

آزمون حضوری  
شماره دوازده



رشته ریاضی  
پایه دوازدهم

## مرورنامه آزمون آزمایشی خیلی سبز

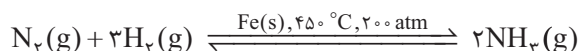
این مرورنامه، ویژه مباحث جدید آزمون است. مرورنامه مباحثی که در آزمون‌های قبل به آن‌ها پرداخته شده، در پنل کاربری شما قابل دریافت است و در این فایل از تکرار آن پرهیز شده است.

نام درس	مباحث	از صفحه	تا صفحه	مؤلف	ویراستار
شیمی	شیمی دوازدهم فصل ۴ صفحه ۱۰۳ تا ۱۲۳	۲	۱۱	عباس سرمایه - سروش عبادی	زهره غیاثوند - مرضیه قاسمی



## – آمونیاک و بهره‌وری در کشاورزی –

- ۱) بهترین راه حل برای مسئله تأمین غذا، افزایش بهره‌وری در تولید فراورده‌های کشاورزی است. در این راستا شناسایی، تولید و افزودن کودهای شیمیایی مناسب به خاک راهگشا خواهد بود.
- ۲) گیاهان با جوی سرشار از گاز نیتروژن احاطه شده‌اند، اما نمی‌توانند این عنصر ضروری برای رشد خود را به طور مستقیم از هوا جذب کنند. به همین خاطر، گیاهان باید نیتروژن را به شکل ترکیب‌های نیتروژن‌دار از جمله آمونیاک ( $\text{NH}_3$ ) و اوره ( $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ ) از خاک جذب کنند. گیاهان برای رشد افزون بر کربن دی‌اکسید و آب، به عنصرهایی مانند P، N، S و K نیز نیاز دارند.
- ۳) در برخی از کشورها برای افزایش بازده تولید فراورده‌های کشاورزی، آمونیاک مایع را به عنوان کود شیمیایی مستقیماً به خاک تزریق می‌کنند.
- ۴) واکنش برگشت‌پذیر تولید آمونیاک به صورت زیر است:



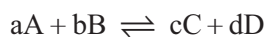
- ۵) در دمای اتاق، واکنش میان گازهای نیتروژن و هیدروژن حتی در حضور کاتالیزگر یا جرقه پیش نمی‌رود، زیرا انرژی فعال‌سازی این واکنش بسیار بزرگ است. بر این اساس، فریتس هابر با تلاش فراوان شرایط بهینه برای انجام‌شدن این واکنش را یافت.
- ۶) شرایط بهینه واکنش تولید آمونیاک (شرایطی که در آن واکنش‌دهنده‌ها تا حد ممکن به فراورده‌ها تبدیل شوند)، دمای  $450^\circ\text{C}$  و فشار  $200$  اتمسفر در حضور کاتالیزگر آهن است.
- ۷) واکنش انجام‌شده در فرایند هابر، برگشت‌پذیر است و می‌تواند در شرایط مناسب به تعادل برسد. تعادلی که در دمای معین، شامل مخلوطی از گازهای واکنش‌دهنده و فراورده‌ها با غلظت ثابت می‌شود.

## – واکنش‌های تعادلی –

- ۱) واکنش‌های تعادلی، نوع خاصی از واکنش‌های برگشت‌پذیرند که در شرایط مناسب در آن‌ها، سرعت واکنش‌های رفت و برگشت با هم برابر است و غلظت مواد شرکت‌کننده در واکنش ثابت (نه برابر!) می‌ماند!
- ۲) برای به تعادل رسیدن یک واکنش برگشت‌پذیر، واکنش باید در ظرف در بسته انجام شود و با محیط مبادله ماده نداشته باشد.

## – ثابت تعادل –

- ۱) در واکنش‌های تعادلی، تولید فراورده بیشتر در شرایط معین، به میزان پیشرفت واکنش در آن شرایط بستگی دارد. به عبارت دیگر، هر چه میزان پیشرفت واکنش بیشتر باشد، درصد بیشتری از واکنش‌دهنده‌ها به فراورده‌ها تبدیل می‌شوند.
- ۲) مقدار ثابت تعادل هر واکنش، معیاری برای سنجش میزان پیشرفت آن واکنش است. در واقع مقدار ثابت تعادل هر واکنش برابر با نسبت میان حاصل‌ضرب غلظت تعادلی فراورده‌های گازی یا محلول، هر یک به توان ضریب استوکیومتری آن‌ها به حاصل‌ضرب غلظت تعادلی واکنش‌دهنده‌های گازی و محلول هر یک به توان ضریب استوکیومتری آن‌ها است.
- ۳) طبق این قانون، برای واکنش کلی داده‌شده، عبارت ثابت تعادل به صورت روبه‌رو نوشته می‌شود:



$$K = \frac{[\text{C}]^c [\text{D}]^d}{[\text{A}]^a [\text{B}]^b}$$



### نکات مهم

- یکای  $K$  برابر است با:  $(\text{mol.L}^{-1})^{\Delta n}$ ؛ مجموع توان مخرج - مجموع توان صورت  $= \Delta n$
- اگر  $\Delta n$  برابر صفر باشد، عبارت ثابت تعادل یکا ندارد.
- در رابطه ثابت تعادل، فقط مقادیر غلظت‌های تعادلی (نه غلظت‌های اولیه!) قرار داده می‌شود.
- در رابطه ثابت تعادل، حتماً باید غلظت‌های تعادلی گونه‌ها برحسب مول بر لیتر قرار داده شود! اما اگر حجم ظرف برابر ۱ L باشد، تعداد مول واکنش‌دهنده و فراورده با غلظت مولی آن‌ها برابر است و نیازی به تبدیل mol به مولار نیست.
- مقدار عددی ثابت تعادل فقط تابع دماست، به طوری که در هر دمای معین یک عدد خاص بوده و فقط با تغییر دما تغییر می‌کند.
- اگرچه کاتالیزورها سرعت واکنش‌ها را افزایش می‌دهند، ولی در واکنش‌های تعادلی، سبب به هم خوردن تعادل نمی‌شوند؛ زیرا کاتالیزورها سرعت واکنش‌های رفت و برگشت را به یک نسبت افزایش می‌دهند.
- هر چه صورت کسر بزرگ‌تر و یا مخرج کسر کوچک‌تر باشد، مقدار پیشرفت واکنش تعادلی بیشتر و در نهایت  $K$  بزرگ‌تر خواهد بود، اما بزرگ‌بودن مقدار عددی ثابت تعادل به معنای بالا بودن سرعت واکنش نیست.

### اصل لوشاتلیه -

اصل لوشاتلیه بیان می‌کند که اگر تغییری سبب به هم خوردن یک سامانه تعادلی شود، تعادل در جهتی جابه‌جا می‌شود که تا حد امکان اثر آن تغییر را جبران کند. از این اصل، برای بررسی عوامل مؤثر بر واکنش‌های تعادلی استفاده می‌شود.

### اثر تغییر غلظت بر تعادل -

- 1 هنگامی که در دمای ثابت، غلظت یکی از مواد شرکت‌کننده (گازی (g) یا محلول (aq)) در سامانه تعادلی افزایش یابد، واکنش در جهت مصرف آن ماده تا حد امکان پیش می‌رود تا به تعادل جدیدی برسد. در نقطه مقابل، اگر غلظت یکی از مواد شرکت‌کننده در سامانه تعادلی کاهش یابد، واکنش در جهت تولید آن ماده تا حد امکان پیش می‌رود تا به تعادل جدیدی برسد. توجه داریم که طی این جابه‌جایی، مقدار  $K$  واکنش ثابت می‌ماند.
- 2 برای افزایش غلظت مواد، می‌توان میزان مول آن‌ها را افزایش داد و یا حجم ظرف محتوی آن‌ها را کاهش داد. به طور مثال، در واکنش هابر، با افزودن مقداری از گازهای نیتروژن و یا هیدروژن به ظرف واکنش، واکنش در جهت مصرف این گازها (در جهت تولید آمونیاک بیشتر) پیش می‌رود.

### نکات مهم

- غلظت مواد جامد (s) و مایع (l) خالص در دمای ثابت، مقدار ثابتی است و با تغییر مقدار آن‌ها، غلظت آن‌ها هم‌چنان ثابت است. پس تغییر مقدار مواد جامد و مایع خالص، موجب جابه‌جایی تعادل نمی‌شود.
- اگر عبارت  $K$  فقط شامل یک ماده گازی (g) و یا محلول (aq) باشد، تغییر اعمال شده به طور کامل جبران می‌شود و غلظت ماده در تعادل جدید برابر با غلظت آن در تعادل اولیه خواهد بود.
- اگر عبارت  $K$  شامل چند ماده گازی (g) و محلول (aq) باشد، تغییر اعمال شده به طور کامل جبران نمی‌شود و بر فرض اگر غلظت ماده‌ای را افزایش دهیم، تعادل در جهت مصرف آن پیش می‌رود، اما غلظت آن ماده در تعادل جدید بیشتر از تعادل اولیه باقی می‌ماند.
- با افزایش غلظت یکی از اجزای واکنش، سرعت واکنش‌های رفت و برگشت در تعادل جدید برابر، اما بیشتر از تعادل اولیه است و با کاهش غلظت یکی از اجزای واکنش، سرعت واکنش‌های رفت و برگشت در تعادل جدید برابر، اما کم‌تر از تعادل اولیه است.
- تغییر غلظت یک گونه در واکنش تعادلی باعث تغییر غلظت مواد دیگر، به نسبت ضریب استوکیومتری آن‌ها می‌شود.

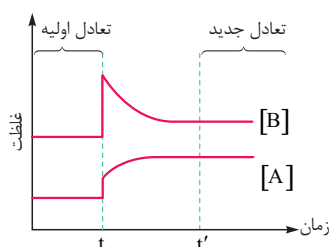


## – اثر تغییر حجم (تغییر فشار) بر تعادل –

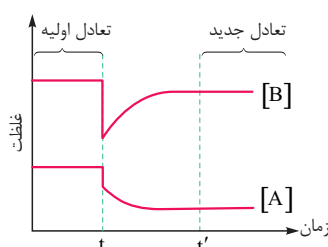
۱) به شرط یکسان نبودن تعداد مول‌های گازی در دو سمت معادله یک واکنش تعادلی و وجود حداقل یک ماده گازی شرکت‌کننده در تعادل، کاهش حجم (افزایش فشار) ظرف محتوی سامانه در دمای ثابت، تعادل را در جهت مول‌های گازی کم‌تر جابه‌جا می‌کند. بر این اساس، می‌توان گفت کاهش حجم ظرف، باعث افزایش سرعت واکنش رفت و برگشت می‌شود اما سرعت واکنشی که منجر به تولید تعداد مول‌های گازی کم‌تری می‌شود را، به مقدار بیشتری افزایش می‌دهد.

۲) اگر در یک واکنش تعادلی، شمار مول‌های گازی موجود در دو سمت معادله واکنش با همدیگر برابر باشند، با افزایش فشار و یا کاهش حجم ظرف واکنش، تعادل جابه‌جا نمی‌شود و شمار مول‌های هر یک از گونه‌های شرکت‌کننده در واکنش نیز ثابت باقی می‌ماند.

● اثر تغییر فشار سامانه بر تعادل گازی  $A(g) \rightleftharpoons 2B(g)$  را می‌توان به صورت نمودارهای «غلظت – زمان» زیر نمایش داد:



افزایش فشار (کاهش حجم)



کاهش فشار (افزایش حجم)

● تغییر فشار یا حجم اثری روی مقدار عددی ثابت تعادل ندارد.

## – اثر تغییر دما بر تعادل –

۱) تغییر دما از دیگر عواملی است که باعث جابه‌جایی تعادل می‌شود، اما این عامل برخلاف بقیه موارد، باعث تغییر مقدار  $K$  واکنش نیز می‌شود. اثر تغییر دما بر تعادل‌های گوناگون، یکسان نیست و به گرماده یا گرماگیر بودن آن‌ها بستگی دارد.

۲) هنگامی که دمای یک سامانه تعادلی افزایش می‌یابد، تعادل در جهت مصرف گرما پیش می‌رود. به عبارتی با افزایش دمای یک سامانه تعادلی، سرعت واکنش‌های رفت و برگشت به طور هم‌زمان افزایش می‌یابد، اما میزان افزایش سرعت برای واکنشی که با مصرف گرما همراه است، بیشتر خواهد بود.

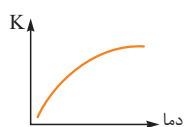
۳) اگر در اثر تغییر دما، تعادل به سمت رفت جابه‌جا شود، مقدار  $K$  افزایش می‌یابد و اگر در اثر تغییر دما، تعادل به سمت برگشت جابه‌جا شود، مقدار  $K$  کاهش می‌یابد.

۴) با افزایش دما، سرعت هر دو واکنش رفت و برگشت افزایش می‌یابد، اما سرعت واکنش در جهت مصرف  $Q$  بیشتر افزایش می‌یابد و این باعث جابه‌جایی تعادل در جهت مصرف  $Q$  می‌شود. در تعادل جدید، سرعت واکنش‌های رفت و برگشت با هم برابر، اما بیشتر از تعادل اولیه است و با کاهش دما عکس این اتفاق می‌افتد!

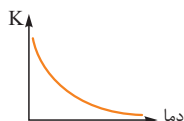
● در جدول زیر اثر تغییر دما را بر جابه‌جایی تعادل بررسی می‌کنیم:

تعادل‌های گرماده ( $\Delta H < 0$ )			تعادل‌های گرماگیر ( $\Delta H > 0$ )			
مقدار $K$	غلظت فراورده	غلظت واکنش‌دهنده	مقدار $K$	غلظت فراورده	غلظت واکنش‌دهنده	
↓	↓	↑	↑	↑	↓	افزایش دما
↑	↑	↓	↓	↓	↑	کاهش دما

# مروانه آزمون آزمایشی خیلی سبز

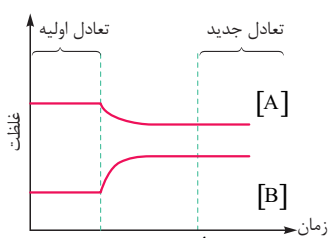


تغییر دما و تغییر K در واکنش‌های گرماگیر نسبت مستقیم دارند؛ پس نمودار K بر حسب دما در واکنش‌های گرماگیر، صعودی است.

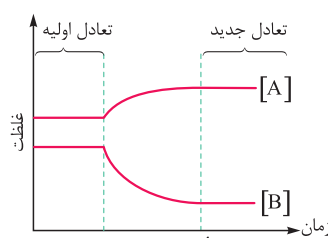


تغییر دما و تغییر K در واکنش‌های گرماده نسبت عکس دارند؛ پس نمودار K بر حسب دما در واکنش‌های گرماده، نزولی است.

اثر تغییر دما بر تعادل گازی  $A(g) + O \rightleftharpoons 2B(g)$  را می‌توان به صورت نمودارهای «غلظت - زمان» زیر نمایش داد: (فرض بر این که غلظت اولیه A(g) بیشتر از B(g) است.)



افزایش دما



کاهش دما

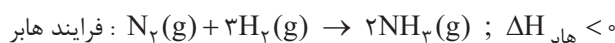
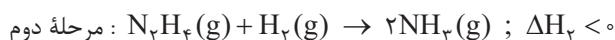
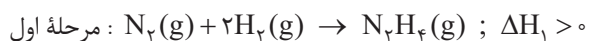
## فرایند هابر -

۱) هابر به دنبال شرایط بهینه‌ای برای انجام واکنش تولید آمونیاک بود. او می‌دانست که با افزایش دما و تأمین انرژی فعال‌سازی، سرعت واکنش افزایش خواهد یافت. از این‌رو واکنش را در دماهای بالاتر بررسی کرد.

## نکات ترکیبی -

واکنش آمونیاک در جهت رفت، گرماده است. ( $\Delta H < 0$ )

تهیه آمونیاک به روش هابر از گازهای نیتروژن و هیدروژن یک واکنش دومرحله‌ای و با تولید هیدرازین در مرحله اول همراه است:



۲) در دماهای بالا، واکنش تهیه آمونیاک با سرعت چشمگیری انجام می‌شد، اما چون معادله این واکنش گرماده بود، با درصد پیشرفت کمی به تعادل می‌رسید؛ به طوری که سامانه محتوی مخلوطی از هر سه گاز بوده و مقدار زیادی آمونیاک تولید نمی‌شد. هابر هر چه دما را بالاتر می‌برد، درصد مولی آمونیاک در مخلوط واکنش کاهش می‌یافت. هابر دریافت که افزایش دما نمی‌تواند برای تولید آمونیاک بیشتر ثمربخش باشد؛ چراکه با افزایش دما، واکنش در جهت برگشت جابه‌جا می‌شود.

۳) هابر با استفاده از کاتالیزگر مناسب (ورقه‌های آهنی)، توانست واکنش تولید آمونیاک را در دماهای پایین‌تر و با سرعت مناسب انجام دهد؛ هر چند که هنوز هم درصد مولی آمونیاک در مخلوط واکنش مطلوب نبود. هابر برای رفع این مشکل، از افزایش فشار بر سامانه واکنش بهره برد.

۴) در فرایند هابر، با افزایش فشار در دمای ثابت، درصد مولی آمونیاک در سامانه افزایش پیدا می‌کند. به این ترتیب، هابر توانست شرایط بهینه برای تولید آمونیاک را بیابد. شرایطی که در آن، تنها ۲۸ درصد مولی مخلوط واکنش را آمونیاک تشکیل می‌دهد.

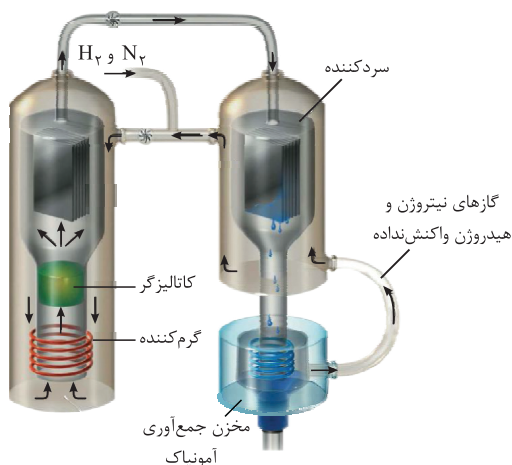
۵) در پایان واکنش، در ظرف مخلوطی از گازهای آمونیاک، هیدروژن و نیتروژن را داریم که برای جداسازی آن‌ها از تفاوت نقطه جوش آن‌ها بهره می‌بریم. چون نقطه جوش آمونیاک ( $-33^\circ\text{C}$ ) اختلاف زیادی با نقطه جوش هیدروژن ( $-253^\circ\text{C}$ ) و نیتروژن ( $-196^\circ\text{C}$ ) دارد، با رساندن دمای سامانه به کمی پایین‌تر از نقطه جوش آمونیاک، مثلاً  $-40^\circ\text{C}$  این ماده میعان شده و از مخلوط خارج می‌شود.

$-253$	$-196$	$-33$	$0$
$H_2$	$N_2$	$NH_3$	

نقطه جوش ( $^\circ\text{C}$ )

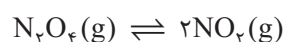
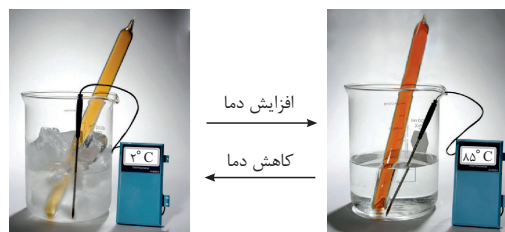
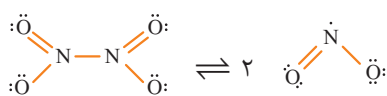
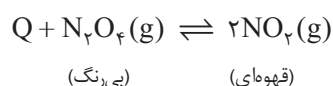


۶ شکل زیر، نمایی از فناوری تولید آمونیاک به روش هابر را نشان می‌دهد:



## – واکنش تجزیه $N_2O_4$ به $NO_2$ –

۱ به معادله تعادل گازی زیر و روند تغییر رنگ مخلوط تعادلی توجه کنید:



۲ گاز  $N_2O_4$  بی‌رنگ و گاز  $NO_2$  قهوه‌ای‌رنگ است. چون شکسته شدن پیوند گرماگیر است؛ از این رو تبدیل هر مول  $N_2O_4$  به دو مول  $NO_2$  فرایندی گرماگیر است.

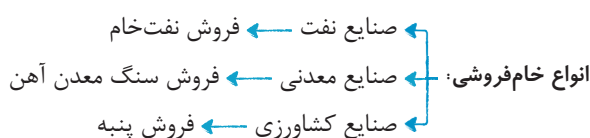
۳ با افزایش دمای سامانه در واکنش تعادلی فوق، واکنش در جهت رفت (در جهت مصرف گرما) به پیش رفته و رنگ مخلوط گازی مورد نظر تیره می‌شود.

۴ با افزایش دما، سرعت هر دو واکنش رفت و برگشت افزایش می‌یابد، ولی میزان افزایش سرعت واکنش رفت بیشتر است و تعادل به سمت راست جابه‌جا می‌شود. با کاهش دما، سرعت هر دو واکنش رفت و برگشت کاهش می‌یابد، ولی میزان کاهش سرعت واکنش برگشت کم‌تر است و تعادل به سمت چپ جابه‌جا می‌شود.

## – ارزش فناوری‌های شیمیایی –

۱ نفت‌خام، گاز طبیعی، زغال سنگ و معادن مس، آهن، طلا، مرمر و فیروزه از جمله منابع شیمیایی ارزشمندی هستند که به طور یکسان در جهان توزیع نشده‌اند.

۲ بسیاری از کشورها منابع طبیعی خود را کم و بیش بدون فراوری و به همان صورتی که از طبیعت به دست می‌آید، می‌فروشند. این فرایند به خام‌فروشی معروف است. برای نمونه فروش نفت‌خام ساده‌ترین راه بهره‌برداری از این منبع طبیعی است.

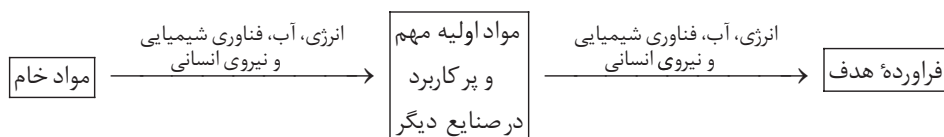


۳ به کارگیری فناوری و تبدیل مواد خام به مواد فراوری‌شده، سبب رشد و بهره‌وری اقتصاد یک کشور می‌شود. از نفت خام می‌توان چند فراورده نفتی مانند: بنزین، پلی‌اتن، اتانول، متانول و اتیلن گلیکول تهیه کرد.





۴) نمایی از افزایش بهره‌وری با استفاده از فناوری‌های شیمیایی:

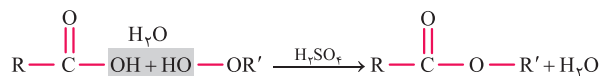


۵) شیمی‌دان‌ها با استفاده از دانش شیمی، مواد جدیدی می‌سازند یا روشی برای ساخت آسان‌تر و به‌صرفه‌تر آن‌ها ارائه می‌کنند. آن‌ها همچنین به دنبال یافتن روش و یا طراحی و ساخت دستگاه‌هایی برای شناسایی دقیق ساختار مواد هستند. این موارد بیانی از فناوری شیمیایی هستند.

۶) یکی از لذت‌بخش‌ترین فناوری‌های شیمیایی، سنتز مواد نو از جمله رنگ‌دانه‌ها، خوشبوکننده‌ها، داروهای ضد سرطان، الیاف، سوخت‌های دوستدار محیط زیست و مواد هوشمند است.

### - سنتز مولکول‌های آلی -

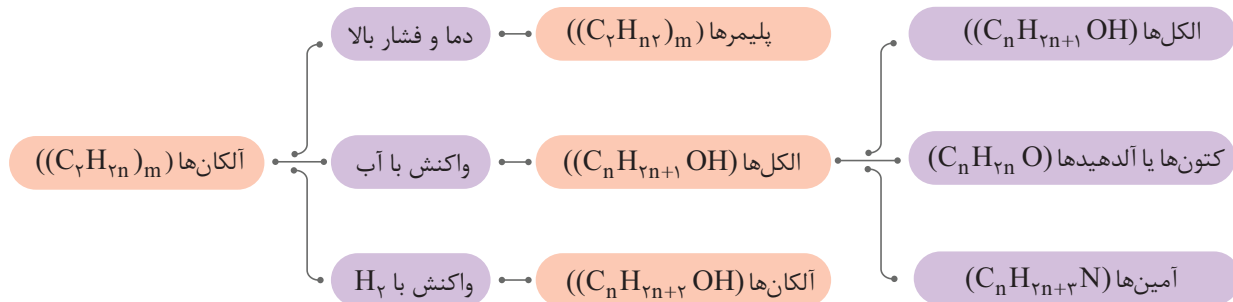
۱) سنتز یک فرایند شیمیایی هدفمند است که در آن با استفاده از مواد ساده‌تر، مواد شیمیایی دیگر را تولید می‌کنند. به طور مثال، برای سنتز یک استر می‌توان از واکنش یک اسید آلی با یک الکل در شرایط مناسب بهره برد. شکل زیر، واکنش کلی تولید استر را نشان می‌دهد:



۲) گاز اتن ( $C_2H_4$ ) یکی از مهم‌ترین خوراک‌ها در صنایع پتروشیمی است. از این گاز، مواد آلی گوناگون، پرمصرف و اغلب ارزشمند می‌توان تهیه کرد. در جدول زیر، برخی از موادی را که با استفاده از گاز اتن تولید می‌شوند بررسی می‌کنیم:

نام واکنش	معادله واکنش	کاربرد فرآورده تولید شده
واکنش تولید گاز اتان	$C_2H_4(g) + H_2(g) \xrightarrow{Ni} C_2H_6(g)$	سوخت
واکنش تولید کلرواتان	$C_2H_4(g) + HCl(g) \rightarrow C_2H_5Cl(g)$	افشانه بی‌حس کننده موضعی
واکنش تولید پلی‌اتن	$nC_2H_4(g) \xrightarrow{\text{فشار و دما}} (C_2H_4)_n(s)$	سازنده اصلی برخی لوازم پلاستیکی
واکنش تولید اتانول	$C_2H_4(g) + H_2O(g) \xrightarrow{H_2SO_4} C_2H_5OH(l)$	ضد عفونی کننده - حلال صنعتی
واکنش تولید اتیل استات	$C_2H_4(g) + H_2O(g) \xrightarrow{H_2SO_4} C_2H_5OH(l)$ $C_2H_5OH(l) + C_2H_3O_2(l) \xrightarrow{H_2SO_4} C_2H_5OC_2H_3O_2(l) + H_2O(l)$	حلال چسب
	اتیل استات      اتانول      استیک اسید	

۳) با استفاده از مواد مناسب و واکنش‌های شیمیایی ویژه، می‌توان مواد آلی گوناگون را به یکدیگر تبدیل کرد:





۴ هر چه نوع و شمار گروه‌های عاملی در مولکول هدف (فراورده آلی تولیدشده) بیشتر باشد، ساخت آن مولکول دشوارتر بوده و به دانش پیشرفته‌تر و فناوری کارآمدتری نیاز دارد.

۵ همه مواد آلی دارای گروه عاملی نیستند؛ برای نمونه در آلکان‌ها گروه عاملی وجود ندارد.

## – بطری آب (پلی اتیلن ترفتالات . PET) –

۱ سالانه شمار بسیار زیادی بطری پلاستیکی برای نگهداری و بسته‌بندی آب آشامیدنی تولید می‌شود. بطری آب، از پلیمری به نام پلی اتیلن ترفتالات (PET) ساخته می‌شود.

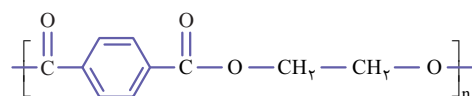
۲ با دقت در ساختار کلی واحد تکرارشونده PET به نتایج زیر می‌رسیم:

## – PET –

۱ پلی اتیلن ترفتالات پلیمری از خانواده پلی استرها است که از واکنش میان یک الکل دوعاملی به نام اتیلن گلیکول با فرمول مولکولی  $C_2H_6O_2$  و یک اسید دوعاملی به نام ترفتالیک اسید با فرمول مولکولی  $C_8H_6O_4$  تهیه می‌شود.

۲ فرمول مولکولی پلی اتیلن ترفتالات به صورت  $(C_{10}H_8O_4)_n$  است.

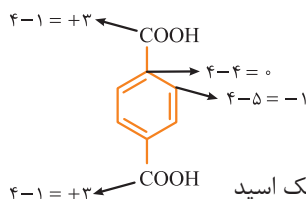
۳ در ساختار این پلیمر حلقه بنزن وجود دارد؛ بنابراین یک ترکیب آلی آروماتیک است.



پلی اتیلن ترفتالات (PET)

## – ترفتالیک اسید –

۱ در ساختار هر واحد ترفتالیک اسید، ۲۳ پیوند اشتراکی، ۵ پیوند دوگانه و ۸ جفت الکترون ناپیوندی وجود دارد.



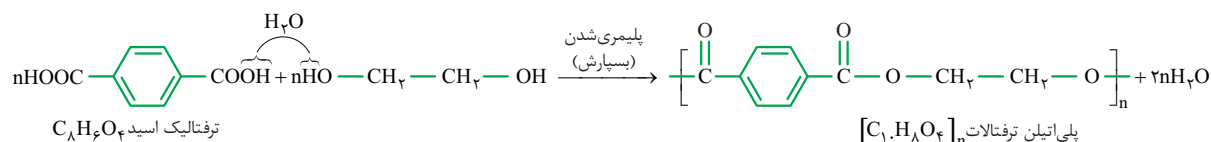
ترفتالیک اسید

۲ مجموع عدد اکسایش اتم‌های کربن در مولکول ترفتالیک اسید، برابر ۲+ است. در ساختار آن، ۴ اتم کربن با عدد اکسایش ۱-، ۲ اتم کربن با عدد اکسایش صفر و ۲ اتم کربن با عدد اکسایش ۳+ وجود دارد.

۳ برای ساخت بطری‌هایی از جنس پلی اتیلن ترفتالات، نخست پلیمر آن‌ها را تهیه می‌کنند. سپس این پلیمرها را به همراه برخی افزودنی‌ها در قالب‌های ویژه‌ای می‌ریزند تا به شکل بطری مورد نظر درآید.

۴ در واکنش تولید یک نمونه از پلی اتیلن ترفتالات، به ازای مصرف هر مول از هر یک از واکنش‌دهنده‌ها (دی‌اسید و دی‌الکل)، ۲ مول آب تولید می‌شود.

۵ شکل زیر فرایند تشکیل این پلیمر را نشان می‌دهد:



۶ مونومرهای مورد نیاز برای تولید پلی اتیلن ترفتالات (اتیلن گلیکول و ترفتالیک اسید)، در نفت خام وجود ندارند و به همین خاطر، نمی‌توان آن‌ها را به طور مستقیم از نفت خام به دست آورد.

۷ پارازایلن یک هیدروکربن حلقوی با فرمول  $C_8H_{10}$  است که به طور مستقیم از نفت خام به دست آمده و می‌توان از آن در تهیه ترفتالیک اسید استفاده کرد.



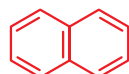
### - پارازایلن -

۱ این ماده، یک ترکیب آروماتیک بوده و همانند بنزوئیک اسید، استیرن، نفتالن و ... یکی از ترکیب‌های مشتق‌شده از بنزن به شمار می‌رود.

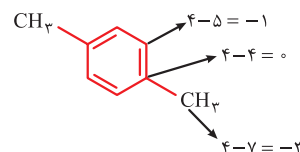
ساختار این ماده به صورت روبه‌رو است:



۲ در سال یازدهم با نفتالن ( $C_{10}H_8$ ) آشنا شدیم. به تفاوت نفتالن و پارازایلن دقت کنید:



نفتالن ( $C_{10}H_8$ )



پارازایلن ( $C_8H_{10}$ )

۳ در ساختار پارازایلن، ۲۱ پیوند اشتراکی وجود دارد.

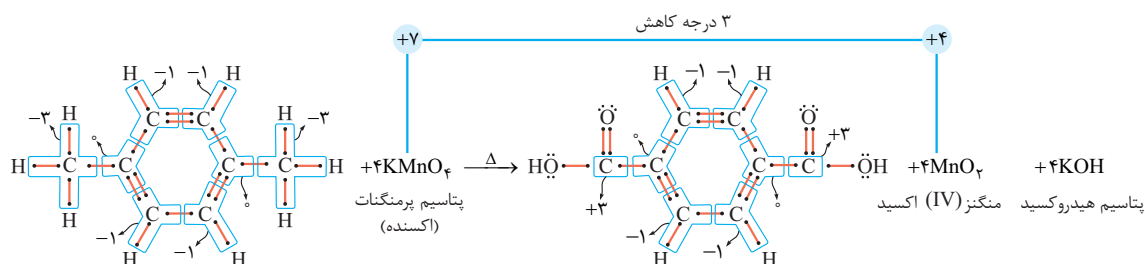
۴. در ساختار پارازایلن، عدد اکسایش ۴ اتم کربن برابر ۱-، عدد اکسایش دو اتم کربن برابر ۳- و عدد اکسایش دو اتم کربن برابر صفر است.

پس مجموع عدد اکسایش اتم‌های کربن در پارازایلن برابر ۱- است.

۵ ترفتالیک اسید را می‌توان از اکسایش پارازایلن به دست آورد. در این واکنش، پتاسیم پرمنگنات اکسندۀ ای است که محلول غلیظ آن در

شرایط مناسب پارازایلن را با بازده نسبتاً خوب براساس معادله  $C_8H_{10} + 4KMnO_4 \rightarrow C_8H_6O_4 + 4MnO_2 + 4KOH$  به ترفتالیک

اسید تبدیل می‌کند. معادله این واکنش به صورت زیر است:



۶ در واکنش تبدیل پارازایلن به ترفتالیک اسید، یون پرمنگنات به منگنز (IV) اکسید تبدیل شده و عدد اکسایش منگنز از ۷+ به ۴+ می‌رسد.

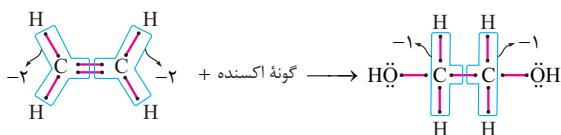
۷ با وجود غلظت بالای اکسندۀ پتاسیم پرمنگنات یا یون پرمنگنات باز هم شرایط انجام این واکنش تأمین نمی‌شود؛ مگر این که دمای مخلوط

را افزایش دهیم، ولی بازده کماکان مطلوب ما نیست. می‌توان نتیجه گرفت انجام این واکنش بسیار دشوار است.

۸ شیمی‌دان‌ها دریافتند که با استفاده از اکسیژن هوا و کاتالیزگر مناسب، می‌توان پارازایلن را در شرایط آسان‌تری به ترفتالیک اسید تبدیل کرد.

۹ اتیلن گلیکول، از دیگر واکنش‌دهنده‌های مصرف‌شده در واکنش تولید پلی‌اتیلن ترفتالات است. این ماده را همانند ترفتالیک اسید، نمی‌توان

به طور مستقیم از نفت خام به دست آورد. برای تولید اتیلن گلیکول، از اتن (ماده‌ای که به طور مستقیم از تقطیر نفت خام حاصل می‌شود).



استفاده می‌کنیم. گاز اتن در اثر واکنش با محلول آبی و رقیق پتاسیم

پرمنگنات در شرایط مناسب به اتیلن گلیکول تبدیل می‌شود. پتاسیم

پرمنگنات در این واکنش نقش اکسندۀ را بر عهده دارد. معادله این

واکنش به صورت زیر است:

۱۰ عدد اکسایش اتم‌های کربن در ساختار اتن برابر ۲- و در ساختار اتیلن گلیکول برابر ۱- است؛ عدد اکسایش هر اتم کربن یک درجه افزایش

یافته و دچار اکسایش شده است.



## - اتیلن گلیکول -

(۱) فرمول شیمیایی این ماده  $C_2H_6O_2$  و مایعی است که محلول آبی آن به عنوان ضدیخ استفاده می‌شود.

(۲) در ساختار آن، ۹ جفت الکترون پیوندی و ۴ جفت الکترون ناپیوندی وجود دارد.



(۳) عدد اکسایش هر دو اتم کربن موجود در آن برابر ۱- است.

(۸) در واکنش‌های تولید ترفتالیک اسید و اتیلن گلیکول، از یک اکسندۀ یکسان استفاده می‌شود. اکسندۀ واکنش تولید ترفتالیک اسید محلول غلیظ پتاسیم پرمنگنات است، اما اکسندۀ واکنش تولید اتیلن گلیکول محلول رقیق پتاسیم پرمنگنات است.

(۹) پلی‌اتیلن ترفتالات، همانند پلیمرهای سنتزی، ماندگاری زیادی دارد و در طبیعت به کندی تجزیه می‌شود. به همین دلیل، پسماندهای حاصل از این ماده، تهدیدی جدی برای زندگی روی کره زمین به شمار می‌آید.

## - نکات ترکیبی -

• اتن و پارازایلن در آب نامحلول هستند.

• ترفتالیک اسید و اتیلن گلیکول به دلیل توانایی تشکیل پیوند هیدروژنی با آب، در آب محلول هستند.

• انحلال پذیری اتیلن گلیکول از ترفتالیک اسید به دلیل کوچک‌تر بودن بخش ناقطبی آن، بیشتر است.

## - روش‌های بازیافت -

(۱) پلاستیک‌ها به دلیل ویژگی‌های زیر، کاربردهای وسیعی در زندگی پیدا کرده‌اند:

(۱) چگالی کم (۲) نفوذناپذیری نسبت به هوا و آب (۳) ارزان بودن (۴) مقاومت در برابر خوردگی

(۲) امروزه سالانه حدود ۴۰۰ میلیون تن پلاستیک در جهان تولید می‌شود و این روند رو به افزایش است.

(۳) استفاده بی‌رویه و بیش از حد از مواد پلاستیکی در صنایع گوناگون، به همراه زیست تخریب‌ناپذیری این مواد، سبب شده که پلاستیک‌ها در جای‌جای کره زمین یافت شوند. به همین خاطر است که گفته می‌شود بازیافت پلاستیک‌ها اجتناب‌ناپذیر است.

(۴) یکی از مواد پلاستیکی قابل بازیافت، پلی‌اتیلن ترفتالات است. برای این منظور، باید اجسام ساخته‌شده از این پلیمر را جداگانه جمع‌آوری و سپس با انجام فرایندهای فیزیکی و شیمیایی، به مواد قابل استفاده تبدیل کرد.

(۵) از آن‌جا که سالانه حجم انبوهی از پسماندهای پلی‌اتیلن ترفتالات تولید می‌شود، بازیافت شیمیایی آن بسیار ضروری و ارزشمند است.

(۶) بازیافت پلی‌اتیلن ترفتالات انواع مختلفی دارد:

(۱) شست‌وشو و تمیز کردن ← ذوب کردن ← استفاده دوباره (فیزیکی)

(۲) شست‌وشو و تمیز کردن ← خرد کردن و تولید قطعات کوچک به نام پرک ← استفاده دوباره (فیزیکی)

(۳) تبدیل مواد بازیافتی به مونومرهای سازنده و مواد اولیه مفید آن‌ها (شیمیایی - راه دشوارتر)

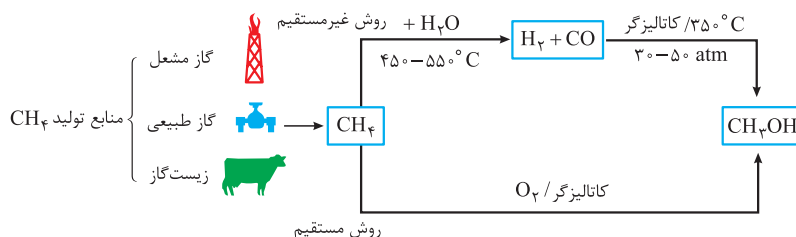
## - متانول ( $CH_3OH$ ) -

(۷) پلی‌اتیلن ترفتالات (PET)، در شرایط مناسب با متانول (ساده‌ترین عضو خانواده الکل‌ها با فرمول مولکولی  $CH_3OH$ ) واکنش داده و به مواد مفیدی تبدیل می‌شود که می‌توان آن‌ها را برای تولید پلیمرهای جدید به کار برد.

(۸) متانول مایعی بی‌رنگ، بسیار سمی و ساده‌ترین عضو خانواده الکل‌ها است که می‌توان آن را از چوب تهیه کرد. از آن‌جا که این الکل کاربردهای زیادی در صنایع گوناگون دارد، باید آن را در مقیاس صنعتی تولید کرد.

(۹) متانول در مقیاس صنعتی، از دو روش مستقیم و غیرمستقیم تولید می‌شود. متان مورد استفاده در این واکنش‌ها را با استفاده از زیست گاز، گاز طبیعی و یا گاز مشعل تهیه می‌کنند.

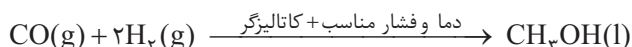
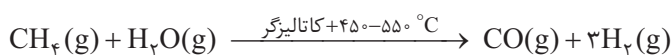
۱۰ تصویر زیر، نمایی از واکنش‌های انجام شده را نشان می‌دهد:



۱۱ در روش تولید مستقیم متانول از متان، گاز متان طبق واکنش  $\text{CH}_4 \xrightarrow{\text{کاتالیزگر} + \text{O}_2} \text{CH}_3\text{OH}$  اکسایش پیدا می‌کند.

۱۲ گاز متان، سازنده اصلی گاز طبیعی است و در میدان‌های نفتی به فراوانی یافت می‌شود. در این میدان‌ها برای افزایش ایمنی، بخش قابل توجهی از گاز متان خارج شده را می‌سوزانند. گاز متان واکنش‌پذیری بسیار کمی دارد و تبدیل آن به متانول فرایندی دشوار است.

۱۳ واکنش‌های زیر، روش تولید غیرمستقیم متانول از متان را نشان می‌دهند:



● دمای مرحله اول بیشتر و فشار مرحله دوم بیشتر است.

۱۴ تولید مستقیم متانول از گاز متان، تعداد مراحل کم‌تری دارد و به همین دلیل نیاز به انرژی کم‌تری دارد. پس اثرات مخرب زیست‌محیطی در تولید مستقیم متانول از گاز متان، کم‌تر است و با مصرف کم‌تر سوخت‌های فسیلی و تولید CO<sub>2</sub> کم‌تر همراه است.

## – شیمی سبز –

۱ شیمی سبز با طراحی مواد و فرایندهای شیمیایی مناسب، سبب حذف یا کاهش مواد زیان‌آور و سمی و حرکت در مسیر توسعه پایدار می‌شود. توسعه پایدار به معنی بهره‌برداری هوشمندانه و مناسب از منابع برای تأمین نیازهای امروز بدون تحمیل هزینه به آیندگان است.

۲ شیمی سبز به دنبال طراحی واکنش‌هایی با کم‌ترین آسیب به محیط زیست و بیشترین بازده است.

۳ یک واکنش شیمیایی هنگامی از دیدگاه اتمی به صرفه‌تر است که شمار بیشتری از اتم‌های واکنش‌دهنده به فرآورده‌های سودمند تبدیل شود.