

## فصل ۴

# راکتور و مخازن



بخش اصلی در یک واحد شیمیایی، واکنش شیمیایی است که در رآکتور انجام می‌شود و با توجه به اینکه در اکثر فرایندهای صنایع شیمیایی، خوراک یا محصولات فرایند می‌بایست ذخیره گردند لذا برای نگهداری مواد از مخازن ذخیره‌سازی استفاده می‌شود .

## واحد یادگیری ۴

### راکتور و مخازن

#### مقدمه

راکتور های شیمیایی از بخش های اصلی یک واحد صنعتی شیمیایی هستند که در آن واکنش های شیمیایی انجام می شوند در این بخش سرعت واکنش، عوامل مؤثر بر سرعت واکنش شیمیایی و انواع راکتورهای شیمیایی مورد بررسی قرار خواهند گرفت. مخازن ذخیره سازی دارای کاربرد گسترده ای در اکثر صنایع می باشد و برای نگهداری گازها و مایعات مورد استفاده قرار می گیرند. در ادامه این بخش به معرفی مخازن ذخیره سازی مایعات و انواع آن پرداخته می شود و همچنین تعیین نقطه اشتعال، ایمنی و کار با مخازن ذخیره سازی ارائه خواهد شد.

#### استاندارد عملکرد

تعیین سرعت واکنش، کار با راکتورهای شیمیایی و مخازن ذخیره طبق دستورالعمل شایستگی های غیرفنی:

- ۱- اخلاق حرفه ای: حضور منظم و وقت شناسی، انجام وظایف و کارهای محوله، پیروی از قوانین
  - ۲- مدیریت منابع: شروع به کار به موقع، مدیریت مؤثر زمان، استفاده از مواد و تجهیزات
  - ۳- کار تیمی: حضوری فعال در فعالیت های تیمی، انجام کارها و وظایف محوله
  - ۴- مستند سازی: گزارش نویسی فعالیت های آزمایشگاهی
  - ۵- محاسبه و کاربست ریاضی
- شایستگی های فنی:
- ۱- تعیین سرعت واکنش
  - ۲- کار با راکتورهای شیمیایی
  - ۳- کار با مخازن ذخیره

## ۱-۴- درصد تبدیل در واکنش های شیمیایی

واکنش شیمیایی فرایندی است که طی آن یک یا چند ماده به مواد دیگر تبدیل می شوند، بنابراین با یک واکنش شیمیایی مواد اولیه یا ترکیب شونده ها به محصولات با ارزش اقتصادی بالا تبدیل می شوند. از این واکنش ها به واکنش تولید بنزین و گازوئیل در پالایشگاه های نفت، تولید پودرهای ماشین لباسشویی در کارخانجات صنایع شوینده، تولید دارو در کارخانجات تولید دارو، تولید مواد غذایی در کارخانجات صنایع غذایی و غیره می توان نام برد.

پرسش



### درصد تبدیل ترکیب شونده:

پرسش ۱: واکنش شیمیایی  $A \rightarrow C$  در یک رآکتور با ۱۰ مول از ماده اولیه A آغاز می گردد، مقدار مول ماده A موجود در واکنش پس از ۱۰۰ دقیقه، ۲۰۰ دقیقه و ۳۰۰ دقیقه از شروع واکنش، کدامیک می تواند باشد؟

(ب) ۱۰ مول، ۸ مول، ۷ مول

(الف) ۸ مول، ۶ مول، ۷ مول

(د) ۴ مول، ۶ مول، ۸ مول

(ج) ۸ مول، ۶ مول، ۴ مول

در یک رآکتور شیمیایی درصد تبدیل یک ترکیب شونده از حاصل تقسیم مقدار مول مصرفی بر مقدار مول اولیه ترکیب شونده ضرب در عدد ۱۰۰، به دست می آید.

اگر واکنش شیمیایی A در حال انجام باشد، میزان درصد تبدیل ترکیب شونده A مطابق با رابطه (۱) محاسبه می گردد.

$$(1) \quad \text{درصد تبدیل ترکیب شونده A} = \frac{\text{تعداد مول مصرفی ماده A}}{\text{تعداد مول اولیه ماده A}} \times 100$$

**مثال ۱:** واکنش  $A \rightarrow C$  با ۱۰ مول از ترکیب شونده A در یک رآکتور آغاز می گردد. پس از گذشت دو ساعت از شروع واکنش، سه مول از A در رآکتور باقی می ماند. درصد تبدیل ماده A در این رآکتور چند درصد است؟

**پاسخ:** مطابق با رابطه (۱)، می بایست در ابتدا تعداد مول مصرفی تعیین گردد. برای این منظور می توان تعداد مول اولیه را از تعداد مول باقی مانده کم نمود.

تعداد مول باقیمانده - تعداد مول اولیه = تعداد مول مصرفی

$$7 \text{ mol} = 10 - 3 = \text{تعداد مول مصرفی}$$

$$\text{درصد تبدیل ترکیب شونده} = \frac{\text{تعداد مول مصرفی ماده A}}{\text{تعداد مول اولیه ماده A}} \times 100 = \frac{7}{10} \times 100 = 70\%$$



به نظر شما در پایان واکنش در مثال ۱ میزان درصد تبدیل چند درصد خواهد شد؟ توضیح دهید؟  
الف) ۸۰ (ب) ۶۰ (ج) ۳۰ (د) ۱۰۰  
میزان درصد تبدیل ماده A را در زمان های مختلف برای پرسش ۱ تعیین نمایید.

## ۲-۴- سرعت واکنش شیمیایی

سرعت یک واکنش، میزان پیشرفت واکنش و روند تبدیل مواد ترکیب شونده به محصول را در مدت زمان معین نشان می دهد. سرعت واکنش یکی از مهم ترین مباحث در علم شیمی است؛ لذا شیمی دان ها همیشه دنبال راهی هستند که سرعت واکنش را بالا ببرند. مطالعه سرعت یک واکنش شیمیایی<sup>۱</sup>، باعث ایجاد شاخه ای در علم شیمی به نام سینتیک<sup>۲</sup> شده است. به طور کلی سرعت یک واکنش شیمیایی از حاصل تقسیم تغییرات غلظت ماده ترکیب شونده بر مدت زمان معین مطابق رابطه ۲ به دست می آید.

$$(۲) \quad \text{سرعت واکنش} = \frac{\text{تغییرات غلظت ترکیب شونده}}{\text{مدت زمان}}$$

**تغییرات غلظت ترکیب شونده به صورت ذیل محاسبه می گردد:**

غلظت مصرفی ترکیب شونده = غلظت باقی مانده - غلظت اولیه = تغییرات غلظت ترکیب شونده

اگر واحد غلظت، مول بر لیتر و واحد زمان دقیقه باشد. واحد سرعت واکنش عبارت است از:

$$\text{واحد سرعت واکنش} = \frac{\left(\frac{\text{mol}}{\text{lit}}\right)}{(\text{min})} = \frac{\text{mol}}{\text{lit} \cdot \text{min}}$$



واحدهای دیگری برای سرعت بیان کنید.

برای تعریف سرعت می توان به جای رابطه (۲) و به جای تغییرات غلظت ترکیب شونده از تغییرات تعداد مول ترکیب شونده مطابق رابطه شماره (۳) استفاده نمود.

$$(۳) \quad \text{سرعت واکنش} = \frac{1}{V_R} \times \frac{\text{تغییرات تعداد مول ترکیب شونده}}{\text{مدت زمان}}$$

<sup>۱</sup>-Reaction Rate

<sup>۲</sup>-kinetic

در رابطه (۳)،  $V_R$  حجم رآکتور است.

البته به جای تغییرات تعداد مول ترکیب‌شونده می‌توان از تعداد مول مصرفی ترکیب‌شونده نیز استفاده نمود؛ لذا:

$$(۴) \quad \text{تعداد مول مصرفی ترکیب شونده} \times \frac{۱}{V_R} = \text{سرعت واکنش} \\ \text{مدت زمان}$$

واحدهای سرعت واکنش را مطابق با رابطه ۴ بیان کنید.

پرسش



توجه: واحد سرعت واکنش بر اساس روابط (۲) و (۳) تفاوتی نمی‌کند.

**مثال ۲:** واکنش  $A \rightarrow C$  با تعداد ۷ مول از ماده A در یک رآکتور یک لیتری انجام شده است؛ پس از گذشت دو ساعت، ۳ مول از A در رآکتور باقی مانده است، مطلوب است:

الف) درصد تبدیل ترکیب‌شونده در این مدت

ب) سرعت واکنش در این مدت

پاسخ: برای تعیین درصد تبدیل از رابطه (۱) و سرعت واکنش از رابطه (۴) استفاده می‌شود.

تعداد مول A باقی مانده - تعداد مول A اولیه = تعداد مول A مصرفی

$۷ - ۳ = ۴ \text{ mol}$  تعداد مول A مصرفی

$$\text{درصد تبدیل ماده A} = \frac{\text{تعداد مول مصرفی ماده A}}{\text{تعداد مول اولیه ماده A}} = \frac{۴}{۷} \times ۱۰۰ = ۵۷\%$$

$$\text{سرعت واکنش} = \frac{۱}{V_R} \times \frac{\text{تعداد مول مصرفی ترکیب شونده}}{\text{مدت زمان}} = \frac{۱}{۱} \times \frac{۴}{۲ \times ۶۰} = \frac{۴}{۱۲۰} = ۰\%۰۳۳ \frac{\text{mol}}{\text{l.min}}$$

واکنش  $A \rightarrow C$  با تعداد ۵ مول از ماده اولیه A در یک رآکتور ۵ لیتری آغاز شده است. پس از گذشت دو دقیقه از شروع واکنش، تعداد ۳ مول محصول C تولید می‌شود. حال مطلوب است:

الف) درصد تبدیل ترکیب شونده  
ب) سرعت واکنش

پرسش



هدف از مطالعهٔ سرعت یک واکنش شیمیایی، تعیین میزان سرعت و روند پیشرفت واکنش است. از لحاظ مقدار سرعت، معمولاً واکنش‌ها را به صورت ذیل دسته‌بندی می‌کنند.

- واکنش‌های خیلی سریع: مدت زمان انجام این واکنش‌ها خیلی کوتاه و در حدود  $10^{-1}$  ثانیه است؛
- واکنش‌های سریع: مدت زمان انجام این واکنش‌ها کم و در حدود حساسیت انسان به زمان (ثانیه) است؛

• واکنش‌های معمولی: اکثر واکنش‌هایی که در آزمایشگاه انجام می‌شود، از این نوع هستند و مدت زمان آن در حدود دقیقه یا چند ساعت است؛

• واکنش‌های کند: مدت زمان انجام این واکنش‌ها در حدود روزها و هفته‌اند؛

• واکنش‌های خیلی کند: مدت زمان انجام این واکنش‌ها در حدود سال‌هاست.

از واکنش‌های خیلی سریع می‌توان به تشکیل رسوب نقرهٔ کلرید به هنگام مخلوط شدن محلول‌های حاوی یون‌های کلرید و نقره و از واکنش‌های کند می‌توان به زنگ زدن آهن اشاره نمود.

با استفاده از تحقیق اینترنتی، چند نمونه از واکنش‌های با سرعت کم و زیاد را نام ببرید.

تحقیق



بررسی تأثیر غلظت بر سرعت واکنش‌های شیمیایی:

هدف: انجام واکنش سولفوریک اسید با نمک سدیم تیوسولفات با غلظت‌های متفاوت از سولفوریک اسید



به علت تولید رسوب گوگرد، رنگ محلول کدر می‌شود.

فعالیت  
آزمایشگاهی



وسایل مورد نیاز	مواد مورد نیاز
بشر ۵۰ میلی‌لیتری استوانهٔ مدرج ۵۰ میلی‌لیتری زمان‌سنج (کرونومتر)	محلول سولفوریک اسید با غلظت‌های ۰/۵ ، ۱/۰ ، ۱/۵ ، ۲ مولار محلول سدیم تیوسولفات با غلظت ۰/۵ مولار

**روش آزمایش: برای انجام آزمایش مراحل زیر را به ترتیب انجام دهید:**

- ۱- ۵ میلی‌لیتر محلول سولفوریک اسید ۰/۵ مولار را داخل مزور ریخته و ۵ میلی‌لیتر محلول سدیم تیوسولفات ۰/۵ مولار به آن اضافه کنید و زمان را از لحظه اضافه کردن آن تا هنگام کدر شدن رنگ محلول اندازه‌گیری کنید ( $t_1$ )؛

- ۲- آزمایش مرحله ۱ را با محلولهای سولفوریک اسید ۱، ۱/۵ و ۲ مولار و محلول سدیم تیوسولفات ۰/۵ مولار تکرار کرده و هر بار زمان کدر شدن محلول را با زمان سنج (کرونومتر) اندازه بگیرید.  
( $t_p$ ،  $t_p$ ،  $t_p$ )؛
- ۳- نتایج آزمایشها را در جدول زیر یادداشت کنید:

غلظت سولفوریک اسید (مولار)	مدت زمان واکنش (ثانیه)
۰/۵	
۱/۰	
۱/۵	
۲/۰	

چه نتیجه‌ای از این آزمایش می‌توان گرفت؟ بحث نمایید.

بررسی تأثیر دما بر سرعت واکنش‌های شیمیایی:

هدف: انجام واکنش سولفوریک اسید با نمک سدیم تیوسولفات در دماهای مختلف



به علت تولید رسوب گوگرد، رنگ محلول کدر می‌شود.

فعالیت  
آزمایشگاهی



وسایل مورد نیاز	مواد مورد نیاز
بشر ۱۰۰ میلی‌لیتری، لوله آزمایش، گیره لوله آزمایش، توری نسوز، سه پایه، چراغ بونزن، پایه فلزی، دماسنج، زمان سنج.	محلول سولفوریک اسید با غلظت‌های ۰/۵ مولار محلول سدیم تیوسولفات با غلظت ۰/۵ مولار

**روش آزمایش: برای انجام آزمایش مراحل زیر را به ترتیب انجام دهید:**

- دو لوله آزمایش را برداشته و در یکی از آنها ۳ میلی‌لیتر سولفوریک اسید ۰/۵ مولار و در دیگری ۳ میلی‌لیتر محلول سدیم تیوسولفات ۰/۵ مولار بریزید و سپس هر دو لوله را به کمک گیره لوله آزمایش در داخل بشر گذاشته و بشر را تا نیمه آن پر از آب کنید و بعد دماسنجی را به کمک گیره بورت به پایه فلزی نصب کرده؛ به طوری که مخزن دماسنج داخل بشر و درون آب قرار بگیرد و چند لحظه صبر کنید تا دماسنج دمای آب داخل بشر را نشان دهد.
- حال چراغ بونزن زیر بشر را روشن کنید و چند لحظه صبر کرده تا دمای آب داخل بشر به حدود ۵۰ درجه سلسیوس برسد سپس محلول سدیم تیوسولفات را به محلول سولفوریک اسید اضافه کرده و زمان را از لحظه اضافه کردن آن تا هنگام کدر شدن رنگ محلول اندازه‌گیری کنید. ( $t_1$ ).
- مجدداً آزمایش را تکرار کنید فقط این بار باید دمای آب داخل بشر به حدود ۶۵ درجه سلسیوس برسد و آزمایش را انجام داده و زمان کدر شدن رنگ محلول را اندازه‌گیری کنید ( $t_2$ ).

۴- آزمایش را مجدداً در حمام با دمای ۷۵ درجه سلسیوس تکرار کرده و زمان کدر شدن رنگ محلول اندازه‌گیری کنید. (۴۳).

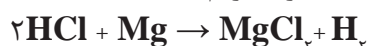
۵- نتایج آزمایش‌ها را جدول زیر را ثبت کنید:

مدت زمان واکنش (ثانیه)	دمای محلول واکنش (سلسیوس)
	۵۰
	۶۵
	۷۵

۶- چه نتیجه‌ای از این آزمایش می‌توان گرفت؟ بحث نمایید.

بررسی تأثیر اندازه ذرات بر سرعت واکنش‌های شیمیایی:

هدف: انجام واکنش هیدروکلریک اسید با فلز منیزیم



فعالیت  
آزمایشگاهی



وسایل مورد نیاز	مواد مورد نیاز
۲ عدد بشر ۱۰۰ میلی لیتری زمان سنج (کرونومتر)	محلول هیدروکلریک اسید با غلظت ۰/۵ مولار نوار منیزیم ۱ گرم پودر منیزیم ۱ گرم

**روش آزمایش: برای انجام آزمایش مراحل زیر را به ترتیب انجام دهید:**

- ۱- دو بشر را برداشته و در هر دوی آنها ۸۵ میلی لیتر هیدروکلریک اسید با غلظت ۰/۵ مولار بریزید. در یکی از بشرها ۱ گرم نوار منیزیم و در دیگری ۱ گرم پودر منیزیم بریزید و آنقدر صبر کنید تا کاملاً نوار و پودر در اسید حل شود و مدت زمان حل شدن را برای هر دو بشر یادداشت نمایید.
- ۲- نتایج حاصل از آزمایش را در جدول ثبت کنید:

مدت زمان واکنش (ثانیه)	شماره بشر
	بشر حاوی نوار منیزیم
	بشر حاوی پودر منیزیم

۳- چه نتیجه‌ای از این آزمایش می‌توان گرفت؟ بحث نمایید.



## ۳-۴ عوامل مؤثر بر سرعت واکنش شیمیایی

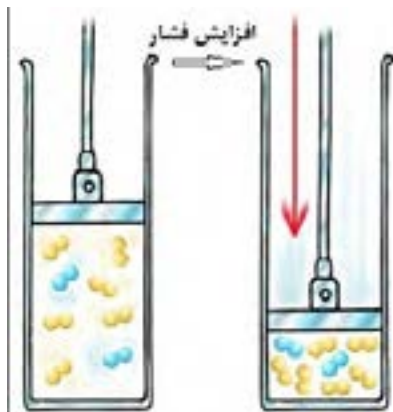
عوامل مؤثر بر سرعت واکنش شیمیایی عبارتند از:

- ۱- دما
- ۲- فشار
- ۳- غلظت ترکیب‌شونده
- ۴- اندازه ذرات ترکیب‌شونده و سطح تماس
- ۵- کاتالیست

### تأثیر دما بر سرعت واکنش شیمیایی

در اغلب واکنش‌های شیمیایی بین دما و سرعت واکنش رابطه مستقیم وجود دارد؛ یعنی با افزایش دما، تعداد بیشتری از ذرات ترکیب‌شونده با هم برخورد کرده و برخوردها با شدت بیشتری اتفاق می‌افتد. در نتیجه سرعت واکنش شیمیایی افزایش می‌یابد. به‌طور کلی به ازای افزایش دما به میزان ۱۰ درجه سلسیوس، سرعت واکنش شیمیایی دو برابر می‌شود.

پرسش



شکل ۱-۴: تأثیر فشار بر سرعت واکنش

### تأثیر فشار بر سرعت واکنش شیمیایی

برای بعضی از واکنش‌های شیمیایی با افزایش فشار تعداد برخوردهای مواد ترکیب‌شونده بیشتر می‌شود و در نتیجه میزان سرعت واکنش افزایش می‌یابد. (شکل ۱-۴).

### تأثیر غلظت ترکیب‌شونده‌ها بر سرعت واکنش شیمیایی:

افزایش در تعداد برخوردها باعث افزایش سرعت واکنش می‌شود. تراشه چوب در هوای عادی که شامل ۲۰ درصد اکسیژن است، به خوبی می‌سوزد، اما همین تراشه در اکسیژن خالص، بسیار سریع‌تر می‌سوزد. هر چه غلظت مواد واکنش‌گر بیشتر باشد، به همان میزان تعداد برخوردها به یکدیگر بیشتر شده که پیامد آن افزایش سرعت واکنش است.

### تأثیر اندازه ذرات ترکیب‌شونده بر سرعت واکنش شیمیایی:

همان‌طور که مطرح گردید هر چه سطح مؤثر برخورد در ترکیب‌شونده‌ها بیشتر باشد، واکنش‌ها با

سرعت بیشتری اتفاق می‌افتند. اگر کبریت روشنی را در مقابل تکه بزرگی از ذغال بگیرید، شاید اتفاق خاصی نیفتد، اما اگر همین ذغال را به تکه‌های بسیار ریز خرد کرده و آنها را به هوا پرت کنید و کبریتی را روشن کنید، انفجاری را خواهید دید که به دلیل افزایش سطح مؤثر برخورد ذرات واکنش‌دهنده است. علت زنگ‌زدگی سریع‌تر براده‌های آهن به نسبت یک میخ آهنی نیز همین افزایش سطح تماس است؛ بنابراین افزایش سطح تماس تعداد برخورد ذرات را افزایش می‌دهد و در نتیجه روی سرعت واکنش اثر می‌گذارد.

### تأثیر کاتالیست بر سرعت واکنش شیمیایی:

یکی دیگر از عوامل مؤثر بر سرعت واکنش‌های شیمیایی وجود کاتالیست مناسب در واکنش است و اصولاً در یک تعریف کلی به تمامی موادی که در محیط واکنش حضور دارند و موجب افزایش سرعت و یا تغییر مسیر پیشرفت واکنش شده و در خاتمه واکنش هم بدون هیچ‌گونه تغییر شیمیایی در ساختار مولکولی‌اش در محیط واکنش باقی می‌مانند، کاتالیست گفته می‌شود.

هر واکنشی کاتالیست مخصوص به خود را دارد؛ ولی در عین حال ممکن است نوع کاتالیست برای چند نوع واکنش شیمیایی مختلف مناسب باشد. در هر ماده کاتالیست به شیوه‌ای وارد عمل شده و روی سرعت واکنش شیمیایی اثر می‌گذارد. در واکنش‌ها کاتالیست با اتصال به مواد اولیه واکنش،

سطح تماس را افزایش می‌دهد و همچنین انرژی مورد نیاز برای آغاز واکنش را کم می‌کند که پیامد هر دو روش افزایش سرعت است. یکی دیگر از محاسن استفاده از کاتالیست انتخابی عمل کردن کاتالیست در واکنش‌های شیمیایی است، یعنی اگر در یک راکتور چند واکنش هم‌زمان صورت بگیرد، یک کاتالیست مناسب می‌تواند سرعت تشکیل و تولید محصول مطلوب را افزایش داده سرعت واکنش‌های نامطلوب و ناخواسته را کاهش دهد (شکل ۲-۴).



شکل ۲-۴ تأثیر کاتالیست بر پیشرفت واکنش

## ۴-۴- تقسیم بندی واکنش‌های شیمیایی بر اساس تعداد فاز

بر اساس تعداد فازهای مواد، تقسیم‌بندی واکنش‌ها عبارتند از:

**واکنش همگن (هموزن):** در این واکنش تمامی مواد شرکت‌کننده (ترکیب شونده‌ها) همگی در یک فاز هستند. تولید صابون از محلول قلیایی و اسیدهای چرب به صورت همگن و در فاز مایع و تولید سیمان نیز به صورت همگن و در فاز جامد انجام می‌شود.

**واکنش ناهمگن (هتروژن):** اگر مواد شرکت کننده در واکنش در یک فاز نباشند، این واکنش را ناهمگن می گویند. از واکنش های ناهمگن می توان به واکنش تولید گاز هیدروژن، تولید بنزین، (گاز جامد)، تولید استیلن (مایع و جامد)، تولید گازوئیل (گاز- جامد- مایع) اشاره نمود.

سه نمونه واکنش همگن و سه نمونه واکنش ناهمگن را نام ببرید.

پرسش



## ۵-۴- تقسیم بندی واکنش شیمیایی بر اساس گرمای واکنش

واکنش گرمازا: واکنش هایی هستند که در حین انجام واکنش، گرما ایجاد می کنند و به محیط اطراف خود انرژی می دهند. واکنش های سوختن، خنثی شدن و بسیاری از واکنش هایی که با اکسیژن انجام می شوند، گرمازا هستند.

### انجام واکنش گرمازا

فعالیت  
آزمایشگاهی



مواد مورد نیاز	وسایل مورد نیاز
مس (II) سولفات پودر روی	بشر ۱۰۰ میلی لیتر دماسنج

### روش انجام آزمایش :

۵۰ میلی لیتر محلول مس (II) سولفات (یک مولار) را در یک بشر ۱۰۰ میلی لیتری ریخته و به آن مقداری پودر روی اضافه کنید، سپس مخلوط را به آرامی هم بزنید و دماسنج را درون محتویات بشر قرار دهید و دمای مخلوط را مشاهده کنید.

### واکنش های گرماگیر:

تعدادی از واکنش های شیمیایی برای انجام شدن از محیط اطراف خود گرما می گیرند، معمولاً واکنش هایی که در آن یک ترکیب شونده به چند محصول تبدیل می شود، از نوع گرماگیر هستند.

### انجام واکنش گرماگیر

فعالیت  
آزمایشگاهی



مواد مورد نیاز	وسایل مورد نیاز
آمونیم نیترات آب	بشر ۱۰۰ میلی لیتر، گرم کن الکتریکی دماسنج لوله آزمایش شیشه ای

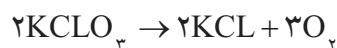
**روش انجام آزمایش:** ۲ گرم آمونیوم نیترات خشک را درون بشر ریخته و روی آن ۵ میلی لیتر آب ۲۰ درجه سلیسیوس اضافه کنید و دماسنج را درون بشر قرار دهید. چه چیزی مشاهده می‌کنید؟ دماسنج چه عددی را نشان می‌دهد؟

**مثال:** واکنش تولید پتاسیم کلرید (KCL) از (KClO<sub>۳</sub>) در یک رآکتور ناپیوسته مطابق با واکنش انجام می‌شود. غلظت ماده ترکیب‌شونده در مدت زمان ۴۰ دقیقه مطابق با جدول ذیل اندازه‌گیری شده است، حال مطلوب است:  
الف) موازنه مولی فرمول واکنش  
ب) میزان سرعت واکنش

زمان (دقیقه)	۰	۱۰	۲۰	۴۰
غلظت ترکیب‌شونده (مواد)	۱	.۸	.۶۶۷	.۵

**( پاسخ )**

الف) موازنه مولی فرمول واکنش با توجه به تعداد اتم‌های مواد یکسان در طرفین واکنش انجام و فرمول موازنه شده ذیل مطرح می‌گردد.



ب) برای تعیین مقدار سرعت از رابطه ۲ استفاده می‌گردد.

$$\text{سرعت} = \frac{\text{غلظت ماده مصرفی ترکیب شونده}}{\text{مدت زمان}}$$

غلظت مصرفی ماده ترکیب‌شونده هم که از تفاضل غلظت اولیه ترکیب‌شونده و غلظت باقی‌مانده ترکیب‌شونده به دست می‌آید. در این مثال غلظت اولیه همان مقدار غلظت در لحظه صفر است (چون در لحظه صفر هنوز واکنشی شروع نشده است، لذا غلظت آن، غلظت اولیه است) بنابراین:

زمان (دقیقه)	۰	۱۰	۲۰	۴۰
غلظت ترکیب‌شونده	۱	۰/۸	۰/۶۶۷	۰/۵
غلظت مصرفی ترکیب‌شونده	-	۱-۰/۸ = ۰/۲	۱-۰/۶۶۷ = ۰/۳۳۳	۱-۰/۵ = ۰/۵
سرعت	-	$\frac{۰/۲}{۱۰} = ۰/۰۲$	$\frac{۰/۳۳۳}{۲۰} = ۰/۰۱۶$	$\frac{۰/۵}{۴۰} = ۰/۰۱۲۵$



واحد سرعت در این مثال  $\frac{\text{مولار}}{\text{دقیقه}}$  است.



- ۱- سرعت واکنش را تعریف کرده و عوامل تأثیرگذار بر آن را توضیح دهید.
- ۲- دو روش برای تعیین سرعت یک واکنش شیمیایی را توضیح دهید.
- ۳- دلایل تأثیر دما بر سرعت واکنش شیمیایی چیست؟
- ۴- واکنش های همگن و غیر همگن را با ذکر مثال توضیح دهید.
- ۵- در یک واکنش شیمیایی با گذشت زمان، میزان درصد تبدیل چه تغییری می کند؟ چرا؟
- ۶- واکنش  $2A \rightarrow 3C$  با ۵ مول از ترکیب شونده A در یک رآکتور لوله ای ۲ لیتری آغاز می گردد. پس از گذشت نیم ساعت از شروع واکنش، دو مول از A در رآکتور باقی می ماند. درصد تبدیل ماده A در این رآکتور چند درصد است؟ سرعت واکنش بر حسب  $\frac{\text{mol}}{\text{lit. min}}$  چقدر است؟
- ۷- کاتالیست ها چه نقشی در انجام یک واکنش شیمیایی دارند؟ توضیح دهید.

## ۶-۴- رآکتورهای شیمیایی

رآکتور<sup>۱</sup> دستگاهی است که در آن واکنش های شیمیایی انجام می شود. رآکتورهای شیمیایی می توانند در



ابعاد بزرگ و برای مصارف صنعتی یا در ابعاد کوچک برای کاربردهای آزمایشگاهی و تحقیقاتی ساخته شوند. در یک کارخانه صنایع شیمیایی، مواد خام<sup>۲</sup> اولیه یا همان ترکیب شونده ها از یک سری فرایندهای فیزیکی اولیه از قبیل جداسازی، خالص سازی عبور می کنند تا آماده ورود به مرحله بعدی یعنی انجام واکنش شیمیایی شوند.

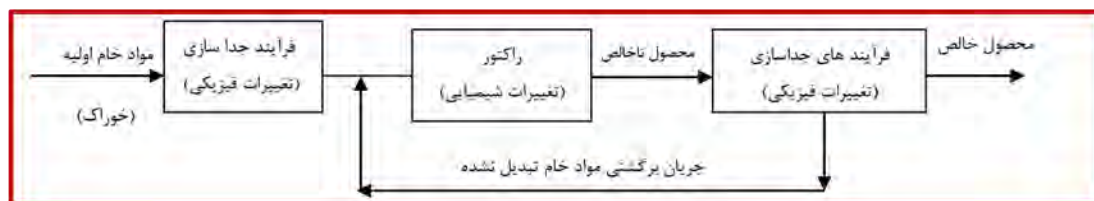
در این مرحله با استفاده از یک رآکتور یا رآکتورهای مناسب، تغییرات شیمیایی مورد نظر انجام می شوند و محصول تولید می شود. به دلیل انجام بعضی از واکنش های ناخواسته یا وجود مقداری از مواد اولیه ورودی به رآکتور که فرصت انجام واکنش را پیدا نکرده اند و همراه محصول از رآکتور خارج شده اند، محصول تولیدی قابل فروش به بازار نیست و لازم است عملیات های فیزیکی از قبیل جداسازی، خالص سازی بر روی آن انجام شود، سپس به عنوان محصول خالص نهایی<sup>۳</sup>

۱-Reactor

۲-Raw material

۳-Net product

برای فروش به بازار عرضه شود. در یک فرآیند شیمیایی احتمال اینکه تمام مواد خام اولیه در راکتور مصرف نشوند؛ وجود دارد؛ لذا آن مقدار مواد اولیه که در راکتور مصرف نشده‌اند می‌بایست به راکتور برگرداند که اصطلاحاً به این جریان، جریان برگشتی<sup>۱</sup> می‌گویند.



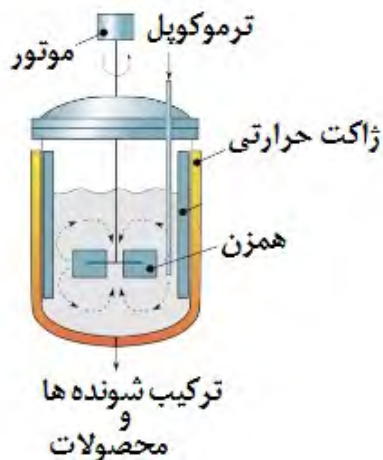
شکل ۳-۴ شمای ساده از یک فرآیند شیمیایی

در صنایع شیمیایی، راکتور به‌عنوان قلب فرآیند شیمیایی و مهم‌ترین و حساس‌ترین عملیات در کارخانه محسوب می‌شود.



راکتورهای شیمیایی براساس نوع عملیات به سه دسته راکتورهای ناپیوسته، راکتورهای نیمه ناپیوسته و راکتورهای پیوسته تقسیم می‌شوند.

## ۷-۴- راکتورهای ناپیوسته



شکل ۴-۴- راکتور ناپیوسته

از دیدگاه تاریخی، راکتورهای ناپیوسته از آغاز صنعت شیمیایی مورد استفاده بوده و هنوز هم به‌صورت وسیعی در تولید مواد شیمیایی با ارزش افزودنی بالا استفاده می‌شوند. در این راکتورها مواد اولیه یا همان ترکیب‌شونده‌ها در همان ابتدای عمل وارد راکتور می‌شوند. محتویات راکتور برای مدت مشخصی کاملاً و به‌شدت مخلوط شده و پس از مدت زمان معینی که واکنش پیشرفت کرد، محتویات داخل راکتور تخلیه می‌شوند؛ بنابراین در این راکتور در هنگام واکنش هیچ گرمی وارد نشده و هیچ گرمی خارج نمی‌شود (شکل ۴-۴). تولید PVC در کارخانجات پتروشیمی در راکتور ناپیوسته انجام می‌شود.



چند واکنش شیمیایی را که در رآکتور ناپیوسته انجام می‌شود، را نام ببرید.



شکل ۵-۴ رآکتور ناپیوسته با سیستم حرارتی کویل

انتقال حرارت فرایند چه از نظر عملیاتی و چه از نظر ایمنی از اهمیت بالایی برخوردار است. همان‌طور که توضیح داده شد، واکنش‌های شیمیایی یا گرمازا هستند یا گرماگیر. در نتیجه در حین انجام واکنش ممکن است محتویات درون رآکتور سرد یا گرم شوند. بالا رفتن بیش از حد دما در رآکتور می‌تواند موجب اختلال در عملکرد و تجهیزات کنترلی آن شود و از همه مهم‌تر، خطر انفجار و نشست مواد را افزایش می‌دهد. همچنین در صورتی که واکنش گرماگیر باشد، با پیشرفت واکنش محتویات رآکتور سردتر می‌شود و ممکن است موجب کندی سرعت واکنش یا انجماد در رآکتور و تجهیزات آن شود. در نتیجه می‌بایست در رآکتورها، همواره دما را در حد مناسب و ایمن نگه داشت. برای این منظور از مبدل‌های حرارتی و تجهیزات انتقال حرارت استفاده می‌شود. یکی از متداول‌ترین روش‌ها برای کنترل دمای رآکتورها استفاده از ژاکت و یا کویل‌های تبادل حرارت است. در ژاکت‌ها، جریانی از یک ماده مثل روغن یا آب با دمای بالاتر و

یا پایین‌تر برای تنظیم دما، در اطراف رآکتور و بدون تماس جرمی با محتویات رآکتور، مرتباً در چرخش است. در روش کویل نیز لوله‌هایی که حاوی همان جریان سردتر یا گرم‌تر است به‌صورت مارپیچ و یا اشکال دیگر در اطراف رآکتور قرار داده می‌شود تا تبادل حرارت با رآکتور انجام شود (شکل ۴-۵). فرایند هم‌زدن و انتقال جرم در رآکتورها از اهمیت بالایی برخوردار است، زیرا در صورتی که محتویات داخل رآکتور به‌خوبی ترکیب نشوند، امکان واکنش ندادن بخشی از مواد و در نتیجه پایین آمدن کیفیت محصول فراهم می‌شود. عمل هم‌زدن در رآکتورهای مخزنی شکل، با استفاده از هم‌زن‌های دوار انجام می‌شود که به شفت و الکتروموتور متصل است انجام می‌شود (شکل ۴-۶). شکل، نحوه قرارگیری و سرعت چرخش هم‌زن بستگی به عواملی چون، حجم مخزن، شکل مخزن، گرانش سیال دارد.



شکل ۶-۴ انواع هم‌زن‌های مورد استفاده در رآکتور

همچنین انتخاب جنس هم‌زن و بدنهٔ راکتور به مواد داخل راکتور بستگی دارد؛ مثلاً اگر مواد داخل راکتور خورنده باشند، استفاده از فولاد و موادی که امکان خورده شدن در آن وجود دارد، غیر منطقی است. در این گونه موارد انتخاب مواد جایگزین یا پوشش‌دهی تجهیزات با لعاب‌های سرامیکی یا پوشش‌های پلیمری روش مناسبی در جلوگیری از خوردگی و واکنش‌های ناخواسته است. در این راکتورها میزان درصد تبدیل در طول زمان تغییر می‌کند، اما اختلاط کامل باعث می‌شود که در هر لحظه درجهٔ حرارت و میزان درصد تبدیل در سرتاسر راکتور یکنواخت باشد.

- معمولاً این راکتورها در موارد زیر استفاده دارند.

- تولید در مقیاس کوچک صنعتی (ظرفیت کم)؛

- آزمایش کردن فرایندهای ناشناخته؛

- تولید صنعتی محصولات گران‌قیمت؛

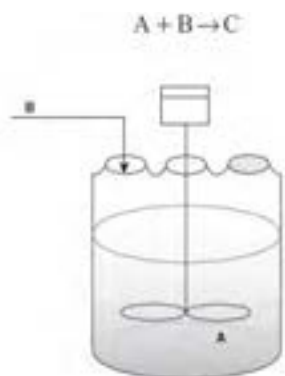
- برای محصولاتی که تولید آنها در شرایط مداوم مشکل باشد.

امتیاز راکتورهای ناپیوسته (Batch) در این است که با دادن زمان لازم برای انجام واکنش مواد اولیه، با درصد تبدیل بالا به محصولات مورد نظر تبدیل می‌گردند.

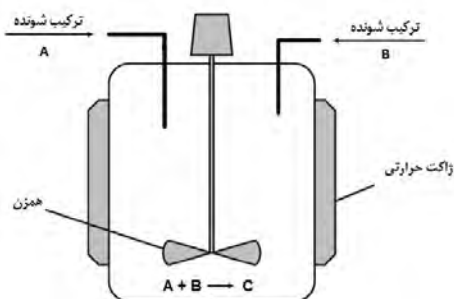
در حالی که استفاده از این نوع راکتورها محدود به واکنش‌های هم‌گن فاز مایع است. از دیگر محدودیت‌های این نوع راکتورها بالا بودن هزینهٔ تولید در واحد حجم محصول تولید شده است، همچنین تولید صنعتی در مقیاس بالا در این گونه راکتورها مشکل است..

## ۸-۴- راکتورهای نیمه ناپیوسته

این نوع راکتورها دارای انواع متنوعی هستند. در نوع متداول آن یکی از مواد اولیه ابتدا در داخل راکتور پر می‌شود و سپس به تدریج ماده یا مواد اولیهٔ دیگر به آن اضافه می‌شود (شکل ۴-۷).



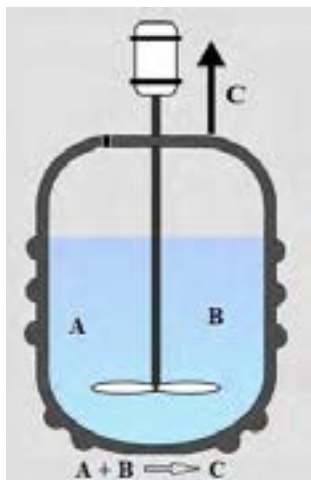
شکل ۴-۷ راکتور نیمه ناپیوسته



شکل ۴-۸ راکتور نیمه ناپیوسته

در نوع دیگر، مواد اولیه به‌طور هم‌زمان وارد راکتور می‌شود، ولی تا پایان واکنش هیچ ماده‌ای از راکتور خارج نمی‌شود (شکل ۴-۸).





شکل ۹-۴ رآکتور نیمه ناپیوسته

نوع دیگری از آن وجود دارد که تمامی مواد اولیه در داخل رآکتور بارگیری شده است و در حین واکنش ماده‌ای داخل رآکتور نمی‌گردد ولی هم‌زمان با انجام واکنش محصول که معمولاً به صورت گاز است از رآکتور خارج می‌شود. (شکل ۹-۴).

رآکتورهای نیمه ناپیوسته نیز همان محدودیت‌های رآکتور ناپیوسته را دارد. از امتیازات رآکتورهای نیمه ناپیوسته کنترل خوب حرارت و کنترل واکنش‌های نامطلوب و محدود کردن تولید محصولات ناخواسته آن است. این عمل از طریق وارد کردن تدریجی یکی از اجزای ترکیب‌شونده با غلظت کم میسر می‌گردد. رآکتورهای نیمه ناپیوسته اغلب برای واکنش‌های دو فازی استفاده می‌شوند که یکی از اجزای ترکیب‌شونده، گاز باشد و جزء گازی به صورت حباب به داخل فاز مایع درون رآکتور تغذیه می‌گردد.

## ۹-۴- رآکتورهای پیوسته

در این نوع رآکتورها، مواد اولیه دائماً وارد رآکتور می‌شود و پس از انجام واکنش، محصول به طور پیوسته از رآکتور خارج می‌شود. این گونه رآکتورها هنگامی در صنعت استفاده می‌شوند که هدف تولید مقدار زیادی محصول باشد در ضمن رآکتورهای پیوسته برای انجام واکنش‌های سریع مناسب‌تر می‌باشند از این رآکتورها در بسیاری از صنایع شیمیایی، به خصوص صنایع نفت، گاز و پتروشیمی استفاده می‌شود.

### رآکتورهای لوله‌ای (Plug):



شکل ۱۰-۴ رآکتور لوله‌ای

در صنایع شیمیایی برای فرایندهای بزرگ مقیاس، معمولاً از رآکتورهای لوله‌ای استفاده می‌شود. زیرا نگهداری سیستم رآکتورهای لوله‌ای آسان است (چون دارای قسمت‌های متحرک نیستند). این رآکتورها معمولاً بالاترین درصد تبدیل مواد اولیه در واحد حجم رآکتور را در مقایسه با سایر رآکتورهای سیستم پیوسته دارند. در این رآکتورها، از یک لوله برای انجام واکنش استفاده می‌شود. این نوع رآکتورها نسبت به شکل مخزنی آن، فضای کمتری را اشغال می‌کنند (شکل ۱۰-۴).



بهداشتی و محصولاتی استفاده می‌شود که میزان تقاضای آنها به صورت ثابت در بازار وجود دارد استفاده می‌شود. این نوع رآکتورهای پیوسته در مقایسه با رآکتورهای لوله ای حجم بیشتری نیاز دارند اما حجم تولید در آنها بالاتر است.

### زمان اقامت در رآکتورهای پیوسته :

در رآکتورهای پیوسته که به طور مداوم مواد خام به آن وارد و محصولات از آن خارج می‌شوند، نمی‌توان زمان مشخصی برای انجام واکنش و تبدیل مواد اولیه به محصول بیان کرد. در نتیجه از کمیتی به نام زمان اقامت استفاده می‌شود. زمان اقامت، متوسط زمانی است که یک ذره وارد رآکتور شده و تا زمان خروج در آنجا در حال واکنش است. این کمیت به صورت زیر نشان داده می‌شود:

$$t = \frac{V}{Q}$$

در این معادله،  $V$  نشان دهنده حجم رآکتور،  $Q$  شدت جریان حجمی ورودی به رآکتور و  $t$  زمان اقامت است. زمان اقامت یکی از متغیرهای مورد استفاده در طراحی رآکتورهای شیمیایی است.

**مثال)** واکنش  $A + B \rightarrow C$  قرار است در یک رآکتور لوله‌ای ۵۰ لیتری و در رآکتور مخزنی هم‌زن دار پیوسته (مداوم) ۷۵ لیتری انجام شود. میزان شدت جریان ورودی به هر دو رآکتور ۲۵ لیتر بر دقیقه است. حال تعیین نمایید مدت زمان اقامت مواد در این دو رآکتور چقدر است؟

**پاسخ:** با توجه به رابطه (۳) و تعریف زمان اقامت:

$$\text{زمان اقامت} = \frac{\text{حجم رآکتور}}{\text{شدت جریان حجمی ورودی به رآکتور}}$$

$$t = \frac{50}{25} = 2 \text{ min} \quad \text{زمان اقامت در رآکتور لوله‌ای:}$$

$$t = \frac{75}{25} = 3 \text{ min} \quad \text{زمان اقامت در رآکتور مخلوط شده پیوسته:}$$

به نظر شما میزان تبدیل در کدام رآکتور بیشتر است؟ چرا؟

پرسش



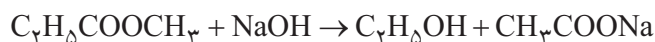
فعالیت  
آزمایشگاهی



به دست آوردن میزان تبدیل در یک رآکتور ناپیوسته

شرح آزمایش:

در این آزمایش، از واکنش سود و اتیل استات یعنی واکنش صابونی شدن استفاده شده است.



این واکنش به دلیل سرعت مناسب آن اندازه گیری پیشرفت واکنش انتخاب شده است. چون در این جا برای تعیین غلظت‌ها از تیتراسیون استفاده می‌شود، لذا از این طریق می‌توان غلظت سود موجود در محیط واکنش را محاسبه کرد.

### دستگاه‌ها و مواد مورد نیاز:

رآکتور آزمایشگاهی ناپیوسته، ارلن، بورت، ترازو، سود (NaOH) ۱/۱ ° مولار، اتیل استات، شناساگر فنل فتالئین، پیپت، هیدروکلریک اسید (HCL) ۱/۱ ° مولار.

### روش انجام آزمایش:

در ابتدا در دو ارلن مجزا محلول ۱/۱ ° مولار از سود و اتیل استات به میزان هر کدام ۱ لیتر تهیه می‌گردد؛ سپس این دو محلول را به صورت همزمان درون رآکتور بریزید. همزن را با دور بسیار کم روشن کرده و سپس به ازای هر ۵ دقیقه یکبار به میزان ۱ ° میلی لیتر از محلول واکنش را برداشته و غلظت محصول را اندازه گیری کنید (تیتراسیون معکوس انجام دهید). و برای این کار طی مراحل زیر عمل کنید: نمونه‌ای به حجم ۱۰ میلی لیتر از محلول واکنش بردارید؛ نمونه را با حجم ۵ میلی لیتر محلول ۱/۱ ° مولار هیدروکلریک اسید مخلوط نمایید. حال حجم محلول به ۱۵ میلی لیتر حاصل می‌شود؛ این محلول را با سود ۱/۱ ° مولار سنجش نمایید (تیترا) و با استفاده از حجم سود مصرفی مقدار اسید مصرف شده در قسمت دوم برای خنثی سازی سود و از این طریق غلظت سود در سیستم به دست می‌آید. تصویر با بورت محاسبات:

$$\text{حجم سود تیترا شده } \times \frac{1}{1} - \frac{15}{1} = \text{غلظت سود موجود در نمونه } \times \frac{1}{1}$$

حال میزان تبدیل سود را می‌توان از این رابطه تعیین نمود:

$$\text{میزان درصد تبدیل} = \frac{\text{غلظت سود موجود در نمونه} - \frac{1}{1}}{\frac{1}{1}}$$

ردیف	مدت زمان (دقیقه)	میزان غلظت سود در واکنش	میزان تبدیل سود



- ۱- دو کاربرد از رآکتورهای ناپیوسته را بیان کنید و دو واکنش را که در صنایع شیمیایی در رآکتور ناپیوسته انجام می‌شود، نام ببرید.
- ۲- واکنش  $A \rightarrow 2C$  قرار است در یک رآکتور مخلوط‌شونده ۱۰۰ لیتری با ۱۰ مول از ماده A آغاز شود. میزان شدت جریان ورودی به رآکتور ۵۰ لیتر بر دقیقه است. حال تعیین نمایید که مدت زمان اقامت مواد در رآکتور چقدر است؟
- ۳- واکنش  $A \rightarrow 2C$  قرار است در یک رآکتور مخلوط‌شونده ۱۰۰ لیتری با ۱۰ مول از ماده A آغاز می‌شود. پس از گذشت ۲۰ دقیقه از شروع واکنش میزان محصول تولیدی ۱۰ مول می‌گردد. تعیین نمایید میزان تبدیل در رآکتور چقدر است؟ میزان سرعت واکنش بر حسب  $\frac{\text{mol}}{\text{lit. min}}$  چقدر می‌شود؟
- ۴- مزایای رآکتورهای لوله‌ای و مخلوط‌شونده را نام ببرید.
- ۵- تفاوت رآکتور ناپیوسته و پیوسته چیست؟
- ۶- معمولاً گرمای مورد نیاز در رآکتورها را چگونه تأمین می‌کنند؟ توضیح دهید.
- ۷- هم زدن در کدامیک از رآکتورهای شیمیایی تأثیرگذار است؟ نحوه تأثیر را توضیح دهید.
- ۸- برای تولید بنزین در یک پالایشگاه از چه رآکتوری استفاده می‌شود؟ چرا؟
- ۹- انواع رآکتورهای نیمه پیوسته را نام برده و توضیح دهید.
- ۱۰- آیا از مقایسه میزان تبدیل در دو رآکتور می‌توان به مناسب بودن آنها پی برد؟ چگونه؟
- ۱۱- در یک کارخانه شیمیایی که واکنشی در فاز مایع در آن اتفاق می‌افتد، برای افزایش میزان سرعت واکنش از میان راهکارهای ذیل، کدام راهکار را پیشنهاد می‌دهید؟ چرا؟
  - افزایش دما
  - افزایش فشار
- ۹- انجام عملیات در یک رآکتور ناپیوسته را به همراه شکل کاملاً توضیح دهید.
- ۱۰- از میان متغیرهای «سرعت واکنش» «درصد تبدیل»، کدامیک در تصمیم‌گیری نوع عملیات مهم‌تر است؟ توضیح دهید.