

نقش کاتالیزورها در فرآیندهای شیمیایی

هدف‌های رفتاری: پس از پایان این فصل از هنرجو انتظار می‌رود که بتواند:

- کاتالیزورها را تعریف کند و نحوه‌ی عملکرد آن‌ها را توضیح دهد.
- انواع کاتالیزورها را نام ببرد.
- ساختمان کاتالیزورهای مصرفی در صنایع شیمیایی را توضیح دهد.
- مشخصات کاتالیزورهای صنعتی را شرح دهد.
- عواملی را که باعث غیرفعال شدن کاتالیزورهای صنعتی می‌شود، نام ببرد.

۱-۲- مقدمه

بیش از ۲۰۰۰ سال است که بشر از کاتالیزورها استفاده می‌کند. اولین موارد استفاده از کاتالیزورها در تهیه‌ی پنیر و نان بوده است. قرن‌هاست که بشر برای تهیه‌ی پنیر مقداری مایه‌ی پنیر (به‌عنوان کاتالیزگر) به شیر اضافه می‌کند. با این وجود تا سال ۱۸۳۵ میلادی تعریف دقیقی در مورد کاتالیزورها وجود نداشت تا این که در این سال برسیلیوس^۱، شیمی‌دان سوئدی با تکیه بر مشاهدات خود و تجربیات دیگر شیمی‌دان‌ها اعلام کرد که بعضی از مواد می‌توانند سرعت واکنش‌های شیمیایی را افزایش دهند. وی این مواد را که به مقدار کم به محیط واکنش اضافه می‌شوند کاتالیزگر نامید. حدود ۶۰ سال بعد، یعنی در سال ۱۸۹۴ میلادی، استوالد^۲، شیمی‌دان آلمانی، تعریف برسیلیوس از کاتالیزگر را تکمیل کرد و اعلام نمود که کاتالیزورها موادی هستند که سرعت واکنش‌های شیمیایی را افزایش می‌دهند، بدون آن‌که خود در واکنش مصرف شوند. امروزه با گذشت بیش از ۱۵۰ سال از یافته‌های برسیلیوس، کاتالیزورها جایگاه ویژه‌ای در صنعت و اقتصاد جهانی پیدا کرده‌اند. برای مثال، در سال ۱۹۹۶ تنها در کشور آمریکا، یک میلیارد دلار کاتالیزگر به فروش رفته است، و یا حدود $\frac{1}{3}$ از محصولاتی که در آمریکا تولید می‌شود، در یکی از مراحل تولید نیازمند استفاده از کاتالیزگر می‌باشد. انواع کاتالیزورها در صنایع پتروشیمی و پالایش نفت، صنایع شیمیایی معدنی (نظیر تولید آمونیاک، سولفوریک اسید، نیتریک اسید)، صنایع پلی‌مری (نظیر تولید الیاف مصنوعی، لاستیک‌ها و پلاستیک‌ها)، صنایع غذایی (نظیر تولید روغن‌های خوراکی) به کار می‌روند. امروزه از کاتالیزورها در کنترل و کاهش آلودگی محیط زیست نیز استفاده می‌شود. مثلاً برای کاهش آلودگی‌های ناشی از حرکت وسایل نقلیه، در لوله‌ی خروج دود (اگزوز)^۳ خودروها نوعی کاتالیزگر قرار می‌دهند که گازهای سمی و خطرناک را به گازهای بی‌خطر تبدیل می‌کند. در بدن موجودات زنده نیز واکنش‌های شیمیایی توسط کاتالیزگرهایی به نام آنزیم^۴ انجام می‌شود. آنزیم‌ها مواد آلی پیچیده‌ای هستند که در بدن گیاهان و حیوانات تشکیل می‌شوند و هرکدام یک واکنش بیولوژیکی خاص را تسریع می‌کنند. برای مثال لیپاز^۵

۱ – Berzelius

۲ – Ostwald

۳ – Exhaust

۴ – Enzyme

۵ – Lipase

آنزیمی است که واکنش هیدرولیز چربی‌ها را در داخل بدن انسان سرعت می‌بخشد. تعدادی از آنزیم‌ها نیز به شکل مصنوعی در آزمایشگاه ساخته شده‌اند که در صنعت، به خصوص برای انجام واکنش‌های تخمیری^۱ به کار می‌روند.

۲-۲- انواع کاتالیزورها و نحوه عملکرد آن‌ها

گفتم کاتالیزگر ماده‌ای است که مقدار اندکی از آن سرعت واکنش را زیاد می‌کند. بدون آن که خود مصرف شود یا دست‌خوش تغییر شیمیایی گردد. باید توجه داشت که اگرچه کاتالیزورها غالباً به منظور افزایش سرعت واکنش‌های شیمیایی به کار می‌روند ولی بعضی از آن‌ها نیز هستند که سرعت واکنش‌های شیمیایی را کند کرده یا حتی آن‌ها را متوقف می‌کنند. به این نوع کاتالیزورها، کاتالیزگرهای منفی^۲ یا بازدارنده‌ها^۳ گویند. در بسیاری از صنایع شیمیایی، جهت جلوگیری از واکنش موادخورنده با بدنه‌ی داخلی ظروف و دستگاه‌ها، از انواع بازدارنده‌ها با نام‌های تجارتي مختلف استفاده می‌شود. با این وجود هر جا که از کاتالیزورها صحبت می‌شود منظور نوع سرعت‌دهنده‌ی آن است، مگر این که خلاف آن گفته شود.

نکته‌ی قابل توجه این است که با استفاده از کاتالیزگرهای مختلف، می‌توان از مواد اولیه‌ی یکسان، محصولات متفاوت تهیه کرد. برای مثال دو گاز منواکسیدکربن و هیدروژن در حضور کاتالیزگر نیکل تولید متان می‌نمایند اما همین دو گاز در حضور کاتالیزگر اکسیدروی و تری‌اکسیدکروم، متانول تولید می‌کنند.



به منظور توجیه چنین پدیده‌هایی باید بدانیم که یک کاتالیزگر در شرایط مختلف چگونه عمل می‌کند و از چه راه یا راه‌هایی بر سرعت واکنش‌های شیمیایی تأثیر می‌گذارد. به عبارت دقیق‌تر باید بدانیم، مکانیسم^۴ یا سازوکار واکنش‌های کاتالیزگری چیست؟

پاسخ به این سؤال بسیار طولانی است و جهت درک جزئیات آن نیاز به داشتن اطلاعات کافی در زمینه‌ی شیمی و سینتیک شیمیایی داریم، اما باید دانست که اگرچه به‌طور کلی طرز کار کاتالیزگرهای مختلف یکسان نیست، ولی می‌توان نحوه‌ی عملکرد آن‌ها را در یک جمله، چنین بیان کرد:

«کاتالیزورها واکنش را از مسیری پیش می‌برند که به انرژی فعال‌سازی^۵ کم‌تری نیاز است و در نتیجه تبدیل مواد واکنش‌دهنده به محصولات سریع‌تر انجام می‌شود.»

شکل ۲-۱ نمودار انرژی فعال‌سازی یک واکنش شیمیایی ($A_2 + B_2 \rightarrow 2AB$) را در دو حالت، با کاتالیزگر و بدون کاتالیزگر، نشان می‌دهد. همان‌طور که در این نمودار مشاهده می‌کنید، حضور کاتالیزگر سبب شده که در منحنی زیرین، واکنش‌دهنده‌ها، برای تبدیل شدن به محصول، از سد انرژی کوتاه‌تری عبور کنند. این سد انرژی، که به آن انرژی فعال‌سازی می‌گویند، مقدار انرژی‌ای است که مواد واکنش‌دهنده باید جذب کنند تا به سطح انرژی «کمپلکس فعال» برسند. کمپلکس فعال ترکیبی است با انرژی زیاد و ناپایدار که حد واسط میان واکنش‌دهنده‌ها و محصولات می‌باشد. در کمپلکس فعال (که طول عمر آن بسیار کوتاه است)، پیوندهای مولکول‌های مواد واکنش‌دهنده در حال شکسته شدن و پیوندهای مولکول‌های محصولات در حال شکل‌گیری است:

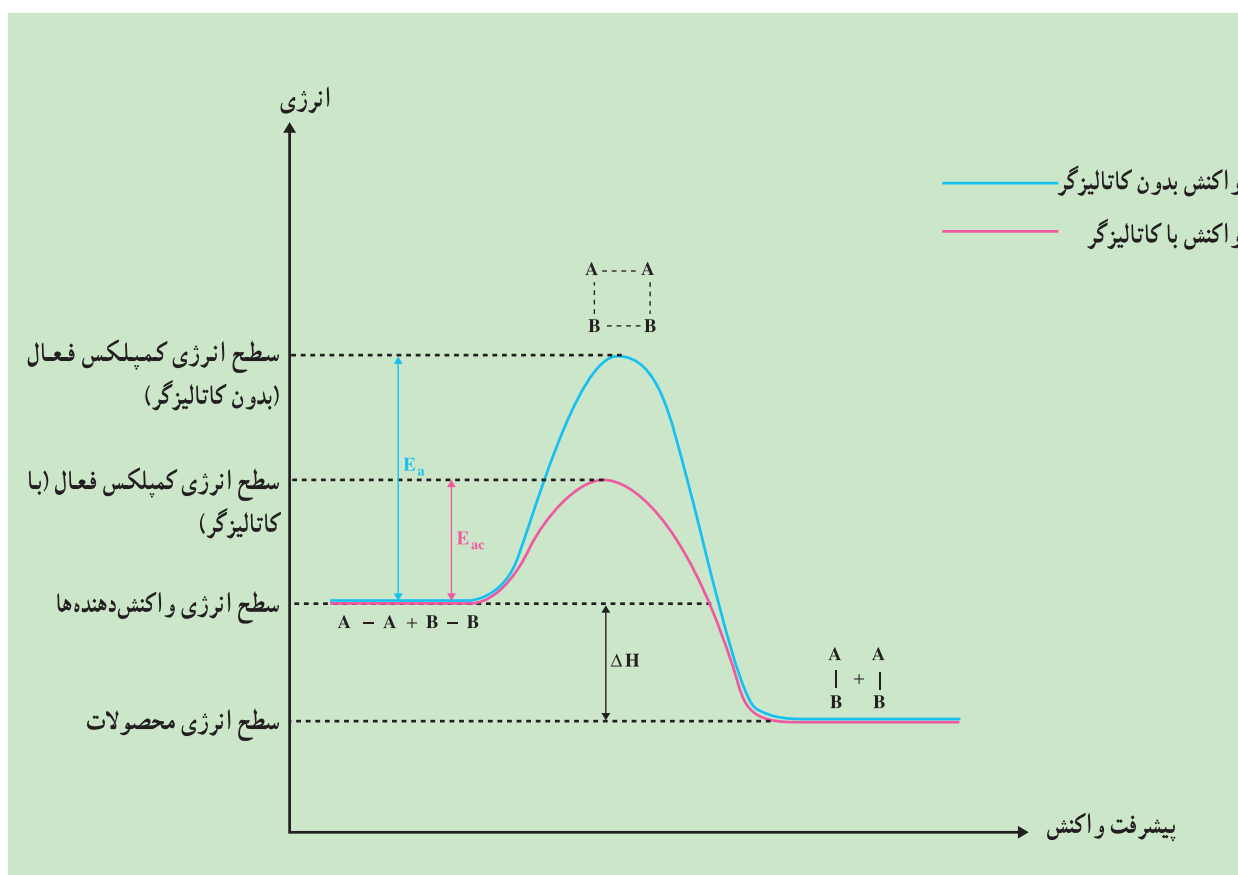
۱ – Fermentation

۲ – Negative Catalysts

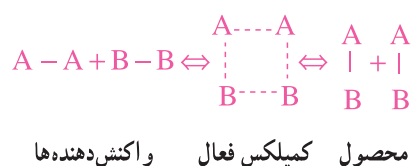
۳ – Inhibitors

۴ – Mechanism

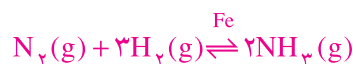
۵ – Activation Energy



شکل ۲-۱- کاتالیزگر واکنش را از مسیری پیش می برد که به انرژی فعال سازی کمتری نیاز است. ($E_{ac} < E_a$)



باید توجه داشت که کاتالیزگرها تأثیری بر واکنش های تعادلی ندارند، زیرا یک کاتالیزگر هم سرعت واکنش رفت و هم سرعت واکنش برگشت را به یک اندازه افزایش می دهد. شکل ۲-۱ نیز این مسئله را تأیید می کند. با کاهش سطح انرژی فعال سازی توسط کاتالیزگر، انجام واکنش های رفت ($A_2 + B_2 \rightarrow 2AB$) و برگشت ($2AB \rightarrow A_2 + B_2$) به یک اندازه آسان تر می شود. با این حال مشاهده می شود که در بسیاری از واکنش های تعادلی در صنعت، از کاتالیزگر استفاده می شود. به عنوان مثال برای تهیه آمونیاک از کاتالیزگر آهن استفاده می کنند:



این بدان سبب است که در اینجا استفاده از کاتالیزگر آهن باعث برهم خوردن تعادل و افزایش غلظت آمونیاک نمی گردد، بلکه فقط باعث می شود نیتروژن و هیدروژن در داخل رآکتور با سرعت بیشتری واکنش داده و سریع تر به تعادل برسند.

علاوه بر تقسیم‌بندی کاتالیزگرها به دو دسته‌ی شتاب‌دهنده (مثبت) و بازدارنده (منفی) که به آن اشاره کردیم، تقسیم‌بندی دیگری نیز وجود دارد و آن عبارت است از تقسیم کاتالیزگرها به دو نوع کاتالیزگر همگن^۱ و کاتالیزگر ناهمگن^۲. کاتالیزگر همگن کاتالیزگری است که با تمام مواد واکنش‌دهنده هم‌فاز باشد. برای مثال، سولفوریک اسید در واکنش‌های استری شدن یک کاتالیزگر همگن است:



آب اتیل استات اتانول استیک اسید

در واکنش فوق استیک اسید، اتانول و سولفوریک اسید همگی در یک فاز (فاز آبی) قرار دارند. کاتالیزگر ناهمگن کاتالیزگری است که حداقل با یکی از مواد واکنش‌دهنده هم‌فاز نباشد. نیکل (جامد) در واکنش‌های «هیدروژن‌دار کردن ترکیبات هیدروکربنی سیرنشده» یک کاتالیزگر ناهمگن است.



اتان هیدروژن اتیلن

در واکنش فوق کاتالیزگر در فاز جامد و مواد واکنش‌دهنده در فاز گازی هستند. در صنعت، استفاده از کاتالیزگرهای ناهمگن، به خصوص به شکل جامد، متداول‌تر از استفاده از کاتالیزگرهای همگن است، زیرا محصولات صنعتی، که غالباً به شکل مایع یا گاز هستند، به آسانی و بدون هزینه از کاتالیزگر جامد جدا می‌شوند. به همین دلیل تا پایان فصل هرجا صحبت از کاتالیزگر می‌کنیم منظورمان کاتالیزگر جامد است. کاتالیزگرهای صنعتی می‌توانند به شکل پودر و یا دانه‌های درشت با شکل منظم باشند که در صورت اخیر آن‌ها را به شکل دانه‌های گروی یا استوانه‌ای می‌سازند. شرح مکانیسم دقیق واکنش‌های کاتالیزگری ناهمگن (کاتالیزگر جامد)^۳ طولانی و نسبتاً پیچیده است ولی باید دانست که هر مکانیسم به طور کلی سه مرحله دارد:

مرحله‌ی اول: جذب مواد واکنش‌دهنده به سطح کاتالیزگر (جذب سطحی)^۴

مرحله‌ی دوم: انجام واکنش شیمیایی در سطح کاتالیزگر (واکنش سطحی)^۵. سطح کاتالیزگر به دلیل داشتن خواص فیزیکی و شیمیایی ویژه، سبب می‌شود که پیوندهای میان مولکول‌های مواد واکنش‌دهنده که جذب آن شده‌اند به آسانی و با انرژی نسبتاً کم شکسته شود. به عبارت بهتر واکنش در سطح کاتالیزگر جامد نیاز به انرژی فعال‌سازی به مراتب کم‌تری دارد.

مرحله‌ی سوم: جدا شدن محصولات از سطح کاتالیزگر (دفع سطحی)^۶

شکل ۲-۲ سه مرحله‌ی مکانیسم واکنش تجزیه‌ی اکسید دی‌نیتروژن در مجاورت کاتالیزگر طلا (واکنش زیر) را نشان

می‌دهد.



همان‌طور که در شکل نشان داده شده است ابتدا مولکول‌های N_2O جذب سطح کاتالیزگر (طلا) می‌شوند. سپس این مولکول‌ها در سطح کاتالیزگر تجزیه شده به مولکول‌های N_2 و مولکول‌های O_2 (که از به هم پیوستن دو اتم O به‌دست آمده‌اند) تبدیل می‌شوند و در نهایت از سطح کاتالیزگر جدا می‌گردند. این سه مرحله را می‌توان چنین نشان داد:



۱ – Homogeneous Catalysts

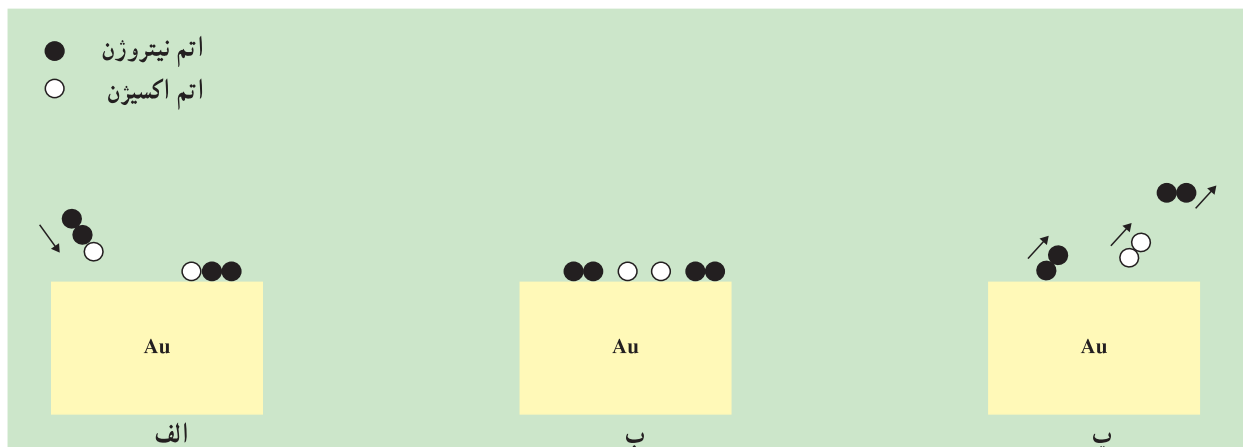
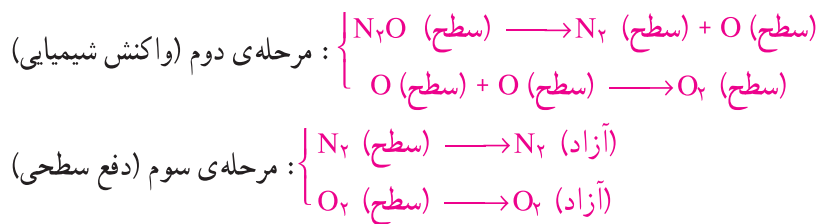
۲ – Heterogeneous Catalysts

۳ – Catalyst Bed

۴ – Adsorption

۵ – Surface Reaction

۶ – Desorption

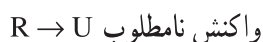
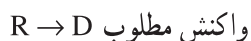


شکل ۲-۲- مراحل انجام یک واکنش کاتالیستی ناهمگن: $2\text{N}_2\text{O} \xrightarrow{\text{Au}} 2\text{N}_2 + \text{O}_2$
الف) جذب سطحی، ب) واکنش شیمیایی، پ) دفع سطحی

۲-۳- مشخصات کاتالیزگرهای جامد

اولین و مهم ترین ویژگی یک کاتالیزگر «فعالیت» یا «اکتیویته^۱» آن است. فعالیت مشخصه ای است که میزان توانایی یک کاتالیزگر را در انجام واکنش شیمیایی نشان می دهد. هرچه میزان فعالیت یک کاتالیزگر بیش تر باشد، واکنش موردنظر آسان تر و با سرعت بیش تری انجام می شود. به منظور تعیین میزان فعالیت یک کاتالیزگر در دما و فشار معین، سرعت واکنش را در آن شرایط اندازه گیری می کنند.

یکی دیگر از مهم ترین مشخصه های کاتالیزگر ضریب گزینش^۲ است. هرچه توانایی یک کاتالیزگر در انجام واکنش های مطلوب بیش تر باشد و از انجام واکنش های نامطلوب و ناخواسته جلوگیری کند، ضریب گزینش آن بیش تر است. دو واکنش موازی زیر را در نظر بگیرید.



کاتالیزگری که بتواند سرعت واکنش اول را افزایش دهد و برعکس، تا حد امکان از انجام واکنش دوم جلوگیری به عمل آورد مطلوب این فرآیند است. برای آن که بتوان توانایی یک کاتالیزگر را در انجام انتخابی واکنش ها به شکل کمی بیان نمود، برای آن ضریب گزینش تعریف شده است:

$$S = \frac{\text{تعداد مول‌های تولید شده‌ی محصول مطلوب (D)}}{\text{تعداد مول‌های تولید شده‌ی محصول ناخواسته (U)}} = \text{ضریب گزینش}$$

هرچه ضریب گزینش یک کاتالیزگر بیش‌تر باشد، آن کاتالیزگر برای انجام واکنش موردنظر مطلوب‌تر است. از دیگر مشخصات یک کاتالیزگر پایداری آن است. یک کاتالیزگر باید تحت شرایط حاکم در داخل رآکتور، به‌خصوص در دما و فشار بالا، ساختار مولکولی و در نتیجه خواص فیزیکی، مکانیکی و شیمیایی خود را حفظ نماید. هرچه طول عمر یک کاتالیزگر بیش‌تر باشد، آن کاتالیزگر از نظر اقتصادی جذابیت بیش‌تری دارد. از نظر تئوری، کاتالیزگرها موادی هستند که مصرف نمی‌شوند و نباید از بین بروند، اما باید توجه داشت که همه‌ی کاتالیزگرها به مرور زمان خاصیت خود را از دست داده و دیگر نمی‌توانند نقش خود را ایفا نمایند؛ به عبارت بهتر غیرفعال^۱ می‌شوند. در چنین شرایطی بسیاری از کاتالیزگرها قابلیت احیاشدن^۲ دارند اگرچه همه‌ی آن‌ها بعد از چندبار احیاشدن دیگر قابل استفاده نیستند که در این صورت می‌گوییم عمر آن‌ها تمام شده است. در این صورت باید کاتالیزگر را تعویض کرد. یکی از مهم‌ترین مشخصه‌های یک کاتالیزگر طول عمر آن است. هرچه فاصله‌ی زمانی میان دو احیا شدن و نیز تعداد دفعاتی که کاتالیزگر قابلیت احیاشدن دارد، بیش‌تر باشد، آن کاتالیزگر مطلوب‌تر است.

۴-۲- ساختمان کاتالیزگرهای جامد

همان‌طور که بیان شد، واکنش‌های کاتالیزگری ناهمگن دارای یک مکانیسم سه مرحله‌ای هستند که مرحله‌ی میانی آن‌ها واکنش سطحی (Surface Reaction) است. پس هرچه کاتالیزگر دارای سطح بیش‌تری باشد، تعداد مولکول‌های بیش‌تری می‌توانند جذب آن شده و واکنش سطحی انجام دهند. به عبارت بهتر هرچه سطح کاتالیزگر جامد بیش‌تر باشد، تأثیر آن در افزایش سرعت واکنش شیمیایی بیش‌تر خواهد بود. به همین دلیل، سعی می‌کنند در ساخت کاتالیزگرهای جامد، هم از مواد و هم از روش‌هایی استفاده کنند که کاتالیزگر تولیدشده ساختمانی متخلخل داشته باشد. هر دانه کاتالیزگر تعداد بسیاری خلل و فرج و حفره‌ی میکروسکوپی دارد. این خلل و فرج‌ها، بر روی هم، سطح بسیار وسیعی را فراهم می‌آورند به گونه‌ای که مولکول‌های مواد واکنش‌دهنده جذب سطوح داخلی این حفره‌ها شده و در همه‌ی نقاط واکنش سطحی انجام می‌دهند. به عنوان مثال می‌توان از کاتالیزگر سیلیس-آلمین ($\text{SiO}_2 - \text{Al}_2\text{O}_3$) نام برد که در انجام واکنش‌های شکست^۳، که در آن‌ها هیدروکربن‌های سنگین به مولکول‌های کوچک‌تر شکسته می‌شوند، به کار می‌رود. حجم تخلخل^۴ (حجم داخلی حفره‌ها به ازای واحد جرم) این کاتالیزگر حدود $\frac{6 \text{ cm}^3}{\text{g}}$ و شعاع متوسط دهانه‌ی حفره‌ها حدود ۴ nm (نانومتر)^۵ است. سطح این کاتالیزگر به ازای واحد جرم بسیار زیاد و حدود $\frac{300 \text{ m}^2}{\text{g}}$ است.

بسیاری از مواد می‌توانند، به عنوان کاتالیزگر جامد، سرعت واکنش‌های شیمیایی را افزایش دهند، ولی خلل و فرج لازم را ندارند. در این صورت بایستی این مواد را بر روی سطوح داخلی حفره‌ها و خلل و فرج یک جسم کاملاً متخلخل قرار داد. به

۱ - Deactive

۲ - Regeneration

۳ - Cracking

۴ - Pore Volume

۵ - nm = نانومتر ($1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m}$)

این گونه کاتالیزورها، «کاتالیزگرهای پایه‌دار»^۱ می‌گویند. در صنعت از کاتالیزگرهای پایه‌دار استفاده‌ی زیادی می‌شود. بنابراین لازم است با ساختمان آن‌ها بیشتر آشنا شویم. کاتالیزگر پایه‌دار از سه جزء تشکیل می‌شود:

۱- سطح فعال^۲ (جزء فعال)

۲- پایه^۳

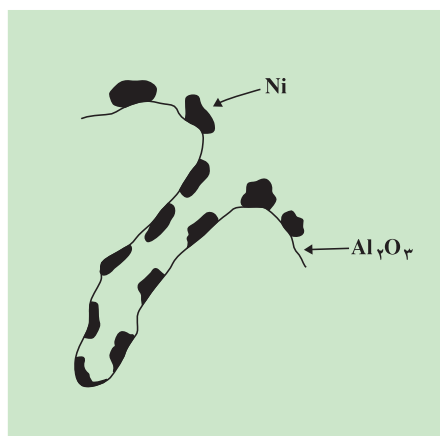
۳- تقویت‌کننده^۴

سطح فعال همان سطح کاتالیزگر است که واکنش سطحی بر روی آن انجام می‌شود. فلزاتی مانند نیکل، پلاتین، آهن، مس، نقره، پالادیم و بعضی اکسیدهای فلزی نظیر اکسید نیکل، اکسید روی، اکسید مس، همچنین سولفید بعضی فلزات نظیر سولفید مولیبدن به‌عنوان جزء فعال مورد استفاده قرار می‌گیرند.

پایه ماده‌ای است بسیار متخلخل که وظیفه‌ی اصلی آن ایجاد سطح مورد نیاز جهت قرار گرفتن کاتالیزگر (جزء فعال) بر روی آن است. متداول‌ترین موادی که به‌عنوان پایه به کار می‌روند عبارت‌اند از اکسیدهایی با نقطه‌ی ذوب بسیار بالا نظیر آلومین (Al_2O_3) و سیلیس (SiO_2) و نیز خاک رس، زئولیت‌ها و کربن. جزء پایه معمولاً خنثی بوده و نقشی در انجام یا توقف واکنش‌های موردنظر ندارد. البته در بسیاری از موارد، کاتالیزگر را به گونه‌ای طراحی می‌کنند که پایه نیز در انجام یا توقف تعدادی از واکنش‌های شیمیایی مطرح در آن فرآیند نقش داشته باشد. به‌هرحال جزء پایه باید از نظر خواص فیزیکی و استحکام مکانیکی شرایط مطلوب را داشته باشد و در مقابل فشار، حرارت و جریان سیالات خواص خود را از دست ندهد. شکل ۲-۳ یکی از منافذ یک کاتالیزگر را نشان می‌دهد که جزء فعال آن نیکل و پایه‌ی آن آلومین است. این کاتالیزگر را به اختصار چنین نمایش می‌دهند:



در ساخت کلیه‌ی کاتالیزورها، چه پایه‌دار و چه بدون پایه، از **تقویت‌کننده‌ها** استفاده می‌شود. تقویت‌کننده‌ها موادی هستند که به مقدار کم در ساختمان کاتالیزورها به کار می‌روند و باعث افزایش خواص مطلوب کاتالیزگر (هم سطح فعال و هم پایه‌ی آن) می‌شوند. تقویت‌کننده‌ها برای واکنش‌ها به منزله‌ی نمک و ادویه برای غذا می‌باشند، همان‌طور که مقدار کمی نمک و ادویه به شکل چشم‌گیری طعم و مزه‌ی غذا را بهبود می‌بخشد (به گونه‌ای که بدون آن‌ها ممکن است غذا قابل مصرف نباشد)، تقویت‌کننده‌ها نیز خواص کاتالیزورها نظیر فعالیت و قدرت گزینش آن‌ها را افزایش می‌دهند.



شکل ۲-۳- نحوه‌ی قرار گرفتن جزء فعال (نیکل) بر روی سطح یکی از حفره‌های پایه (آلومین)

۱ - Supported Catalyst

۲ - Active Site (Active Component)

۳ - Support

۴ - Promoter

ساخت کاتالیزگر آمیزه‌ای از صنعت و هنر است. هم‌اکنون شرکت‌های سازنده‌ی کاتالیزگر در سرتاسر دنیا سعی دارند محصولاتی با خواص بهتر تولید کنند و در این راه رقابت شدیدی میان آن‌ها جریان دارد. هریک از این سازمان‌ها روش‌های ساخت خود را، که غالباً به صورت تجربی و حتی اتفاقی به آن دست یافته‌اند (بخصوص نوع، مقدار و نحوه‌ی اضافه کردن تقویت‌کننده‌ها) همچون گنجینه‌ای گران بها مخفی نگه می‌دارند تا بتوانند محصول خود را در بازارهای جهانی بدون رقیب عرضه نمایند. البته تعداد کشورهایی که توانایی ساخت کاتالیزگر را دارند محدود است. آمریکا، کشورهای اروپایی، روسیه، چین و هند از مهم‌ترین سازندگان کاتالیزگر می‌باشند. در ایران نیز فعالیت‌هایی جهت تولید انبوه بعضی از انواع کاتالیزگرها هم‌اکنون به نتیجه رسیده است. جدول ۱-۲ بعضی از انواع کاتالیزگرها و کاربردهای آن‌ها را بیان می‌کند.

جدول ۱-۲- چند نمونه از کاتالیزگرهای متداول و مورد استفاده‌ی آن‌ها^۱

| کاتالیزگر | پایه | مورد استفاده |
|---------------------------------|----------------------|---|
| نیکل (Ni) | ندارد | اشباع روغن‌های نباتی و حیوانی توسط هیدروژن، بدین ترتیب روغن مایع به جامد تبدیل می‌شود. * |
| نیکل (Ni) | آلومین (Al_2O_3) | تولید هیدروژن از گاز طبیعی (متان) * |
| پلاتین (Pt) | آلومین (Al_2O_3) | رآکتورهای دستگاه تبدیل پالایشگاه که در آن نفتا به بنزین با عدد اکتان بالا تبدیل می‌شود. * |
| آهن (Fe) | ندارد | واکنش هیدروژن و نیتروژن و تولید آمونیاک * |
| پنتا اکسید وانادیم (V_2O_5) | سیلیس (SiO_2) | تبدیل SO_2 به SO_3 (در صنعت تولید اسیدسولفوریک) * |
| $SiO_2 - Al_2O_3$ | ندارد | هیدروژن‌زدایی از بوتان و تولید بوتادین |

* در فصل‌های آینده با جزئیات این واکنش‌ها آشنا می‌شوید.

۲-۵- غیرفعال شدن^۲ کاتالیزگرها

همان‌طور که بیان شد، میزان فعالیت کاتالیزگرها ضمن کار به تدریج کاهش می‌یابد و این مواد غیرفعال می‌شوند تا جایی که باید فرآیند را متوقف و کاتالیزگر را احیا یا تعویض کرد.

سه عامل مهم که سبب غیرفعال شدن کاتالیزگر می‌شوند عبارت‌اند از:

۱- فرسودگی^۳: با عبور سیال از داخل رآکتور، به مرور زمان کاتالیزگر فرسوده شده و خلل و فرج و سطوح فعال آن بر اثر سایش و دیگر عوامل فیزیکی نظیر حرارت از بین می‌رود.

۲- مسموم شدن^۴: مسموم شدن، در اصطلاح، یک پدیده‌ی شیمیایی است که طی آن بعضی از ترکیبات یا عناصر یا یون‌ها

۱- اطلاعات این جدول فقط جنبه‌ی آگاهی دادن دارد و نیازی به حفظ کردن مطالب آن نیست.

۲ - Deactivation

۳ - Aging

۴ - Poisoning

(نظیر CO_2 ، آرسنیک، گوگرد، نیتروژن، فسفر و یون کلر) با نواحی فعال کاتالیزگر واکنش داده و آن‌ها را از بین می‌برند. هر کاتالیزگر به تعدادی از سموم (ترکیبات، عناصر، یون‌ها) حساس است. ممکن است ماده‌ای برای یک نوع کاتالیزگر سم باشد ولی بر کاتالیزگرهای دیگر اثر نامطلوب نداشته باشد. به هر حال اثر اغلب سموم بر کاتالیزگرها دائمی و برگشت‌ناپذیر است و در صورت مسموم شدن کاتالیزگر باید آن را تعویض کرد. در صنایع شیمیایی به این مسئله کاملاً توجه می‌شود و همواره مواظب هستند تا خوراک رآکتور عاری از سموم کاتالیزگر باشد. برای مثال یون‌های Cu^+ ، Cu^{2+} و Ag^+ باعث مسموم شدن کاتالیزگر پلاتین می‌شوند.

۳- کُک‌گرفتگی^۱: این پدیده بخصوص بر روی کاتالیزگرهای صنایع پالایش نفت و پتروشیمی بیش‌تر به چشم می‌خورد. در این داخل رآکتور و تحت شرایط دما و فشار بالا، احتمال تجزیه‌ی هیدروکربن‌ها به کربن (کُک) و هیدروژن بسیار زیاد است. در این صورت کُک تولید شده بر روی سطوح کاتالیزگر رسوب کرده، منافذ را مسدود می‌کند و سطوح فعال را می‌پوشاند؛ در نتیجه کاتالیزگر از فعالیت باز می‌ماند. خوشبختانه کک‌گرفتگی پدیده‌ای است برگشت‌پذیر و معمولاً با توقف عملیات تولید و عبور دادن هوای داغ از روی بستر کاتالیزگر، کک را می‌سوزانند و آن را به شکل CO_2 از داخل رآکتور خارج می‌کنند.

تمرین



- ۱- به نظر شما آتزیم‌ها چه نوع کاتالیزگری می‌توانند باشند، همگن یا ناهمگن؟ دلیل خود را توضیح دهید.
- ۲- با راهنمایی مربی و با استفاده از کتب شیمی خود، برای هریک از واکنش‌های کاتالستی همگن و ناهمگن دو مثال، به غیر از مثال‌های متن درس، پیدا کنید.
- ۳- کاتالیزگر را تعریف کنید. نحوه‌ی عملکرد کاتالیزگرها را در یک جمله بیان کنید.
- ۴- بازدارنده چیست؟
- ۵- مکانیسم واکنش‌های کاتالستی ناهمگن (کاتالیزگر جامد) را فقط نام ببرید. برای واکنش $2\text{N}_2\text{O} \xrightarrow{\text{Au}} 2\text{N}_2 + \text{O}_2$ این مراحل را با رابطه نشان دهید.
- ۶- چهار مشخصه‌ی مهم یک کاتالیزگر صنعتی را نام برده و هریک را در یک یا دو جمله توضیح دهید.
- ۷- مهم‌ترین نقش «پایه» در کاتالیزگرها چیست؟
- ۸- عواملی را که باعث غیرفعال شدن یک کاتالیزگر می‌شوند فقط نام ببرید.
- ۹- مسمومیت کاتالیزگرها را به طور کامل شرح دهید.
- ۱۰- اضافه کردن کاتالیزگر به یک واکنش تعادلی چه تأثیری بر تعادل دارد؟ به طور کامل و با ذکر یک مثال توضیح دهید.

۱۱- می‌دانیم که در بسیاری از موارد استفاده از کاتالیزگر بدین منظور است که واکنش با همان سرعت اما در دما و فشار کم‌تری انجام شود. فکر می‌کنید بدین ترتیب کاتالیزگر در هزینه‌های مربوط به کدام اقلام زیر صرفه‌جویی می‌کند؟ توضیح دهید.

الف) مواد اولیه ب) سوخت پ) حمل و نقل ت) نیروی انسانی

۱۲- شکل ۱-۲ نمودار انرژی یک واکنش گرماده را نشان می‌دهد. مشابه این نمودار را برای یک واکنش گرماگیر (با کاتالیزگر و بدون کاتالیزگر) رسم کنید. بگویید استفاده از کاتالیزگر چه تأثیری بر گرمای واکنش (ΔH) دارد؟ توضیح دهید.