره‌ای (برگشتی)

در برخی موارد سودمند است که جریان خروجی از راکتور Plug را تقسیم نموده و یک قسمت از آن را به مدخل راکتور بازگردانند. شکل (۴-۳) یک راکتور دوره‌ای را به همراه علامات اختصاری نشان می‌دهد. نسبت جریان برگشتی، Recycle Ratio، را به صورت زیر تعریف می‌کنیم:

$$R = \frac{\text{حجمی از سیال که به مدخل راکتور بازگردانده می‌شود}}{\text{حجم سیال خروجی از سیستم}} \quad (۴-۱۶)$$

این نسبت را می‌توان از صفر تا بی‌نهایت تغییر داد، لذا با افزایش نسبت جریان برگشتی، مشخصات و رفتار سیستم از حالت جریان Plug ( $R = 0$ ) به جریان mixed ( $R = \infty$ ) تبدیل می‌گردد.



شکل (۴-۳): علامات اختصاری برای راکتور دوره‌ای

معادله عملکرد راکتور دوره‌ای به صورت زیر می‌باشد:

$$\frac{V}{F'_{A_0}} = \int_{x_{A_1}}^{x_{A_2}=x_{A_f}} \frac{dx_A}{-r_A} \quad (۴-۱۷)$$

که در آن:

$$F'_{A_0} = RF_{A_0} + F_{A_0} = (R+1)F_{A_0} \quad (4-18)$$

$$C_{A_1} = \frac{F_{A_1}}{V_1} = \frac{F_{A_0} + F_{A_3}}{V_0 + RV_f} \quad (4-19)$$

$$x_{A_1} = \left( \frac{R}{R+1} \right) x_{AF} \quad (4-20)$$

با جایگزین کردن معادلات بالا در معادله (۴-۱۷) داریم:

$$\frac{V}{F_{A_0}} = (R+1) \int_{\left(\frac{R}{R+1}\right)x_{AF}}^{x_{AF}} \frac{dx_A}{-r_A} \quad (4-21)$$

در دو حالت حدی جریان برگشتی بسیار ناچیز و بی‌نهایت، مشخصات سیستم به ترتیب به حالت plug و mixed تبدیل می‌گردد یا:

$$\frac{V}{F_{A_0}} = (R+1) \int_{\frac{R}{R+1}x_{AF}}^{x_{AF}} \frac{dx_A}{-r_A}$$

$R=0$   
(Plug)

$$\frac{V}{F_{A_0}} = \int_0^{x_{AF}} \frac{dx_A}{(-r_A)}$$

$R=\infty$   
(mixed)

$$\frac{V}{F_{A_0}} = \frac{x_{AF}}{(-r_{AF})}$$

### حالت‌های خاص:

واکنش درجه صفر در راکتور برگشتی:

$$-r_A = k$$

$$\frac{\tau}{C_{A_0}} = \frac{V}{F_{A_0}} = (R+1) \int_{\frac{R}{R+1}x_{AF}}^{x_{AF}} \frac{dx_A}{k} = \frac{x_{AF}}{k}$$

$$k\tau = C_{A_0} x_{AF} \quad (4-22)$$

باز هم دیده می‌شود که نوع جریان، چه جریان Plug ( $R=0$ )، چه mixed ( $R=\infty$ ) و چه جریان برگشتی تأثیری روی واکنش درجه صفر ندارد.

واکنش درجه یک با  $\varepsilon_A = 0$  در راکتور برگشتی:

با انتگرال‌گیری از معادله (۴-۲۱) برای واکنش درجه اول و  $\varepsilon_A = 0$  نتیجه زیر به دست می‌آید:

$$\frac{k\tau}{R+1} = \ln \left[ \frac{C_{A_0} + RC_{AF}}{(R+1)C_{AF}} \right] \quad (4-23)$$

واکنش درجه دوم با معادله  $-r_A = kC_A^2$  و  $\varepsilon_A = 0$  در راکتور برگشتی:

با انتگرال‌گیری از معادله (۴-۲۱) برای واکنش درجه دوم و  $\varepsilon = 0$  خواهیم داشت:

$$\frac{k\tau C_{A_0}}{R+1} = \frac{C_{A_0}(C_{A_0} - C_{AF})}{C_{AF}(C_{A_0} + RC_{AF})} \quad (4-24)$$

### واکنش اتوکاتالیزوری در راکتور برگشتی

در واکنش  $A + R \rightarrow R + R$  با معادله سرعت  $-r_A = k C_A C_R$  رابطه (۲۱ - ۴) به شکل زیر درمی آید:

$$\frac{V}{F_{A_0}} = \frac{R+1}{k C_{A_0}^2} \ln \left[ \frac{1+R(1-x_{AF})}{R(1-x_{AF})} \right] \quad (۴ - ۲۵)$$

و یا

$$\frac{k \tau C_{A_0}}{R+1} = \ln \left[ \frac{1+R(1-x_{AF})}{R(1-x_{AF})} \right] \quad (۴ - ۲۶)$$

### نکات مهم:

- ۱) راکتور plug یک راکتور برگشتی با  $R = 0$  می باشد و راکتور mixed یک راکتور برگشتی با  $R = \infty$  می باشد.
- ۲) عملکرد یک راکتور برگشتی بین plug و mixed است. برقراری جریان برگشتی در راکتور plug، میزان تبدیل را کم می کند و آن را به سمت راکتور mixed میل می دهد ولی جریان برگشتی هیچ تأثیری روی میزان تبدیل راکتور mixed ندارد و می توان از آن به عنوان همزن استفاده کرد. پس در واقع راکتور برگشتی یک راکتور plug با جریان برگشتی می باشد.

### انتخاب راکتور برای واکنش های اتوکاتالیزوری

همان طور که قبلاً توضیح داده شد واکنش اتوکاتالیزوری



در روی منحنی  $-r_A - C_A$  دارای یک ماکزیمم در نقطه  $C_A = \frac{C_{A_0} + C_{R_0}}{2}$  می باشد. بنابراین اگر منحنی

بر حسب  $x_A$  برای این واکنش ترسیم شود دارای یک مینیمم خواهد بود. این نقطه مینیمم در

$$\left( -r_A \right) \text{ بر حسب } x_A \text{ خواهد بود.} \quad \left( C_A = C_R = \frac{C_0}{2} \rightarrow x_A = 1 - \frac{C_0}{C_{A_0}} = 1 - \frac{C_{A_0} + C_{R_0}}{2C_{A_0}} \right)$$

اگر  $x_{AF} < x_{A,min}$  باشد یک راکتور mixed بهترین انتخاب است.

اگر  $x_{AF} > x_{A,min}$  باشد یک راکتور mixed تا نقطه  $x_{A,min}$  و به دنبال آن یک راکتور plug از  $x_{A,min}$  تا  $x_{AF}$  بهترین انتخاب است. تردیدی نیست که در حالت  $x_{AF} > x_{A,min}$  بهترین راکتور منفرد، راکتور برگشتی یا Recycle می باشد.

مثال: جریانی از A با غلظت اولیه  $C_{A_0} = 1 \frac{\text{mol}}{\text{lit}}$  وارد یک راکتور پلاگ با جریان برگشتی  $R = 0.2$  می شود. اگر درصد تبدیل 90 و

سینتیک واکنش به صورت  $A + R \rightarrow R + R$  باشد، زمان اقامت مواد در راکتور چند ثانیه است؟  $\left( -r_A = C_A C_R \frac{\text{mol}}{\text{lit.Sec}} \right)$

5.12 (۴)

3.24 (۳)

4.72 (۲)

2.36 (۱)

حل: از معادله (۲۶ - ۴) داریم:

$$\frac{k \tau C_{A_0}}{R+1} = \ln \left[ \frac{1+R(1-x_{AF})}{R(1-x_{AF})} \right]$$

$$\frac{1 \times \tau \times 1}{1.2} = \ln \left[ \frac{1+0.2(1-0.9)}{0.2(1-0.9)} \right] \rightarrow \tau = 4.718 \text{ Sec}$$



## « تست‌های طبقه‌بندی شده فصل چهارم »

۱ - واکنش  $A \rightarrow P$  با سرعت  $-r_A = kC_A^n$  در دو راکتور مخزنی (Mixed) که به صورت سری به هم پیوسته‌اند، انجام می‌گیرد. اگر

حجم راکتور دوم دو برابر راکتور اول باشد، کدام یک از روابط زیر صحیح است؟

$$C_1 - C_2 = (C_0 - C_1) \left( \frac{C_2}{C_1} \right)^n \quad (۲) \qquad C_1 - C_2 = \frac{1}{2} (C_0 - C_1) \left( \frac{C_2}{C_1} \right)^n \quad (۱)$$

$$C_1 - C_2 = 2 (C_0 - C_1) \left( \frac{C_2}{C_1} \right)^n \quad (۴) \qquad C_1 - C_2 = 2 (C_0 - C_1) \left( \frac{C_2}{C_1} \right)^n \quad (۳)$$

۲ - واکنش  $A \rightleftharpoons R$  به معادله سرعت  $-r_A = 2C_A - C_R$  (mol / lit . min) مفروض است، می‌خواهند واکنش مذکور را تا

$X_A = 0.5$  در سیستمی متشکل از دو راکتور mixed پشت سر هم انجام دهند. شدت جریان خوراک 90 lit / min است.

حجم‌های دو راکتور را چند لیتر انتخاب کنند تا مجموع حجم‌های آن دو حداقل ممکن باشد؟ (خوراک متشکل از A خالص است).

(۱) حجم راکتور اول 60 lit و دومی 30 lit

(۲) حجم راکتور اول 30 lit و دومی 60 lit

(۳) حجم هر دو راکتور 60 lit

(۴) حجم هر دو راکتور 30 lit

۳ - یک واکنش درجه صفر در 5 راکتور mixed هم حجم پشت سر هم انجام می‌گیرد. اگر زمان اقامت در هر راکتور 1 دقیقه و

میزان تبدیل نهایی 80% باشد، ثابت سرعت واکنش چیست؟ (غلظت اولیه خوراک 1 mol / lit است)

(۱) 2.1 mole / lit . min (۲) 0.36 mole / lit . min (۳) 0.16 mole / lit . min (۴) هیچ یک از مقادیر فوق

۴ - یک واکنش درجه اول در 5 راکتور mixed هم حجم انجام می‌شود. اگر زمان اقامت در هر راکتور یک دقیقه و میزان تبدیل

نهایی 80% باشد، ثابت سرعت واکنش بر حسب  $\text{min}^{-1}$  چیست؟

(۱) 0.38 (۲) 0.76 (۳) 3.59 (۴) هیچ یک از مقادیر فوق

۵ - دو راکتور Plug پشت سر هم که حجم اولی 200 لیتر و دومی 400 لیتر است را جهت انجام یک واکنش درجه دوم به کار می‌برند.

اگر بخواهند به جای این دو راکتور فقط از یک راکتور Plug استفاده کنند حجم این راکتور Plug منفرد را چه باید در نظر

بگیرند؟

(۱) 600 لیتر

(۲) 500 لیتر

(۳) 1200 لیتر

(۴) بدون داشتن اطلاعاتی در مورد واکنش نمی‌توان اظهار نظر کرد.

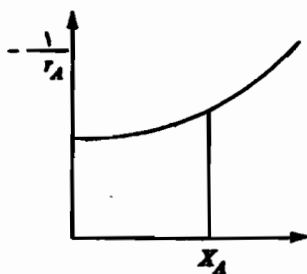
۶ - با توجه به شکل زیر کدام یک از جملات زیر برای رسیدن به میزان تبدیل  $X_A$  صحیح است؟

(۱) راکتور Plug حجم کمتری از راکتور mixed لازم دارد.

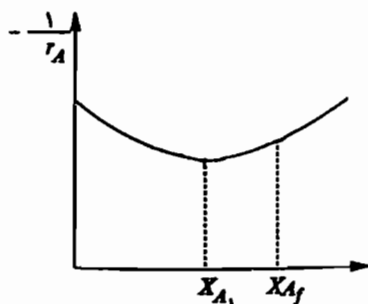
(۲) راکتور Plug حجم بیش‌تری از راکتور mixed لازم دارد.

(۳) راکتور Plug و mixed حجم برابری لازم دارند.

(۴) با اطلاعات فوق نمی‌توان دو راکتور را مقایسه نمود.



۷- واکنشی با مشخصات شکل زیر قرار است در دو راکتور Plug و mixed به صورت سری انجام پذیرد. کدام حالت در قرار گرفتن راکتورها مطلوب تر است؟



(۱) اول راکتور Plug بعد راکتور mixed

(۲) تقدم و تأخر راکتورها عملاً تأثیری ندارد.

(۳) اول راکتور mixed بعد راکتور Plug

(۴) اطلاعات فوق برای پاسخ کافی نیست.

۸- در حال حاضر درصد تبدیل خروجی از سومین راکتور بشکه ای با حجم های یکسان 97.3 درصد است. اگر واکنش درجه اول به فرم  $A \rightarrow R$  باشد، درصد تبدیل در خروجی از راکتور اولی برابر است با:

(۱) 50 درصد (۲) 60 درصد (۳) 68 درصد (۴) 91.89 درصد

۹- واکنش ابتدایی  $A+B \rightarrow R+S$  در سیستمی متشکل از یک راکتور mixed و به دنبال آن یک راکتور Plug صورت می گیرد. واکنش دارای معادله سرعتی به صورت  $-r_A = k C_A$  است. تعویض محل دو راکتور میزان تبدیل را چه تغییری می دهد؟

(۱) افزایش می دهد. (۲) کاهش می دهد.

(۳) هیچ (۴) بستگی به مقدار ثابت سرعت واکنش دارد.

۱۰- می خواهند واکنش اتوکاتالیزوری  $A + R \rightarrow R + R$  به معادله سرعت  $-r_A = k C_A C_R$  (mole/lit.min) را تا  $(C_R = 0$  و  $C_{A_0} = 1$  mol/lit) را تا  $(x_A = 0.4)$  40% در سیستمی با حداقل حجم ممکن انجام دهند. کدام سیستم را باید انتخاب کرد؟

(۱) یک راکتور Plug (۲) یک راکتور mixed

(۳) یک راکتور دوره ای (recycle) با جریان برگشتی بهینه (۴) یک راکتور mixed و به دنبال آن یک راکتور Plug

۱۱- یک واکنش درجه صفر در یک راکتور recycle به حجم 100 lit با نسبت جریان برگشتی  $R = 1$  دارای تبدیل 70% است. اگر به جای راکتور فوق بخواهیم از دو راکتور mixed پشت سر هم با حجم های یکسان استفاده کنیم و همان میزان تبدیل را به دست آوریم، حجم هر راکتور را چند لیتر در نظر بگیریم؟

(۱) 40 (۲) 50 (۳) 60 (۴) 70

۱۲- شدت جریان برگشتی در یک راکتور دوره ای (recycle) که در آن یک واکنش درجه اول  $A \rightarrow R$  انجام می شود، عبارت است از:

(۱)  $R = 1$  (۲)  $R = \infty$

(۳)  $R = 0$  (۴) بدون انجام محاسبات نمی توان تعیین کرد.

۱۳- در واکنش های اتوکاتالیزوری  $A + R \rightarrow R + R$  اگر هدف به دست آوردن درصد تبدیلی کمتر از درصد تبدیل در نقطه ماکزیمم سرعت باشد، کدام راکتور مناسب تر است؟

(۱) mixed (۲) ناپیوسته (Batch)

(۳) لوله ای (Plug) (۴) یک mixed متصل به یک لوله ای

۱۴- اگر درصد تبدیل خروجی از 3 راکتور لوله ای پشت سر هم 60 و دبی مولی ورودی به راکتور اول 6 مول بر دقیقه باشد، ثابت سرعت واکنش درجه اول  $A \rightarrow B$  با خوراک A خالص به غلظت 1 مولار چند بر دقیقه خواهد بود؟ (حجم هر راکتور = 20 لیتر)

(۱) 0.09 (۲) 0.45 (۳) 1 (۴) 1.31

۱۵ - یک واکنش درجه دوم در سیستمی متشکل از دو راکتور mixed با حجم‌های مختلف و یک راکتور Plug انجام می‌شود.

مناسب‌ترین نحوه اتصال این سه راکتور به صورت پشت سر هم چگونه است؟

- (۱) ابتدا راکتور mixed بزرگ سپس mixed کوچک‌تر و بالاخره راکتور Plug
- (۲) ابتدا راکتور Plug ، سپس راکتور mixed کوچک‌تر و بالاخره mixed بزرگ‌تر
- (۳) ابتدا راکتور Plug ، سپس راکتور mixed بزرگ‌تر و سپس راکتور mixed کوچک‌تر
- (۴) بدون انجام محاسبات لازم و معلوم بودن مشخصات واکنش نمی‌توان اظهار نظر کرد.

۱۶ - واکنش درجه اول  $A \rightarrow B$  با ثابت واکنش  $0.1 \text{ min}^{-1}$  در پنج راکتور mixed با حجم‌های مساوی که به طور سری به هم وصل شده‌اند انجام می‌گیرد. در صورتی که حجم هر راکتور 10 لیتر و دبی حجمی جریان به راکتور اول 5 lit / min باشد، میزان تبدیل در راکتور دوم برابر است با:

- (۱) 31% (۲) 65% (۳) 52% (۴) 84%

۱۷ - واکنش درجه اول فاز مایع  $A \rightarrow C + D$  با غلظت اولیه  $C_{A_0} = 1 \text{ mol/lit}$  در یک راکتور mixed با نسبت برگشتی برابر با 10 انجام می‌گیرد. در صورتی که  $k\tau = 4$  باشد، میزان تبدیل برابر است با:

- (۱) 0.67 (۲) 0.33 (۳) 0.17 (۴) 0.80

۱۸ - یک واکنش درجه صفر در کدام‌یک از راکتورهای هم حجم زیر بازدهی بیش‌تری دارد؟

- (۱) نوع راکتور مطرح نیست. (۲) راکتور لوله‌ای پیوسته (۳) راکتور بشکه‌ای پیوسته (۴) راکتورهای مخلوط شده سری

۱۹ - می‌خواهیم واکنش  $A \rightarrow B$  با  $k = 0.4 \text{ min}^{-1}$  را در دو راکتور بشکه‌ای پیوسته هم حجم سری تا میزان درصد تبدیل 75% انجام دهیم. دبی حجمی خوراک 100 lit / min است. حجم راکتور دوم چه مقدار باید باشد؟

- (۱) 135 لیتر (۲) 250 لیتر (۳) 200 لیتر (۴) 125 لیتر

۲۰ - واکنش درجه صفر  $A \rightarrow 2R$  در فاز گاز در دو راکتور لوله‌ای با خوراک خالص انجام می‌شود. اگر  $C_{A_0} = 1 \text{ mol/lit}$  و

$$C_{A_1} = \frac{C_{A_0}}{2} \text{ و } C_{A_2} = \frac{C_{A_0}}{10} \text{ باشد، آن‌گاه حجم راکتور دوم چند برابر حجم راکتور اول است؟}$$

- (۱) 1.15 (۲) 1.25 (۳) 1.35 (۴) 1.45

۲۱ - واکنش درجه اول  $A \rightarrow R$  در 4 راکتور mixed متوالی انجام می‌شود و غلظت A خروجی از راکتور سوم، چهار سوم غلظت A خروجی از راکتور چهارم است. اگر زمان اقامت در کل سیستم 10 hr باشد، ثابت سرعت چقدر است؟

- (۱) 0.13 بر ساعت (۲) 3.3 بر ساعت (۳) 5 بر ساعت (۴) 8 بر ساعت

۲۲ - واکنش ابتدایی  $A \rightarrow 2R$  در فاز مایع در دو راکتور mixed متوالی با کم‌ترین مجموع حجم ممکن انجام می‌شود. اگر  $C_{A_0} = 10$  و  $C_{A_1} = 5$  باشد، غلظت A خروجی از راکتور دوم چقدر است؟

- (۱) 1.5 (۲) 2.5 (۳) 3 (۴) 3.5

۲۳ - در یک راکتور Recycle با  $R = 1$  واکنش درجه اول  $A \rightarrow R$  با تبدیل 50 درصد انجام می‌شود. اگر  $R = 2$  شود، تبدیل چند درصد تغییر خواهد کرد؟

- (۱) 0.48 (۲) 3.6 (۳) 48 (۴) 36

۲۴ - در یک راکتور دوره‌ای که در آن نسبت جریان برگشتی  $R = 1$  می‌باشد واکنش درجه دوم  $2A \rightarrow P$  در فاز مایع انجام می‌گردد و درجه تبدیل  $\frac{2}{3}$  می‌باشد در صورتی که جریان برگشتی را قطع نماییم میزان تبدیل چقدر می‌شود؟

- (۱) 0.85 (۲) 0.94 (۳) 0.70 (۴) 0.75

۲۵ - واکنش  $nA \rightarrow R$  در دو راکتور متوالی، اولی mixed و دومی Plug انجام می‌شود. ملاحظه می‌شود در صورت تعویض جای دو راکتور شدت خوراک ورودی برای رسیدن به تبدیل معین ثابت می‌ماند. در این صورت درجه واکنش کدام است؟

- (۱) 0 (۲) 0.5 (۳) 1 (۴) هر عددی می‌تواند باشد.

۲۶ - می‌خواهیم یک واکنش درجه اول  $A \xrightarrow{k} R$  را در دو راکتور mixed پشت سر هم تا میزان تبدیل 75% انجام دهیم.  $k=0.1 \text{ min}^{-1}$  و دبی حجمی خوراک  $v_0 = 100 \text{ lit/min}$  می‌باشد. حجم هر کدام از راکتورها را چند لیتر در نظر بگیریم تا حجم کل سیستم حداقل باشد؟

- (۱) راکتور اول به حجم 1000 لیتر و دومی به حجم 2000 لیتر (۲) دو راکتور با حجم‌های مساوی و برابر با 1500 لیتر  
(۳) دو راکتور با حجم‌های مساوی و برابر با 1000 لیتر (۴) دو راکتور با حجم‌های مساوی و برابر با 2000 لیتر

۲۷ - یک واکنش درجه صفر در یک راکتور دوره‌ای (Recycle) با نسبت جریان برگشتی واحد ( $R = 1$ ) به میزان 80% تبدیل می‌شود. اگر جریان برگشتی را قطع کنیم، میزان تبدیل چه خواهد شد؟

- (۱) 80% (۲) 75% (۳) 85% (۴) هیچ‌کدام از مقادیر فوق

۲۸ - برای انجام واکنش اتوکاتالیزوری  $A + R \rightarrow R + R$  که  $C_A = 2C_R$  شود کدام سیستم راکتور مناسب‌تر است؟

- (۱) mixed (۲) Plug (۳) mixed و سپس Plug (۴) Recycle

۲۹ - پنج راکتور مخلوط کننده پشت سر هم را در نظر می‌گیریم که حجم هر یک مساوی  $V$  می‌باشد. زمان متوسط اقامت سیال برای واکنش درجه یک در داخل این پنج راکتور برابر است با:

$$\tau = \frac{5}{k} \left[ \left( \frac{C_0}{C_5} \right)^{\frac{1}{5}} - 1 \right] \quad (۴) \quad \tau = \frac{5}{k} \left[ \left( \frac{C_0}{C_5} \right) - 1 \right]^5 \quad (۳) \quad \tau = \frac{5}{k} \left[ \left( \frac{C_0}{C_5} \right)^5 - 1 \right] \quad (۲) \quad \tau = \frac{5}{k} \left[ \left( \frac{C_0}{C_5} \right) - 1 \right]^{\frac{1}{5}} \quad (۱)$$

۳۰ - می‌خواهیم واکنش  $A \xrightleftharpoons[k_2]{k_1} R$  به معادله سرعت  $-r_A = 2C_A - C_R$  ( $C_{R_0} = 0$ ,  $C_{A_0} = 1 \text{ mol/lit}$ ) را تا میزان تبدیل 40% در دو راکتور mixed پشت سر هم انجام دهیم. زمان اقامت در هر راکتور را چند دقیقه در نظر بگیریم تا مجموع حجم برای دو راکتور حداقل ممکن باشد؟

- (۱)  $\tau_1 = 8$ ,  $\tau_2 = 8$  (۲)  $\tau_1 = 0.1$ ,  $\tau_2 = 0.1$  (۳)  $\tau_1 = 0.2$ ,  $\tau_2 = 0.2$  (۴)  $\tau_1 = 2.5$ ,  $\tau_2 = 2.5$

۳۱ - واکنش اتوکاتالیزوری  $A + R \rightarrow R + R$  ( $-r_A = kC_A C_R$ ) در یک راکتور mixed با جریان برگشتی  $R = 1$  انجام می‌شود.  $(C_{R_0} \equiv 0)$  میزان تبدیل 60% است. برای افزایش تولید، جریان برگشتی بسته می‌شود. این عمل چه اثری بر میزان تبدیل  $A$  خواهد داشت؟

- (۱) واکنش را متوقف خواهد کرد. (۲)  $X_A$  زیاد می‌شود.

- (۳)  $X_A$  کم می‌شود. (۴)  $X_A$  تغییری نمی‌کند.

۳۲ - یک جریان خوراک آبی (aq) حاوی  $A$  با غلظت  $C_{A_0} = 2 \text{ mole/lit}$  وارد یک راکتور Plug با جریان برگشتی  $R = 0.31$  می‌شود. در صورتی که درصد تبدیل 95% و سینتیک واکنش به صورت  $A + R \rightarrow R + R$  باشد، زمان اقامت مواد در راکتور چند ثانیه است؟

- (۱) 1.93 (۲) 2.74 (۳) 3.57 (۴) 4.72

۳۳ - در اتصال راکتورهای به صورت موازی به کدام مورد باید اهمیت داد؟

- (۱) از مخلوط کردن دو جریان با درجه تبدیل‌های متفاوت خودداری کرد.

- (۲) در هر مسیر بایستی اول حجم بزرگ‌تر را قرار داد.

- (۳) در هر مسیر بایستی اول حجم کوچک‌تر را قرار داد.

- (۴) مسیرهای جریان بایستی طوری تنظیم بشود که میزان تبدیل در هر کدام حداکثر باشد.

۳۴ - 70 درصد جسم A به وسیله یک واکنش درجه دوم در یک راکتور mixed به محصول تبدیل می‌شود. حال اگر راکتور mixed

دومی مشابه با اولی به صورت سری به آن متصل نماییم برای خوراک و شدت جریان موجود تبدیل چقدر می‌شود؟ ( $\varepsilon_A = 0$ )

- (۱) 0.51 (۲) 0.65 (۳) 0.70 (۴) 0.86

۳۵ - می‌خواهیم واکنش  $A \xrightarrow{k} B$  با  $k = 0.4 \text{ min}^{-1}$  را در دو راکتور mixed هم حجم پشت سر هم تا درصد تبدیل 75 انجام

دهیم. دبی حجمی خوراک 100 lit / min است. حجم راکتور دومی چند لیتر است؟

- (۱) 125 (۲) 135 (۳) 250 (۴) 270

۳۶ - دو راکتور مخلوط شونده (mixed) یکی 5 لیتری و دیگری 3 لیتری قرار است به صورت سری متصل شوند. واکنش شیمیایی

به صورت  $A \rightarrow R$  به معادله سرعت  $-r_A = 0.35 C_A^{0.5}$  است. اگر غلظت A در خوراک  $C_{A_0} = 1.5 \text{ mole/lit}$  و سرعت حجمی

خوراک 2.5 lit / min باشد، حداکثر تبدیل خروجی از این سیستم چند درصد است؟

- (۱) 35 (۲) 40 (۳) 51 (۴) 68

۳۷ - یک واکنش ابتدایی  $A \rightarrow R$  در فاز مایع در 2 راکتور مخلوط شونده که به صورت سری به یکدیگر متصلند، انجام می‌گیرد.

اگر غلظت اولیه ورودی به راکتور اول  $C_{A_0} = 1 \text{ mole/lit}$  و غلظت خروجی از راکتور اول  $C_{A_1} = 0.5 \text{ mole/lit}$  باشد و حجم

راکتور دوم 4 برابر بزرگ‌تر از حجم راکتور اول باشد، غلظت خروجی از راکتور دوم چند مول بر لیتر است؟

- (۱) 0.01 (۲) 0.05 (۳) 0.85 (۴) 0.1

۳۸ - یک واکنش درجه اول با میزان تبدیل 90 % در یک راکتور Plug انجام می‌گیرد. اگر بخواهیم این واکنش با همان میزان

تبدیل (90 %) در سیستمی متشکل از دو راکتور mixed هم حجم صورت گیرد، حجم هر راکتور را چند برابر حجم راکتور Plug

باید انتخاب کرد؟

- (۱) 2.21 (۲) 1.12 (۳) 0.94 (۴) 0.75

۳۹ - می‌خواهند واکنش  $A \xrightarrow{k} R$  ،  $-r_A = kC_A$  ، و  $k = 1 \text{ min}^{-1}$  را در دو راکتور mixed پشت سر هم تا میزان تبدیل 80%

انجام دهند. شدت جریان خوراک 100 lit / min است. حجم هر راکتور را چند لیتر در نظر بگیرند تا مجموع حجم آن‌ها حداقل

ممکن باشد؟

- (۱)  $V_1 = 248$  ،  $V_2 = 124$  (۲)  $V_1 = 124$  ،  $V_2 = 248$

- (۳)  $V_1 = V_2 = 248$  (۴)  $V_1 = V_2 = 124$

۴۰ - در سیستمی متشکل از یک راکتور mixed و یک راکتور Plug که حجم هر دو یکسان است و به صورت موازی قرار دارند

واکنشی از درجه اول  $A \rightarrow R$  ،  $-r_A = kC_A$  ، صورت می‌گیرد. اگر بخواهند که میزان تبدیل در هر دو راکتور %

80 باشد، باید نسبت خوراک ورودی به دو راکتور ( $F_{\text{plug}} / F_{\text{mixed}}$ ) برابر باشد با:

- (۱) 4 (۲) 3.5 (۳) 2.5 (۴) 1

۴۱ - واکنش یک طرفه  $A \rightarrow 2B$  در فاز گاز صورت می‌گیرد. سرعت مصرف A برای  $x_A \leq 0.5$  برابر با

$-r_A = \frac{10^{-8}}{3}$  (m<sup>3</sup> . Sec / mole) و برای  $x_A > 0.5$  برابر با  $-r_A = \frac{10^{-8}}{3+10(x_A-0.5)}$  است. اگر غلظت اولیه A برابر

0.2 g mole / lit و شدت حجمی 5 m<sup>3</sup> / Sec باشد، به ازای چه مقادیری از  $x_A$  ، حجم راکتورهای mixed و Plug مورد استفاده

مساوی می‌شوند؟

- (۱)  $\leq 0.5$  (۲)  $= 0.5$  (۳)  $> 0.5$  (۴) هیچ مقدار

۴۲ - 6 راکتور مخلوط کننده (CSTR) پشت سر هم را در نظر می‌گیریم که حجم هر یک  $V$  می‌باشد. زمان متوسط اقامت سیال برای واکنش درجه اول برگشتناپذیر در داخل کل سیستم برابر است با:

$$\tau = 6/k \left[ \left( C_0/C_6 - 1 \right) \right]^{\frac{1}{6}} \quad (1) \quad \tau = 6/k \left[ \left( C_0/C_6 \right)^{\frac{1}{6}} - 1 \right]$$

$$\tau = 6/k \left[ \left( C_0/C_6 - 1 \right) \right] \quad (2) \quad \tau = k/6 \left[ \left( C_0/C_6 \right) - 1 \right]^{\frac{1}{6}} \quad (3)$$

۴۳ - دو راکتور CSTR با زمان‌های اقامت متوسط  $\tau_1$  و  $\tau_2$  به طور سری قرار دارند. اگر سرعت واکنش که در این دو راکتور انجام می‌شود تابعیت  $-r_A = kC_A$  داشته باشد، نسبت غلظت خروجی از راکتور اول به دوم برابر است با:

$$1/(1+k\tau_1) \quad (1) \quad 1+k\tau_1 \quad (2) \quad 1/(1+k\tau_2) \quad (3) \quad 1/(1+k\tau_1) \quad (4)$$

۴۴ - سه راکتور بشکه‌ای با حجم‌های مختلف را به طور موازی برای تولید یک محصول می‌خواهیم به هم وصل کنیم. تقسیم خوراک بین سه راکتور بایستی طوری باشد که:

(۱) برای واکنش درجه اول خوراک مساوی بین راکتورها تقسیم شود.

(۲) برای واکنش درجه اول میزان تقسیم خوراک بین راکتورها اهمیتی ندارد.

(۳) برای واکنش درجه اول یا هر درجه دیگر، تقسیم خوراک باید مساوی انجام بگیرد.

(۴) برای واکنش درجه اول یا هر درجه دیگر، درصد تبدیل خروجی از هر کدام از راکتورها یکسان باشد.

۴۵ - میزان تبدیل در واکنش درجه اول فاز گاز  $A \rightarrow R$  که در یک راکتور mixed به حجم  $87 \text{ m}^3$  صورت می‌گیرد 60% است. شدت جریان خوراک  $100 \frac{\text{m}^3}{\text{min}}$  است که متشکل از 25% A و 75% گاز خنثی است. ثابت سرعت واکنش چیست؟

$$0.25 \text{ min}^{-1} \quad (1) \quad 2 \text{ min}^{-1} \quad (2) \quad 1 \text{ min}^{-1} \quad (3) \quad 0.5 \text{ min}^{-1} \quad (4)$$

۴۶ - واکنش فاز گازی و در شرایط آدیاباتیک  $\frac{1}{2}A+B \rightarrow 2C$  در یک راکتور مخلوط شونده جاری انجام می‌شود. اجزا A, B به نسبت‌های استوکیومتری وارد راکتور می‌شوند. نسبت شدت مولی جز A ورودی به سرعت واکنش بر حسب لیتر به صورت رابطه

$$\frac{F_{A_0}}{-r_A} = 100 + 800 x_A \quad \text{داده شده است. حجم راکتور برای میزان تبدیل 50 درصد برابر است با:}$$

$$100 \text{ لیتر} \quad (1) \quad 250 \text{ لیتر} \quad (2) \quad 200 \text{ لیتر} \quad (3) \quad 150 \text{ لیتر} \quad (4)$$

۴۷ - واکنش برگشت پذیر  $A \rightleftharpoons 2R$  به معادله  $\frac{\text{mol}}{\text{lit.min}}$   $-r_A = (1) C_A - (1) C_R^2$  در فاز گاز و در یک راکتور mixed انجام

می‌شود. خوراک شامل A خالص به غلظت  $C_{A_0} = 1 \frac{\text{mol}}{\text{lit}}$  است. اگر زمان اقامت متوسط  $\bar{t}$  (mean residence time) در این راکتور 20 دقیقه باشد، میزان تبدیل A چیست؟

$$22\% \quad (1) \quad 38\% \quad (2) \quad 44\% \quad (3) \quad 56\% \quad (4)$$

۴۸ - در مقایسه مدل‌های راکتور لوله‌ای (Plug flow) و مدل حرکت آرام سیال در لوله (Laminar Flow) می‌توان گفت:

(۱) هر دو مدل اختلاط در جهت شعاعی (radial) لوله را می‌پذیرند.

(۲) هر دو مدل اختلاط در جهت شعاعی (radial) لوله را نمی‌پذیرند.

(۳) مدل دوم برخلاف اولی اختلاط در جهت شعاعی لوله (radial) را می‌پذیرد.

(۴) مدل اول برخلاف دومی اختلاط در جهت شعاعی لوله (radial) را می‌پذیرد.

۴۹ - یک واکنش با درجه مثبت در یک راکتور با اختلاط کامل انجام گرفته و میزان تبدیل حدود 4 درصد به دست می‌آید. اگر این

واکنش در یک راکتور لوله‌ای انجام گیرد برای رسیدن به همان میزان تبدیل نسبت حجم دو راکتور  $\left(\frac{V_m}{V_p}\right)$  تقریباً چقدر باید باشد؟

- (۱)  $\sim 10$       (۲)  $\sim 1$       (۳)  $\sim 0.1$       (۴)  $\sim 100$

۵۰ - اطلاعات زیر در یک راکتور با اختلاط کامل (mixed) به دست آمده‌اند. اگر این واکنش در یک راکتور لوله‌ای (plug) انجام گیرد. برای رسیدن از  $C_{A0}=100$  به  $C_A=20$  تقریباً چه مقدار خواهد بود؟

$C_A$	20	60	100
$\frac{1}{-r_A}$	2	0.275	0.11

- (۱) 84      (۲) 53      (۳) 23      (۴) 12

۵۱ - واکنش متجانس گازی  $A+2B \rightarrow 2D$  در یک راکتور لوله‌ای پیوسته در فشار 5 اتمسفر انجام می‌گیرد. خوراک ورودی با  $n_A=0.2$  ،  $n_B=0.5$  ،  $n_{inert}=0.3$  مول وارد راکتور می‌شود. اگر بتوان از افت فشار صرف نظر کرد، دبی حجمی خوراک در هر نقطه از راکتور را بنویسید.

$$v = v_0(1 + 0.2x_A) \quad (۱)$$

$$v = v_0(1 - 0.1x_A) \quad (۲)$$

(۴) اطلاعات کافی داده نشده است.

$$v = v_0(1 - 0.2x_A) \quad (۳)$$

۵۲ - یک واکنش درجه صفر  $A \rightarrow 3R$  با  $-r_A = 0.2 \frac{\text{mol}}{\text{lit.min}}$  در فاز گاز و در پنج راکتور mixed پشت سرهم انجام می‌شود. حجم هر

راکتور 100 lit و شدت جریان خوراک ورودی به سیستم  $100 \frac{\text{lit}}{\text{min}}$  و متشکل از A خالص به غلظت  $C_{A0} = 0.05 \frac{\text{mol}}{\text{lit}}$  است.

میزان تبدیل A در جریان خروجی از سیستم چیست؟

- (۱) 50 %      (۲) 80 %

- (۳) 100 %      (۴) اطلاعات داده شده برای حل مسئله کافی نیست.

۵۳ - یک واکنش درجه صفر در یک راکتور mixed با میزان تبدیل 50 % انجام می‌شود. اگر سه راکتور دیگر مشابه با راکتور

نخستین به سیستم اضافه کنیم (مجموعاً چهار راکتور مشابه پشت سرهم) شدت جریان را باید چند برابر افزایش دهیم تا میزان

تبدیل در کل سیستم همان 50 % باقی بماند؟

- (۱) 4      (۲) 6

- (۳) 8      (۴) بدون معلوم بودن ثابت سرعت و غلظت خوراک نمی‌توان پیش‌بینی کرد.

۵۴ - می‌خواهیم واکنش  $A \rightarrow B+C$  با سرعت  $r = kC_A$  را در فاز مایع در دو عدد CSTR سری انجام دهیم به طوری که کسر

تبدیل در خروجی از راکتور دوم  $x_A = 0.8$  باشد. کسر تبدیل اپتیمم در خروجی از راکتور اول که حجم کل دو راکتور را می‌نیم

می‌کند کدام است؟

$$x_{A1} = 1 - \frac{1}{0.8\sqrt{5}} \quad (۴) \quad x_{A1} = 1 - \frac{0.8}{\sqrt{5}} \quad (۳) \quad x_{A1} = 1 - \frac{1}{\sqrt{5}} \quad (۲) \quad x_{A1} = 0.8 - \frac{1}{\sqrt{5}} \quad (۱)$$

۵۵ - یک محلول حاوی ماده اولیه A با غلظت اولیه 4 مول بر لیتر وارد یک راکتور بشکهای پیوسته که به صورت دنباله‌دار به یک راکتور لوله‌ای پیوسته متصل شده است وارد می‌گردد. واکنش از نوع درجه دوم بوده و حجم راکتور لوله‌ای سه برابر حجم راکتور بشکهای است. اگر غلظت محلول خروجی از راکتور بشکهای برابر با 1 مول بر لیتر باشد، غلظت نهایی خروجی از راکتور لوله‌ای را محاسبه کنید.

(۱) 0.01 مولار (۲) 0.1 مولار (۳) 0.5 مولار (۴) 0.1 مولار

۵۶ - واکنش زیر را در نظر بگیرید. اگر این واکنش در یک راکتور برگشتی (Recycle) انجام گیرد، حجم حداقل برای رسیدن

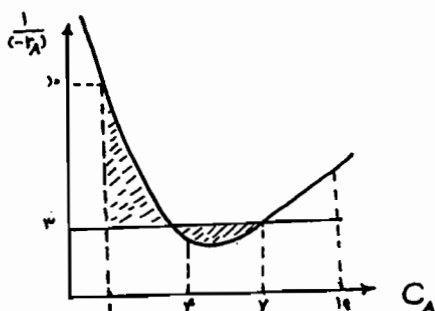
$$C_{A_0} = 10 \text{ به } C_A = 1 \text{ برابر است با } (v_0 = 100)$$

(۱) 2700

(۲) 2100

(۳) 1800

(۴) 18



۵۷ - اگر در یک راکتور با جریان برگشتی مقدار R برابر با 0.95 باشد آن‌گاه عملکرد این راکتور شبیه به چه راکتوری خواهد بود؟

(۱) ناپیوسته (۲) لوله‌ای پیوسته

(۳) مخزنی همزن‌دار پیوسته (۴) ترکیبی از تعداد زیادی راکتور مخزنی همزن‌دار پیوسته

۵۸ - واکنش درجه اول فاز مایع  $A \xrightarrow{k} C+D$  با غلظت اولیه 1 مولار خوراک در یک راکتور مخزنی همزن‌دار پیوسته با نسبت

برگشتی 15 انجام می‌شود. در صورتی که  $k\tau = 4$  باشد میزان تبدیل برابر است با:

(۱) 17 درصد (۲) 33 درصد (۳) 67 درصد (۴) 80 درصد

۵۹ - یک واکنش درجه صفر در دو راکتور مخزنی همزن‌دار پیوسته پشت سر هم که حجم هر یک برابر V می‌باشد با میزان تبدیل

60% صورت می‌گیرد. پیشنهاد شده است که به منظور افزایش تبدیل به جای دو راکتور مذکور از یک راکتور لوله‌ای پیوسته به

حجم 1.5V استفاده شده و تغییری در شرایط عملیاتی واکنش داده نشود. در صورت این تعویض میزان تبدیل ترکیب شونده چه

خواهد شد؟

(۱) 45% (۲) 60% (۳) 65% (۴) 70%

۶۰ - در دو راکتور مخزنی همزن‌دار پیوسته هم حجم که به طور سری به یکدیگر متصل شده واکنش درجه یک  $A \xrightarrow{k} P$  انجام

می‌شود.  $\tau = 3 \text{ min}$  و  $k = 2 \text{ min}^{-1}$  است. سرعت واکنش در راکتور اول چند برابر سرعت واکنش در راکتور دومی است؟

(۱) مساوی (۲) هفت برابر

(۳) دو برابر (۴) بستگی به غلظت اولیه ماده A در واکنش دارد.

۶۱ - واکنش اتوکاتالیزوری  $A+B \rightarrow 2B$  در یک راکتور مخزنی همزن‌دار پیوسته با جریان برگشتی انجام می‌پذیرد. اگر نسبت

جریان برگشتی 5 برابر شود، درصد تبدیل چگونه تغییر می‌کند؟

(۱)  $\frac{1}{5}$  برابر می‌شود. (۲) 5 برابر می‌شود.

(۳) با اطلاعات موجود نمی‌توان اظهار نظر کرد. (۴) هیچ تغییر نمی‌کند.



۶۲- واکنش درجه اول  $A \rightarrow B$  در داخل 2 راکتور مخلوط‌شونده کامل (CSTR) و لوله‌ای پیوسته پشت‌سرهم صورت می‌گیرد.

برای افزایش تولید محصول واکنش کدام ترتیب قرار گرفتن راکتورها بهتر است؟ (مهندسی شیمی سراسری - ۸۸)

(۱) راکتور لوله‌ای پیوسته اول قرار گیرد. (۲) کوچکترین راکتور در ابتدا قرار گیرد.

(۳) راکتور مخلوط‌شونده کامل اول قرار گیرد. (۴) ترتیب راکتورها هیچ تاثیری بر درصد تبدیل ندارد.

۶۳- برای انجام یک واکنش درجه 2، نحوه اتصال راکتورهای plug با حجم  $v_{\rho_1} = 10 \text{ lit}$  و  $v_{\rho_2} = 20 \text{ lit}$  و راکتورهای بشک‌های

(آزمون‌های آزمایشی پارسه - ۸۸)  $V_{m_1} = 30 \text{ lit}$ ،  $V_{m_2} = 40 \text{ lit}$  به ترتیب از راست مطابق کدام است؟

(۱)  $V_{\rho_2} - V_{\rho_1} - V_{m_2} - V_{m_1}$  (۲)  $V_{\rho_1} - V_{\rho_2} - V_{m_1} - V_{m_2}$

(۳)  $V_{m_1} - V_{m_2} - V_{\rho_2} - V_{\rho_1}$  (۴)  $V_{m_2} - V_{m_1} - V_{\rho_1} - V_{\rho_2}$

## پاسخ تست‌های طبقه‌بندی فصل چهارم

۱ - گزینه ۴ صحیح می‌باشد.

$$\tau_1 = \frac{C_{A_0} - C_{A_1}}{k C_{A_1}^n}, \quad \tau_2 = \frac{C_{A_1} - C_{A_2}}{k C_{A_2}^n} \quad \text{و} \quad \tau_2 = 2\tau_1 \Rightarrow \frac{C_{A_1} - C_{A_2}}{k C_{A_2}^n} = \frac{2(C_{A_0} - C_{A_1})}{k C_{A_1}^n}$$

$$C_{A_1} - C_{A_2} = 2(C_{A_0} - C_{A_1}) \left( \frac{C_{A_2}}{C_{A_1}} \right)^n$$

۲ - گزینه ۳ صحیح می‌باشد.

$$\tau_1 = \frac{C_{A_0} - C_{A_1}}{2C_{A_1} - C_{R_1}} = \frac{C_{A_0} x_{A_1}}{2C_{A_0}(1-x_{A_1}) - C_{A_0} x_{A_1}} \Rightarrow \tau_1 = \frac{x_{A_1}}{2-3x_{A_1}}$$

$$\tau_2 = \frac{C_{A_0}(x_{A_2} - x_{A_1})}{2C_{A_0}(1-x_{A_2}) - C_{A_0} x_{A_2}} \Rightarrow \tau_2 = \frac{x_{A_2} - x_{A_1}}{2-3x_{A_2}}$$

$$\tau_2 = \frac{0.5 - x_{A_1}}{0.5} = 1 - 2x_{A_1}$$

از آن جا که  $x_{A_2} = 0.5$

$$\tau_1 + \tau_2 = \frac{x_{A_1}}{2-3x_{A_1}} + 1 - 2x_{A_1} \Rightarrow \frac{d(\tau_1 + \tau_2)}{dx_{A_1}} = 0 \Rightarrow x_{A_1} = \frac{1}{3}$$

$$\tau_1 = \tau_2 = \frac{1}{3} \Rightarrow V_1 = V_2 = 30 \text{ lit}$$

**نکته مهم:** حجم‌های دو راکتور mixed پشت سر هم برای انجام واکنش درجه اول برگشت‌پذیر و برگشت‌ناپذیر حداقل شدن حجم کل، باید با هم مساوی باشند.

۳ - گزینه ۳ صحیح می‌باشد.

$$C_{A_0} - C_{AN} = Nk\tau_i$$

چون واکنش مذکور درجه صفر می‌باشد لذا:

$$C_{AN} = C_{A_0}(1 - X_{AN}) = 1(1 - 0.8) = 0.2 \text{ mol/lit}$$

$$1 - 0.2 = 5k(1) \Rightarrow k = 0.16 \text{ mol/lit.min}$$

۴ - گزینه ۱ صحیح می‌باشد.

$$\tau_N = \frac{N}{k} \left[ \left( \frac{C_{A_0}}{C_{AN}} \right)^{\frac{1}{N}} - 1 \right]$$

چون واکنش مذکور درجه اول می‌باشد لذا:

$$\tau_N = N\tau_i \Rightarrow \tau_N = 5 \times 1 = 5 \text{ min}, \quad C_{AN} = C_{A_0}(1 - x_{AN}) \Rightarrow C_{AN} = 1(1 - 0.8) = 0.2 \text{ mol/lit}$$

$$5 = \frac{5}{k} \left[ (5)^{\frac{1}{5}} - 1 \right] \Rightarrow k = 0.379 \text{ min}^{-1}$$

۵ - گزینه ۱ صحیح می‌باشد.

در مورد چند راکتور Plug با اتصال موازی - سری، کل سیستم را می‌توان همانند یک راکتور Plug با حجمی برابر با حجم تمام واحدهای جداگانه در نظر گرفت.

۶ - گزینه ۱ صحیح می‌باشد.

چون منحنی  $\frac{1}{-r_A}$  بر حسب  $X_A$  صعودی است لذا درجه واکنش بزرگ‌تر از واحد بوده ( $n > 1$ ) بنابراین راکتور Plug حجم کمتری نسبت به راکتور mixed برای رسیدن به یک درصد تبدیل معین لازم دارد.

۷ - گزینه ۳ صحیح می‌باشد.

چون منحنی  $\frac{1}{-r_A}$  بر حسب  $X_A$  تا نقطه  $X_{A1}$  نزولی و از  $X_{A1}$  تا  $X_{Af}$  صعودی می‌باشد بنابراین ابتدا از راکتور mixed تا میزان تبدیل  $X_{A1}$  و سپس از راکتور Plug تا میزان تبدیل  $X_{Af}$  استفاده می‌کنیم.

۸ - گزینه ۳ صحیح می‌باشد.

چون واکنش مذکور درجه اول باشد بنابراین:

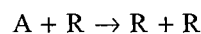
$$\frac{1}{1-X_{AN}} = (1+k\tau_i)^N \Rightarrow \frac{1}{1-0.973} = (1+k\tau_i)^3 \Rightarrow k\tau_i = 2.33$$

$$\frac{1}{1-X_{A1}} = (1+k\tau_i)^1 \Rightarrow \frac{1}{1-X_{A1}} = 3.33 \Rightarrow X_{A1} = 0.7$$

۹ - گزینه ۳ صحیح می‌باشد.

چون واکنش مذکور ابتدایی می‌باشد بنابراین درجه دوم بوده و باید ابتدا راکتور Plug و بعد راکتور mixed قرار گیرد لذا گزینه ۱ صحیح خواهد بود ولی از آن‌جا که  $-r_A = kC_A$  می‌باشد (میزان B زیاد می‌باشد) بنابراین واکنش درجه اول فرض شده.

۱۰ - گزینه ۲ صحیح می‌باشد.



$$C_0 = C_{A0} + C_{R0} = C_A + C_R$$

از آن‌جا که:

$$-r_A = kC_A(C_0 - C_A) \Rightarrow \frac{d(-r_A)}{dC_{A0}} = 0 \Rightarrow C_A = \frac{C_0}{2}$$

پس:

$$X_{A,opt} = 1 - \frac{C_{A,opt}}{C_{A0}} = 1 - 0.5 = 0.5$$

و چون  $X_A < X_{A,opt}$  می‌باشد، بنابراین تنها از یک راکتور mixed استفاده می‌شود.

۱۱ - گزینه ۲ صحیح می‌باشد.

چون پیشرفت واکنش درجه صفر به نوع جریان سیال و نوع راکتور بستگی ندارد، لذا برای به‌دست آوردن میزان تبدیل 70 درصد، سیستم راکتور باید دارای حجم 100 lit باشد. بنابراین دو راکتور mixed که حجم هر یک 50 lit می‌باشد مورد نیاز است.

۱۲ - گزینه ۳ صحیح می‌باشد.

با توجه به آن که برای واکنش‌هایی با درجه مثبت ( $n > 0$ )، راکتور لوله‌ای (Plug) یک راکتور بهینه محسوب می‌گردد لذا اگر جریان برگشتی بسته شود ( $R = 0$ )، راکتور مذکور به راکتور Plug کامل تبدیل شده و بازده بیش‌تری پیدا می‌کند.

۱۳ - گزینه ۱ صحیح می‌باشد.

۱۴ - گزینه ۱ صحیح می‌باشد.

$$A \rightarrow B, \quad V_{\text{total}} = 60(\text{lit}), \quad \varepsilon_A = 0, \quad \tau_p = \frac{V_{\text{total}}}{V_0} = \frac{C_{A_0} V_{\text{total}}}{F_{A_0}}$$

$$k \tau_p = -\ln(1 - X_A) \Rightarrow k \left( \frac{1 \times 60}{6} \right) = -\ln(1 - 0.6) \Rightarrow k = 0.091 \text{ min}^{-1}$$

۱۵ - گزینه ۲ صحیح می باشد.

چون درجه واکنش بزرگتر از واحد می باشد.

۱۶ - گزینه ۱ صحیح می باشد.

$$\tau_N = \frac{N}{k} \left[ \left( \frac{C_{A_0}}{C_{A_N}} \right)^{\frac{1}{N}} - 1 \right], \quad \tau_N = N \tau_i \Rightarrow \tau_2 = 2 \tau_i = 2 \left( \frac{10}{5} \right) = 4$$

بنابراین:

$$4 = \frac{2}{0.1} \left[ \left( \frac{C_{A_0}}{C_{A_2}} \right)^{\frac{1}{2}} - 1 \right] \Rightarrow \frac{C_{A_0}}{C_{A_2}} = 1.44, \quad \frac{C_{A_0}}{C_{A_2}} = \frac{1}{1 - x_{A_2}}$$

$$1.44 = \frac{1}{1 - x_{A_2}} \Rightarrow x_{A_2} = 0.3055 \approx 0.31$$

۱۷ - همان طور که می دانیم جریان برگشتی هیچ تأثیری بر میزان درصد تبدیل راکتور mixed ندارد. بنابراین:

$$\tau_m = \frac{C_{A_0} x_A}{k C_{A_0} (1 - x_A)} \Rightarrow k \tau_m = \frac{x_A}{1 - x_A} = 4 \Rightarrow x_A = 0.8$$

لذا گزینه ۴ صحیح می باشد.

۱۸ - گزینه ۱ صحیح می باشد.

چون پیشرفت واکنش درجه صفر به نوع راکتور بستگی ندارد.

۱۹ - گزینه ۲ صحیح می باشد.

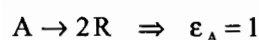
$$\tau_1 = \frac{C_{A_0} x_{A_1}}{k C_{A_0} (1 - x_{A_1})}, \quad \tau_2 = \frac{C_{A_0} (x_{A_2} - x_{A_1})}{k C_{A_0} (1 - x_{A_2})}, \quad \tau_1 = \tau_2$$

$$\frac{x_{A_1}}{1 - x_{A_1}} = \frac{0.75 - x_{A_1}}{0.25} \Rightarrow x_{A_1} = 0.5 \Rightarrow \tau_2 = 2.5 \text{ min}$$

پس:

$$V_m = 100 \times 2.5 = 250 \text{ lit}$$

۲۰ - گزینه ۴ صحیح می باشد.



بنابراین:

$$\begin{cases} \tau_{1p} = C_{A_0} \int_0^{x_{A_1}} k \Rightarrow k \tau_1 = C_{A_0} x_{A_1} \\ \tau_{2p} = C_{A_0} \int_{x_{A_1}}^{x_{A_2}} \frac{dX_A}{k} \Rightarrow k \tau_2 = C_{A_0} (x_{A_2} - x_{A_1}) \end{cases} \Rightarrow \frac{\tau_2}{\tau_1} = \frac{x_{A_2} - x_{A_1}}{x_{A_1}}$$

و از آن جا که:

$$\begin{cases} C_{A_1} = C_{A_0} \left( \frac{1-x_{A_1}}{1+x_{A_1}} \right) \Rightarrow x_{A_1} = \frac{1}{3} \\ C_{A_2} = C_{A_0} \left( \frac{1-x_{A_2}}{1+x_{A_2}} \right) \Rightarrow x_{A_2} = \frac{9}{11} \end{cases}$$

۲۱ - گزینه ۱ صحیح می‌باشد.

$$\tau_N = N \tau_i \Rightarrow 10 = 4 \tau_i \Rightarrow \tau_i = 2.5 \text{ min}$$

داریم:

$$\frac{C_{A_{i-1}}}{C_{A_i}} = 1 + k \tau_i \Rightarrow \frac{C_{A_3}}{C_{A_4}} = 1 + k(2.5)$$

$$\frac{4}{3} = 1 + k(2.5) \Rightarrow k = 0.13 \text{ hr}^{-1}$$

۲۲ - گزینه ۲ صحیح می‌باشد.

$$A \rightarrow 2R$$

چون واکنش در فاز مایع صورت می‌گیرد لذا  $\varepsilon_A = 0$  می‌باشد

$$\tau_1 = \frac{C_{A_0} - C_{A_1}}{k C_{A_1}}, \quad \tau_2 = \frac{C_{A_1} - C_{A_2}}{k C_{A_2}}$$

در این صورت:

برای این که حجم کل سیستم مینیمم باشد بایستی  $\tau_1 = \tau_2$  باشد لذا:

$$\frac{10-5}{5} = \frac{5-C_{A_2}}{C_{A_2}} \Rightarrow C_{A_2} = 2.5 \text{ mole/lit}$$

۲۳ - گزینه ۲ صحیح می‌باشد.

چون واکنش درجه اول می‌باشد لذا:

$$\frac{k\tau}{R+1} = \ln \left[ \frac{C_{A_0} + RC_{Af}}{(R+1)C_{Af}} \right], \quad C_{Af} = C_{A_0} (1-0.5) = \frac{C_{A_0}}{2}$$

$$\frac{k\tau}{2} = \ln \left[ \frac{C_{A_0} + C_{Af}}{2C_{Af}} \right] \Rightarrow k\tau = 0.8108$$

از طرفی:

$$\frac{k\tau}{3} = \ln \left[ \frac{C_{A_0} + C_{Af}}{3C_{Af}} \right] \Rightarrow \frac{0.8108}{3} = \ln \left[ \frac{C_{A_0} + 2C_{Af}}{3C_{Af}} \right] \Rightarrow \frac{C_{A_0}}{C_{Af}} = 1.93092$$

$$x_{A_2} = 0.482 \Rightarrow \frac{x_{A_1} - x_{A_2}}{x_{A_1}} \times 100 = 3.6$$

۲۴ - گزینه ۴ صحیح می‌باشد.

چون فاز مایع می‌باشد، لذا  $\varepsilon_A = 0$  می‌باشد. بنابراین:

$$\frac{k C_{A_0} \tau}{R+1} = \frac{C_{A_0} (C_{A_0} - C_{Af})}{C_{Af} (C_{A_0} + RC_{Af})} \Rightarrow \frac{k C_{A_0} \tau}{2} = \frac{C_{A_0} (C_{A_0} - C_{Af})}{C_{Af} (C_{A_0} + C_{Af})}$$

$$C_{Af} = C_{A_0} \left( 1 - \frac{2}{3} \right) = \frac{C_{A_0}}{3}$$

و از آن جا که  $x_{A_1} = \frac{2}{3}$  می‌باشد، لذا:

$$k C_{A_0} \tau = 3$$

و اگر  $R = 0$  باشد در این صورت:

$$\frac{k C_{A_0} \tau}{1} = \frac{C_{A_0} (C_{A_0} - C_{A_f})}{C_{A_f} (C_{A_0})} \Rightarrow 3 = \frac{C_{A_0} - C_{A_f}}{C_{A_f}} \Rightarrow \frac{C_{A_f}}{C_{A_0}} = \frac{1}{4} = 1 - x_{A_2} \Rightarrow x_{A_2} = 0.75$$

۲۵ - گزینه ۳ صحیح می باشد.

۲۶ - گزینه ۳ صحیح می باشد.

$$A \xrightarrow{k} R : \tau_1 = \frac{C_{A_0} X_{A_1}}{k C_{A_0} (1 - X_{A_1})}, \tau_2 = \frac{C_{A_0} (X_{A_2} - X_{A_1})}{k C_{A_0} (1 - X_{A_2})}$$

برای این که حجم کل سیستم مینیمم باشد، بایستی  $\tau_1 = \tau_2$  باشد. لذا:

$$\frac{X_{A_1}}{1 - X_{A_1}} = \frac{X_{A_2} - X_{A_1}}{1 - X_{A_2}} \Rightarrow \frac{X_{A_1}}{1 - X_{A_1}} = \frac{0.75 - X_{A_1}}{1 - 0.75} \Rightarrow X_{A_1} = 0.5$$

$$\tau_1 = 10 \text{ min}, \tau_1 = \frac{V_1}{V_0} = 10 \Rightarrow V_1 = V_2 = 1000 \text{ lit}$$

۲۷ - گزینه ۱ صحیح می باشد.

چون پیشرفت واکنش درجه صفر به نوع راکتور و نوع جریان سیال بستگی ندارد لذا اگر جریان برگشتی را قطع کنیم، درصد تبدیل ثابت خواهد ماند. اثبات این مطلب به صورت زیر می باشد:

$$\frac{V}{F_{A_0}} = (R + 1) \int_{\left(\frac{R}{R+1}\right) X_{A_f}}^{X_{A_f}} \frac{dX_A}{-r_A} \Rightarrow \frac{kV}{F_{A_0}} = 2 \left( X_{A_f} - \frac{1}{2} X_{A_f} \right) = 2(0.8 - 0.4) = 0.8$$

$$\frac{V}{F_{A_0}} = \int_0^{X_{A_f}} \frac{dX_A}{k} \Rightarrow \frac{kV}{F_{A_0}} = X'_{A_f} \Rightarrow X'_{A_f} = 0.8$$

$$A + R \rightarrow R + R, -r_A = k C_A C_R$$

۲۸ - گزینه ۱ صحیح می باشد.

$$C_0 = C_{A_0} + C_{R_0} = C_A + C_R \Rightarrow -r_A = k C_A (C_0 - C_A)$$

$$\frac{d(-r_A)}{dC_A} = 0 \Rightarrow C_A = \frac{C_0}{2} \Rightarrow X_{A, \text{opt}} = 0.5$$

بنابراین:

ولی از آن جا که  $C_A = 2C_R$  می باشد پس  $C_A = \frac{2}{3} C_0$  می گردد لذا:  $X_A = 0.1333$  و چون  $X_A < X_{A, \text{opt}}$  می باشد.

۲۹ - گزینه ۴ صحیح می باشد.

چون واکنش مذکور درجه اول می باشد.

۳۰ - گزینه ۳ صحیح می باشد.

$$A \xrightleftharpoons[k_2]{k_1} R, \tau_1 = \frac{C_{A_0} X_{A_1}}{2 C_{A_0} (1 - X_{A_1}) - C_{A_0} X_{A_1}} = \frac{X_{A_1}}{2 - 3 X_{A_1}}$$

$$\tau_2 = \frac{C_{A_0} (X_{A_2} - X_{A_1})}{2 C_{A_0} (1 - X_{A_2}) - C_{A_0} X_{A_2}} = \frac{X_{A_2} - X_{A_1}}{2 - 3 X_{A_2}}$$

برای این که حجم کلی سیستم حداقل باشد، بایستی  $\tau_1 = \tau_2$  باشد. لذا:

$$\frac{X_{A_1}}{2 - 3 X_{A_1}} = \frac{0.4 - X_{A_1}}{0.8} \Rightarrow X_{A_1} = 0.245 \Rightarrow \tau_1 = \tau_2 = 0.1936 \approx 0.2 \text{ min}$$

۳۱ - گزینه ۴ صحیح می‌باشد.

همان‌طور که می‌دانیم جریان برگشتی هیچ تأثیری بر میزان تبدیل راکتور mixed ندارد بنابراین اگر جریان برگشتی بسته شود ( $R = 0$ ),  $X_A$  تغییری نمی‌کند.

۳۲ - گزینه ۲ صحیح می‌باشد.

چون معادله عملکرد راکتور در این حالت به صورت زیر می‌باشد:

$$\frac{V}{F_{A_0}} = \frac{(R+1)}{k C_{A_0}^2} \ln \left[ \frac{1+R(1-X_{AF})}{R(1-X_{Af})} \right] \Rightarrow \frac{V}{F_{A_0}} = \frac{1.31}{4} \ln \left[ \frac{1+0.31(0.05)}{0.31(0.05)} \right]$$

$$\frac{V}{F_{A_0}} = 1.369 \Rightarrow \tau = \frac{C_{A_0} V}{F_{A_0}} = 2 \times 1.369 = 2.739 \cong 2.74 \text{ Sec}$$

۳۳ - گزینه ۴ صحیح می‌باشد.

$$2A \rightarrow \text{محصول} , \quad \varepsilon_A = 0 , \quad \tau_m = \frac{C_{A_0} X_A}{k C_{A_0}^2 (1-X_A)^2}$$

۳۴ - گزینه ۴ صحیح می‌باشد.

$$k C_{A_0} \tau_{1m} = \frac{X_A}{(1-X_A)^2} = 7.777$$

و چون راکتور mixed دومی مشابه با راکتور mixed اولی می‌باشد لذا:

$$k C_{A_0} \tau_{2m} = 7.777$$

$$k C_{A_0} \tau_{2m} = \frac{X_{A_2} - X_{A_1}}{(1-X_{A_1})^2} \Rightarrow 7.777 = \frac{X_{A_2} - 0.7}{(1-X_{A_2})^2} \Rightarrow X_{A_2} = 0.852 \cong 0.86$$

۳۵ - گزینه ۳ صحیح می‌باشد.

$$A \xrightarrow{k} B , \quad \tau_1 = \frac{C_{A_0} X_{A_1}}{k C_{A_0} (1-X_{A_1})} = \frac{X_{A_1}}{k (1-X_{A_1})}$$

$$\tau_2 = \frac{C_{A_0} (X_{A_2} - X_{A_1})}{k C_{A_0} (1-X_{A_2})} \Rightarrow k \tau_2 = \frac{X_{A_2} - X_{A_1}}{1-X_{A_2}} = \frac{0.75 - X_{A_1}}{1-0.75}$$

$$\frac{X_{A_1}}{1-X_{A_1}} = \frac{0.75 - X_{A_1}}{0.25} \Rightarrow X_{A_1} = 0.5$$

چون  $\tau_1 = \tau_2$  می‌باشد، لذا:

$$k \tau_1 = \frac{0.5}{1-0.5} = 1 \Rightarrow \tau_1 = \tau_2 = 2.5 \text{ min} \Rightarrow V_2 = 100 \times 2.5 = 250 \text{ lit}$$

$$A \rightarrow R ; \quad -r_A = 0.35 C_A^{0.5}$$

۳۶ - گزینه ۴ صحیح می‌باشد.

$$\tau_1 = \frac{C_{A_0} X_A}{0.35 C_{A_0}^{0.5} (1-X_{A_1})^{0.5}} \Rightarrow 0.35 \left( \frac{V_1}{v_0} \right) = \frac{C_{A_0} X_{A_1}}{C_{A_0}^{0.5} (1-X_{A_1})^{0.5}}$$

$$X_{A_1} = 0.431 , \quad \tau_2 = \frac{C_{A_0} (X_{A_2} - X_{A_1})}{0.35 C_{A_0}^{0.5} (1-X_{A_2})^{0.5}} \Rightarrow X_{A_2} \cong 0.68$$

۳۷ - گزینه ۴ صحیح می‌باشد.

$$\tau_1 = \frac{C_{A_0} - C_{A_1}}{k C_{A_1}} \Rightarrow k \tau_1 = \frac{1-0.5}{0.5} = 1$$

$$\tau_2 = \frac{C_{A_1} - C_{A_2}}{k C_{A_2}}, \quad k \tau_2 = \frac{0.5 - C_{A_2}}{C_{A_2}} = 4$$

از آن جا که:  $V_2 = 4V_1$  می باشد، بنابراین  $\tau_2 = 4\tau_1$  بوده و در نتیجه:

$$\frac{\tau_2}{\tau_1} = 4 = \frac{0.5 - C_{A_2}}{C_{A_2}}, \quad C_{A_2} = 0.1 \text{ mole/lit}$$

۳۸ - گزینه ۳ صحیح می باشد.

چون  $\varepsilon_A = 0$  می باشد، لذا:

$$k \tau_p = -\ln(1 - X_A)$$

$$k \tau_p = -\ln(1 - 0.9) \Rightarrow k \tau_p = 2.3025$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \tau_{1m} = \frac{C_{A_0} X_{A_1}}{k C_{A_0} (1 - X_{A_1})} \Rightarrow k \tau_{1m} = \frac{X_{A_1}}{1 - X_{A_1}} \\ \tau_{2m} = \frac{C_{A_0} (X_{A_2} - X_{A_1})}{k C_{A_0} (1 - X_{A_2})} \Rightarrow k \tau_{2m} = \frac{X_{A_2} - X_{A_1}}{1 - X_{A_1}} = \frac{0.9 - X_{A_1}}{1 - 0.9} \end{array} \right.$$

$$\frac{X_{A_1}}{1 - X_{A_1}} = \frac{0.9 - X_{A_1}}{0.1} \Rightarrow X_{A_1} = 0.683$$

و از آن جا که:  $\tau_{1m} = \tau_{2m}$  می باشد، لذا:

$$k \tau_{1m} = k \tau_{2m} = 2.1598 \Rightarrow \frac{k \tau_{1m}}{k \tau_p} = \frac{2.1598}{2.3025} = 0.938 \approx 0.94$$

۳۹ - گزینه ۴ صحیح می باشد.

$$A \xrightarrow{k} R : k \tau_1 = \frac{X_{A_1}}{1 - X_{A_1}}, \quad k \tau_2 = \frac{X_{A_2} - X_{A_1}}{1 - X_{A_1}} = \frac{0.8 - X_{A_1}}{1 - 0.8}$$

از آن جا که باید حجم کل سیستم حداقل باشد، بایستی  $\tau_1 = \tau_2$  باشد. بنابراین:

$$\frac{X_{A_1}}{1 - X_{A_1}} = \frac{0.8 - X_{A_1}}{1 - 0.8} \Rightarrow X_{A_1} = 0.5527 \Rightarrow k \tau_1 = \frac{0.5527}{1 - 0.5527}$$

$$\tau_1 = \tau_2 = 1.2356 \Rightarrow V_1 = V_2 = 100(1.2356) = 123.56 \text{ lit}$$

۴۰ - گزینه ۳ صحیح می باشد.

$$k \tau_p = -\ln(1 - X_A) = -\ln(1 - 0.8) = 1.6094$$

برای راکتور Plug :

$$k \tau_m = \frac{X_A}{1 - X_A} = \frac{0.8}{1 - 0.8} = 4$$

برای راکتور mixed :

$$\Rightarrow \frac{k \tau_m}{k \tau_p} = \frac{\frac{C_{A_0} V_m}{(F_{A_0})_m}}{\frac{C_{A_0} V_p}{(F_{A_0})_p}} = \frac{(F_{A_0})_p}{(F_{A_0})_m} = \frac{4}{1.6094} = 2.4853 \approx 2.5$$



۴۱ - گزینه ۱ صحیح می‌باشد.

همان‌طور که می‌دانیم چون برای واکنش درجه صفر، پیشرفت واکنش به نوع راکتور و نوع جریان سیال بستگی ندارد و چون به ازای مقادیر  $X_A \leq 0.5$ ، واکنش از درجه صفر می‌گردد.

۴۲ - گزینه ۱ صحیح می‌باشد.

۴۳ - گزینه ۱ صحیح می‌باشد.

$$\tau_1 = \frac{C_{A_0} - C_{A_1}}{k C_{A_1}} \Rightarrow C_{A_1} = \frac{C_{A_0}}{1 + k \tau_1}$$

$$\tau_2 = \frac{C_{A_1} - C_{A_2}}{k C_{A_2}} \Rightarrow C_{A_2} = \frac{C_{A_1}}{1 + k \tau_2}$$

$$\frac{C_{A_1}}{C_{A_2}} = 1 + k \tau_2$$

بنابراین:

۴۴ - گزینه ۴ صحیح می‌باشد.

۴۵ - گزینه ۱ صحیح می‌باشد.

$$\varepsilon = 0 \Rightarrow k\tau = \frac{x_A}{1 - x_A} \quad \text{و} \quad \tau = \frac{V}{v} = \frac{87}{100} = 0.87 \text{ min}$$

$$k \times 0.87 = \frac{0.6}{1 - 0.6} \Rightarrow k = 1.72 \text{ min}^{-1}$$

به عدد داده شده در گزینه ۱ نزدیک‌تر است.

۴۶ - گزینه ۱ صحیح می‌باشد.

$$\frac{V}{F_{A_0}} = \frac{x_A}{(-r_A)} \Rightarrow \frac{F_{A_0}}{(-r_A)} = \frac{V}{x_A}$$

$$\frac{F_{A_0}}{(-r_A)} = 100 + 800 x_A \Rightarrow \frac{V}{x_A} = 100 + 800 x_A$$

$$\Rightarrow V = x_A (100 + 800 x_A) = 0.5 (100 + 800 \times 0.5) = 250 \text{ lit}$$

۴۷ - گزینه ۳ صحیح می‌باشد.

$$\bar{t} = \frac{C_{A_0} x_A}{-r_A} = \frac{C_{A_0} x_A}{C_A - C_R^2}, \quad \varepsilon = \frac{2-1}{1} = 1$$

$$C_A = C_{A_0} \frac{1 - x_A}{1 + \varepsilon_A x_A} = 1 \times \frac{1 - x_A}{1 + 1 \times x_A} = \frac{1 - x_A}{1 + x_A}$$

$$C_R = 2 C_{A_0} \frac{x_A}{1 + \varepsilon_A x_A} = 2 \times 1 \times \frac{x_A}{1 + 1 \times x_A} = \frac{2 x_A}{1 + x_A}$$

$$\Rightarrow 20 = \frac{1 \times x_A}{\left(\frac{1-x_A}{1+x_A}\right) - \left(\frac{2x_A}{1+x_A}\right)} \Rightarrow x_A = 0.44$$

۴۸ - گزینه ۳ صحیح می باشد.

۴۹ - گزینه ۲ صحیح می باشد.

همان طور که در متن درس نیز اشاره شده است هر گاه میزان تبدیل کم باشد عملکرد راکتور تنها به میزان کمی به نوع راکتور بستگی پیدا می کنند.

در این تست میزان تبدیل کم است و در نتیجه حجم دو راکتور لوله ای و مخلوط کننده تقریباً یکسان خواهد بود.

۵۰ - گزینه ۲ صحیح می باشد.

$$\tau = - \int_{C_{A0}}^{C_{AF}} \frac{dC_A}{(-r_A)} = - \int_{100}^{20} \frac{dC_A}{(-r_A)} = \int_{20}^{100} \frac{dC_A}{(-r_A)}$$

با استفاده از انتگرال گیری به روش ذوزنقه ای داریم:

$$\tau = 40 \left[ \frac{2}{2} + 0.275 + \frac{0.11}{2} \right] = 53.2$$

۵۱ - گزینه ۳ صحیح می باشد.

$$\varepsilon = \frac{0.3 + 2 \times 0.2 + 0.1 - 1}{1} = -0.2$$

$$v = v_0 (1 + \varepsilon_A x_A) = v_0 (1 - 0.2 x_A)$$

۵۲ - گزینه ۳ صحیح می باشد.

برای واکنش های درجه صفر در راکتورهای مخلوط کننده سری داریم:

$$x_N = x_0 + N \frac{k\tau}{C_0}$$

$$x_N = 0 + 5 \times \frac{0.2 \times \left(\frac{100}{100}\right)}{0.05} = 20 > 1$$

بنابراین میزان تبدیل به 100% رسیده است.

۵۳ - گزینه ۱ صحیح می باشد.

$$\tau_i = \frac{C_0 x}{-r} \Rightarrow \tau = \frac{C_0 \times 0.5}{k} \Rightarrow \frac{k\tau}{C_0} = 0.5$$

در حالت اول داریم:

$$x_N - x_0 = N \frac{k\tau}{C_0} \Rightarrow x_4 - x_0 = 0.5 = 4 \frac{k\tau'}{C_0} \Rightarrow \frac{k\tau'}{C_0} = \frac{1}{8}$$

در حالت دوم داریم:

$$\frac{v'}{v} = \frac{\tau}{\tau'} = \frac{0.5}{\frac{1}{8}} = 4 \Rightarrow v' = 4v$$

۵۴ - گزینه ۲ صحیح می‌باشد.

با توجه به این که واکنش داده شده از درجه اول است بهترین انتخاب، انتخاب حجم‌های مساوی از دو راکتور است.

$$\tau_1 = \frac{C_{A0} x_{A1}}{(-r_A)} = \frac{C_{A0} x_{A1}}{k C_{A0} (1-x_{A1})} = \frac{x_{A1}}{k(1-x_{A1})}$$

$$\tau_2 = \frac{C_{A0} (x_{A2} - x_{A1})}{(-r_A)} = \frac{C_{A0} (x_{A2} - x_{A1})}{k C_{A0} (1-x_{A2})} = \frac{0.8 - x_{A1}}{k(1-0.8)}$$

$$\tau_1 = \tau_2 \Rightarrow \frac{x_{A1}}{k(1-x_{A1})} = \frac{0.8 - x_{A1}}{k(0.2)} \Rightarrow x_{A1} = 1 - \frac{1}{\sqrt{5}}$$

۵۵ - گزینه ۲ صحیح می‌باشد.

$$\tau_m = \frac{C_{A0} - C_A}{(-r_A)} = \frac{C_{A0} - C_A}{k C_A^2} \Rightarrow k \tau_m = 3$$

$$\tau_p = -\int_{C_{A0}}^{C_A} \frac{dC_A}{(-r_A)} = -\int_1^{C_A} \frac{dC_A}{k C_A^2} = \frac{1}{k} \left( \frac{1}{C_A} - 1 \right)$$

$$\tau_p = 3 \tau_m \Rightarrow \frac{1}{C_A} - 1 = 3 \times 3 \Rightarrow C_A = 0.1$$

۵۶ - گزینه ۱ صحیح می‌باشد.

مساحت زیر منحنی  $\frac{1}{(-r_A)}$  بر حسب  $C_A$  از جنس زمان ( $\tau$ ) می‌باشد.

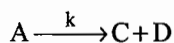
$$\tau = \left[ \frac{1}{(-r_A)} \right]_{\text{متوسط}} \times (10-1) \rightarrow \tau = (10-1) \times 3 = 27$$

$$\tau = \frac{V}{v_0} \rightarrow V = \tau v_0 \Rightarrow V = 27 \times 100 \rightarrow V = 2700$$

۵۷ - گزینه ۴ صحیح می‌باشد.

هر چقدر مقدار R زیاد باشد به راکتور لوله‌ای پیوسته شباهت خواهد داشت. لذا گزینه ۲ صحیح است.

۵۸ - گزینه ۴ صحیح می‌باشد.



در راکتور همزن‌دار جریان برگشتی تأثیری در محاسبات ندارد.

$$\tau = \frac{C_{A0} x_A}{(-r_A)} = \frac{C_{A0} x_A}{k C_{A0} (1-x_A)} = \frac{x_A}{k(1-x_A)}$$

$$k \tau = \frac{x_A}{1-x_A} \rightarrow 4 = \frac{x_A}{1-x_A} \rightarrow x_A = 0.8$$

۵۹ - گزینه ۱ صحیح می‌باشد.

وقتی دو راکتور mixed پشت سرهم استفاده شود:

$$(I) \quad C_{A0} - C_{A_{c1}} = 2k \tau_i$$

از آن جا که برای واکنش درجه صفر نوع راکتور مطرح نیست در حالت دوم که یک راکتور plug به حجم 1.5V جایگزین شده است می توان نوشت:

$$(II) C_{A_0} - C_{A_{e_2}} = 1.5k\tau_i$$

از رابطه (I) می توان نوشت:

$$C_{A_0} x_{A_{e_1}} = 2k\tau_i \rightarrow k\tau_i = \frac{0.6C_{A_0}}{2} = 0.3C_{A_0}$$

حال می توان در رابطه (II) جای گذاری کرد:

$$C_{A_0} x_{A_{e_2}} = 1.5k\tau_i \rightarrow C_{A_0} x_{A_{e_2}} = 1.5 \times (0.3(C_{A_0})) \rightarrow x_{A_{e_2}} = 0.45$$

نکته: چون برای واکنش درجه صفر نوع راکتور مطرح نیست پس با کاهش حجم راکتورها از 2V به 1.5V باید درصد تبدیل کاهش یابد. در گزینه ها فقط  $x_A = 0.45$  کمتر از درصد تبدیل اولیه ( $x_A = 0.6$ ) می باشد.

۶۰ - گزینه ۲ صحیح می باشد.

$$\tau_1 = 3 = \frac{C_{A_0} x_{A_1}}{-r_{A_1}} = \frac{x_{A_1}}{k(1-x_{A_1})} \xrightarrow{k=2} x_{A_1} = \frac{6}{7}$$

$$\tau_2 = 3 = \frac{x_{A_2} - x_{A_1}}{k(1-x_{A_2})} \xrightarrow{k=2} 6 = \frac{x_{A_2} - \frac{6}{7}}{1-x_{A_2}} \rightarrow x_{A_2} = \frac{6 + \frac{6}{7}}{7} \rightarrow x_{A_2} = \frac{48}{49}$$

$$\frac{(-r_{A_1})}{(-r_{A_2})} = \frac{kC_{A_0}(1-x_{A_1})}{kC_{A_0}(1-x_{A_2})} = \frac{1-x_{A_1}}{1-x_{A_2}} = \frac{1-\frac{6}{7}}{1-\frac{48}{49}} = 7$$

۶۱ - گزینه ۴ صحیح می باشد.

در راکتور mixed جریان برگشتی هیچ تأثیری در درصد تبدیل نهایی ندارد.

۶۲ - گزینه ۴ صحیح می باشد.

برای انجام واکنش های درجه صفر و درجه یک، ترتیب راکتورها هیچ تأثیری بر درصد تبدیل نهایی ندارد.

۶۳ - گزینه ۴ صحیح می باشد.

برای انجام واکنش های با درجه  $n (n > 1)$ ، ابتدا راکتورهای plug را قرار می دهیم و ترتیب راکتورهای plug مهم نیست سپس راکتورهای mixed را از کوچک به بزرگ قرار می دهیم.

## فصل پنجم

### طرح راکتور برای واکنش‌های چندگانه

در این فصل می‌خواهیم در مورد توزیع محصولات در واکنش‌های چندگانه به صورت کمی و کیفی بحث کنیم. قبل از بحث راجع به واکنش‌های چندگانه مطالبی چند در مورد انواع راکتورها یادآوری می‌شود. در راکتور mixed غلظت یکباره و به طور آنی افت می‌کند و برابر غلظت خروجی می‌گردد پس در این راکتور، غلظت پایین نگه داشته می‌شود و ثابت است. در راکتور plug و Batch غلظت بالا نگه داشته می‌شود و به تدریج در راکتور Batch با زمان و در راکتور plug در طول راکتور تغییر می‌کند. در راکتور mixed و راکتور دوره‌ای مواد با غلظت‌های متفاوت با هم مخلوط می‌شوند ولی در راکتور Batch و plug این نوع اختلاط وجود ندارد.

برای بالا نگه داشتن غلظت در یک راکتور می‌توان به روش‌های زیر عمل کرد:

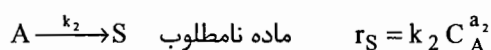
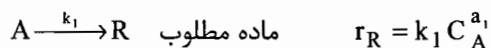
- ۱- انتخاب راکتور plug یا Batch
- ۲- پایین در نظر گرفتن میزان تبدیل
- ۳- افزایش فشار در سیستم‌های گازی
- ۴- حذف اجسام بی‌اثر در خوراک ورودی

برای پایین نگه داشتن غلظت در یک راکتور می‌توان به روش‌های زیر عمل کرد:

- ۱- انتخاب راکتور mixed
- ۲- زیاد در نظر گرفتن میزان تبدیل
- ۳- افزایش اجسام بی‌اثر در خوراک ورودی
- ۴- کاهش فشار در سیستم‌های گازی

## مطالعه کیفی و کمی واکنش‌های موازی

### مطالعه کیفی



$$\frac{r_R}{r_S} = \frac{k_1}{k_2} C_A^{a_1 - a_2}$$

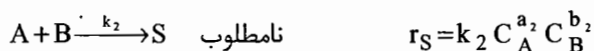
برای تولید بیش‌تر ماده مطلوب (R):

اگر  $a_1 > a_2$  باشد، غلظت A باید بالا نگه داشته شود.

اگر  $a_1 < a_2$  باشد، غلظت A باید پایین نگه داشته شود.

اگر  $a_1 = a_2$  باشد، غلظت تأثیری روی توزیع محصولات ندارد و با تغییر دما باید تولید ماده مطلوب را افزایش داد.

برای واکنش



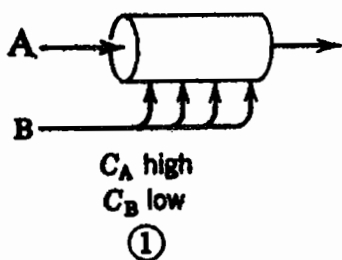
$$\frac{r_R}{r_S} = \frac{k_1}{k_2} C_A^{a_1 - a_2} C_B^{b_1 - b_2}$$

با توجه به توان  $C_A$  و  $C_B$  در معادله  $\frac{r_R}{r_S}$  نوع راکتور و شکل خوراک دهی به آن تعیین می‌شود. هر کدام از توان‌ها که بیش‌تر باشد

(مقدار عددی بیش‌تری داشته باشد) اهمیت بیش‌تری دارد مثلاً اگر  $\frac{r_R}{r_S} = \frac{k_1}{k_2} C_A^2 C_B^{-1}$  باشد و R محصول مطلوب باشد مسلم است

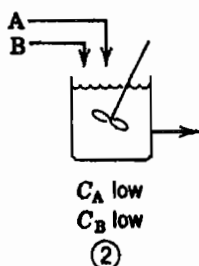
که باید غلظت A را بالا و غلظت B را پایین نگه داشت. ولی بالا نگه داشتن غلظت A خیلی مهم‌تر و تعیین کننده‌تر است. چند نوع راکتور و روش خوراک‌دهی به ترتیب اولویت در زیر می‌آید:

**حالت اول:** ( $b_1 - b_2 < 0$  ،  $a_1 - a_2 > 0$ )

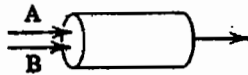


در این حالت باید غلظت A را بالا و غلظت B را پایین نگه داریم تا ماده مطلوب R بیش‌تر تولید شود.

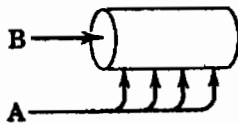
**حالت دوم:** ( $b_1 - b_2 < 0$  و  $a_1 - a_2 < 0$ )



در این حالت باید  $C_A$  و  $C_B$  را پایین نگه داشت تا ماده مطلوب R به میزان زیادی تولید شود. خوراک‌دهی مناسب در این حالت در شکل نشان داده شده است.



$C_A$  high  
 $C_B$  high  
③



$C_A$  low  
 $C_B$  high  
④

حالت سوم: ( $b_1 - b_2 > 0$  و  $a_1 - a_2 > 0$ )

در این حالت باید غلظت A و B را بالا نگهداریم. استفاده از یک راکتور Plug مطابق شکل توصیه می‌شود.

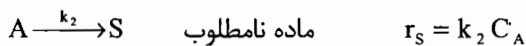
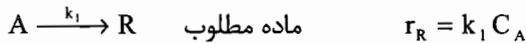
حالت چهارم: ( $a_1 - a_2 < 0$  و  $b_1 - b_2 > 0$ )

در این صورت باید غلظت ماده B را بالا و غلظت ماده A را پایین نگهداریم.

همچنین یک راکتور Semi-Batch که ابتدا محتوی مقدار زیادی B باشد و ماده A را کم کم به آن اضافه کنیم همان هدف مطلوب ما را در این مسئله دنبال می‌کند.

### مطالعه کمی

روابط غلظت - زمان واکنش‌های موازی در راکتور Plug و Batch مانند یکدیگر است. فقط در راکتور Plug به جای t باید  $\tau_p$  قرار دهیم (هر دو واکنش ابتدایی).



$$C_A = C_{A_0} e^{-(k_1+k_2)\tau_p}$$

$$C_R = +C_{R_0} \frac{k_1 C_{A_0}}{k_1 + k_2} \left[ 1 - e^{-(k_1+k_2)\tau_p} \right]$$

$$C_S = +C_{S_0} \frac{k_2 C_{A_0}}{k_1 + k_2} \left[ 1 - e^{-(k_1+k_2)\tau_p} \right]$$

ولی در راکتور mixed روابط به صورت زیر درمی‌آیند (هر دو واکنش ابتدایی):

$$\tau_m = \frac{C_{A_0} - C_A}{(k_1 + k_2)C_A} = \frac{C_R - C_{R_0}}{k_1 C_R} = \frac{C_S - C_{S_0}}{k_2 C_S}$$

$$C_A = \frac{C_{A_0}}{1 + (k_1 + k_2)\tau_m} \quad (5-1)$$

$$C_R = C_{R_0} + \frac{k_1 C_{A_0}}{1 + (k_1 + k_2)\tau_m} \quad (5-2)$$

$$C_S = C_{S_0} + \frac{k_2 C_{A_0}}{1 + (k_1 + k_2)\tau_m} \quad (5-3)$$

## نسبت تشکیل آنی و تابع تشکیل آنی

### نسبت تشکیل آنی

فرض کنیم محصول R در واکنش از تجزیه A حاصل می‌شود در این صورت جزیی از A که در هر لحظه به R تبدیل می‌شود را نسبت تشکیل آنی می‌گویند.

$$\varphi\left(\frac{R}{A}\right) = \frac{dC_R}{-dC_A}$$

همه A تبدیل شده به R را تابع تشکیل کلی می‌گوییم.

$$\Phi\left(\frac{R}{A}\right) = \frac{C_{Rf} - C_{R0}}{C_{A0} - C_{Af}}$$

در مورد راکتور Plug

$$\Phi_p = \frac{1}{(C_{A0} - C_{Af})} \int_{C_{A0}}^{C_{Af}} \varphi\left(\frac{R}{A}\right) dC_A \quad (5-4)$$

$$C_{Rf} - C_{R0} = - \int_{C_{A0}}^{C_{Af}} \varphi\left(\frac{R}{A}\right) dC_A \quad (5-5)$$

برای ماکزیمم کردن تولید R کافی است در معادله (5-5) را  $C_{Af}$  را صفر قرار دهیم.

$$C_{R, \max} - C_{R0} = \int_0^{C_{A0}} \varphi\left(\frac{R}{A}\right) dC_A \quad (5-6)$$

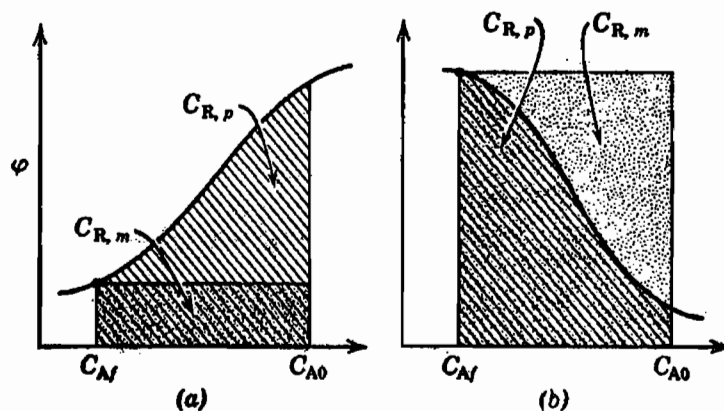
در مورد راکتور mixed تابع تشکیل آنی برابر است با نسبت تشکیل آنی در غلظت خروجی یعنی:

$$\Phi_m = \varphi\left(\frac{R}{A}\right) \Big|_{C_{Af}}$$

$$C_{Rf} - C_{R0} = \Phi_m \times (C_{A0} - C_{Af}) \quad (5-7)$$

برای ماکزیمم کردن تولید R کافی است  $\frac{dC_{Rf}}{dC_{Af}}$  را برابر صفر قرار دهیم و  $C_{Af}$  را از این معادله به دست آوریم.

نکته ۱: اگر تابع تشکیل آنی نسبت به  $C_A$  صعودی باشد برای به دست آوردن حداکثر R باید از راکتور Plug استفاده کرد تا غلظت را همواره بالا نگه داریم و بدین وسیله R بیش‌تری تولید شود. و اگر تابع تشکیل آنی نسبت به  $C_A$  نزولی باشد باید از راکتور mixed استفاده کرد.





نکته ۲: با توجه به این که تابعیت تابع تشکیل آنی نسبت به  $C_A$  و  $X_A$  عکس یکدیگر است، بنابراین اگر تابع تشکیل آنی نسبت به  $X_A$  صعودی باشد (یعنی نسبت به  $C_A$  نزولی است) برای به دست آوردن حداکثر  $R$  باید از راکتور mixed استفاده کرد و اگر تابع تشکیل آنی نسبت به  $X_A$  نزولی باشد (یعنی نسبت به  $C_A$  صعودی است) باید از راکتور Plug استفاده کرد.

مثال ۱: برای واکنش زیر اگر  $k_1 = 2k_2$  باشد، مقدار  $\varphi\left(\frac{R}{A}\right)$  برابر خواهد بود با:



$$\frac{1}{2+C_B} \quad (۴)$$

$$\frac{1}{1+2C_B} \quad (۳)$$

$$\frac{C_B}{1+C_B} \quad (۲)$$

$$\frac{2}{1+C_B} \quad (۱)$$

حل: از تعریف  $\varphi\left(\frac{R}{A}\right)$  می‌توان نوشت:

$$\varphi\left(\frac{R}{A}\right) = \frac{dC_R}{-dC_A} = \frac{k_1 C_A C_B}{k_1 C_A C_B + k_2 C_A C_B^2} = \frac{1}{1+2C_B}$$

مثال ۲: واکنش‌های موازی  $\begin{cases} A \xrightarrow{k_1} R \\ A \xrightarrow{k_2} S \end{cases}$  با  $(k_1 = 2k_2 = 2 \text{ min}^{-1})$  در یک راکتور Plug صورت می‌گیرد. اگر

$C_{R_0} = C_{S_0} = 0$  باشد حداکثر مقدار  $R$  قابل دستیابی برابر خواهد بود با:

$$3 \quad (۴)$$

$$2.5 \quad (۳)$$

$$2 \quad (۲)$$

$$1 \quad (۱)$$

حل: گزینه ۲ صحیح می‌باشد.

$$\varphi\left(\frac{R}{A}\right) = \frac{k_1 C_A}{k_1 C_A + k_2 C_A} = \frac{k_1}{k_1 + k_2} = \frac{2}{3}$$

$$C_{R, \max} = \int_0^{C_{A_0}} \varphi\left(\frac{R}{A}\right) dC_A = \frac{2}{3} \times C_{A_0} = 2 \frac{\text{mol}}{\text{lit}}$$

مثال ۳: واکنش‌های موازی  $\begin{cases} A \xrightarrow{k_1} R \\ A \xrightarrow{k_2} S \end{cases}$  در یک راکتور mixed صورت می‌گیرند. اگر  $C_{A_0} = 3 \frac{\text{mol}}{\text{lit}}$  و  $C_{R_0} = C_{S_0} = 0$

$k_1 = 2k_2 = 2 \text{ min}^{-1}$  باشد حداکثر مقدار  $R$  قابل دستیابی برابر خواهد بود با: (فرض کنید  $\varphi\left(\frac{R}{A}\right) = C_A$ )

$$2.25 \quad (۴)$$

$$2 \quad (۳)$$

$$1.5 \quad (۲)$$

$$1 \quad (۱)$$

$$\frac{C_R - C_{R_0}}{C_{A_0} - C_A} = \varphi\left(\frac{R}{A}\right)$$

$$\frac{C_R - 0}{3 - C_A} = C_A \Rightarrow C_R = C_A(3 - C_A)$$

$$\frac{dC_R}{dC_A} = 0 \rightarrow 3 - 2C_A = 0 \rightarrow C_A = 1.5 \frac{\text{mol}}{\text{lit}}$$

$$C_{R, \max} = C_A(3 - C_A) = 1.5(3 - 1.5) = 2.25 \frac{\text{mol}}{\text{lit}}$$

## مطالعه کیفی و کمی واکنش‌های سری



در واکنش‌هایی که اجسام میانی محصول مورد نظر واکنش هستند، حداکثر مقدار محصول زمانی تولید می‌شود که از مخلوط شدن سیال‌های با ترکیب نسبی یا میزان تبدیل متفاوت جلوگیری شود.

در راکتور Plug و Batch عمل اختلاط جریان‌های متفاوت صورت نمی‌گیرد ولی در راکتور mixed و دوره‌ای، این عمل صورت می‌گیرد و در نتیجه تولید محصول R کم است.

### واکنش سری در راکتور Plug

روابط غلظت برای واکنش‌های سری در مورد راکتور Batch در فصول قبلی آمده است. در مورد راکتور Plug همان روابط صادق هستند فقط به جای t باید  $\tau_p$  قرار دهیم (هر دو واکنش ابتدایی)

$$C_A = C_{A_0} e^{-k_1 \tau_p} \quad (5-8)$$

$$C_R = \frac{k_1 C_{A_0}}{k_2 - k_1} \left( e^{-k_1 \tau_p} - e^{-k_2 \tau_p} \right) \quad (C_{R_0} = 0) \quad (5-9)$$

$$C_S = C_{A_0} + C_{S_0} + C_{R_0} - C_A - C_R$$

$$k_1 \gg k_2 \quad C_S = C_{A_0} (1 - e^{-k_2 \tau_p}) \quad (5-10)$$

$$k_2 \gg k_1 \quad C_S = C_{A_0} (1 - e^{-k_1 \tau_p})$$

حداکثر غلظت جسم میانی:

$$C_{R, \max} = C_{A_0} \left( \frac{k_1}{k_2} \right)^{\frac{k_2}{k_2 - k_1}} \quad (k_1 \neq k_2) \quad (5-12)$$

$$C_{R, \max} = \frac{C_{A_0}}{e} \quad (k_1 = k_2) \quad (5-13)$$

و زمان رسیدن به این غلظت حداکثر:

$$\tau_{P, \text{opt}} = \frac{\ln \frac{k_2}{k_1}}{k_2 - k_1} \quad (k_1 \neq k_2)$$

$$\tau_{P, \text{opt}} = \frac{1}{k_2} = \frac{1}{k_1} \quad (k_1 = k_2)$$

### واکنش سری در راکتور mixed

در صورتی که هر دو واکنش ابتدایی باشند:

$$C_A = \frac{C_{A_0}}{1 + k_1 \tau_m} \quad (5-14)$$

$$C_R = \frac{k_1 C_{A_0} \tau_m}{(1 + k_1 \tau_m)(1 + k_2 \tau_m)} \quad (C_{R_0} = 0) \quad (5-15)$$

$$C_S = \frac{k_1 k_2 \tau_m^2 C_{A_0}}{(1+k_1 \tau_m)(1+k_2 \tau_m)} \quad (C_{S_0} = 0) \quad (5-16)$$

$$C_{R, \max} = \frac{C_{A_0}}{\left(\sqrt{\frac{k_2}{k_1}} + 1\right)^2} \quad (5-17)$$

زمان رسیدن به این غلظت حداکثر:

$$\tau_{m, \text{opt}} = \frac{1}{\sqrt{k_1 k_2}} \quad (5-18)$$

نکته ۱: همواره حداکثر مقدار R در یک راکتور Plug بیش‌تر از یک راکتور mixed است.

نکته ۲: اگر  $(k_1 \neq k_2)$  باشد زمان رسیدن به حداکثر مقدار R (در واقع همان حجم مورد نیاز) در مورد راکتور Plug کوچک‌تر است و هرچه اختلاف  $k_1$  و  $k_2$  بیش‌تر شود اختلاف حجم دو راکتور بیش‌تر می‌شود.

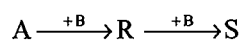
نکته ۳: اگر  $\frac{k_2}{k_1} \ll 1$  باشد، طراحی را بر اساس میزان تبدیل بالا انجام می‌دهیم.

نکته ۴: اگر  $\frac{k_2}{k_1} \gg 1$  باشد، طراحی را بر اساس میزان تبدیل پایین انجام می‌دهیم و جسم ترکیب نشده را به راکتور باز می‌گردانیم. (Recycle می‌کنیم).

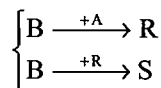
## واکنش‌های سری - موازی



این واکنش نسبت به A, R, S سری است:



و نسبت به B موازی است:



اگر همه واکنش‌ها ابتدایی باشند

$$r_A = \frac{dC_A}{dt} = -k_1 C_A C_B$$

$$r_R = \frac{dC_R}{dt} = k_1 C_A C_B - k_2 C_R C_B$$

$$\frac{r_R}{r_A} = -1 + \frac{k_2 C_R}{k_1 C_A}$$

در راکتور Plug یا Batch روابط زیر برقرار است:

هنگامی که  $(k_1 \neq k_2)$  است:

$$\frac{C_R}{C_{A_0}} = \frac{1}{1 - \frac{k_2}{k_1}} \left[ \left( \frac{C_A}{C_{A_0}} \right)^{\frac{k_2}{k_1}} - \frac{C_A}{C_{A_0}} \right] + \frac{C_{R_0}}{C_{A_0}} \left( \frac{C_A}{C_{A_0}} \right)^{\frac{k_2}{k_1}} \quad (5-19)$$

و هنگامی که  $k_1 = k_2$  است:

$$\frac{C_R}{C_{A_0}} = \frac{C_A}{C_{A_0}} \left( \frac{C_{R_0}}{C_{A_0}} - \ln \frac{C_A}{C_{A_0}} \right) \quad (5-20)$$

در این قبیل واکنش‌ها روابط زیر از موازنه مولی به دست می‌آیند:

$$\Delta C_A + \Delta C_R + \Delta C_S = 0 \quad (5-21)$$

$$\Delta C_B + \Delta C_R + 2\Delta C_S = 0 \quad (5-22)$$

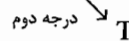
در مورد راکتور mixed روابط زیر برقرار است:

$$C_R = \frac{C_A (C_{A_0} - C_A + C_{R_0})}{C_A + \left( \frac{k_2}{k_1} \right) (C_{A_0} - C_A)}$$

روابط (5-21) و (5-22) هم برقرار است.

### «تست‌های طبقه‌بندی شده فصل پنجم»

۱- واکنش S و R درجه اول  $A \xrightarrow{\text{درجه اول}} R \xrightarrow{\text{درجه اول}} S$  مفروض است. برای آن که R به مقدار بیش‌تری به دست آید از چه نوع راکتوری باید استفاده کنیم؟



Plug (۱)      Plug یا Batch (۲)      Recycle (۳)      mixed (۴)

۲- در واکنش  $A+B$  برای تولید بیش‌تر R بهترین الگوی تماس بین A و B عبارت است از:

$1 \rightarrow 2R; r_1 = k_1 C_A C_B^{0.3}$   
 $2 \rightarrow S+T; r_2 = k_2 C_A^{0.5} C_B^{1.8}$

- (۱) غلظت A بالا و غلظت B نیز بالا باشد.  
 (۲) غلظت A پایین و غلظت B بالا باشد.  
 (۳) غلظت A پایین و غلظت B نیز پایین باشد.  
 (۴) غلظت A بالا و غلظت B پایین باشد.

۳- در واکنش‌های  $A+B \xrightarrow{k_1} P$  هدف تولید ماکزیمم محصول P است. چه نوع راکتور برای انجام این واکنش مناسب است؟

$P+B \xrightarrow{k_2} D$

(واکنش‌ها در فاز مایع و ابتدایی هستند).

Plug (۴)      batch (۲)      راکتور نیمه batch (۳)      راکتور Plug یا batch (۱)

۴- ماده R در یک راکتور mixed طبق واکنش  $A \rightarrow R$  تولید می‌شود. منتها هم‌زمان با این واکنش دو واکنش  $A \rightarrow S$  و  $A \rightarrow T$  نیز صورت می‌گیرد که باعث تولید دو ماده ناخواسته S و T می‌شود. در صورتی که غلظت اولیه ماده A را افزایش دهیم چه تأثیری روی درصد تولید R (Yield) خواهد گذشت، اگر هر سه واکنش ابتدایی باشند؟

- (۱) درصد R افزایش و درصد تولید S و T ثابت خواهد ماند.  
 (۲) درصد R افزایش و درصد تولید S و T افزایش خواهد یافت.  
 (۳) درصد R ثابت منتها درصد تولید S و T افزایش خواهد یافت.  
 (۴) تأثیری بر درصد تولید R نخواهد داشت.

۵- برای واکنش‌های  $A \rightarrow B$  و  $A \rightarrow C$  که در آن B محصول مطلوب می‌باشد اگر  $k_1 = 3k_2$  باشد و درجه واکنش اول 2 و درجه واکنش دوم 1 باشد، آنگاه برای تولید هر چه کمتر محصول زائد از چه نوع راکتوری ترجیحاً باید استفاده کرد.

- (۱) راکتور لوله‌ای پیوسته با جریان برگشتی بهینه  
 (۲) راکتور لوله‌ای پیوسته  
 (۳) راکتور بشکه‌ای پیوسته  
 (۴) راکتور ناپیوسته

۶- در واکنش‌های ساده  $A+B \xrightarrow{k_1} R$  اگر چنانچه غلظت B را سه برابر کنیم اثر آن در توزیع نسبت محصول R / S عبارت

$A+B \xrightarrow{k_2} S$

خواهد بود از:

- (۱) افزایش پیدا می‌کند.  
 (۲) کاهش پیدا می‌کند.  
 (۳) تغییر نمی‌کند.  
 (۴) با اطلاعات داده شده نمی‌توان اظهار نظر کرد.

۷- در واکنش‌ها موازی  $k_1 = k_2$  است. به علاوه درجه واکنش نسبت به B برای تولید محصول مطلوب

$$\begin{cases} A + B \rightarrow C & (1) \\ A + B \rightarrow D & (2) \end{cases}$$

C،  $\frac{1}{2}$  و نسبت به محصول زائد 1 است. در حالی که هر دو واکنش دارای درجه یکسان نسبت به A می‌باشند اگر غلظت B سه

برابر شود، نسبت تولید C به D چه تغییری تقریباً پیدا می‌کند؟

(۱) 85 درصد کاهش (۲) 60 درصد کاهش (۳) 60 درصد افزایش (۴) 85 درصد افزایش

۸- در واکنش‌های موازی

$$\begin{cases} A \rightarrow 2R & (\text{درجه اول}) \\ A \rightarrow S & (\text{درجه دوم}) \end{cases}$$

نسبت تولید محصولات را در دمای ثابت می‌توان با روش زیر کنترل کرد:

(۱) جلوگیری از مخلوط شدن A با غلظت‌های متفاوت در راکتور (۲) انتخاب غلظت مناسب برای A  
(۳) افزودن عمدی یک از محصولات به محیط واکنش (۴) خارج کردن یکی از محصولات از محیط واکنش

۹- واکنش چندگانه و ابتدائی:  $A + B \xrightarrow{1} R$  که در آن ماده مطلوب می‌باشد را در نظر می‌گیریم، برای افزایش R باید:

$$\begin{array}{c} \swarrow \quad \searrow \\ C \quad \quad D \end{array}$$

(۱) غلظت A کم و B زیاد باشد. (۲) غلظت B کم و A زیاد باشد.

(۳) غلظت‌های A و B هر دو زیاد باشد. (۴) غلظت‌های A و B هر دو کم باشد.

۱۰- برای واکنش مقدار  $\phi(R/A)$  (Selectivity) در  $C_A = 1$  برابر است با:

$$\begin{array}{c} R ; r_R = 3 C_A \\ \swarrow \quad \searrow \\ A \quad \quad \quad \\ \swarrow \quad \searrow \\ S ; r_S = 6 C_A^2 \end{array}$$

(۱) 1.2 (۲) 1.0 (۳)  $\frac{1}{3}$  (۴)  $\frac{2}{3}$

۱۱- برای واکنش

$$\begin{array}{c} R ; r_R = 0.4 C_A^2 \\ \swarrow \quad \searrow \\ A \quad \quad \quad \\ \swarrow \quad \searrow \\ S ; r_S = 2 C_A \end{array}$$

که در راکتور اختلاط کامل (mixed) انجام می‌گیرد. و  $C_{A_0} = 40 \text{ mole/lit}$  می‌باشد،

اگر میزان تبدیل در راکتور 90% باشد،  $C_S$  در خروجی راکتور برابر است با:

(۱) 36 (۲) 20 (۳) 18 (۴) 22

۱۲- در واکنش‌های موازی  $A \xrightarrow{k_1} R ; k_1 = 1$   
 $A \xrightarrow{k_2} S ; k_2 = 2$   
 $A \xrightarrow{k_3} T ; k_3 = 3$  که تمام مراحل از درجه اول هستند، حداکثر غلظت R قابل دستیابی در یک

راکتور Plug چیست؟ خوراک محتوی A خالص به غلظت  $C_{A_0}$  است.

(۱)  $\frac{C_{A_0}}{8}$  (۲)  $\frac{C_{A_0}}{6}$  (۳)  $\frac{C_{A_0}}{12}$  (۴)  $\frac{C_{A_0}}{3}$

۱۳- واکنش‌های موازی  $A \xrightarrow{k_1} R$   
 $A \xrightarrow{k_2} S$  که  $k_1 = k_2 = 1 \text{ min}^{-1}$  مفروض است. حداکثر غلظت R حاصل در یک راکتور Plug چه می‌تواند

باشد؟ ( $C_{A_0} = 1 \text{ mol/lit}$  ,  $C_{R_0} = C_{S_0} = 0$ )

(۱) 0.25 (۲) 0.5 (۳) 0.75 (۴) هیچ کدام از موارد

۱۴ - در واکنش پشت سرهم  $A \xrightarrow{k_1} R \xrightarrow{k_2} S$  و  $k_1 = k_2 = 1 \text{ min}^{-1}$  ،  $C_{R_0} = C_{S_0} = 0$  و  $C_{A_0} = 1 \text{ mol/lit}$  که در یک راکتور Plug انجام می‌شود، زمان پر شدن گنجایش (Space time) را چند دقیقه باید در نظر گرفت تا غلظت R خروجی از راکتور به حداکثر ممکن برسد:

(۱) 1 دقیقه (۲) 2 دقیقه (۳) 0.5 دقیقه (۴) هیچ کدام از مقادیر فوق

۱۵ - در واکنش ساده  $\begin{cases} A + B \xrightarrow{k_1} R \\ A + B \xrightarrow{k_2} S \end{cases}$  اگر  $k_1 = k_2$  باشد اثر دو برابر کردن غلظت جسم B در نسبت توزیع محصول R / S عبارت خواهد بود از:

(۱) تغییر نمی‌کند. (۲) افزایش پیدا می‌کند.

(۳) کاهش پیدا می‌کند. (۴) با اطلاعات داده شده نمی‌توان اظهار نظر کرد.

۱۶ - واکنش بسیار سریع  $A + B \rightleftharpoons 2R$  (ثابت تعادل  $K = 4$ ) به صورت ایزوترمال در یک راکتور Plug انجام می‌شود. نسبت مقادیر دو ترکیب شونده (A , B) چه باید انتخاب شود تا مقدار کل ترکیب شونده‌های ورودی به راکتور را برای به‌دست آوردن مقدار معینی از R به حداقل برساند:

(۱)  $\frac{C_{A_0}}{C_{B_0}} = 1$  (۲)  $\frac{C_{A_0}}{C_{B_0}} = 3$  (۳)  $\frac{C_{A_0}}{C_{B_0}} = 2$  (۴) هیچ یک از مقادیر فوق

۱۷ - ماده A تحت سه واکنش موازی زیر و در فاز مایع R ، S و T را تولید می‌کند.

$A \rightarrow R$   $k_1 = 1 \text{ mole/lit.min}$   
 $A \rightarrow S$   $k_2 = 3 \text{ min}^{-1}$   
 $A \rightarrow T$   $k_3 = 2 \text{ lit/mole.min}$

برای  $C_{A_0} = 3 \text{ mole/lit}$  ، ماکزیمم غلظت جسم S در یک CSTR برابر با چند mole / lit است؟

(۱) 2.25 (۲) 1.50 (۳) 1.25 (۴) 0.50

۱۸ - واکنش‌های موازی  $\begin{cases} A \rightarrow R \\ A \rightarrow S \\ A \rightarrow T \end{cases}$  درجات یکسان دارند، حداکثر غلظت R تولیدی در یک راکتور mixed چیست. خوراک متشکل از A خالص با غلظت  $C_{A_0}$  است.

(۱)  $\frac{C_{A_0}}{k_1 + k_2 + k_3}$  (۲)  $\frac{k_1 C_{A_0}}{k_1 + k_2 + k_3}$

(۳)  $\frac{k_1^2}{k_1 + k_2 + k_3}$  (۴) برای پاسخ به این سؤال لازم است که درجه واکنش‌ها معلوم باشد.

۱۹ - در واکنش‌های موازی و ابتدایی  $2A + B \rightarrow R$  و  $A + B \rightarrow S$  برای تولید محصول مطلوب R بهترین راکتور مورد استفاده چیست؟

(۱) Plug (۲) Semi Batch (۳) Batch (۴) هر سه مورد

۲۰ - واکنش‌های ابتدایی  $A \xrightleftharpoons[k_2]{k_1} R \xrightarrow{k_3} S$  در یک راکتور mixed صورت می‌گیرد ( $C_{A_0} = 1$  ,  $C_{R_0} = 0$ ) ، حداکثر غلظت R در

چند دقیقه حاصل می‌شود؟ ( $k_1 = k_2 = 1 \text{ min}^{-1}$ )

(۱) 0.5 (۲) 0.7 (۳) 1 (۴) 1.2

۲۱- واکنش سری  $A \xrightarrow{k_1} R \xrightarrow{k_2} S$  در راکتور کاملاً مخلوط کننده‌ای به حجم 100 لیتر با دبی ورودی قابل تغییر و در حالی که غلظت ماده اولیه  $C_{A_0} = 1.5 \text{ mole/lit}$  می‌باشد انجام می‌گیرد. دبی حجمی بهینه برای ماکزیمم تولید ماده R را تعیین کنید؟  
 $k_1 = 0.2 \text{ min}^{-1}$ ,  $k_2 = 0.5 \text{ min}^{-1}$

- (۱) 31.6 lit / min      (۲) 35.6 lit / min      (۳) 21.2 lit / min      (۴) 10.6 lit / min

۲۲- واکنش‌های موازی  $A \xrightarrow{k_1} R$  و  $A \xrightarrow{k_2} S$  ،  $C_{A_0} = 1 \text{ mole/lit}$  و  $C_{R_0} = C_{S_0} = 0$  ،  $k_1 = 2 \text{ min}^{-1}$  و  $k_2 = 1 \text{ min}^{-1}$  مفروض است.

حداکثر مقدار R که در راکتور Plug می‌تواند حاصل شود چیست؟

- (۱) 0.33      (۲) 0.75      (۳) 0.50      (۴) 0.66

۲۳- واکنش‌های موازی  $A \xrightarrow{k_1} R$  و  $A \xrightarrow{k_2} S$  هم‌زمان انجام می‌گیرد. هر دو واکنش درجه اول می‌باشد. زمان پر شدن (τ) راکتور لوله ای

شکل برای رسیدن به تبدیل 70% ماده A را محاسبه کنید؟

- (۱) 12 دقیقه      (۲) 18 دقیقه      (۳) 22 دقیقه      (۴) 24 دقیقه

۲۴- واکنش  $A \rightarrow R$  در فاز مایع در یک راکتور انجام می‌گیرد. اگر تغییرات تابع تشکیل کل  $R$  ( $\Phi_R$ ) نسبت به تغییرات غلظت

A به صورت نزولی باشد چه نوع راکتوری را باید انتخاب کرد تا حداکثر مقدار R تولید گردد؟

- (۱) راکتور مخلوط کننده (mixed)      (۲) راکتور لوله‌ای (Plug)

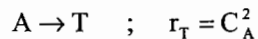
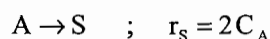
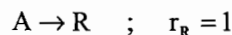
- (۳) راکتور نیمه پیوسته (Semibatch)      (۴) هیچ کدام

۲۵- واکنش  $A \rightarrow R$  در فاز مایع در یک راکتور انجام می‌گیرد. اگر تغییرات تابع تشکیل کل  $R$  ( $\Phi_R$ ) نسبت به تغییرات غلظت

A به صورت صعودی باشد چه نوع راکتوری را باید انتخاب کرد تا حداکثر مقدار R تولید گردد؟

- (۱) لوله‌ای      (۲) مخلوط شونده      (۳) نیمه پیوسته      (۴) دوره‌ای

۲۶- در واکنش موازی تجزیه A ، R ماده مطلوب است:



با خوراک A خالص و غلظت اولیه  $C_{A_0} = 1 \text{ mole/lit}$  ، حداکثر مقدار R از کدام نوع راکتور به دست می‌آید؟

- (۱) mixed      (۲) ترکیبی از mixed در اول و Plug بعد از آن

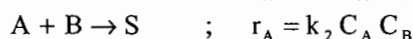
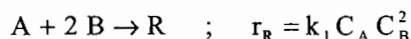
- (۳) Plug      (۴) ترکیبی از Plug در اول و mixed بعد از آن

۲۷- در واکنش موازی  $A \rightarrow R$  رابطه  $\phi(R/A) = 0.1 + 0.01C_A$  برقرار است. اگر غلظت خوراک ورودی به یک راکتور mixed ،

حداکثر R قابل تولید در این راکتور چیست؟

- (۱) 1 mole / lit      (۲) 2 mole / lit      (۳) 0.5 mole / lit      (۴) 1.5 mole / lit

۲۸- برای واکنش‌های زیر اگر  $k_2 = 2k_1$  باشد،  $\phi\left(\frac{R}{A}\right)$  برابر خواهد بود با:



(۱)  $\frac{C_B}{2C_B + 1}$

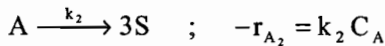
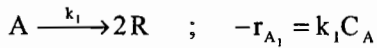
(۲)  $\frac{C_B}{3C_B + 2}$

(۳)  $\frac{C_B}{C_B + 1}$

(۴)  $\frac{C_B}{C_B + 1}$



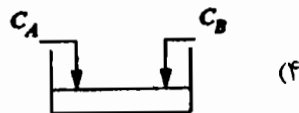
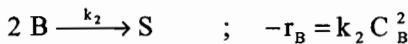
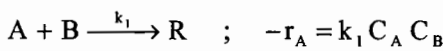
۲۹ - واکنش زیر در یک راکتور Plug در دمای ثابت در فاز مایع انجام می‌گیرد:



برای تبدیل 70 درصد از ماده A  $\tau_{plug} = 10 \text{ sec}$  و تعداد مول‌های R به S تولید شده 4 به 1 است. خوراک ورودی به راکتور A خالص است. مقادیر  $k_1$  و  $k_2$  بر حسب  $\text{sec}^{-1}$  کدام است؟

- (۱) 0.167 ، 1      (۲) 0.048 ، 0.072      (۳) 0.017 ، 0.103      (۴) 0.06 ، 0.06

۳۰ - ترکیب‌شونده‌های A و B در دو واکنش موازی زیر شرکت می‌کنند، سیستم راکتوری را پیشنهاد کنید که بیش‌ترین مقدار R را تولید کند؟



۳۱ - در یک واکنش پشت سر هم (سری) هم درجه  $A \xrightarrow{k_1} R \xrightarrow{k_2} S$  با هدف تولید ماکزیمم محصول مطلوب R، اگر نسبت

$k_2/k_1$  بزرگ‌تر از واحد باشد، طراحی راکتور باید بر اساس:

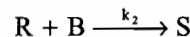
(۱) نحوه توزیع محصولات، مستقل از ترکیب نسبی A است.

(۲) میزان تبدیل زیاد A باشد.

(۳) میزان تبدیل کم A و جریان مجدد (Recycle) جسم ترکیب‌شونده باشد.

(۴) هیچ‌کدام از موارد بالا صحیح نیست.

۳۲ - در یک واکنش سری - موازی  $A + B \xrightarrow{k_1} R$  اگر ترکیب‌شونده A را به آرامی به ترکیب‌شونده B اضافه کنیم (با فرض



این که واکنش سریع باشد) ...

(۱) خالص با A در حال ترکیب، مخلوط می‌شود ولی جسم واسطه R تولید نخواهد شد.

(۲) ترکیب نسبی A در ضمن واکنش یکنواخت است و R تولید می‌شود.

(۳) توزیع محصولات بستگی به تغییرات غلظت A و B ندارد.

(۴) غلظت A (کم یا زیاد) اثری در مسیر واکنش و نحوه توزیع محصولات ندارد.

۳۳ - برای واکنش  $A \xrightarrow{k_1} R \xrightarrow{k_2} S$  موازنه جرم برای R در یک راکتور mixed برابر خواهد بود با:

$$\frac{C_R}{C_{A_0}} = \frac{k_1 \tau_m}{1 + k_1 \tau_m} \quad (۲)$$

$$\frac{C_R}{C_{A_0}} = \frac{k_1 \tau_m}{(1 + k_1 \tau_m)(1 + k_2 \tau_m)^2} \quad (۱)$$

(۴) هیچ‌کدام

$$\frac{C_R}{C_{A_0}} = \frac{k_1 \tau_m}{(1 + k_1 \tau_m)(1 + k_2 \tau_m)} \quad (۳)$$

۳۴ - مهم ترین هدف یا اهداف مطالعه راکتورها چیست؟

(۱) بهینه کردن حجم راکتور در سیستم‌های چند واکنشی

(۲) بهینه کردن حجم راکتور و توزیع محصول در سیستم‌های چند واکنشی

(۳) بهینه کردن توزیع محصول در سیستم‌های چند واکنشی

(۴) بهینه کردن توزیع محصول در سیستم‌های تک واکنشی

۳۵ - ماده R در یک راکتور بشکهای پیوسته طبق واکنش  $A \rightarrow R$  تولید می‌شود. منتها هم‌زمان با این واکنش، دو واکنش دیگر

$A \rightarrow T$  و  $A \rightarrow S$  نیز صورت می‌گیرد که مواد ناخواسته S و T تولید می‌شود. در صورتی که غلظت ماده اولیه این واکنش‌ها را

افزایش دهیم چه تأثیری بر روی Yield محصول R خواهد گذاشت اگر هر سه واکنش بنیادی باشد:

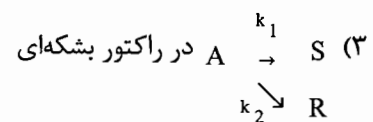
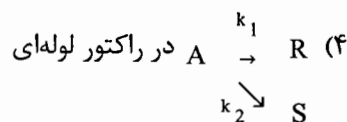
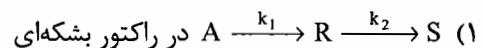
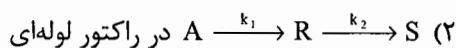
(۱) درصد تولید R افزایش و درصد تولید S و T ثابت خواهد ماند.

(۲) درصد تولید R کاهش و تولید S و T افزایش خواهد یافت.

(۳) تأثیری بر درصد تولید R نخواهد گذاشت.

(۴) درصد تولید R کاهش و درصد تولید S و T افزایش می‌یابد.

۳۶ - رابطه  $\tau = \frac{1}{\sqrt{k_1 k_2}}$  در رابطه با کدام یک از موارد ذیل است:



۳۷ - در یک راکتور لوله‌ای پیوسته واکنش‌های زیر را انجام می‌دهیم:



در این واکنش‌ها ضرایب استوکیومتری برابر با درجه واکنش هستند. برای حداکثر گزینش پذیری R نسبت به T باید:

(۱) مقدار  $C_B$  کم و  $C_A$  زیاد باشد.

(۲) مقدار  $C_B$  زیاد و  $C_A$  کم باشد.

(۳) مقدار  $C_B$  و  $C_A$  هر دو زیاد باشد.

(۴) مقدار  $C_B$  و  $C_A$  هیچ‌گونه تغییری در مقدار تبدیل R ایجاد نمی‌کند.

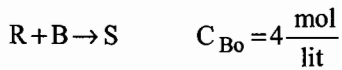
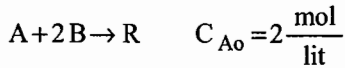
۳۸ - واکنش‌های ابتدایی  $\begin{cases} A+2B \rightarrow R \\ 2A+B \rightarrow S \end{cases}$   $k_1 = k_2$  در فاز مایع و در یک راکتور mixed انجام می‌شود.

نسبت  $\frac{C_A}{C_B}$  را در داخل راکتور چگونه در نظر بگیریم تا غلظت R در محصولات واکنش به حداکثر برسد؟

(۱) نسبت  $\frac{C_A}{C_B}$  باید برابر واحد در نظر گرفته شود. (۲) نسبت  $\frac{C_A}{C_B}$  اثری بر توزیع غلظت محصولات ندارد.

(۳) نسبت  $\frac{C_A}{C_B}$  باید تا حد ممکن بزرگ در نظر گرفته شود. (۴) نسبت  $\frac{C_A}{C_B}$  باید تا حد ممکن کوچک در نظر گرفته شود.

۳۹ - واکنش‌های چندگانه زیر در یک راکتور batch در فاز مایع انجام می‌شود



مشاهده می‌شود که ده دقیقه پس از شروع غلظت‌های A, R در راکتور به ترتیب  $C_A = 0.5 \frac{\text{mol}}{\text{lit}}$  ,  $C_R = 0.5 \frac{\text{mol}}{\text{lit}}$  می‌رسد.

تعیین کنید غلظت B در این لحظه چیست؟

$$C_B = 1.5 \frac{\text{mol}}{\text{lit}} \quad (۴) \quad C_B = 1 \frac{\text{mol}}{\text{lit}} \quad (۳) \quad C_B = 0.5 \frac{\text{mol}}{\text{lit}} \quad (۲) \quad C_B = 0 \frac{\text{mol}}{\text{lit}} \quad (۱)$$

۴۰ - واکنش‌های زیر در یک راکتور mixed انجام می‌شود:

$$C_{A0} = 1 \frac{\text{mol}}{\text{lit}} \quad \begin{cases} A \rightarrow R \\ A \rightarrow S \end{cases} \quad \begin{cases} r_R = k_1 C_A \\ r_S = k_2 \end{cases} \quad \frac{k_2}{k_1} = 2$$

میزان تبدیل A را در راکتور چه مقدار در نظر بگیریم تا تولید محصول R ماکزیمم شود؟

$$0.55 \quad (۴) \quad 0.65 \quad (۳) \quad 0.75 \quad (۲) \quad 0.85 \quad (۱)$$

۴۱ - واکنش سری و ابتدایی  $A \xrightarrow{k_1} R \xrightarrow{k_2} S$  در یک راکتور ناپیوسته (batch) انجام می‌گیرد. اگر

$$(C_{R0} = C_{S0} = 0) \quad k_2 = 0.001 \text{ min}^{-1}, \quad k_1 = 1 \text{ min}^{-1}$$

$$C_S = C_{A0} (1 - e^{-0.001t}) \quad (۲) \quad C_S = C_{A0} (1 - e^{-t}) \quad (۱)$$

$$C_S = C_{A0} \left( 1 - \frac{1}{0.001} e^{-t} \right) \quad (۴) \quad C_S = C_{A0} (0.001 e^{-t}) \quad (۳)$$

۴۲ - معادله سرعت یک واکنش به صورت  $-r_A = \frac{k}{C_A^3}$  تعیین شده است. جهت انجام این واکنش به صورت پیوسته کدام راکتور یا

آرایش راکتورها بهتر است؟

(۱) راکتور لوله‌ای

(۲) راکتورهای لوله‌ای و مجهز به همزن به صورت سری

(۳) راکتور مجهز به همزن

(۴) راکتورهای لوله‌ای و مجهز به همزن به صورت موازی

۴۳ - واکنش  $A \xrightarrow{k_1} B \xrightarrow{k_2} C$  در فاز مایع  $k_1 = 0.25 \text{ hr}^{-1}$  ,  $k_2 = 0.13 \text{ hr}^{-1}$  در یک راکتور مخلوط‌شونده کامل با زمان

اقامت میانگین  $\tau = 4 \text{ hr}$  انجام می‌شود. غلظت B در جریان خروجی از راکتور بر حسب  $\left[ \frac{\text{mol}}{\text{lit}} \right]$  برابر کدام مقدار است؟

$$\left[ C_{A0} = 4 \frac{\text{mol}}{\text{lit}} \right]$$

$$3.11 \quad (۴) \quad 2.25 \quad (۳) \quad 1.98 \quad (۲) \quad 1.32 \quad (۱)$$

(مهندسی شیمی سراسری - ۸۸)

۴۴ - در واکنش موازی  $A \rightarrow B$  دارای عبارت ریاضی سرعت واکنش  $r_1 = k_1 C_A C_B^{0.3}$  و  $r_2 = k_2 C_A^{0.5} C_B^{1.8}$  هستیم. اگر

$k_1 = 2k_2$  باشد، اثر دو برابر کردن غلظت B در توزیع محصول  $\frac{B}{C}$  کدام است؟ (مهندسی بیوتکنولوژی سراسری - ۸۸)

- (۱) افزایش غلظت B سبب کاهش گزینش پذیری B به C می شود.
- (۲) افزایش غلظت B سبب افزایش گزینش پذیری B به C می شود.
- (۳) افزایش غلظت B تغییری در گزینش پذیری B به C ایجاد نمی کند.
- (۴) اطلاعات داده شده کافی نمی باشد.

۴۵ - در واکنش های  $A \rightarrow R$ ،  $A \rightarrow S$ ،  $A \rightarrow T$  ماده مطلوب می باشد. اگر  $r_R = 1$ ،  $r_S = 2C_A$  و  $r_T = C_A^2$  باشد و  $C_{A0} = 2 \frac{\text{mol}}{\text{lit}}$  باشد،

برای رسیدن به ماکزیمم غلظت S چه راکتوری مناسب است؟ (آزمون های آزمایشی پارسه - ۸۸)

- |                                     |             |
|-------------------------------------|-------------|
| mixed (۲)                           | plug (۱)    |
| (۴) اول mixed و به دنبال آن یک plug | Recycle (۳) |

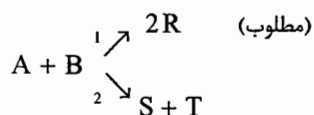
## پاسخ تست‌های فصل پنجم

۱ - گزینه ۴ صحیح می‌باشد.

با توجه به آن که درجه واکنش تولید T بزرگ‌تر از تولید R است بنابراین بالا بودن غلظت A به ضرر تولید R خواهد بود بنابراین واکنش در غلظت پایین A و درون راکتور mixed باید صورت بگیرد.

۲ - گزینه ۴ صحیح می‌باشد.

از آن جا که:  $\frac{r_1}{r_2} = \frac{k_1}{k_2} C_A^{0.5} C_B^{-1.5}$  می‌باشد.

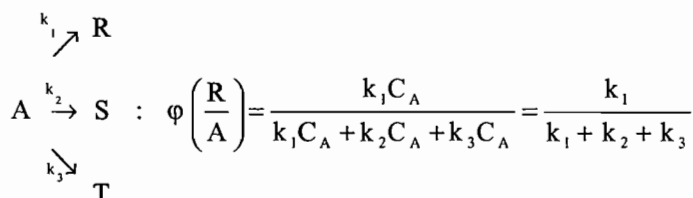


لذا برای بزرگ‌تر شدن کسر فوق یعنی افزایش تولید محصول مطلوب (R) باید غلظت A زیاد و غلظت B کم باشد.

۳ - گزینه ۱ صحیح می‌باشد.

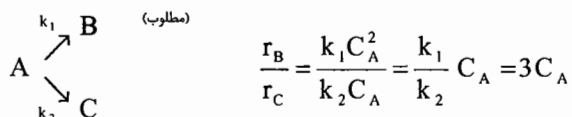
چون واکنش مذکور یک واکنش سری - موازی می‌باشد  $A \xrightarrow{+B} P \xrightarrow{+B} D$  لذا بهترین راکتور برای تولید ماکزیمم محصول P راکتور Batch یا Plug می‌باشد.

۴ - گزینه ۴ صحیح می‌باشد.



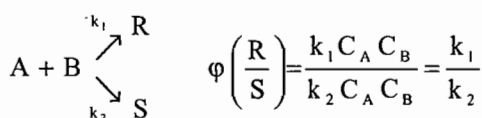
در صورت افزایش غلظت سازنده A، تولید هر سه ماده (T, S, R) به یک نسبت افزایش می‌یابد در نتیجه درصد تولید تغییر نمی‌کند.

۵ - گزینه ۲ صحیح می‌باشد.



بنابراین برای افزایش کسر فوق باید غلظت A را زیاد در نظر گرفت لذا برای انجام واکنش فوق راکتور Plug مناسب است.

۶ - گزینه ۳ صحیح می‌باشد.



بنابراین سه برابر کردن غلظت B اثری در توزیع محصول (R/S) نخواهد داشت.

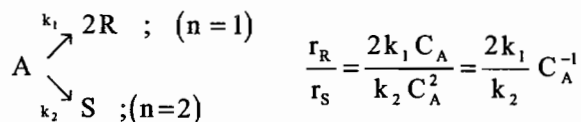
۷- گزینه ۲ صحیح می باشد.

$$\frac{r_C}{r_D} = \frac{k_1 C_A^n C_B^{0.5}}{k_2 C_A^n C_B} = C_B^{0.5}$$

$$\frac{dC_C}{dC_D} = \frac{1}{C_B^{0.5}} \Rightarrow \left( \frac{dC_C}{dC_D} \right)_2 = \left( \frac{C_{B1}}{C_{B2}} \right)^{0.5} = 3^{0.5} = 0.557 \approx 0.6$$

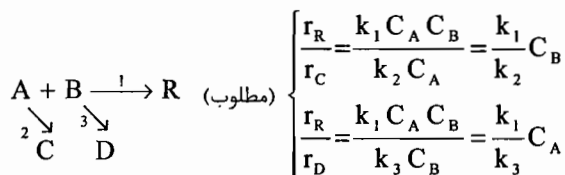
با سه برابر شدن غلظت B، نسبت تولید C به D، 60 درصد کاهش می یابد.

۸- گزینه ۲ صحیح می باشد.



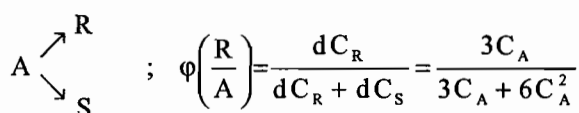
بنابراین برای افزایش کسر فوق باید غلظت A را پایین در نظر گرفت.

۹- گزینه ۳ صحیح می باشد.



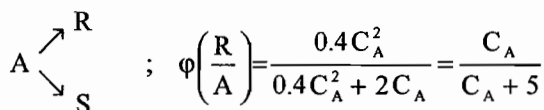
بنابراین برای افزایش کسرهای فوق باید  $C_A$  و  $C_B$  را زیاد در نظر گرفت.

۱۰- گزینه ۳ صحیح می باشد.



$$\varphi\left(\frac{R}{A}\right) \Big|_{C_A=1} = \frac{1}{3}$$

۱۱- گزینه ۲ صحیح می باشد.



$$C_{A_0} = 40 \Rightarrow C_A = C_{A_0} (1 - 0.9) = 4 \text{ mole/lit}$$

$$\phi_{\text{Mixed}} = \varphi \quad (\text{در شرایط خروجی}) = \frac{4}{9} = 0.444 \Rightarrow$$

پس درصد ناخالصی در محصولات 55.6% بوده، بنابراین:

$$C_S = \frac{0.556}{1} \times 36 = 20 \text{ mole}$$

۱۲ - گزینه ۲ صحیح می‌باشد.

$$\varphi\left(\frac{R}{A}\right) = \frac{k_1 C_A}{k_1 C_A + k_2 C_A + k_3 C_A} = \frac{k_1}{k_1 + k_2 + k_3} = \frac{1}{6}$$

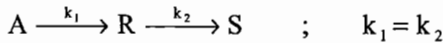
$$C_{R, \max} = -\int_{C_{A_0}}^0 \varphi\left(\frac{R}{A}\right) dC_A = \int_0^{C_{A_0}} \frac{1}{6} dC_A = \frac{C_{A_0}}{6}$$

۱۳ - گزینه ۲ صحیح می‌باشد.

$$A \begin{array}{l} \nearrow^{k_1} R \\ \searrow^{k_2} S \end{array} \quad \varphi\left(\frac{R}{A}\right) = \frac{k_1}{k_1 + k_2} = \frac{1}{2}$$

$$C_{R, \max} = \int_0^{C_{A_0}} \varphi\left(\frac{R}{A}\right) dC_A = \int_0^1 \frac{1}{2} dC_A = 0.5 \text{ mole/lit}$$

۱۴ - گزینه ۱ صحیح می‌باشد.



در صورتی که واکنش سری فوق درون راکتور Plug صورت گیرد در این صورت با شرط  $k_1 = k_2$  خواهیم داشت:  $\tau_{opt} = \frac{1}{k_1} = \frac{1}{k_2}$

$$\tau_{opt} = 1(\text{min}) \quad \text{و} \quad C_{R, \max} = \frac{C_{A_0}}{e} \quad \text{بنابراین}$$

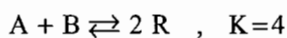
۱۵ - گزینه ۱ صحیح می‌باشد.

$$A + B \begin{array}{l} \nearrow^{k_1} R \\ \searrow^{k_2} S \end{array} \quad \varphi\left(\frac{R}{S}\right) = \frac{k_1 C_A C_B}{k_1 C_A C_B + k_2 C_A C_B} = \frac{k_1}{k_1 + k_2}$$

بنابراین اثر دو برابر کردن غلظت سازنده B در نسبت توزیع محصول  $\left(\frac{R}{S}\right)$  بدون نتیجه خواهد ماند.

۱۶ - گزینه ۱ صحیح می‌باشد.

اگر تعداد مول‌های اولیه A و B را به ترتیب a و b در نظر بگیریم در این صورت:



$$a-x \quad b-x \quad 2x \quad \Rightarrow \quad K = \frac{C_R^2}{C_A C_B} = \frac{(2x)^2}{(a-x)(b-x)} = 4 \quad \Rightarrow \quad x = \frac{ab}{a+b}$$

بنابراین:

$$\varphi = \frac{\text{تولید شده R}}{\text{ترکیب‌شونده‌های ورودی}} = \frac{2x}{a+b}$$

$$\varphi = \frac{2ab}{a+b} = \frac{2}{\frac{a}{b} + 2 + \frac{b}{a}}$$

$$\varphi = \frac{2}{\beta + 2 + \frac{1}{\beta}}$$

با فرض این که  $\frac{a}{b} = \beta$  باشد در این صورت:

باید  $\varphi$  ماکزیمم شود لذا:

$$\frac{d\varphi}{d\beta} = 0 \quad \Rightarrow \quad \beta = 1 \quad \Rightarrow \quad a = b \quad \text{یا} \quad C_{A_0} = C_{B_0}$$

۱۷ - گزینه ۳ صحیح می باشد.

$$\begin{array}{l}
 k_1 \rightarrow R ; n=0 \\
 A \xrightarrow{k_2} S ; \quad n=1 \text{ (مطلوب)} \Rightarrow \varphi\left(\frac{S}{A}\right) = \frac{k_2 C_A}{k_1 + k_2 C_A + k_3 C_A^2} \\
 k_3 \rightarrow T ; n=2 \\
 C_S - C_{S_0} = \varphi\left(\frac{S}{A}\right) (C_{A_0} - C_A) \Rightarrow C_S = \frac{3C_A}{1 + 3C_A + 2C_A^2} (3 - C_A) \\
 \frac{dC_S}{dC_A} = 0 \Rightarrow C_A = 0.49 \cong 0.5 \text{ mole/lit} \Rightarrow C_S = 1.25 \text{ mole/lit}
 \end{array}$$

بنابراین:

۱۸ - گزینه ۲ صحیح می باشد.

$$\begin{array}{l}
 k_1 \rightarrow R \\
 A \xrightarrow{k_2} S \Rightarrow \varphi\left(\frac{R}{A}\right) = \frac{k_1}{k_1 + k_2 + k_3} \\
 k_3 \rightarrow T \\
 C_R - C_{R_0} = \varphi\left(\frac{R}{A}\right) (C_{A_0} - C_A) \Rightarrow C_R = \frac{k_1}{k_1 + k_2 + k_3} (C_{A_0} - C_A) \\
 \frac{dC_R}{dC_A} = 0 \Rightarrow C_A = 0 \Rightarrow C_{R, \max} = \left(\frac{k_1}{k_1 + k_2 + k_3}\right) C_{A_0}
 \end{array}$$

۱۹ - گزینه ۱ صحیح می باشد.

$$\left\{ \begin{array}{l}
 2A + B \rightarrow R \text{ (مطلوب)} \Rightarrow \frac{r_R}{r_S} = \frac{k_1 C_A^2 C_B}{k_2 C_A C_B} = \frac{k_1}{k_2} C_A \\
 A + B \rightarrow S
 \end{array} \right.$$

بنابراین برای افزایش کسر فوق یعنی افزایش درصد تولید محصول مطلوب (R) باید غلظت A را زیاد نگاه داشت بنابراین برای انجام واکنش مذکور راکتور Plug مناسب است.

۲۰ - گزینه ۳ صحیح می باشد.

چون واکنش مذکور درون راکتور mixed صورت می گیرد بنابراین:

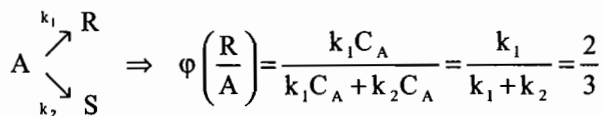
$$(\tau_m)_{\text{opt}} = \frac{1}{\sqrt{k_1 k_3}} = 1 \text{ min}$$

۲۱ - گزینه ۱ صحیح می باشد.

$$\begin{array}{l}
 A \xrightarrow{k_1} R \xrightarrow{k_2} S ; \quad (\tau_m)_{\text{opt}} = \frac{1}{\sqrt{k_1 k_2}} \\
 (\tau_m)_{\text{opt}} = 3.1622 \Rightarrow \left(\frac{V}{v_0}\right)_{\text{opt}} = 3.1622 \Rightarrow v_0 = 31.6 \text{ lit/min}
 \end{array}$$



۲۲ - گزینه ۴ صحیح می باشد.

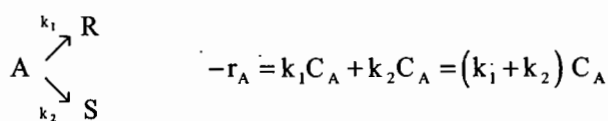


بنابراین:

$$C_{R, \max} = \int_0^{C_{A_0}} \varphi\left(\frac{R}{A}\right) dC_A = \frac{2}{3} C_{A_0} = \frac{2}{3} = 0.66$$

لذا گزینه ۴ صحیح می باشد.

۲۳ - گزینه ۳ صحیح می باشد.



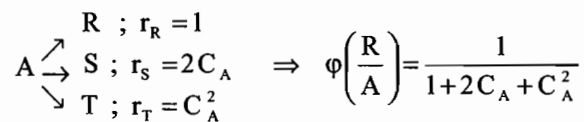
$$\tau_p = C_{A_0} \int_0^{x_A} \frac{dx_A}{-r_A} \Rightarrow (k_1 + k_2) \tau_p = -\ln(1 - x_A)$$

$$(0.055) \tau_p = -\ln(1 - 0.7) \Rightarrow \tau_p = 21.89 \approx 22 \text{ min}$$

۲۴ - گزینه ۱ صحیح می باشد.

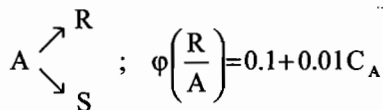
۲۵ - گزینه ۱ صحیح می باشد.

۲۶ - گزینه ۱ صحیح می باشد.



چون تابع  $\varphi\left(\frac{R}{A}\right)$  بر حسب  $C_A$  نزولی می باشد. لذا راکتور mixed مناسب است و اگر صعودی بود راکتور Plug مناسب بود.

۲۷ - گزینه ۱ صحیح می باشد.



$$\frac{C_R - C_{R_0}}{C_{A_0} - C_A} = \varphi\left(\frac{R}{A}\right) \Rightarrow C_R = (0.1 + 0.01 C_A)(10 - C_A)$$

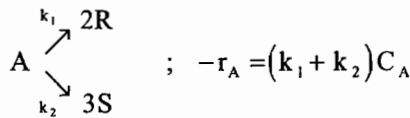
$$\frac{dC_R}{dC_A} = -0.02 C_A = 0 \Rightarrow C_A = 0 \Rightarrow C_{R, \max} = (0.1)(10) = 1 \text{ mole/lit}$$

۲۸ - گزینه ۳ صحیح می باشد.

$$\varphi\left(\frac{R}{A}\right) = \frac{k_1 C_A C_B^2}{k_1 C_A C_B^2 + k_2 C_A C_B} = \frac{k_1 C_B}{k_1 C_B + k_2}$$

$$\varphi\left(\frac{R}{A}\right) = \frac{k_1 C_B}{k_1 (C_B + 2)} = \frac{C_B}{C_B + 2}$$

۲۹ - گزینه ۳ صحیح می باشد.



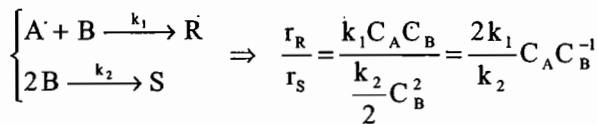
$$(k_1 + k_2)\tau_p = -\ln(1 - X_A) \Rightarrow (k_1 + k_2)10 = -\ln(1 - 0.7) \Rightarrow k_1 + k_2 = 0.12039$$

$$\frac{C_R}{C_S} = \frac{2k_1}{3k_2} \Rightarrow \frac{k_1}{k_2} = \frac{3}{2} \left( \frac{4}{1} \right) = 6$$

و از آن جا که:

بنابراین  $k_1 = 0.1037 \text{Sec}^{-1}$  و  $k_2 = 0.017 \text{Sec}^{-1}$  می باشد.

۳۰ - گزینه ۱ صحیح می باشد.



بنابراین برای افزایش کسر فوق یعنی افزایش درصد تولید محصول مطلوب R، باید  $C_A$  را زیاد و  $C_B$  را کم نگاه داشت.

۳۱ - گزینه ۳ صحیح می باشد.

چون نسبت  $\frac{k_2}{k_1}$  بزرگتر از واحد می باشد لذا تبدیل نسبی حتی در میزان های تبدیل کم به سرعت سقوط می کند بنابراین برای جلوگیری از حصول S به جای R مطلوب، بایستی طراحی را بر اساس میزان تبدیل کم A و جریان برگشتی (Recycle) جسم ترکیب نشده انجام داد.

۳۲ - گزینه ۱ صحیح می باشد.

۳۳ - گزینه ۳ صحیح می باشد.

۳۴ - گزینه ۲ صحیح می باشد.

۳۵ - گزینه ۳ صحیح می باشد.

$$\varphi \left( \frac{R}{R+S+T} \right) = \frac{k_1}{k_1 + k_2 + k_3}$$

۳۶ - گزینه ۱ صحیح می باشد.

۳۷ - گزینه ۲ صحیح می باشد.

$$\frac{r_R}{r_T} = \frac{k_1 C_A C_B}{k_2 C_A^2} = \frac{k_1}{k_2} C_A^{-1} C_B$$

۳۸ - گزینه ۴ صحیح می باشد.

$$\varphi \left( \frac{R}{A} \right) = \frac{dC_R}{-dC_A} = \frac{r_R}{-r_A}$$

$$-r_A = k_1 C_A C_B^2 + 2k_2 C_A^2 C_B, \quad r_R = k_1 C_A C_B^2$$

$$\varphi \left( \frac{R}{A} \right) = \frac{k_1 C_A C_B^2}{k_1 C_A C_B^2 + 2k_2 C_A^2 C_B} = \frac{C_B}{C_B + 2C_A}$$

$$C_R = \phi \left( \frac{R}{A} \right) (C_{A0} - C_A) = \frac{C_B}{C_B + 2C_A} (C_{A0} - C_A) = \frac{1}{1 + 2 \frac{C_A}{C_B}} (C_{A0} - C_A)$$

برای حداکثر شدن  $C_R$  باید کسر مربوط حداکثر شود و در نتیجه مخرج حداقل شود که برای این کار باید  $\frac{C_A}{C_B}$  را تا حد ممکن

کوچک در نظر گرفت.

۳۹ - گزینه ۱ صحیح می‌باشد.

با اعمال موازنه مولی داریم:

$$C_{A0} - C_A = C_R - C_{R0} + C_S - C_{S0}$$

$$\Rightarrow 2 - 0.5 = 0.5 + C_S \Rightarrow C_S = 1 \frac{\text{mol}}{\text{lit}}$$

$$C_{B0} - C_B = 2(C_R - C_{R0}) + 3(C_S - C_{S0})$$

$$4 - C_B = 2(0.5 - 0) + 3(1 - 0) \Rightarrow C_B = 0 \frac{\text{mol}}{\text{lit}}$$

۴۰ - گزینه ۴ صحیح می‌باشد.

$$\phi \left( \frac{R}{A} \right) = \frac{dC_R}{-dC_A} = \frac{r_R}{-r_A}$$

$$-r_A = k_1 C_A + k_2, \quad r_R = k_1 C_A$$

$$\Rightarrow \phi \left( \frac{R}{A} \right) = \frac{k_1 C_A}{k_1 C_A + k_2} = \frac{C_A}{C_A + \frac{k_2}{k_1}} = \frac{C_A}{C_A + 2}$$

$$C_R = \phi \left( \frac{R}{A} \right) (C_{A0} - C_A) = \frac{C_A}{C_A + 2} (C_{A0} - C_A) = \frac{C_A (1 - C_A)}{(C_A + 2)}$$

$$\frac{dC_R}{dC_A} = \frac{(1 - 2C_A)(C_A + 2) - 1 \times C_A (1 - C_A)}{(C_A + 2)^2} = \frac{2 - 4C_A - C_A^2}{(C_A + 2)}$$

$$\frac{dC_R}{dC_A} = 0 \Rightarrow 2 - 4C_A - C_A^2 = 0 \Rightarrow C_A = 0.45, \quad x_A = 1 - \frac{C_A}{C_{A0}} \rightarrow x_A = 1 - \frac{0.45}{1} = 0.55$$

۴۱ - گزینه ۲ صحیح می‌باشد.

در این تست  $k_1 \gg k_2$  است، در این حالت داریم:

$$C_S = C_{A0} (1 - e^{-k_2 t}) \Rightarrow C_S = C_{A0} (1 - e^{-0.001t})$$

۴۲ - گزینه ۳ صحیح می‌باشد.

$$-r_A = k C_A^3$$

هر چه  $C_A$  کمتر باشد بهتر است. بنابراین از راکتور mixed استفاده می‌کنیم.

۴۳ - گزینه ۱ صحیح می باشد.

$$C_R = \frac{C_{Ro}}{1+k_2\tau_m} + \frac{k_1\tau_m C_{Ao}}{(1+k_1\tau_m)(1+k_2\tau_m)} \xrightarrow{C_{Ro}=0}$$

$$C_R = \frac{(0.25)(4)(4)}{[1+(0.25)(4)][1+(0.13)(4)]} \rightarrow C_R = 1.32$$

۴۴ - گزینه ۱ صحیح می باشد.

$$\frac{dC_B}{dC_C} = \frac{k_1 C_A C_B^{0.3}}{k_2 C_A^{0.5} C_B^{1.8}} = k' C_A^{0.5} \frac{1}{C_B^{1.5}}$$

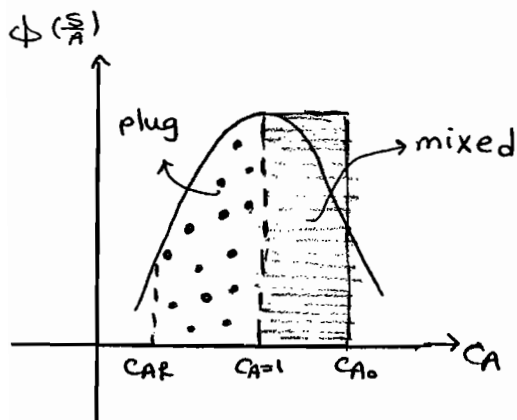
چون  $C_B$  در مخرج قرار دارد، افزایش آن باعث کاهش گزینش پذیری  $B$  به  $C$  می شود.

۴۵ - گزینه ۴ صحیح می باشد.

$$\phi\left(\frac{S}{A}\right) = \frac{2C_A}{1+2C_A+C_A^2} \xrightarrow{\text{مشتق گیری}} 2-2C_A^2=0 \rightarrow C_A=1$$

با توجه به شکل بهترین ترکیب راکتورها، اول یک راکتور

mixed و به دنبال آن plug است.



## فصل ششم

### اثرات دما و فشار

تا به حال در مطالعات خود برای تعیین بهترین شرایط انجام یک واکنش اثر اندازه و نوع راکتور را در میزان تبدیل و توزیع محصولات واکنش در نظر گرفته‌ایم. دما و فشار نیز در پیشرفت واکنش مؤثر هستند و اکنون می‌خواهیم نقش آن متغیرها را بسنجیم.

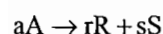
#### واکنش‌های منفرد

در مورد واکنش‌های منفرد تنها با دو مسئله میزان تبدیل و پایداری راکتور سروکار داریم و موضوع توزیع محصولات واکنش مطرح نیست.

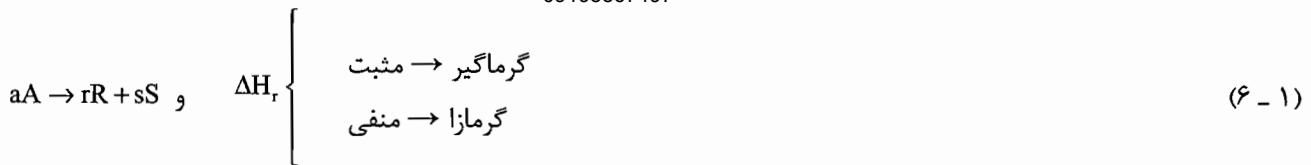
علم ترمودینامیک دو نوع اطلاعات راجع به میزان تبدیل و پایداری به‌دست می‌دهد، اولی مربوط به حرارت آزاد و یا جذب شده در یک مرحله از واکنش و دومی راجع به پیشرفت واکنش است.

#### گرمای واکنش از نظر ترمودینامیک

گرمای آزاد یا جذب شده در ضمن واکنش شیمیایی، تابعی از نوع سیستم واکنش کننده، مقدار مواد داخل ترکیب و دما و فشار سیستم بوده و از روی حرارت واکنش  $\Delta H_r$  محاسبه می‌شود. وقتی  $\Delta H_r$  معلوم نباشد، در بسیاری از موارد می‌توان آن را از روی مقادیر مربوط به حرارت تشکیل  $\Delta H_f$  یا حرارت احتراق  $\Delta H_c$  مواد داخل ترکیب به‌دست آورد. به‌عنوان یادآوری واکنش زیر را در نظر می‌گیریم:



حرارت واکنش در دمایی مثل T را به‌صورت حرارت انتقال یافته از محیط به سیستم واکنش کننده، وقتی a مول از A به‌مصرف رسیده و r مول از R و s مول از S به‌وجود آید و سیستم قبل و بعد از واکنش در همان دما و فشار باشد تعریف می‌نمایند بنابراین:



## ثابت تعادل از نظر ترمودینامیک

با استفاده از اصل دوم ترمودینامیک، ثابت تعادل و در نتیجه غلظت‌های تعادلی یک سیستم واکنش کننده را می‌توان محاسبه کرد. ولی باید توجه داشت که در سیستم‌های حقیقی دستیابی به این میزان تبدیل ممکن است میسر نباشد. انرژی آزاد گیبس استاندارد  $\Delta G^\circ$  برای واکنشی به معادله (۱) در دمای T عبارتست از:

$$\Delta G^\circ = rG_R^\circ + sG_S^\circ - aG_A^\circ = -RT \ln K = -RT \ln \frac{\left[ \frac{f}{f^\circ} \right]_R^r \left[ \frac{f}{f^\circ} \right]_S^s}{\left[ \frac{f}{f^\circ} \right]_A^a} \quad (۲ - ۶)$$

که  $f$  عبارتست از فوگاسیته یک مؤلفه در شرایط تعادل،  $f^\circ$  فوگاسیته همان مؤلفه در شرایط یک مبنای فرضی که دمای آن یعنی T همان مبنای به کار برده شده در محاسبه  $G^\circ$  می‌باشد.  $\Delta G^\circ$  انرژی آزاد گیبس استاندارد برای اجسام داخل ترکیب است که مقادیر آن در جداول ترمودینامیکی برای تعداد زیادی از اجسام داده شده است و K ثابت تعادل ترمودینامیکی است. حالت استاندارد در یک دمای مشخص معمولاً به صورت‌های زیر انتخاب می‌گردد:

**گازها:** جسم خالص در فشار یک اتمسفر، که در تحت این فشار قانون گازهای کامل تقریباً صادق است.

**جامدات:** جسم جامد خالص در فشار واحد.

**مایعات:** جسم مایع خالص در تحت فشار بخار آن.

**جسم حل شده در مایع:** محلول یک مولار یا محلول بسیار رقیق به طوری که ضریب فعالیت آن برابر واحد باشد. برای سهولت روابط

زیر را در نظر می‌گیریم:

$$K_f = \frac{f_R^r f_S^s}{f_A^a}, \quad K_p = \frac{P_R^r P_S^s}{P_A^a}, \quad K_y = \frac{y_R^r y_S^s}{y_A^a}, \quad K_c = \frac{C_R^r C_S^s}{C_A^a} \quad (۳ - ۶)$$

$$\Delta n = r + s - a \quad (۴ - ۶)$$

شکل‌های ساده شده معادله (۲ - ۶) را می‌توان برای سیستم‌های مختلف به دست آورد. برای واکنش‌های گازی حالت مبنا را معمولاً فشار یک اتمسفر در نظر می‌گیریم پس:

$$f^\circ = p^\circ = 1 \text{ atm} \rightarrow K = e^{-\frac{\Delta G^\circ}{RT}} = K_f \{p^\circ = 1 \text{ atm}\}^{-\Delta n} \quad (۵ - ۶)$$

در مورد گازهای کامل برای هر مؤلفه i خواهیم داشت:

$$f_i = p_i = y_i \pi = C_i RT$$

$$K_f = K_p \quad \text{و بنابراین}$$

$$K = \frac{K_p}{\{p^\circ = 1 \text{ atm}\}^{\Delta n}} = \frac{K_y \pi^{\Delta n}}{\{p^\circ = 1 \text{ atm}\}^{\Delta n}} = \frac{K_c (RT)^{\Delta n}}{\{p^\circ = 1 \text{ atm}\}^{\Delta n}} \quad (۶ - ۶)$$

## میزان تبدیل تعادلی

غلظت‌های تعادلی که به وسیله ثابت تعادل معین می‌شوند با دما تغییر می‌نمایند:

$$\frac{d(\ln K)}{dT} = \frac{\Delta H_r}{RT^2} \rightarrow \ln \frac{K_2}{K_1} = \int_{T_1}^{T_2} \frac{\Delta H_r}{RT^2} dT \quad (6-7)$$

هر گاه گرمای واکنش در دمای  $T_1$  معلوم باشد می‌توان مقدار آن را در دمای  $T_2$  به دست آورد:

$$\Delta H_{r_2} = \Delta H_{r_1} + \int_{T_1}^{T_2} \Delta C_p dT$$

$$\Delta C_p = \sum \nu_i C_{p_i}$$

برای محصولات ضریب استوکیومتری  $\nu_i$  مثبت و برای مواد واکنش دهنده  $\nu_i$  منفی است.

در صورتی که بتوان گرمای واکنش  $\Delta H_r$ ، را در فاصله دو دمای مورد نظر ثابت فرض کرد این معادله به شکل زیر در خواهد آمد:

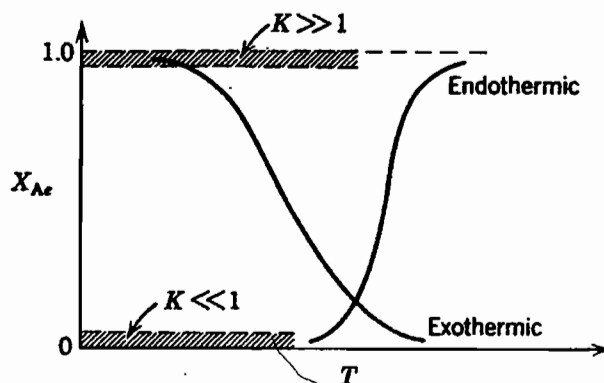
$$\ln \frac{K_2}{K_1} = \frac{-\Delta H_r}{R} \left[ \frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1} \right] \quad (6-8)$$

به وسیله این روابط می‌توان تغییرات ثابت تعادل و در نتیجه تغییرات میزان تبدیل در حالت تعادل را با دما به دست آورد. نتایج زیر را می‌توان با استفاده از ترمودینامیک حاصل نمود. قسمتی از این نتایج توسط شکل‌های (۱-۶) و (۲-۶) مشخص شده‌اند.

۱- ثابت تعادل ترمودینامیکی، با فشار، حضور و یا عدم اجسام بی‌اثر و یا سینتیک واکنش تغییر نمی‌نماید ولی تحت تأثیر دمای سیستم واقع می‌شود.

۲- با وجود آن که ثابت تعادل ترمودینامیکی تحت تأثیر فشار و اجسام بی‌اثر قرار نمی‌گیرد ولی غلظت تعادلی اجسام و میزان تبدیل تعادلی ترکیب‌شوندگان تابعی از متغیرهای فوق است.

۳-  $K \ll 1$  مبین آن است که واکنش به میزان قابل توجهی انجام نخواهد شد و  $K \gg 1$  نشان می‌دهد که تبدیل کامل امکان‌پذیر است و می‌توان واکنش را بازگشت‌ناپذیر فرض کرد.

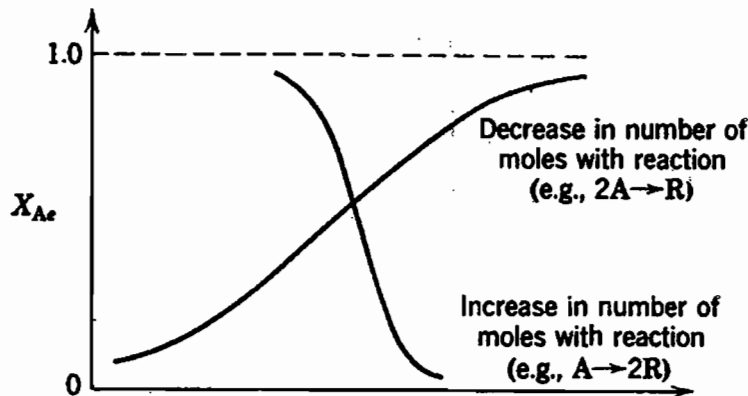


شکل (۱-۶): اثر درجه حرارت بر میزان تبدیل تعادلی مطابق روابط ترمودینامیکی در فشار ثابت

۴- با افزایش دما، تبدیل تعادلی در مورد واکنش‌های گرماگیر زیاد شده و در واکنش‌های گرمازا پایین می‌آید.

۵- افزایش فشار در واکنش‌های گازی، وقتی با کاهش تعداد مول‌ها همراه باشد میزان تبدیل را بالا خواهد برد و بالعکس.

۶- کاهش اجسام بی‌اثر دارای همان اثر افزایش فشار در واکنش‌های گازی می‌باشد.



شکل (۲ - ۶): اثر فشار و اجسام بی‌اثر بر میزان تبدیل تعادلی مطابق روابط ترمودینامیکی در دمای ثابت

## بهترین مسیر درجه حرارت

بهترین مسیر درجه حرارت مسیری است که در یک میزان تبدیل معین، مقدار  $\frac{V}{F_{A_0}}$  را حداقل نماید. این مسیر ممکن است ایزوترمال و یا همراه با تغییر دما باشد. مسیر دمای متغیر، در یک راکتور ناپیوسته با زمان، در یک راکتور Plug در طول آن و در یک مجموعه از راکتورهای mixed پشت سر هم از راکتوری به راکتور دیگر تغییر می‌نماید. شرایط بهترین مسیر درجه حرارت در یک راکتور مشخص به قرار زیر است: بدون توجه به غلظت ترکیب‌شونده، دمای سیستم را باید مقداری انتخاب کرد که در آن سرعت واکنش ماکزیمم باشد.

نکته: برای واکنش‌های برگشت‌ناپذیر، سرعت با افزایش دما در هر غلظتی اضافه می‌شود و بنابراین حداکثر سرعت در بالاترین دمای مجاز حاصل خواهد شد.

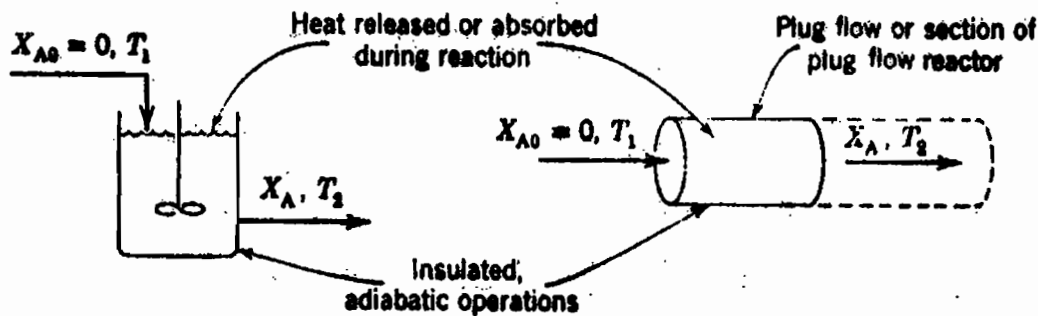
در واکنش‌های گرماگیر، افزایش دما تبدیل تعادلی و سرعت واکنش را زیاد می‌کند و بنابراین مانند واکنش‌های بازگشت‌ناپذیر بالاترین دمای مجاز باید انتخاب شود.

در واکنش‌های گرمازای برگشت‌پذیر وقتی سیستم از حالت تعادل دور باشد باید دما را بالا گرفت تا از مزیت سرعت زیاد بهره‌مند گردید، وقتی حالت تعادل نزدیک شد دما را باید کاهش داد تا تعادل به طرف مقادیر مطلوب‌تری هدایت شود. پس برای واکنش‌های گرمازای برگشت‌پذیر بهترین مسیر درجه حرارت، مسیری با دماهای متفاوت است. دما در ابتدای واکنش زیاد و سپس با افزایش میزان تبدیل کاهش می‌یابد.



## عملکرد آدیاباتیک

یک راکتور mixed یا راکتور Plug را که در آن میزان تبدیل  $X_A$  می‌باشد مطابق شکل (۳ - ۶) در نظر می‌گیریم. اگر جسم A را محدود کننده فرض کرده و اندیس‌های ۱ و ۲ مربوط به دماهای جریان‌های ورودی و خروجی باشد در این صورت با برقراری موازنه انرژی خواهیم داشت:



شکل (۳ - ۶): عملکرد آدیاباتیک راکتورهای mixed و Plug

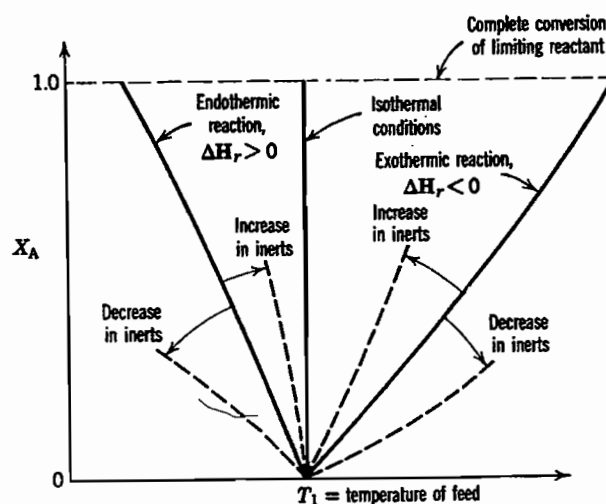
$$X_A = \frac{C_p \Delta T}{-\Delta H_{r2}} = \frac{\text{حرارت لازم برای بالا بردن دمای خوراک تا } T_2}{\text{حرارت آزاد شده در واکنش در دمای } T_2} \quad (۹ - ۶)$$

$C_p$ : گرمای ویژه متوسط محصول خالص بازای هر مول A ورودی.

$\Delta H_r$ : گرمای واکنش بازای هر مول A ورودی.

$\Delta T$ : تغییرات درجه حرارت

رابطه بین دما و میزان تبدیل بر اساس رابطه (۹ - ۶) در شکل (۴ - ۶) نشان داده شده است. خطوط حاصل را می‌توان در تمام موارد عملی مستقیم فرض کرد زیرا تغییرات مخرج این معادلات با دما نسبتاً اندک است.



شکل (۴ - ۶): نمایش ترسیمی معادله موازنه انرژی برای عملکرد آدیاباتیک

## واکنش‌های چندگانه

در واکنش‌های چندگانه حجم راکتور و نیز توزیع محصولات تحت تأثیر شرایط عملکرد قرار می‌گیرند. مسایل مربوط به اندازه راکتور در این مورد از نظر اصولی تفاوتی با واکنش‌های منفرد ندارد. مسئله اصلی این است که دما را به نحوی در نظر می‌گیریم که اولاً: توزیع مطلوب محصولات واکنش حاصل شود و ثانیاً: حداکثر مقدار محصول مطلوب در راکتوری با زمان گنجایش مشخص به دست می‌آید.

### توزیع محصولات و دما:

اگر مراحل رقابتی در یک واکنش چندگانه دارای ثابت‌های سرعت  $k_1$  و  $k_2$  باشند نسبتی آن‌ها با عبارت زیر داده می‌شود:

$$\frac{k_1}{k_2} = \frac{k_{o1} e^{-\frac{E_1}{RT}}}{k_{o2} e^{-\frac{E_2}{RT}}} = \frac{k_{o1}}{k_{o2}} e^{\frac{(E_2-E_1)}{RT}} \propto e^{\frac{E_2-E_1}{RT}} \quad (10-6)$$

بسته به آن که  $E_1$  بزرگ‌تر یا کوچک‌تر از  $E_2$  باشد، نسبت فوق با افزایش درجه حرارت به صورت زیر تغییر خواهد نمود:

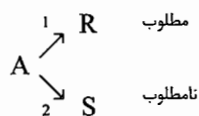
$$\left. \begin{array}{l} E_1 > E_2 : \text{ با افزایش دما نسبت } \frac{k_1}{k_2} \text{ زیاد می‌شود.} \\ E_1 < E_2 : \text{ با افزایش دما نسبت } \frac{k_1}{k_2} \text{ کاهش می‌یابد.} \end{array} \right\}$$

نتیجه: از مطالب بالا می‌توان گفت درجه حرارت بالا، واکنش با انرژی فعال‌سازی بیش‌تر و دمای پایین واکنش با انرژی فعال‌سازی کوچک‌تر را مساعدت می‌کند.

حال این قاعده را در مورد واکنش‌های چندگانه مختلف به کار می‌بریم تا بهترین دمای عملکرد آنها مشخص می‌شود.

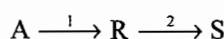
### الف) واکنش‌های موازی:

مرحله اول بایستی تسریع گردیده و مرحله دوم کند شود و نیز تا حد امکان نسبت  $\frac{k_1}{k_2}$  بزرگ شود. با استفاده از قاعده گفته شده:



$$\left. \begin{array}{l} E_1 > E_2 : \text{ دمای T را بزرگ اختیار می‌کنیم.} \\ E_1 < E_2 : \text{ دمای T را کوچک اختیار می‌کنیم.} \end{array} \right\}$$

### ب) واکنش‌های پشت سرهم:



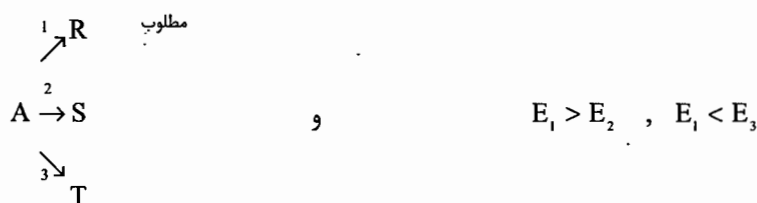
R: ماده مطلوب

به شرطی که نسبت  $\frac{k_1}{k_2}$  افزایش یابد، تولید R زیاد می شود بنابراین:

$$\left. \begin{array}{l} E_1 > E_2 : T \text{ را بزرگ می گیریم.} \\ E_1 < E_2 : T \text{ را کوچک اختیار می کنیم.} \end{array} \right\}$$

### ج) واکنش های سری - موازی:

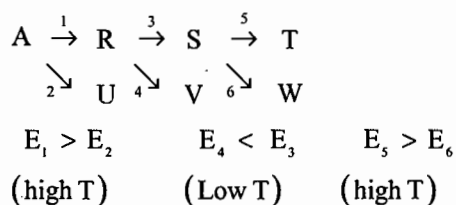
در مراحل موازی چنانچه در یک مرحله دمای زیاد و در مرحله دیگر دمای کوچک تر مورد نیاز باشد، یک درجه حرارت متوسط بهترین نتیجه را حاصل نموده و مطلوب ترین توزیع محصولات را ایجاد می نماید. به عنوان مثال واکنش زیر را در نظر می گیریم:



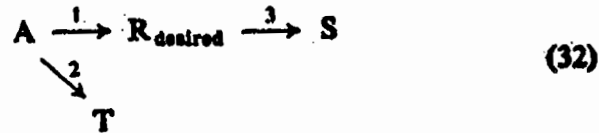
در این مورد  $E_1 > E_2$  پس دمای بالا مورد نیاز است و از طرفی چون  $E_1 < E_3$  است دمای پایین تر مناسب تر است. بهترین نوع توزیع محصولات وقتی به دست می آید که دما در معادله زیر صدق کند:

$$\frac{I}{T} = \frac{R}{E_3 - E_2} \ln \left[ \frac{E_3 - E_1 k_{o3}}{E_1 - E_2 k_{o2}} \right] \quad (11 - 6)$$

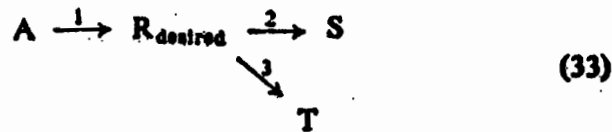
در مراحل پشت سر هم، در صورتی که یک مرحله نیاز به دمای بالا و مرحله دیگر احتیاج به دمای پایین داشته باشد از مسیری با درجه حرارت نزولی باید استفاده نمود. به عنوان مثال واکنش زیر را در نظر می گیریم:



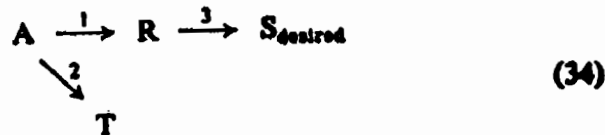
دیده می شود بهترین وضعیت آغاز واکنش در دمای بالا و سپس پایین آوردن دما تا میزان حداقل (در نقطه ای که R حداکثر است) و سپس وقتی تولید S قابل ملاحظه گردید افزایش مجدد آن می باشد. جدول (۱ - ۶) حدود مطلوب دما و مسیر آن برای یک دسته نسبتاً عمومی از واکنش ها نشان داده شده است.



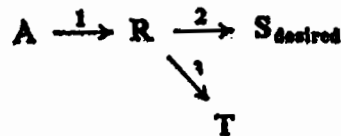
- (a) if  $E_1 > E_2$  and  $E_3$  use high  $T$
- (b) if  $E_1 > E_2$  (high  $T$ ),  $E_1 < E_3$  (low  $T$ ) use falling  $T$
- (c) if  $E_1 < E_2$  and  $E_3$  use low  $T$
- (d) if  $E_1 < E_2$  (low  $T$ ),  $E_1 > E_3$  (high  $T$ ) use rising  $T$



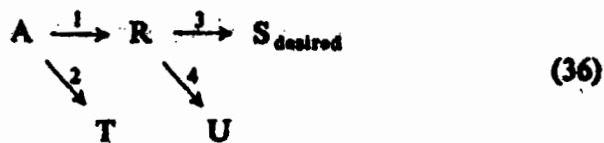
- (a) if  $E_1 > E_2$  and  $E_3$  use high  $T$
- (b) if  $E_1 > E_2$  (high  $T$ ),  $E_1 < E_3$  (low  $T$ ) use intermediate  $T$  level
- (c) if  $E_1 < E_2$  and  $E_3$  use low  $T$
- (d) if  $E_1 < E_2$  (low  $T$ ),  $E_1 > E_3$  (high  $T$ ) use intermediate  $T$  level



- (a) if  $E_1 > E_2$  use high  $T$
- (b) if  $E_1 < E_2$  use low  $T$



- (a) if  $E_2 > E_3$  use high  $T$
- (b) if  $E_2 < E_3$  use low  $T$



- (a) if  $E_1 > E_2$ ,  $E_3 > E_4$  use high  $T$
  - (b) if  $E_1 > E_2$  (high  $T$ ),  $E_3 < E_4$  (low  $T$ ) use falling  $T$
  - (c) if  $E_1 < E_2$ ,  $E_3 < E_4$  use low  $T$
  - (d) if  $E_1 < E_2$  (low  $T$ ),  $E_3 > E_4$  (high  $T$ ) use rising  $T$
- Note:** See Denbigh (1958) for discussion of this reaction.

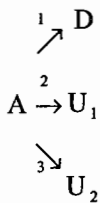
جدول (۱ - ۶) : بهترین درجات حرارت برای توزیع مطلوب محصولات واکنش

## « تست های طبقه بندی شده فصل ششم »

۱ - مناسب ترین روش کار در مورد یک واکنش برگشت پذیر گرماگیر (Endothermic):

- (۱) انجام واکنش در حداکثر دمای مجاز است .
- (۲) استفاده از یک مسیر نزولی دما است .
- (۳) استفاده از یک مسیر صعودی دما است .
- (۴) هیچ کدام از روش های فوق نیست .

۲ - در واکنش زیر ، ماده D مطلوب و  $U_1$  و  $U_2$  نامطلوب می باشند برای افزایش D ، درجه حرارت به چه صورتی باید تغییر نماید، در صورتی که  $E_1 > E_2$  و  $E_1 < E_3$  باشد .



- (۱) درجه حرارت کاملاً زیاد باشد . (۲) درجه حرارت کاملاً کم باشد .
- (۳) درجه حرارت متوسط باشد . (۴) درجه حرارت در افزایش D نقشی ندارد .

۳ - کدام یک از جملات زیر برای واکنش  $A \begin{array}{l} \nearrow R \\ \searrow S \end{array}$  صحیح است ؟

- (۱) دمای بالا به نفع واکنشی است که E بالاتری دارد .
- (۲) دمای پایین به نفع واکنشی است که E پایین تری دارد .
- (۳) زمانی که  $E_1 = E_2$  باشد دما تأثیری روی توزیع محصولات ندارد .
- (۴) هر سه

۴ - تولید محصول P از طریق واکنش  $A \xrightleftharpoons[2]{1} P$  مورد نظر است . اگر انرژی های فعال سازی به صورت  $E_1 < E_2$  باشد ، برای بهبود عملکرد در یک راکتور ناپیوسته (batch):

- (۱) باید واکنش را در حداکثر دما انجام داد .
- (۲) تغییرات دما بر حسب زمان در راکتور باید سیر صعودی داشته باشد .
- (۳) تغییرات دما بر حسب زمان در راکتور باید سیر نزولی داشته باشد .
- (۴) هیچ کدام از موارد بالا

۵ - اگر در واکنش های  $A \begin{array}{l} \nearrow R \\ \searrow S \end{array}$  ، انرژی فعال سازی واکنش شماره ۱ بیش تر از انرژی فعال سازی واکنش شماره ۲ باشد برای تولید

بیش تر R نسبت به S ، بایستی درجه حرارت :

- (۱) پایین نگهداشته شود .
- (۲) بالا نگهداشته شود .
- (۳) بالا و پایین بودن درجه حرارت نسبت تولید را عوض نخواهد کرد .
- (۴) هیچ کدام از موارد فوق صحیح نمی باشد .

۶- در واکنش‌های  $A \begin{matrix} \nearrow R \\ \searrow S \end{matrix}$  برای تولید بیش‌تر R نسبت به S، بهتر است درجه حرارت سیستم:

(۱) بالا نگه‌داشته شود.

(۲) پایین نگه‌داشته شود.

(۳) بالا و پایین نگه‌داشتن درجه حرارت در مقدار تولید R اثری نخواهد داشت.

(۴) بالا یا پایین نگه‌داشتن درجه حرارت بستگی به مقدار انرژی فعال‌سازی واکنش‌ها پیدا می‌کند.

۷- دو واکنش موازی  $\begin{cases} 2A \rightarrow B+C \\ 2A \rightarrow D+E \end{cases}$  در  $100^\circ C$  انجام گرفته و غلظت B پنج برابر غلظت D است. چنان‌چه واکنش در

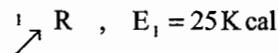
$200^\circ C$  صورت گیرد، غلظت B سه برابر غلظت D می‌شود. کدام یک صحیح است؟

(۱)  $E_1 = E_2$

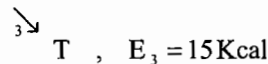
(۲)  $E_2 < E_1$

(۳)  $E_1 = E_2 = 0$

(۴)  $E_2 > E_1$



۸- واکنش‌های ابتدایی  $A \xrightarrow{2} S$  ,  $E_2 = 20 \text{ Kcal}$  مفروض است. R محصول مطلوب و S و T نامطلوب هستند. برای به‌دست



آوردن حداکثر مقدار R باید دما را چند درجه انتخاب کرد. (محدوده مجاز بین  $20$  تا  $95$  درجه سلسیوس است).

(۱)  $20^\circ C$

(۲)  $57^\circ C$

(۳)  $95^\circ C$

(۴) در این واکنش‌ها دما اثری بر توزیع محصولات ندارد.

۹- واکنش  $A \rightarrow R$  و در یک راکتور Mixed به‌صورت آدیاباتیک انجام می‌شود. شیب خط کار آدیاباتیک  $(K)^{-1} \frac{-1}{70}$  است.

میزان تبدیل در راکتور  $X_A = 0.7$  می‌باشد. تغییر دمای سیال چقدر است؟

(۱)  $-15^\circ C$

(۲)  $-37^\circ C$

(۳)  $25^\circ C$

(۴)  $49^\circ C$

۱۰- واکنش  $A \rightarrow B \rightarrow C$  که در یک راکتور مخلوط‌کننده با زمان پر شدن مشخص انجام می‌گیرد. رابطه‌ای برای درجه حرارت

که مقدار B حاصل از این واکنش حداکثر باشد به شرح زیر است: (کلیه مراحل واکنش درجه یک می‌باشد)

$$\frac{E_1}{E_2} = k_2 \tau \left[ \frac{k_1 \tau}{k_2 \tau + 1} \right] \quad (۲) \qquad \frac{E_2}{E_1} = k_2 \tau \left[ \frac{k_1 \tau + 1}{k_2 \tau + 1} \right] \quad (۱)$$

$$\frac{E_2}{E_1} = k_1 k_2 \tau^2 \left[ \frac{2}{k_1 \tau + 1} \right] \quad (۴) \qquad \frac{E_1}{E_2} = k_2 \tau \left[ \frac{k_1 \tau + 1}{k_2 \tau + 1} \right] \quad (۳)$$

۱۱- یک واکنش گرمای برگشت‌ناپذیر  $A \rightarrow R$  با  $C_{A_0} = 1 \text{ gmole/lit}$ ، در یک راکتور ناپیوسته (batch) به صورت

آدیاباتیک انجام می‌گیرد. محلول رقیق است و مشخصات فیزیکی آن (دانسیته و ظرفیت حرارتی) مطابق با آب خالص فرض

می‌شود. گرمای واکنش  $(\Delta H_r)$  را ثابت و برابر  $-18000 \text{ Cal/gmole}$  فرض می‌کنیم. افزایش دمای محلول وقتی میزان

تبدیل A به 50% برسد عبارتست از

(۴)  $9^\circ C$

(۲)  $15.5^\circ C$

(۱)  $2^\circ C$

۱۲ - در واکنش سری  $A \xrightarrow{k_1} R \xrightarrow{k_2} S$  اگر  $E_1 < E_2, n_1 > n_2$  باشد، برای ماکزیمم تولید R، دمای محیط واکنش و غلظت واکنش گر خالص A باید به ترتیب:

- (۱) مینیمم و کم باشد. (۲) مینیمم و زیاد باشد (۳) نزولی و کم باشد (۴) نزولی و زیاد باشد

۱۳ - کدام یک از عبارات ذیل صحیح است؟

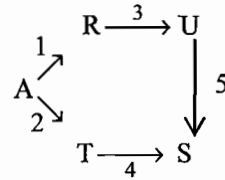
- (۱) درصد تبدیل واکنش گرمازا در راکتور لوله‌ای در طول راکتور کاهش می‌یابد ولی درصد تبدیل تعادلی آن افزایش می‌یابد.  
(۲) درصد تبدیل واکنش گرمازا در راکتور لوله‌ای بستگی به طول ندارد لکن درصد تبدیل تعادلی آن زیاد می‌شود.  
(۳) درصد تبدیل واکنش گرمازا در راکتور لوله‌ای در طول لوله افزایش می‌یابد و درصد تبدیل تعادلی زیاد می‌شود.  
(۴) درصد تبدیل واکنش گرمازا در راکتور لوله‌ای کاهش می‌یابد ولی درصد تبدیل تعادلی آن به طول لوله بستگی دارد.

۱۴ - سیستم واکنش‌های ابتدایی زیر داده شده است. برای رسیدن به حداکثر محصول U:

$$E_1 = 79 \frac{\text{KJ}}{\text{mol}} \quad \text{و} \quad E_2 = 113 \frac{\text{KJ}}{\text{mol}}$$

$$E_3 = 126 \frac{\text{KJ}}{\text{mol}} \quad \text{و} \quad E_4 = 151 \frac{\text{KJ}}{\text{mol}}$$

$$E_5 = 30 \frac{\text{KJ}}{\text{mol}}$$



(۱) استفاده از راکتور همزن دار و دمای پایین

(۲) استفاده از راکتور همزن دار و دمای بالا

(۳) استفاده از راکتور لوله‌ای و کاهش تدریجی دما

(۴) استفاده از راکتور لوله‌ای و افزایش تدریجی دما

۱۵ - برای واکنش  $A \rightarrow B + 2C$  ثابت تعادل در  $577^\circ\text{C}$  برابر است با 2.5 در این صورت ثابت تعادل در  $377^\circ\text{C}$  کدام است؟

$$C_{PA} = 25 \frac{\text{cal}}{\text{mol}^\circ\text{C}}, \quad C_{PB} = 9 \frac{\text{cal}}{\text{mol}^\circ\text{C}}, \quad C_{PC} = 8 \frac{\text{cal}}{\text{mol}^\circ\text{C}}$$

$$\Delta H_{r,298k}^0 = 1900 \frac{\text{cal}}{\text{mol} \cdot A}, \quad R = 1.987 \frac{\text{cal}}{\text{mol} \cdot k}$$

(۴) 1.77

(۳) 1.50

(۲) 1.43

(۱) 1.03

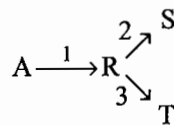
۱۶ - در واکنش‌های زیر برای افزایش تولید R، کدام عبارت درست است؟

(۱) اگر  $E_1 < E_2$  ،  $E_1 > E_3$  ، افزایش دما بهتر است

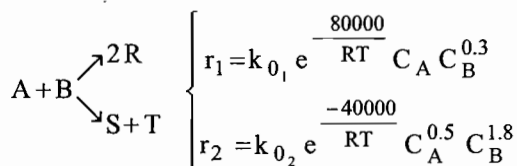
(۲) اگر  $E_1 < E_2$  ،  $E_1 < E_3$  ، کاهش دما بهتر است.

(۳) اگر  $E_1 < E_2$  ،  $E_1 > E_3$  ، افزایش دما بهتر است.

(۴) اگر  $E_1 < E_2$  ،  $E_1 > E_3$  ، کاهش دما بهتر است.



۱۷ - برای واکنش چندگانه زیر، مناسب‌ترین درجه حرارت که به نفع تولید R باشد بهترین نوع تماس بین A ، B به ترتیب کدام است؟



(۲) کاهش درجه حرارت، افزایش  $C_A$  ، کاهش  $C_B$

(۱) افزایش درجه حرارت، افزایش  $C_A$  ، کاهش  $C_B$

(۴) کاهش درجه حرارت، کاهش  $C_A$  ، افزایش  $C_B$

(۳) افزایش درجه حرارت، کاهش  $C_A$  ، افزایش  $C_B$

۱۸ - برای واکنش گازی  $A(g) + 2B(g) \rightleftharpoons C(g)$  با فرض گازهای ایده آل، رابطه بین ثابت تعادل، فشار و ثابت تعادل غلظت از کدام یک از روابط زیر پیروی می کند؟

$$K_P = K_C (RT)^{\frac{1}{2}} \quad (۲) \qquad K_P = K_C (RT)^2 \quad (۱)$$

$$K_P = \frac{K_C}{(RT)^2} \quad (۴) \qquad K_P = K_C (RT)^{\frac{3}{2}} \quad (۳)$$

۱۹ - برای واکنش:  $A \xrightarrow[2]{1} R \xrightarrow[3]{(مطلوب)} S$  چنانچه  $E_1 > E_2$  ,  $E_1 < E_3$  باشد، برای رسیدن به حداکثر مقدار R واکنش را

باید چگونه انجام داد؟

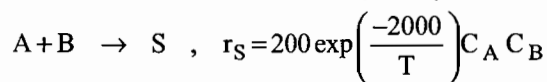
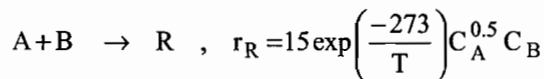
(۱) واکنش را در حداکثر دمای ممکن انجام داد.

(۲) واکنش را در دمای پایین انجام داد.

(۳) واکنش را در مسیر نزولی دما انجام داد.

(۴) واکنش را در مسیر صعودی دما انجام داد.

۲۰ - واکنش های موازی زیر را در نظر بگیرید:



راکتور و شرایط مناسب جهت تولید حداکثر محصول R را تعیین نمایید.

(۲) استفاده از لوله ای پیوسته در دمای پایین

(۴) استفاده از یک لوله ای پیوسته در دمای پایین

(۱) استفاده از یک مخلوط شونده در دمای پایین

(۳) استفاده از یک مخلوط شونده در دمای بالا

۲۱ - ماده A تحت سه واکنش موازی  $A \xrightarrow[k_2]{k_3} B$  ,  $A \xrightarrow[k_2]{k_1} C$  ,  $A \xrightarrow[k_2]{k_2} D$  تبدیل می شود. در صورتی که انرژی فعالیت واکنش های فوق به صورت

(مهندسی شیمی سراسری - ۸۸)  $E_2 < E_1 < E_3$  تغییر کند، برای افزایش غلظت B درجه حرارت چگونه باید تغییر کند؟

(۲) متوسط باشد

(۴) در افزایش غلظت B دما نقشی ندارد.

(۱) کاملاً کم باشد.

(۳) کاملاً زیاد باشد

۲۲ - تغییر در مقدار انرژی فعالیت با دما بیانگر کدام مورد است؟ (مهندسی بیوتکنولوژی سراسری - ۸۸)

(۲) واکنش حتماً تعادلی است.

(۴) برای عملی بودن واکنش نیاز به حضور کاتالیست است.

(۱) واکنش ابتدایی است

(۳) جهش در مکانیزم کنترل کننده واکنش اتفاق می افتد.

۲۳ - واکنش گرمزای  $A \rightleftharpoons 2B$  در دمای ..... و ..... مواد بی اثر بهترین درصد تبدیل تعادلی را خواهد داشت. (آزمون های آزمایشی پارسه - ۸۸)

(۴) بالا - عدم حضور

(۳) پایین - عدم حضور

(۲) پائین - حضور

(۱) بالا - حضور



## پاسخ تست‌های طبقه‌بندی شده فصل ششم

۱ - گزینه ۳ صحیح می‌باشد.

چون واکنش گرماگیر می‌باشد بنابراین برای افزایش میزان درصد تبدیل، بهترین کار، استفاده از یک مسیر صعودی دما است.

۲ - گزینه ۳ صحیح می‌باشد.

چون از طرفی  $E_1 > E_2$  می‌باشد پس برای افزایش میزان D باید درجه حرارت کاملاً زیاد باشد و چون از طرف دیگر  $E_1 < E_3$  می‌باشد

لذا برای افزایش میزان D باید درجه حرارت کاملاً کم باشد که در این صورت به دنبال یک دمای بهینه ( $T_{optimum}$ ) هستیم و از آن جا

که  $T_{min} < T_{opt} < T_{max}$  می‌باشد.

۳ - گزینه ۴ صحیح می‌باشد.

۴ - گزینه ۳ صحیح می‌باشد.

چون واکنش مذکور گرمازا می‌باشد ( $E_1 < E_2$ ) بنابراین برای افزایش بازده تعادلی باید تغییرات دما بر حسب زمان درون راکتور سیر

نزولی داشته باشد.

۵ - گزینه ۲ صحیح می‌باشد.

چون  $E_1 > E_2$  می‌باشد بنابراین برای افزایش میزان تولید R (محصول مطلوب) بایستی درجه حرارت بالا نگه‌داشته شود.

۶ - گزینه ۴ صحیح می‌باشد.

۷ - گزینه ۴ صحیح می‌باشد.

چون با افزایش دما نسبت غلظت B به D کم می‌شود در نتیجه  $E_1 < E_2$  می‌باشد.

۸ - گزینه ۳ صحیح می‌باشد.

چون  $E_1 > E_2 > E_3$  می‌باشد بنابراین برای افزایش میزان محصول مطلوب R باید در محدوده دمای مجاز، دمای ماکزیمم را انتخاب

کرد.

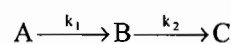
۹ - گزینه ۴ صحیح می‌باشد.

چون واکنش به صورت آدیاباتیک انجام می‌شود و  $\epsilon_A = 0$  می‌باشد. بنابراین:

$$X_A = \frac{\rho \cdot C_p \cdot \Delta T}{C_{A_0} (-\Delta H_r)} \Rightarrow 0.7 = \left( \frac{-1}{70} \right) \Delta T \Rightarrow \Delta T = -49^\circ C$$

یعنی تغییر دمای سیال  $49^\circ C$  بوده است.

۱۰ - گزینه ۳ صحیح می‌باشد.



$$\frac{C_B}{C_{A_0}} = \frac{k_1 \tau}{(1+k_1 \tau)(1+k_2 \tau)} \Rightarrow \frac{d(C_B/C_{A_0})}{dT} = 0 \Rightarrow \frac{E_1}{E_2} = k_2 \tau \left[ \frac{k_1 \tau + 1}{k_2 \tau + 1} \right]$$

۱۱ - گزینه ۴ صحیح می باشد.

چون واکنش درون راکتور Batch به صورت آدیاباتیک انجام می گیرد، لذا:

$$X_A = \frac{\rho C_p \cdot \Delta T}{C_{A_0} (-\Delta H_r)} ; C_p = 1 \text{ Cal/gr} \cdot ^\circ\text{C} , \rho = 1000 \text{ gr/lit}$$

بنابراین:

$$0.5 = \frac{1000 \times 1 \times \Delta T}{1 \times 18000} \Rightarrow \Delta T = 9^\circ\text{C}$$

یعنی تغییر دمای سیال  $9^\circ\text{C}$  می باشد.

۱۲ - گزینه ۲ صحیح می باشد.

چون  $E_1 < E_2$  و  $n_1 > n_2$  می باشد بنابراین برای ماکزیمم تولید R، دمای محیط واکنش باید مینیمم و غلظت واکنش گر خالص A باید زیاد باشد.

۱۳ - گزینه ۴ صحیح می باشد.

۱۴ - گزینه ۴ صحیح می باشد.

برای تولید حداکثر مقدار محصول U با توجه به پایین بودن مقدار  $E_1$  و بالا بودن  $E_3$  و انرژی فعال سازی سایر واکنش ها بهتر است واکنش در یک راکتور لوله ای صورت گیرد که از دمای پایین شروع می شود و به تدریج دما افزایش می یابد.

۱۵ - گزینه ۴ صحیح می باشد.

$$\Delta H_{r_2} = \Delta H_{r_1} + \int_{T_1}^{T_2} \Delta C_p dT$$

$$\Delta C_p = 2C_{pC} + C_{pB} - C_{pA} = 2(8) + 9 - 25 = 0$$

بنابراین گرمای واکنش مستقل از دما است:

$$\Delta H_{r_2} = \Delta H_{r,298k}^0 = 1900 \frac{\text{cal}}{\text{mol k}}$$

$$\ln \frac{K_2}{K_1} = -\frac{\Delta H_r}{R} \left( \frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1} \right) \Rightarrow \ln \frac{K_2}{2.5} = -\frac{1900}{1.987} \left( \frac{1}{650} - \frac{1}{850} \right) \Rightarrow K_2 = 1.77$$

۱۶ - گزینه ۲ صحیح می باشد.

۱۷ - گزینه ۱ صحیح می باشد.

با توجه به این که  $E_1 > E_2$  است افزایش دما بهتر است.

واکنش مطلوب نسبت به A از درجه بالاتر و نسبت به B از درجه پایین تر از واکنش نامطلوب است پس بهتر است  $C_A$  را افزایش و  $C_B$  را کاهش دهیم.

۱۸ - گزینه ۴ صحیح می باشد.

$$K_p = K_c (RT)^{\Delta n}$$

$$\Delta n = 1 - (1 + 2) = -2 \Rightarrow K_p = K_c (RT)^{-2}$$

۱۹ - گزینه ۳ صحیح می باشد.

۲۰ - گزینه ۱ صحیح می باشد.

$$\frac{C_R}{C_S} = \frac{r_R}{r_S} = \frac{k_1}{k_2} C_A^{-0.5}$$

مشخص است که برای تولید حداکثر محصول R باید  $C_A$  پایین باشد یعنی راکتور مخلوط شونده مناسب است. چون انرژی اکتیواسیون واکنش مطلوب در مقایسه با واکنش نامطلوب کمتر است بهتر است دما پایین باشد.

۲۱ - گزینه ۱ صحیح می باشد.

می دانیم که افزایش دما به نفع واکنش هایی است که انرژی اکتیواسیون بالاتری دارند و چون انرژی اکتیواسیون واکنش 3 از همه بیشتر است. برای افزایش غلظت B باید درجه حرارت کاملاً زیاد باشد.

۲۲ - گزینه ۳ صحیح می باشد.

۲۳ - گزینه ۲ صحیح می باشد.

# یادداشت

پارسه ماهان سنچش  
www.arshd87.blogfa.com  
09195367497

Blank lined area for taking notes.

# یادداشت

پارسه ماهان سنجش  
www.arshd87.blogfa.com  
09195367497

Lined area for writing notes.

## یادداشت

پارسه ماهان سنجش  
www.arshd87.blogfa.com  
09195367497