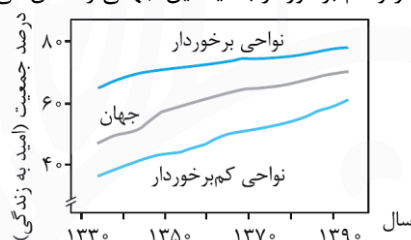


((درسنامه مفاهیم و حفظیات مهم شیمی دوازدهم))

فصل اول شیمی دوازدهم

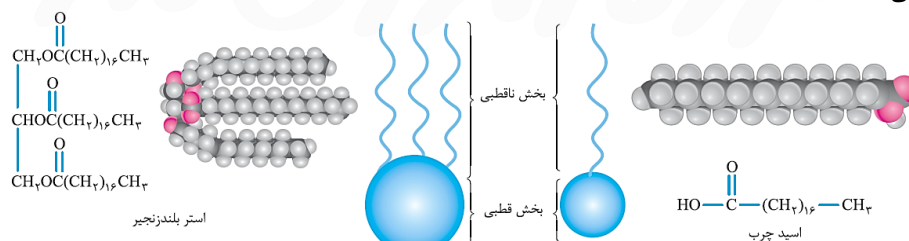
- از دلایل اسکان انسان در کنار رودخانه موارد مقابل بود: ۱- شست و شوی خود توسط آب ۲- تمیز کردن ابزار، ظروف و محیط زندگی خود
- نیاکان ما به تجربه پی بردند که اگر ظرف‌های چرب را به خاکستر آغشته کرده و سپس با آب گرم شست و شو دهند، آسان‌تر تمیز می‌شوند.
- وبا یک بیماری واگیردار است که به دلیل آلوده شدن آب و نبود بهداشت شایع می‌شود. این بیماری در طول تاریخ بارها در جهان همه‌گیر شد و جان میلیون‌ها انسان را گرفت و هنوز هم می‌تواند برای هر جامعه تهدید کننده باشد و امکان ابتلا مردم به بیماری وبا وجود دارد.
- ساده‌ترین و مؤثرترین راه پیشگیری از بیماری وبا، رعایت بهداشت فردی و همگانی در جامعه است.
- شاخص امید به زندگی شاخصی است که نشان می‌دهد با توجه به خطراتی که انسان‌ها در طول زندگی با آن مواجه‌اند، به طور میانگین چند سال در این جهان زندگی می‌کنند. این شاخص در کشورهای گوناگون و حتی در شهرهای یک کشور نیز با هم تفاوت دارد، زیرا به عوامل گوناگونی بستگی دارد.
- با افزایش سطح تندرستی و بهداشت فردی و همگانی، شاخص امید به زندگی نیز در جهان افزایش یافته است. پیشگیری و درمان بیماری‌ها نقش مهمی در افزایش شاخص امید به زندگی دارد.
- با گذشت زمان، امید به زندگی در سطح جهان افزایش یافته است به‌طوری که امروزه امید به زندگی برای بیشتر مردم جهان در حدود ۷۰ تا ۸۰ سال است.
- نمودار زیر، مقایسه امید به زندگی برای مناطق برخوردار و کم برخوردار با میانگین جهانی را نشان می‌دهد.



- آلاینده‌ها موادی هستند که بیش از مقدار طبیعی در یک محیط، نمونه ماده یا یک جسم وجود دارند. گل و لای آب، گرد و غبار هوا، لکه‌های چربی و مواد غذایی روی لباس‌ها و پوست بدن نمونه‌هایی از انواع آن‌ها هستند.
- یکی از روش‌های مناسب برای زدودن برخی از آلودگی‌ها، استفاده از پاک‌کننده‌ها است. این مواد، آلودگی‌ها را به حالت محلول در می‌آورند.
- جدول زیر، اطلاعات مربوط به چند مورد از مواد مختلف را نشان می‌دهد:

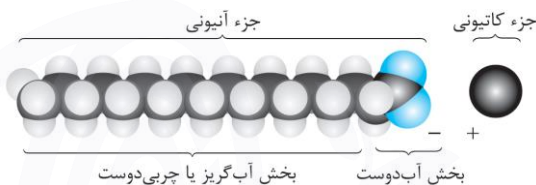
نام ماده	فرمول شیمیایی	قطبی	حلال
اتیلن‌گلیکول (ضدیخ)	$C_2H_4O_2$	✓	مواد قطبی مثل آب
نمک خوراکی	$NaCl$	✓	مواد قطبی مثل آب
بنزین	C_8H_{18}	×	مواد ناقطبی مثل هگزان
اوره	$CO(NH_2)_2$	✓	مواد قطبی مثل آب
روغن زیتون	$C_{57}H_{104}O_7$	×	مواد ناقطبی مثل هگزان
وازلین	$C_{25}H_{52}$	×	مواد ناقطبی مثل هگزان

- مواد قطبی در حلال‌های قطبی و مواد ناقطبی در حلال‌های ناقطبی حل می‌شوند. لکه عسل به راحتی با آب شسته و در آن پخش می‌شود زیرا عسل حاوی مولکول‌های قطبی است که در ساختار خود شمار قابل توجهی گروه هیدروکسیل ($-OH$) دارند. هنگامی که عسل وارد آب می‌شود، مولکول‌های سازنده آن با مولکول‌های آب پیوند هیدروژنی برقرار می‌کنند و در سرتاسر آن پخش می‌شوند.
- چربی‌ها را می‌توان مخلوطی از اسیدهای چرب و استرهای بلند زنجیر (با جرم مولی زیاد) دانست. اسیدهای چرب، کربوکسیلیک اسیدهایی با زنجیر بلند کربنی (بخش R) هستند. نیروی بین مولکولی غالب در چربی‌ها از نوع وان‌دروالسی است، زیرا قسمت ناقطبی آن‌ها بسیار بزرگ است. تصویر زیر، نمایی از ساختار چربی‌ها را نشان می‌دهد:

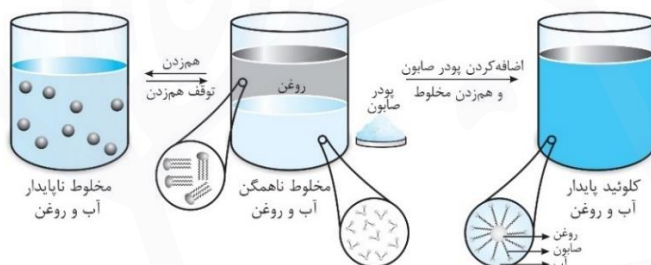


- برای زدودن چربی‌ها از یک محیط، باید از صابون‌ها استفاده کنیم.

- صابون جامد را می‌توان نمک سدیم اسید چرب دانست. فرمول همگانی این نوع صابون‌ها که جامد هستند، به صورت $R - COONa$ بوده که در آن R یک زنجیر هیدروکربنی بلند است. صابون جامد را از گرم کردن مخلوط روغن‌های گوناگون یا چربی‌ها مانند روغن زیتون، نارگیل و پیه با سدیم هیدروکسید تهیه می‌کنند. توجه داریم که صابون‌های مایع، نمک پتاسیم یا آمونیوم اسیدهای چرب هستند.
- در ساختار $R - COO^-Na^+$ که یک نوع صابون جامد را نشان می‌دهد، بخش آبی رنگ قطبی (آب‌دوست) و بخش طوسی رنگ به دلیل زنجیره‌ی هیدروکربنی، ناقطبی (آب‌گریز یا چربی‌دوست) است. به همین خاطر، صابون ماده‌ای است که هم در آب و هم در چربی حل می‌شود.
- ساختار پاک‌کننده‌های صابونی به صورت زیر است:



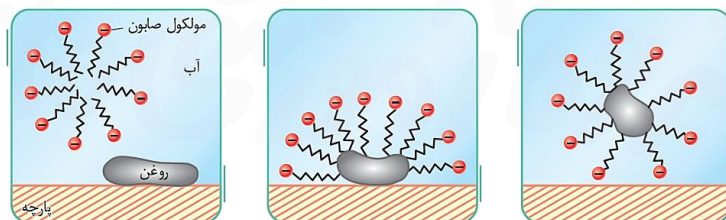
- مخلوط آب و روغن یک مخلوط ناپایدار است زیرا به محض اینکه هم زدن آن را متوقف کنید، آب و روغن از هم جدا شده و دولایه مجزا تشکیل می‌دهند. اما اگر مقداری صابون به این مخلوط اضافه کنید و آن را به هم بزنید یک مخلوط پایدار ایجاد می‌شود که به ظاهر همگن است. تصویر زیر، نمایی از این فرآیند را نشان می‌دهد:



- مخلوط آب و روغن و صابون یک نوع کلوئید است. کلوئید نوعی مخلوط است که ناهمگن بوده و حاوی توده‌های مولکولی با اندازه‌های متفاوت است. شیر، ژله، سس مایونز و رنگ نمونه‌هایی از کلوئیدها هستند.
- رفتار کلوئیدها را می‌توان رفتاری بین سوسپانسیون و محلول‌ها در نظر گرفت. در جدول زیر ویژگی‌های کلوئیدها را با سایر مخلوط‌ها مقایسه می‌کنیم:

ویژگی	سوسپانسیون	کلوئید	محلول
پخش کردن نور	✓	✓	×
همگن بودن	×	×	✓
پایدار بودن (ته‌نشین نشدن)	×	✓	✓
ذره‌های سازنده	ذره‌های ریز ماده	مولکول بزرگ یا توده‌ی مولکولی	یون یا مولکول
مثال	شربت معده - آب گل‌آلود	شیر - ژله - سس مایونز - رنگ	هوا - محلول مس (II) سولفات

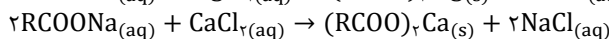
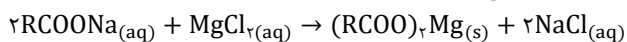
- هنگامی که صابون وارد آب می‌شود، به کمک سر آب دوست خود در آن حل می‌شود. از سوی دیگر، ذره‌های صابون با بخش چربی دوست خود با مولکول‌های چربی جاذبه برقرار می‌کنند. طی این فرایند، مولکول‌های صابون مانند پلی بین مولکول‌های آب و چربی قرار می‌گیرند. به این ترتیب، ذره‌های چربی کم کم از سطح پارچه جدا و در آب پخش می‌شوند. تصویر زیر، مراحل پاک شدن لکه چربی از لباس را نشان می‌دهد:



- قدرت پاک‌کنندگی صابون‌ها به عوامل گوناگونی بستگی دارد. در واقع صابون‌ها همه لکه‌ها را به یک اندازه از بین نمی‌برند؛ زیرا عوامل مختلفی از جمله:
 - ۱- نوع پارچه
 - ۲- دما
 - ۳- نوع آب
 - ۴- وجود آنزیم
 - ۵- مقدار صابون
 بر روی قدرت پاک‌کنندگی آن‌ها تأثیر دارد.
- با افزایش دما و اضافه کردن آنزیم، قدرت پاک‌کنندگی صابون بیشتر می‌شود. افزودن آنزیم تأثیری بیشتر از افزایش دما در قدرت صابون دارد.
- چون لکه‌های چربی به الیاف پلی‌استری با قدرت بیشتری نسبت به الیاف نخی می‌چسبند، پس از شست‌وشو، درصد لکه باقیمانده بر روی پارچه‌های نخی در شرایط یکسان، کمتر از پارچه پلی‌استری است.
- آب‌دربا و آب‌های مناطق کویری که شور هستند، مقادیر چشمگیری از یون‌های کلسیم و منیزیم دارند. چنین آب‌هایی به آب‌سخت معروف‌اند. البته، این یون‌ها به مقدار خیلی کمتر در آب آشامیدنی هم یافت می‌شوند.

- صابون در آب‌های سخت به خوبی کف نمی‌کند و قدرت پاک‌کنندگی آن کاهش می‌یابد، زیرا صابون با برخی از کاتیون‌های موجود در آب سخت رسوب تشکیل می‌دهد.

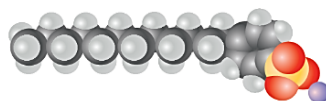
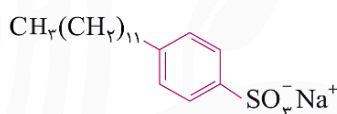
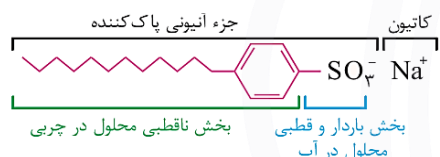
- صابون بر اساس معادله‌های زیر با یون‌های موجود در آب سخت (کاتیون منیزیم و کلسیم) واکنش می‌دهد:



- لکه‌های سفیدی که پس از شستن لباس با صابون روی آنها باقی می‌ماند، نشان از تشکیل رسوب صابون با یون‌های Ca^{2+} و Mg^{2+} دارد.

- دو دلیل مقابل، انسان را وادار به شناسایی و تولید پاک‌کننده‌های غیرصابونی کرد: ۱- نیاز به میزان زیادی چربی برای تولید صابون در حجم انبوه به دلیل افزایش جمعیت جهان ۲- صابون در همه شرایط از جمله سفرهای دریایی و یا صنایع وابسته به آب شور به خوبی عمل نمی‌کند.

- شیمی‌دان‌ها توانستند با استفاده از بنزن و دیگر مواد اولیه در صنایع پتروشیمی، مواد پاک‌کننده‌ای با فرمول همگانی $\text{RC}_6\text{H}_4\text{SO}_3^- \text{Na}^+$ تولید کنند. این مواد به پاک‌کننده‌های غیرصابونی مشهور هستند. ساختار این مواد به صورت زیر است:



- پاک‌کننده‌های غیرصابونی از مواد پتروشیمیایی طی واکنش‌های پیچیده در صنعت تولید می‌شوند. این مواد قدرت پاک‌کنندگی بیشتری نسبت به صابون دارند و در آب‌های سخت خاصیت پاک‌کنندگی خود را حفظ می‌کنند زیرا با یون‌های موجود در این آب‌ها رسوب نمی‌دهند.

- صابون طبیعی معروف به صابون مراغه با بیش از ۱۵۰ سال قدمت، معروف‌ترین صابون سنتی ایران است. برای تهیه این صابون، پیه گوسفند و سود سوزآور را در دیگ‌های بزرگ با آب برای چندین ساعت می‌جوشانند و پس از قالب‌گیری آنها را در آفتاب خشک می‌کنند.

- صابون مراغه افزودنی شیمیایی ندارد و به دلیل خاصیت بازی مناسب، برای شست‌وشوی موهای چرب استفاده می‌شود.

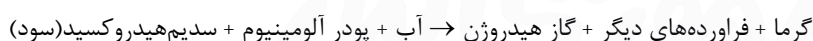
- امروزه صابون‌ها و شوینده‌های دیگری تولید می‌شوند که افزون بر خاصیت پاک‌کنندگی، خواص ویژه‌ای نیز دارند. این صابون‌ها، افزودنی‌های ویژه‌ای دارند. به طور مثال، ۱- صابون گوگردار برای از بین بردن جوش صورت و همچنین قارچ‌های پوستی استفاده می‌شود. ۲- از صابون کلردار به منظور افزایش خاصیت ضدعفونی‌کنندگی و میکروب‌کشی استفاده می‌شود. ۳- از افزودن نمک‌های فسفات به شوینده‌ها، برای جلوگیری از تشکیل رسوب و ایجاد لکه به واسطه‌ی واکنش با یون کلسیم و منیزیم استفاده می‌شود.

- پاک‌کننده‌های صابونی و غیرصابونی بر اساس برهم‌کنش میان ذره‌ها عمل می‌کنند.

- پاک‌کننده‌های دیگری وجود دارند که در کنار برهم‌کنش میان ذره‌ها، با آلاینده‌ها واکنش می‌دهند. به عنوان مثال، هیدروکلریک اسید (جوهر نمک)، سدیم هیدروکسید (محلول سود) و سفیدکننده‌ها از این نوع پاک‌کننده‌ها هستند. این نوع از پاک‌کننده‌ها (پاک‌کننده‌هایی که از نظر شیمیایی فعال هستند و خاصیت خوردندگی دارند)، به پاک‌کننده خوردن معروف بوده و نباید با پوست تماس داشته باشند.

- رسوب تشکیل شده بر روی دیواره کتری، لوله‌ها، آب‌راه‌ها و دیگ‌های بخار آن چنان به این سطح‌ها می‌چسبند که با صابون و پاک‌کننده‌های غیرصابونی زدوده نمی‌شوند. برای زدودن این رسوب‌ها به پاک‌کننده‌هایی نیاز است که بتوانند با آنها واکنش شیمیایی بدهند و آن‌ها را به فرآورده‌هایی تبدیل کنند که محلول در آب باشند و با آب شسته شوند.

- نوعی پاک‌کننده که به شکل پودر عرضه می‌شود، شامل مخلوط سدیم هیدروکسید و پودر آلومینیم است. این پاک‌کننده برای باز کردن مجاری مسدود شده در برخی وسایل و دستگاه‌های صنعتی استفاده می‌شود و طبق الگوی زیر استفاده می‌شود:



- صابون‌ها را با استفاده از چربی‌ها، روغن‌ها و اسیدهای چرب تهیه می‌کنند.

- هر روز در بخش‌های گوناگون زندگی افزون بر شوینده‌ها و پاک‌کننده‌ها، مقادیر متفاوتی از مواد شیمیایی گوناگون مصرف می‌شود که در اغلب آنها اسیدها و بازها نقش مهمی دارند.

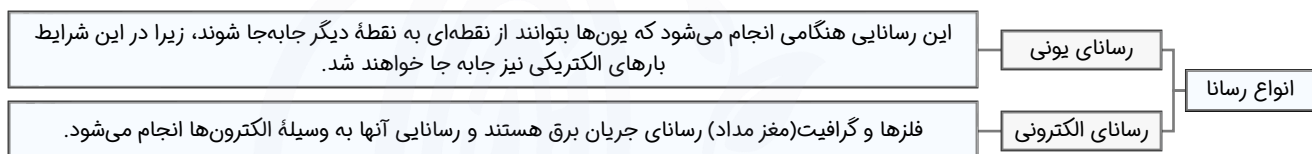
- عملکرد بدن انسان به میزان مواد اسیدی و بازی موجود در آن وابسته است. اسیدهای خوراکی مزه ترش و بازها مزه تلخ دارند.

- اسیدها با اغلب فلزها واکنش می‌دهند و در تماس با پوست، احساس سوزش ایجاد می‌کنند. در حالی که بازها در سطح پوست همانند صابون، احساس لیزی ایجاد می‌کنند. توجه داریم که بازها نیز به پوست بدن آسیب می‌رسانند.

- برای کاهش میزان اسیدی بودن خاک، به آن آهک (CaO) می‌افزایند. آهک خاصیت بازی داشته و افزودن این ماده به خاک سبب می‌شود تا مقدار و نوع مواد معدنی در دسترس گیاه تغییر کند. توجه داریم که ورود فاضلاب‌های صنعتی به محیط زیست سبب تغییر pH می‌شود.

- پیش از آنکه ساختار اسیدها و بازها شناخته شود، شیمی‌دان‌ها افزون بر ویژگی‌های اسیدها و بازها، با برخی واکنش‌های آنها نیز آشنا بودند.

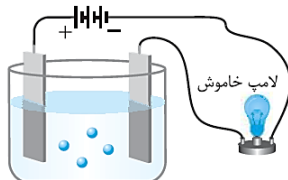
- سوانت آرنیوس نخستین کسی بود که اسیدها و بازها را بر یک مبنای علمی توصیف کرد. او بر روی رسانایی الکتریکی محلول‌های آبی کار می‌کرد. یافته‌های تجربی او نشان داد که محلول اسیدها و بازها رسانای برق هستند، هر چند میزان رسانایی آنها با یکدیگر یکسان نیست.
- مواد و ترکیب‌هایی که با حل شدن در آب، غلظت یون‌های هیدرونیوم $H^+_{(aq)}$ و هیدروکسید $OH^-_{(aq)}$ را افزایش می‌دهند، به ترتیب اسید و باز آرنیوس هستند. بدیهی است هرچه $[H^+]$ در محلولی بیشتر باشد، آن محلول اسیدی‌تر و هر چه $[OH^-]$ در محلولی بیشتر باشد، آن محلول بازی‌تر است. اگر در یک سامانه غلظت یون‌های هیدرونیوم و هیدروکسید با هم برابر باشد، آن سامانه حالت خنثی دارد.
- یون $H^+_{(aq)}$ در آب به شکل H_3O^+ یافت می‌شود که به یون هیدرونیوم معروف است. برای آسانی در نوشتن، در منابع علمی به جای H_3O^+ از نماد $H^+_{(aq)}$ برای نشان دادن یون هیدرونیوم استفاده می‌شود.
- مواد رسانا را به دو دسته زیر تقسیم می‌کنیم:



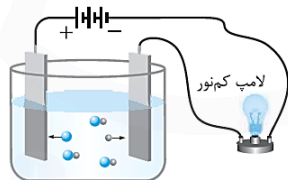
- به طور کلی، میزان رسانایی محلول‌های آبی به مجموع غلظت مولی یون‌های موجود در آن‌ها بستگی دارد. با افزایش مجموع غلظت یون‌های موجود در یک محلول، رسانایی محلول بیشتر می‌شود.
- به موادی مانند $NaCl$ ، الکترولیت و به محلول حاصل از این مواد، محلول الکترولیت می‌گویند.
- به موادی مانند اتانول و شکر که انحلال آنها در آب به شکل مولکولی است، غیرالکترولیت و به محلول آنها، محلول غیرالکترولیت می‌گویند. این محلول‌ها جریان الکتریسیته را از خود عبور نمی‌دهند.
- در نمودار زیر، رفتار انواع مواد و محلول‌ها در برابر جریان الکتریسیته مقایسه شده است:



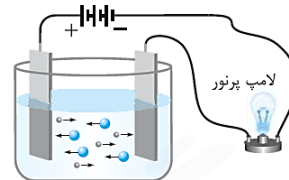
- تصویر زیر، رفتار سه محلول مختلف را در مسیر جریان الکتریسیته نشان می‌دهد:



محلول گلوکز در آب



محلول هیدروفلوئوریک اسید (اسید ضعیف)



محلول هیدروکلریک اسید (اسید قوی)

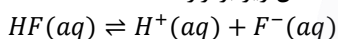
- به فرایندی که در آن یک ترکیب مولکولی در آب به یون‌های مثبت و منفی تبدیل می‌شود، یونش می‌گویند. توجه داریم که اصطلاح یونش، فقط مختص به ترکیب‌های مولکولی است.
 - به اسیدی که هر مولکول آن در آب تنها می‌تواند یک یون هیدرونیوم تولید کند، اسید تک‌پروتون‌دار می‌گویند.
 - اسیدها را بر اساس میزان درجه یونش آن‌ها می‌توان به دو دسته تقسیم بندی کرد. دسته اول اسیدهای قوی هستند که می‌توان یونش آنها را در آب کامل در نظر گرفت ($\alpha \approx 1$) و دسته دوم، اسیدهای ضعیف هستند که در آب به میزان جزئی یونیده می‌شوند. در این رابطه، داریم:
- $$100 \times \text{درجه یونش } (\alpha) = \text{درصد یونش } (\alpha\%)$$
- $$\text{درجه یونش } (\alpha) = \frac{\text{تعداد مولکول‌های (یا مول‌های) یونیده شده}}{\text{تعداد کل مولکول‌های (یا مول‌های) حل شده}}$$
- اسیدهای قوی را می‌توان محلولی شامل یون‌های آب پوشیده دانست، به طوری که در آنها تقریباً مولکول‌های یونیده نشده یافت نمی‌شود. این در حالی است که در محلول اسیدهای ضعیف، افزون بر اندک یون‌های آب پوشیده، مولکول‌های اسید نیز یافت می‌شوند.

- نمودارهای زیر، شرایط مربوط به انواع اسیدها و بازهای قوی و ضعیف را نشان می‌دهند:



- کربوکسیلیک اسیدها از جمله اسیدهای ضعیف هستند که فقط هیدروژن گروه کربوکسیل آن‌ها می‌تواند به صورت یون هیدرونیوم وارد محلول شود. به عنوان مثال در محلول سرکه، شمار ناچیزی از یون‌های آب پوشیده هم‌زمان با شمار زیادی از مولکول‌های استیک‌اسید یونیده نشده حضور دارند. اسیدهای موجود در سیب، انگور، ریواس و مرکبات مانند پرتقال و لیمو نیز از جمله اسیدهای خوراکی و ضعیف هستند.

- نمونه‌ای از سامانه‌های تعادلی، محلول بازها و یا اسیدهای ضعیف در آب است. در این محلول‌ها به دلیل یونش ناچیز مولکول‌های بازی یا اسیدی، میان اندک یون‌های حاصل از یونش و مولکول‌های یونیده نشده، تعادل برقرار می‌شود. برای نمونه در محلول هیدروفلوئوریک اسید تعادل زیر برقرار است:



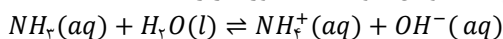
- سامانه‌های تعادلی را از دیدگاه کمی نیز می‌توان بررسی کرد به طوری که این سامانه‌ها با کمیتی به نام ثابت تعادل (K) توصیف می‌شوند. با قراردادن غلظت تعادلی گونه‌های شرکت‌کننده در واکنش یونش اسیدهای ضعیف در رابطه ثابت تعادل، مقدار K برای این واکنش به صورت زیر به دست می‌آید:

$$K = K_a = \frac{[H^+][A^-]}{[HA]} = \frac{\text{غلظت آنیون حاصل از اسید} \times \text{غلظت یون هیدروژن}}{\text{غلظت اسید یونیده نشده}}$$

- به ثابت تعادل فرایند یونش اسیدها (K_a) به اصطلاح ثابت یونش اسیدی می‌گویند که یکای آن معادل با $\text{mol} \cdot L^{-1}$ است.

- مقدار ثابت تعادل (K) برای یک واکنش تعادلی در دمای معین، مقداری ثابت است. گفتیم که ثابت تعادل برای اسیدها به ثابت یونش اسید معروف است.

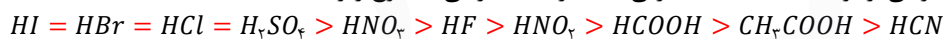
- بازهای ضعیف نیز به هنگام انحلال در آب، طی فرایند تعادلی یونش پیدا می‌کنند. به عنوان مثال، معادله یونش آمونیاک به صورت زیر است:



- به ثابت تعادل فرایند یونش بازها (K_b)، به اصطلاح ثابت یونش بازی می‌گویند که یکای آن معادل با $\text{mol} \cdot L^{-1}$ است.

- ثابت یونش، بیانی از میزان پیشرفت فرایند یونش تا زمان رسیدن به تعادل است، به طوری که هر چه ثابت یونش اسیدی در دمای معین بزرگ‌تر باشد، آن اسید بیشتر یونیده شده و غلظت یون‌های موجود در محلول آن بیشتر است.

- ترتیب مقدار ثابت یونش برخی از ترکیب‌های اسیدی معرفی شده در کتاب درسی به شرح زیر است:



- اگر دو قطعه نوار منیزیم یکسان را با حجم برابر از محلول دو اسید متفاوت (از لحاظ قدرت اسیدی)، در دما و غلظت یکسان وارد واکنش کنیم، اسید قوی‌تر با منیزیم سریع‌تر واکنش می‌دهد و سرعت تولید گاز در ظرف مربوط به این اسید بیشتر خواهد بود. البته، توجه داریم که چون مقدار اسید موجود در دو محلول یکسان است، میزان نهایی گاز H_2 تولید شده در هر دو ظرف نیز یکسان خواهد بود.

- باران اسیدی حاوی نیتریک اسید و سولفوریک اسید است، در حالی که باران معمولی حاوی کربنیک اسید است. بنابراین غلظت یون $H^+(aq)$ در باران‌های اسیدی بیشتر است.

- آمونیاک از جمله بازهای ضعیف است که در محلول‌های شیشه‌پاک‌کن وجود دارد.

- سدیم هیدروکسید (سود) از بازهای قوی است که در لوله بازکن‌ها استفاده می‌شود. تماس محلول سدیم هیدروکسید با بدن و تنفس بخارات آن، آسیب‌های جدی به دنبال دارد.

- گستره تغییر pH در محلول‌های آبی و در دمای اتاق از ۰ تا ۱۴ است. توجه داریم که در سامانه‌های خنثی رابطه $[H^+] = [OH^-]$ برقرار است.

- آب خالص رسانایی الکتریکی ناچیزی دارد. این ویژگی بیانگر وجود مقدار بسیار کمی از یون‌های هیدرونیوم و هیدروکسید است. در دمای اتاق، برای آب و محلول‌های آبی، رابطه روبرو همواره برقرار است:

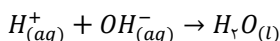
$$[H^+] \times [OH^-] = 10^{-14}$$

- برای بدست آوردن pH محلول‌های آبی از فرمول زیر استفاده می‌کنیم.

$$pH = -\log[H^+]$$

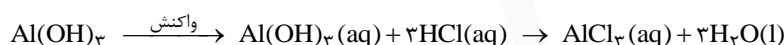
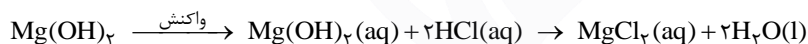
- واکنش خنثی شدن اسید و باز، مبنایی برای کاربرد شوینده‌ها و پاک‌کننده‌ها است. به عبارت دیگر، اغلب شوینده‌ها از جمله شوینده‌های خورنده بر اساس خواص اسیدی و بازی مواد کار می‌کنند.

- معادله کلی واکنش خنثی شدن اسیدها و بازها را به صورت مقابل نشان می‌دهند:



- اگر مسیر لوله‌ای با مخلوطی از اسیدهای چرب مسدود شود، برای باز کردن این لوله باید از محلول غلیظ سدیم هیدروکسید استفاده کرد. معادله واکنش‌هایی که انجام می‌شود را می‌توان به شکل کلی $RCOOH(s) + NaOH(aq) \rightarrow RCOONa(aq) + H_2O(l)$ نمایش داد. فراورده چنین واکنش‌هایی، خود نوعی پاک‌کننده است که در آب حل می‌شود و می‌تواند چربی‌های اضافی را بزداید.

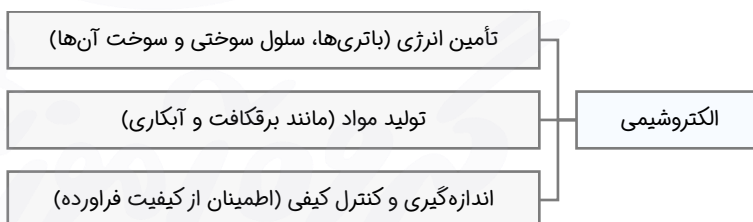
- برخی از موادی که سبب گرفتگی بعضی لوله‌ها و مجاری می‌شوند، خاصیت بازی دارند، به طوری که روی دیواره لوله‌ها و مجاری به شکل رسوب به جای مانده‌اند. رسوب کلسیم کربنات جامد، نمونه‌ای از این مواد است. در این حالت، لوله بازکن اسیدی در واکنش با این رسوب‌ها، فرآورده‌های محلول در آب یا گازی تولید می‌کند و از این راه سبب جرم‌گیری آن‌ها می‌شود.
- دلیل سوزش معده که درد شدیدی در ناحیه سینه ایجاد می‌کند، برگشت مقداری از محتویات اسیدی معده به لوله مری است. یاخته‌های دیواره معده با ورود مواد غذایی به آن، هیدروکلریک اسید ترشح می‌کنند. این اسید افزون بر فعال کردن آنزیم‌ها برای تجزیه مواد غذایی، جانداران ذره‌بینی موجود در غذا را نیز از بین می‌برد.
- درون معده یک محیط بسیار اسیدی است و حتی می‌تواند فلز روی را در خود حل کند!
- خوردن غذا سبب می‌شود که غده‌های موجود در دیواره معده، هیدروکلریک اسید ترشح کنند. دیواره داخلی معده به طور طبیعی مقدار کمی از یون‌های هیدرونیوم را دوباره جذب می‌کند. این جذب سبب نابودی سلول‌های سازنده دیواره معده می‌شود.
- اگر مقدار اسید معده به هر دلیل بیش از اندازه باشد، شمار یون‌های هیدرونیوم جذب شده توسط سلول‌های دیواره‌ی معده افزایش یافته و این فرایند، سبب درد، التهاب و گاهی خونریزی معده می‌شود.
- ضداسیدها داروهایی هستند که برای جلوگیری از درد، التهاب و خونریزی معده توسط پزشکان تجویز می‌شوند. شیر منیزی یکی از رایج‌ترین آن‌ها است که شامل منیزیم هیدروکسید می‌شود.
- داروهای ضد اسید، خاصیت بازی داشته و با ورود به معده، سبب خنثی کردن اسید معده (HCl) و افزایش مقدار pH محتویات معده می‌شوند.
- مواد مؤثر موجود در ضداسیدهای مختلف، شامل منیزیم هیدروکسید ($Mg(OH)_2$)، آلومینیم هیدروکسید ($Al(OH)_3$) و سدیم هیدروژن کربنات (جوش شیرین یا $NaHCO_3$) می‌شود. این مواد براساس معادله‌های زیر با اسید معده واکنش می‌دهند:



- برای افزایش قدرت پاک‌کردن چربی‌ها، به شوینده‌ها جوش شیرین می‌افزایند. جوش شیرین (سدیم هیدروژن کربنات) نوعی ترکیب بازی بوده و باعث افزایش خاصیت بازی شوینده‌ها می‌شود.
- رنگ گل ادریسی به میزان pH خاک بستگی دارد. این گل در محیط اسیدی به رنگ آبی و در محیط بازی به رنگ سرخ شکوفا می‌شود.

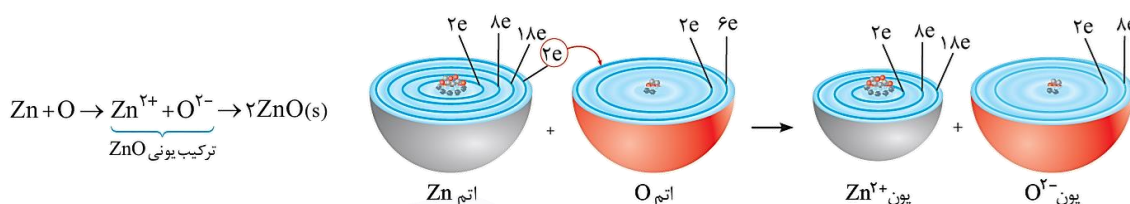
فصل دوم شیمی دوازدهم

- الکتروشیمی شاخه‌ای از دانش شیمی است که در بهبود خواص مواد و تأمین انرژی نقش بسزایی دارد.
- پدیده‌های طبیعی همچون تندر و آذرخش از ماهیت الکتریکی ماده سرچشمه می‌گیرند و شامل داد و ستد الکترون می‌شوند. در این پدیده‌ها، بخشی از انرژی آزاد شده در قالب انرژی الکتریکی مبادله می‌شود.
- پرکاربردترین شکل انرژی در به کارگیری فناوری‌های مختلف، انرژی الکتریکی است. در نمودار زیر به بررسی برخی از قلمروهای الکتروشیمی می‌پردازیم:



- باتری یکی از فرآورده‌های مهم صنعتی است که در محل مورد نیاز با انجام واکنش‌های شیمیایی، الکتریسیته تولید می‌کند. برای نمونه تأمین انرژی الکتریکی برای تنظیم کننده ضربان قلب، سمعک، تلفن همراه، اندام مصنوعی، دوربین دیجیتال، رایانه قابل حمل و خودروی الکتریکی به باتری وابسته است. در ساختار باتری‌ها، بخشی از انرژی شیمیایی ذخیره شده در مواد در قالب انرژی الکتریکی آزاد می‌شود.
- باتری، مولدی است که در آن واکنش‌های شیمیایی رخ می‌دهد تا بخشی (نه همه) از انرژی شیمیایی مواد به انرژی الکتریکی تبدیل شود. انرژی حاصل از این فرایند، می‌تواند یک موتور الکتریکی را به حرکت در بیاورد.
- اکسیژن نافلزی فعال است که با اغلب فلزها واکنش می‌دهد و آن‌ها را به اکسید فلز تبدیل می‌کند، در حالیکه با برخی فلزها مانند طلا و پلاتین واکنش نمی‌دهد. اتم اکسیژن حین واکنش با فلزات ۲ عدد الکترون از فلز گرفته و به لایه آخر خود اضافه می‌کنند و به آرایش پایدار می‌رسند. طی این فرایند، مولکول اکسیژن به یون اکسید تبدیل می‌شود.

- روی، از جمله فلزهایی است که با اکسیژن واکنش می‌دهد. تصویر زیر نمایی از این واکنش را نشان می‌دهد:



- در واکنش‌های الکتروشیمیایی، **گرفتن الکترون** را **کاهش** و **از دست دادن الکترون** را **اکسایش** می‌نامیم. در این شرایط، گونه‌ای که الکترون از دست می‌دهد را **کاهنده** و گونه‌ای که الکترون دریافت می‌کند را **اکسنده** می‌نامیم. **آند** الکترودی است که در آن نیم واکنش اکسایش انجام شده و **کاتد** الکترودی است که در آن نیم واکنش کاهش رخ می‌دهد.

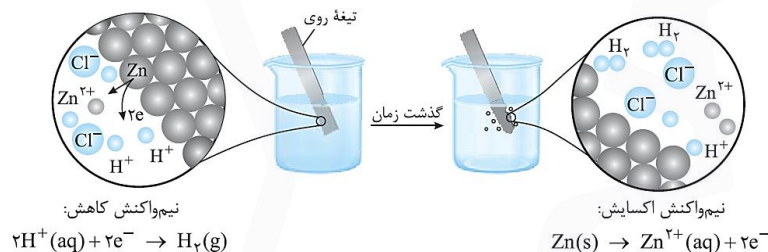
- در جدول زیر به بررسی خلاصه‌ای از ویژگی‌های گونه کاهنده و اکسنده می‌پردازیم:

کاهنده	اکسنده
الکترون از دست می‌دهد.	الکترون می‌گیرد.
اکسید می‌شود.	کاهش می‌یابد.
گونه دیگر را کاهش می‌دهد.	گونه دیگر را اکسید می‌کند.

- شیمی‌دان‌ها هریک از فرایندهای گرفتن و از دست دادن الکترون را با یک نیم‌واکنش نمایش می‌دهند. توجه داریم که هر نیم واکنش باید از لحاظ جرم (تعداد اتم‌ها) و بار الکتریکی موازنه باشد.

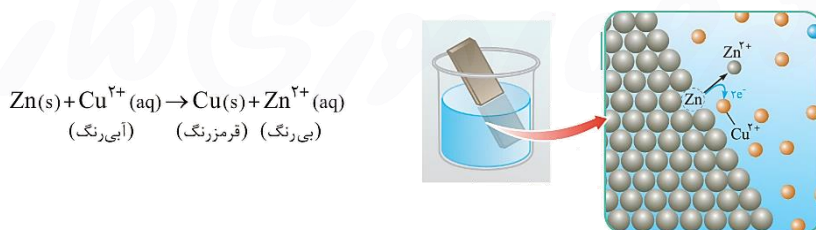
- اغلب فلزها در واکنش با نافلزها تمایل دارند یک یا چند الکترون خود را به نافلزها داده و ضمن اکسایش به کاتیون تبدیل شوند. نافلزها نیز با گرفتن یک یا چند الکترون کاهش یافته و به آنیون تبدیل می‌شوند. از این رو فلزها اغلب کاهنده و نافلزها اغلب اکسنده هستند.

- اغلب فلزها در واکنش با محلول اسیدها، گاز هیدروژن و نمک تولید می‌کنند. تصویر زیر، نمایی از این واکنش را نشان می‌دهد:



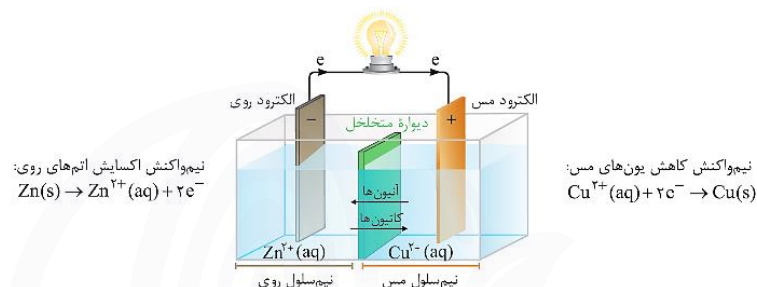
- در گذشته برای عکاسی از فرایند سوختن منیزیم به عنوان منبع نور استفاده می‌شده است. در این واکنش، فلز منیزیم با نور خیره‌کننده‌ای در $\text{O}_2(\text{g})$ می‌سوزد و به منیزیم اکسید تبدیل می‌شود. در واکنش مورد نظر، منیزیم **کاهنده** و **اکسیژن اکسنده** است.

- تمایل فلزها برای از دست دادن الکترون در محلول‌های آبی یکسان نیست. به دیگر سخن، فلزها قدرت کاهندگی متفاوتی دارند. برای نمونه فلز روی کاهنده‌تر از مس است. در واکنش‌هایی از این دست که به صورت خودبه‌خودی انجام می‌شوند، مخلوط واکنش گرم‌تر می‌شود زیرا سامانه واکنش بخشی از انرژی خود را به شکل گرما به محیط می‌دهد. به عنوان مثال، واکنش میان محلول مس (II) سولفات با فلز روی به صورت زیر است:



- برای ایجاد جریان الکتریکی باید الکترون‌ها را از یک مسیر معین عبور داد یا از نقطه‌ای به نقطه دیگر جابه‌جا نمود. بنابراین برای استفاده از جریان الکتریکی حاصل از واکنش‌های اکسایش - کاهش، از سلول‌های گالوانی استفاده می‌کنیم.

- سلول گالوانی، سلولی است که شامل دو نیم‌سلول می‌شود. به طور مثال، در سلول روی - مس، تیغه روی درون محلولی از روی سولفات (نیم سلول روی) و تیغه مس درون محلولی از مس (II) سولفات (نیم سلول مس) قرار می‌گیرد. در این سلول، روی نقش کاهنده و مس نقش اکسنده را دارد. نیم سلول‌ها توسط سیم (مدار خارجی) به یکدیگر وصل می‌شوند و الکترون‌ها در مدار بیرونی جابه‌جا شده و جریان الکتریکی ایجاد می‌شود. تصویر زیر، نمایی از این سلول را نشان می‌دهد:



- در سلول گالوانی روی - مس، پس از مدتی جرم تیغه روی کم و جرم تیغه مس زیاد شده، زیرا به دلیل بیشتر بودن واکنش‌پذیری روی نسبت به مس، در طی واکنش، هر اتم روی دو الکترون از دست می‌دهد و به شکل یون روی وارد محلول می‌شود. الکترون‌های تولید شده در سطح الکتروود روی، از طریق مدار بیرونی (سیم رابط) به سوی کاتد (الکتروود مس) روانه می‌شوند. هر یون مس موجود در محلول کاتدی، این دو الکترون را می‌گیرد و به شکل اتم مس بر سطح تیغه می‌نشیند و باعث افزایش جرم تیغه می‌شود.

- برای ادامه واکنش اکسایش - کاهش در سلول‌های گالوانی، محلول‌های موجود در دو نیم‌سلول باید از نظر بار الکتریکی خنثی بمانند. بین دو نیم‌سلول موجود در یک سلول گالوانی، یک دیواره متخلخل وجود دارد که از طریق آن، آنیون موجود در کاتد به سمت آند می‌رود و کاتیون موجود در محلول آند به سمت کاتد می‌رود. این فرایند، باعث خنثی شدن بار الکتریکی تجمع یافته در هر نیم‌سلول می‌شود.

- در سلول گالوانی، به دلیل تولید الکترون در سمت الکتروود آندی، این الکتروود را با علامت منفی نشان می‌دهند.

- اگر در سلول گالوانی به جای لامپ، ولت سنچ قرار گیرد، ولتاژی که ولت سنچ نشان می‌دهد، اختلاف پتانسیل میان دو نیم سلول است. کمیتی که به نیروی الکتروموتوری معروف است و با emf نمایش داده می‌شود.

- هر سلول گالوانی ولتاژ معینی دارد. در این سلول‌ها با تغییر هر یک از اجزای سلول، ولتاژ تغییر می‌کند.

- اندازه‌گیری پتانسیل یک نیم‌سلول به طور جداگانه ممکن نیست و این کمیت باید به طور نسبی اندازه‌گیری شود.

- برای مقایسه پتانسیل الکتریکی نیم‌سلول‌های مختلف، نیم‌سلول استاندارد هیدروژن (SHE) را به عنوان مینا انتخاب کردند و پتانسیل آن را برابر با صفر در نظر گرفتند و با تشکیل سلول گالوانی از هر نیم سلول با SHE ، توانستند پتانسیل استاندارد بسیاری از نیم‌سلول‌ها را اندازه‌گیری کنند.

- اندازه‌گیری‌های پتانسیل استاندارد نیم‌سلول‌ها در شرایط روبرو انجام شده است: ۱- دمای $25^{\circ}C$ ۲- فشار ۱ اتمسفر ۳- غلظت یک مولار برای محلول الکترولیت‌ها. در این شرایط، پتانسیل اندازه‌گیری شده را پتانسیل کاهشی استاندارد نیم‌سلول می‌نامند و با E° نمایش می‌دهند.

- همانطور که مشخص است، رتبه بندی فلزها بر اساس کاهش مقدار E° آن‌ها در یک جدول، سری الکتروشیمیایی نامیده می‌شود.

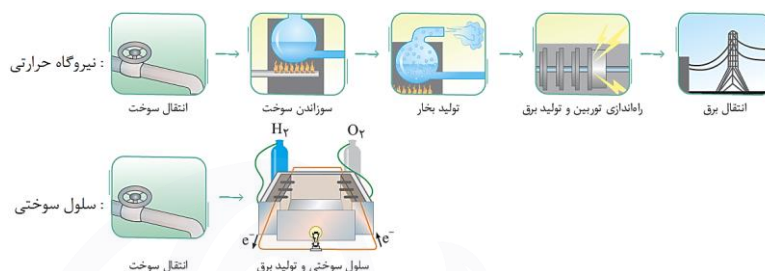
- برای ایجاد یک سلول گالوانی، عنصری با E° بیش‌تر، نقش کاتد و عنصری با E° کمتر، نقش آند را ایفا می‌کند و مقدار emf (نیروی الکتروموتوری) سلول نیز طبق رابطه‌ی روبرو محاسبه می‌شود:

- در فناوری ساخت باتری‌های جدید، نقش فلز لیتیم پررنگ است زیرا لیتیم در میان فلزها، کمترین چگالی و پایین‌ترین مقدار E° را دارد. این ویژگی‌های لیتیم سبب شد راه برای ساخت باتری‌های سبک‌تر، کوچک‌تر و با توانایی ذخیره بیش‌تر انرژی هموار شود.

- دسته‌ای از باتری‌های لیتیومی آنهایی هستند که در تلفن و رایانه همراه به کار می‌روند و می‌توان آنها را بارها شارژ کرد. باتری‌های لیتیومی از نوع دگمه‌ای نیز در شکل‌ها و اندازه‌های گوناگون به کار می‌روند.

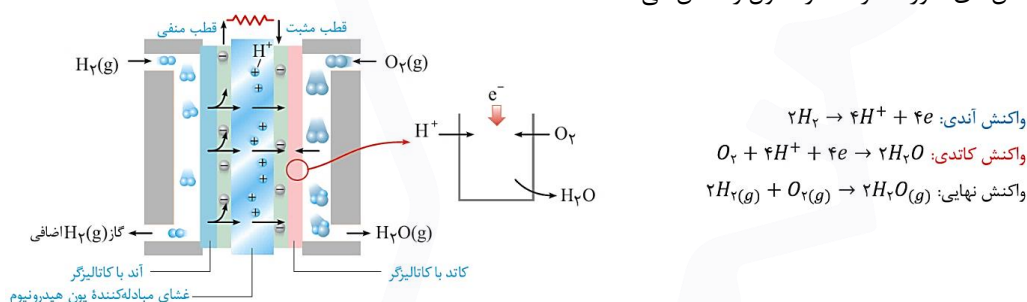
- باتری روی - نقره از جمله باتری‌های دگمه‌ای است که در آن واکنش: $Zn(s) + Ag_2O(s) \rightarrow ZnO(s) + 2Ag(s)$ انجام می‌شود. در این واکنش، فلز Zn نقش آند را داشته و Ag نیز نقش کاتد را دارد.

- سوخت‌های فسیلی رایج‌ترین سوخت برای خودروها و نیروگاه‌ها به شمار می‌روند. در هر یک از روش‌های زیر، مراحل تبدیل انرژی شیمیایی موجود در یک سوخت به انرژی الکتریکی نشان داده شده است.



- در روش اول اتلاف انرژی به روش گرما بیشتر است زیرا برخلاف روش دوم، انرژی شیمیایی مستقیماً به انرژی الکتریکی تبدیل نمی‌شود. روند تبدیل انرژی در روش اول به صورت (شیمیایی) ← گرمایی ← گرمایی ← مکانیکی ← الکتریکی) است؛ در صورتی که در روش دوم انرژی شیمیایی مستقیماً به انرژی الکتریکی تبدیل می‌شود.

- سوزاندن گاز H_2 در موتور درون‌سوز، بازدهی نزدیک به ۲۰٪ دارد در حالی که اکسایش آن در سلول سوختی بازدهی را تا ۳ برابر افزایش می‌دهد. سلول سوختی نوعی سلول گالوانی است که شیمی‌دان‌ها برای گذر از تنگنای تأمین انرژی و کاهش آلودگی محیط زیست پیشنهاد می‌دهند. این سلول‌ها افزون بر کارایی بیشتر، می‌توانند ردپای کربن‌دی‌اکسید را کاهش دهند به طوری که دوستدار محیط‌زیست بوده و منبع انرژی سبز به شمار می‌روند. فرایند تولید انرژی در این سلول‌ها تا زمانی ادامه پیدا می‌کند که تزریق سوخت به سلول در حال انجام شدن باشد. رایج‌ترین سلول سوختی، سلول هیدروژن - اکسیژن است. دستگاهی که در آن گاز هیدروژن با گاز اکسیژن به صورت کنترل شده واکنش می‌دهد و بخش قابل توجهی از انرژی شیمیایی به انرژی الکتریکی تبدیل می‌شود. در این سلول گاز هیدروژن به عنوان سوخت پیوسته وارد می‌شود. معادله‌های زیر، واکنش‌های صورت گرفته در سلول را نشان می‌دهند:



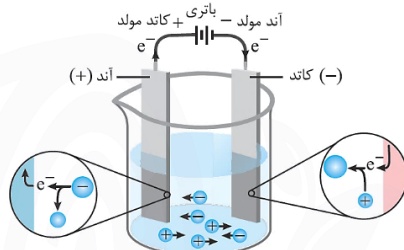
- چون گونه‌های شرکت کننده در برخی از واکنش اکسایش - کاهش، مولکول‌های خنثی هستند و شمار الکترون‌های ظرفیت اتم‌ها در واکنش تغییر نمی‌کند، شیمی‌دان‌ها با معرفی عدد اکسایش، راه حل مناسبی برای مشخص کردن گونه‌های اکسند و کاهنده، مشخص کردند. افزایش عدد اکسایش به معنای از دست دادن الکترون و فرایند اکسایش است، در حالی که کاهش عدد اکسایش به معنای به دست آوردن الکترون و فرایند کاهش است. عدد اکسایش هیدروژن و اکسیژن به حالت آزاد برابر با صفر است. عدد اکسایش دیگر عناصر نیز به حالت آزاد برابر با صفر خواهد بود. این در حالی است که عدد اکسایش یون‌های تک اتمی برابر با بار الکتریکی آن‌ها است. فلوئور نافلزترین عنصر جدول تناوبی است و عدد اکسایش آن در ترکیب با سایر عناصر برابر ۱- می‌شود. بعد از فلوئور، اکسیژن نافلزترین عنصر جدول تناوبی است؛ پس به جز فلوئور، عدد اکسایش اتم‌های اکسیژن در ترکیب با سایر عناصر برابر ۲- است. برای مثال، عدد اکسایش اکسیژن در ترکیب با گوگرد، منیزیم، کلسیم، سیلیسیم و ... همواره برابر با ۲- است. جدول زیر، موارد استثنای عدد اکسایش اتم‌های اکسیژن را نشان می‌دهد:

گونه شیمیایی	OF_2	O_2F_2	HOF	O_2^-	O_2^{2-}	H_2O_2
عدد اکسایش اکسیژن	+۲	+۱	۰	-۰/۵	-۱	-۱

- نوع دیگری از سلول‌های الکتروشیمیایی وجود دارند که با اعمال یک ولتاژ بیرونی و عبور جریان الکتریکی از درون محلول الکترولیت، می‌توان یک واکنش شیمیایی را در خلاف جهت طبیعی پیش راند. این سلول‌ها به سلول‌های الکترولیتی معروف هستند. در سلول‌های الکترولیتی آند به قطب مثبت باتری (منبع انرژی) و کاتد به قطب منفی آن متصل می‌شود.

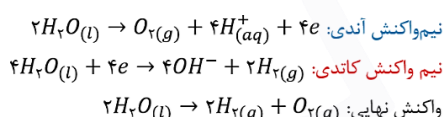
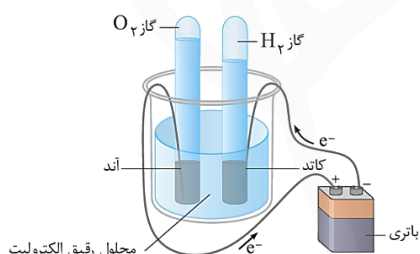
- در سلول گالوانی، انجام یک واکنش اکسایش - کاهش منجر به تولید انرژی الکتریکی شده اما در سلول الکترولیتی با اعمال ولتاژ بیرونی معین، یک واکنش اکسایش - کاهش دلخواه انجام می‌شود.

- در سلول الکترولیتی، دو الکترود درون یک الکترولیت قرار دارند. الکترودهای این سلول‌ها اغلب (نه همیشه!) گرافیتی هستند. در این سلول‌ها، کاتد الکترودی است که به قطب منفی باتری متصل بوده و آند الکترودی است که به قطب مثبت باتری متصل شده و الکترولیت نیز محتوی یون‌هایی است که آزادانه جابه‌جا می‌شوند. تصویر زیر، نمایی از این سلول‌ها را نشان می‌دهد:

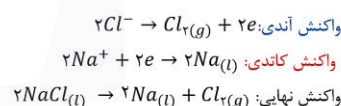
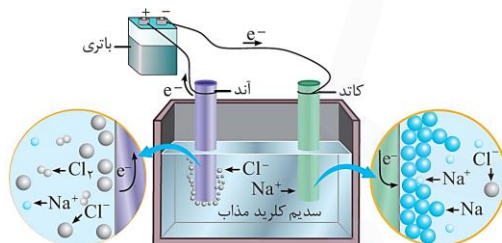


- الکترولیت، یک محلول یونی یا یک ترکیب یونی مذاب است. هنگامی که به سلول‌های الکترولیتی ولتاژ معینی اعمال شود، یون‌ها به‌سوی الکترود با بار ناهمنام حرکت می‌کنند؛ به طوری که کاتیون‌ها به سوی کاتد و آنیون‌ها به سوی آند روانه می‌شوند تا به سطح الکترودها برسند و در نیم واکنش اکسایش و کاهش شرکت کنند.

- برقکافت آب یک نمونه از واکنش‌هایی است که در سلول‌های الکترولیتی انجام می‌شود. واکنش‌های انجام شده در آن به صورت زیر است:



- در سلول برقکافت آب، نیم‌واکنش کاتدی محیط را قلیایی می‌کند و نیم واکنش آندی سبب اسیدی شدن محیط می‌شود. برقکافت $NaCl(l)$ نمونه‌ی دیگری از کاربردهای سلول الکترولیتی است. تصویر زیر، نمایی از سلول برقکافت سدیم کلرید را نشان می‌دهد:

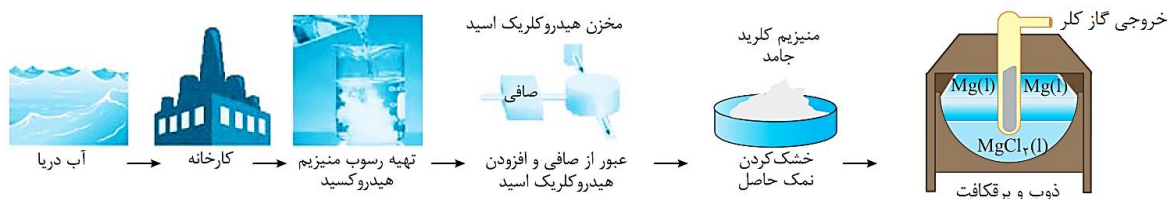


- همان طور که در شکل مشاهده می‌کنید، برقکافت $NaCl(l)$ شامل ۲ نیم‌واکنش آندی و کاتدی مجزا است.

- فلز سدیم یک کاهنده قوی است که در طبیعت به حالت آزاد یافت نمی‌شود. این عنصر در ترکیب‌های طبیعی و گوناگون خود تنها به شکل یون سدیم وجود دارد. یون‌های سدیم بسیار پایدارتر از اتم‌های آن هستند و به همین دلیل، برای تهیه فلز سدیم باید انرژی زیادی مصرف کرد.

- سدیم کلرید خالص در دمای $801^\circ C$ ذوب می‌شود. افزودن مقداری کلسیم کلرید ($CaCl_2$) به این ماده، دمای ذوب را تا حدود $587^\circ C$ پایین می‌آورد. بر این اساس، می‌توان گفت برای مصرف انرژی کمتر، از کلسیم کلرید استفاده می‌کنیم.

- فلز منیزیم را در صنعت از برقکافت منیزیم کلرید مذاب تهیه می‌کنند. شکل زیر مراحل تهیه فلز منیزیم را از آب دریا نشان می‌دهد:



- سالانه صدها میلیون تن از فلزهای گوناگون به ویژه آهن برای ساخت اسکله نفتی، اسکلت ساختمان، پل، کشتی، لوکوموتیو و راه آهن، خودرو و هواپیما مصرف می‌شود. هنگامی که فلزها در مجاورت با هوا قرار می‌گیرند، اغلب اکسایش یافته و به شکل اکسید در می‌آیند.

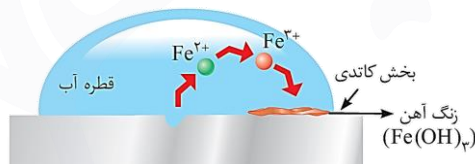
- در فلزهایی مانند آهن، با ادامه فرایند اکسایش، لایه‌ای ترد و شکننده تشکیل می‌شود که به تدریج فرو می‌ریزد. در این حالت می‌گویند فلز خورده شده است. به فرایند ترد شدن، خرد شدن و فرو ریختن فلزها بر اثر واکنش اکسایش - کاهش خوردگی گفته می‌شود. زنگ زدن آهن و ایجاد زنگار سبز بر سطح فلز مس، نمونه‌هایی از فرایند خوردگی هستند.

- پتانسیل کاهشی اغلب فلزها منفی بوده اما پتانسیل کاهشی اکسیژن مثبت است. با این توصیف، اکسیژن به عنوان اکسنده تمایل دارد با گرفتن الکترون از فلزها، آن‌ها را اکسید کند. هنگامی که وسایل آهنی در هوای مرطوب قرار گیرند، یک واکنش اکسایش - کاهش انجام می‌شود.

- واکنش‌های انجام گرفته در فرایند خوردگی آهن به صورت زیر است:



- با توجه به معادله واکنش‌های بالا، برای تولید زنگ آهن، آهن ابتدا به $Fe(OH)_{2(s)}$ تبدیل می‌شود و سپس به دلیل واکنش پذیری بالای اکسیژن، این ترکیب مجدداً با اکسیژن و آب دوباره واکنش داده و به $Fe(OH)_{3(s)}$ تبدیل می‌شود. تصویر زیر، نمایی از فرایند خوردگی آهن را نشان می‌دهد:



- فلزهای نجیبی مانند طلا و پلاتین حتی در محیط‌های اسیدی اکسایش نمی‌یابند، اما وسایل آهنی در هوای مرطوب دچار خوردگی می‌شوند. توجه داریم که خوردگی فلزات در محیط اسیدی بیشتر رخ می‌دهد.

- قدرت اکسندگی اکسیژن در محیط‌های اسیدی افزایش می‌یابد؛ پس محیط اسیدی باعث افزایش سرعت فرایند خوردگی آهن می‌شود.

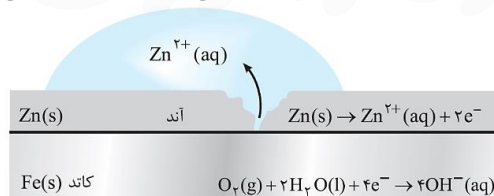
- ساده‌ترین راه برای جلوگیری از خوردگی آهن، ایجاد یک پوشش محافظ است تا از رسیدن اکسیژن و رطوبت به آهن جلوگیری کند. پوششی که با روش‌هایی مانند رنگ زدن، قیراندود کردن و روکش کردن ایجاد می‌شود.

- هنگامی که دو فلز در هوای مرطوب با هم در تماس باشند، برای اکسایش یافتن با یکدیگر رقابت می‌کنند. بدیهی است که فلز کاهنده‌تر در این رقابت برنده می‌شود. پس یکی از راهکارهای حفاظت از یک فلز، استفاده از فلزی کاهنده‌تر برای برنده شدن در رقابت برای از دست دادن الکترون است. به چنین فرایندی، به اصطلاح حفاظت کاتدی گفته می‌شود.

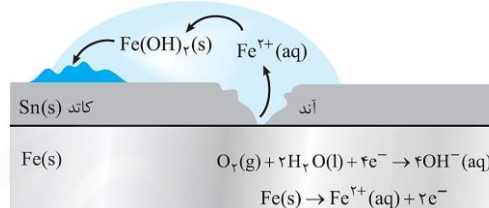
- در زندگی روزمره، نمونه‌های مختلفی از حفاظت فلز آهن به وسیله‌ی منیزیم دیده می‌شود؛ به طور مثال در بدنه‌ی کشتی و یا لوله‌های نفتی!

- پتانسیل کاهشی استاندارد روی کمتر از آهن است. بر این اساس، می‌توان گفت فلز روی از دیگر عناصری است که می‌تواند از آهن حفاظت کند. فداکاری فلز روی برای حفاظت از آهن سبب شد تا در صنعت، ورقه‌های آهنی با پوششی از فلز روی تهیه شود. این نوع آهن به آهن گالوانیزه (آهن سفید) معروف است. آهن گالوانیزه در ساخت تانکر آب و کانال کولر به کار می‌رود.

- هنگامی که خراشی در سطح آهن گالوانیزه پدید می‌آید، هر دو فلز آهن و روی در مجاورت اکسیژن و رطوبت قرار می‌گیرند و برای اکسایش رقابت می‌کنند. بدیهی است که فلز روی به دلیل داشتن E° کمتر، اکسید شده و آهن محافظت می‌شود. تصویر زیر نمایی از این فرایند را نشان می‌دهد:



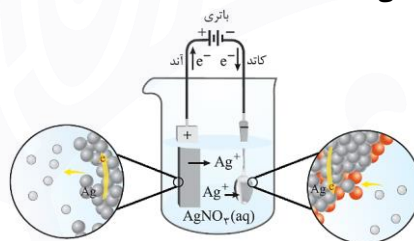
- اگر ورقه‌ای آهنی با لایه نازکی از قلع پوشیده شود، به این نوع آهن، حلی می‌گویند. از ورقه‌های حلی برای ساختن قوطی‌های روغن نباتی و کنسرو استفاده می‌شود. چون پتانسیل کاهش استاندارد آهن کمتر از قلع است، در اثر ایجاد خراش در سطح این نوع آهن، فلز آهن خورده می‌شود. توجه داریم که قوطی‌هایی از جنس حلی در اثر خراش زودتر و آسان‌تر دچار خوردگی می‌شوند. تصویر زیر، نمایی از فرایند خوردگی حلی را نشان می‌دهد:



- چون فلز روی با اسید موجود در برخی غذاها واکنش می‌دهد، برخلاف حلی از آهن گالوانیزه نمی‌توان برای ساخت ظروف بسته‌بندی غذا استفاده کرد.

- در زندگی روزانه از وسایل و ابزار گوناگونی مانند وسایل آشپزخانه، شیرآلات ساختمان و دستگیره در استفاده می‌شود که فلز اصلی سازنده آن‌ها آهن یا مس است. برای جلوگیری از خوردگی این فلزات، سطح اغلب این وسایل را با فلزهایی مانند نقره، کروم، نیکل و طلا می‌پوشانند.

- پوشاندن سطح یک فلز با لایه نازکی از فلزهای ارزشمند و مقاوم در برابر خوردگی، آبکاری نام دارد. فرایند آبکاری در سلول‌های الکترولیتی انجام می‌شود. شکل زیر آبکاری یک قاشق فولادی را با فلز نقره نشان می‌دهد:



- در سلول الکترولیتی نشان داده شده، تیغه نقره در نقش آند و قاشق فلزی نیز در نقش کاتد است.

- در این سلول، جسمی که به عنوان کاتد است باید رسانای جریان برق باشد و محلول الکترولیت برای آبکاری نیز باید دارای یون‌های فلزی باشد که قرار است لایه نازکی از آن روی جسم قرار بگیرد. به طور مثال، در مثال بالا، محلول حاوی یون Ag⁺ است.

- در فرایند آبکاری، آن جسمی که قرار است توسط گونه‌ی دیگر آبکاری شود، به قطب منفی باتری متصل می‌شود. طی این فرایند، اگر جنس تیغه‌ی آندی مشابه به جنس کاتیون‌های موجود در الکترولیت باشد، غلظت کاتیون در الکترولیت ثابت باقی می‌ماند.

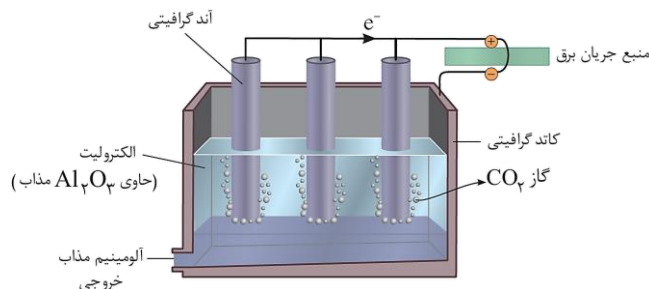
- در سلول مربوط به آبکاری، همانند سلول‌های گالوانی، جرم تیغه متصل به آند به مرور زمان کاهش پیدا می‌کند (تیغه آندی لاغرتر می‌شود) و جرم جسم متصل به کاتد نیز به مرور زمان افزایش پیدا می‌کند.

- آلومینیم، همانند سدیم و منیزیم، در دسته فلزهای فعال قرار داشته و به همین خاطر، در طبیعت به حالت آزاد وجود ندارد و به شکل ترکیب با سایر عناصر یافت می‌شود.

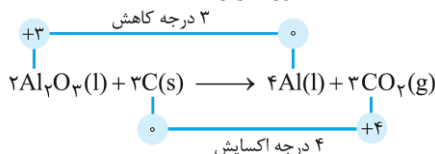
- از آلومینیم می‌توان برای ساخت وسایل گوناگونی بهره برد که برای مدت طولانی‌تری استحکام خود را حفظ می‌کنند. آلومینیوم فلزی فعال است که به سرعت در هوا اکسید می‌شود. این فلز با تشکیل لایه چسبنده و متراکم Al₂O₃ در سطح خود، از ادامه اکسایش جلوگیری می‌کند به طوری که لایه‌های زیرین برای مدت طولانی دست نخورده باقی می‌ماند و استحکام خود را حفظ می‌کند.

- برخی کاربردهای آلومینیم عبارت از استفاده در لوازم خانگی، هواپیما، کشتی، چرخ گوشت و قطعه‌ای از موتور خودرو هستند.

- فلز آلومینیم نقش کلیدی در صنایع گوناگون دارد و فناوری تولید آن بسیار ارزشمند است. آلومینیم همانند دیگر فلزهای فعال در طبیعت به شکل ترکیب یافت می‌شود؛ از این رو این فلز هم از برق‌کافت نمک‌های مذاب آن به دست می‌آید. رایج‌ترین روش استخراج فلز آلومینیم، به فرایند هال معروف است. تصویر زیر، نمایی از این فرایند را نشان می‌دهد:



- واکنش صورت گرفته در سلول برقکافت آلومینیم اکسید مذاب، به صورت زیر است:

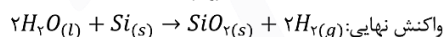
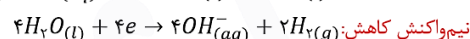
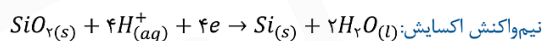
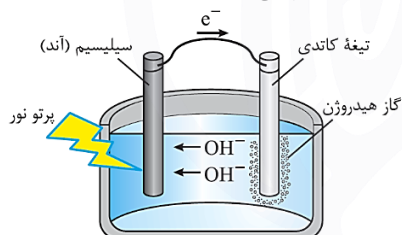


- در سلول مربوط به برقکافت آلومینیم اکسید مذاب، بدنه کربنی ظرف نقش کاتد را دارد (مکانی که نیم‌واکنش کاهش رخ می‌دهد). در این فرایند، یون آلومینیوم نقش اکسنده را داشته و تیغه‌های گرافیتی موجود در محلول نیز نقش کاهنده را دارد.

- با انجام شدن فرایند هال در یک سلول الکترولیتی، جرم تیغه‌های گرافیتی سازنده آند به مرور زمان کاهش پیدا می‌کند، پس برای ادامه کارکرد سلول، باید این تیغه‌های گرافیتی به صورت دوره‌ای تعویض شوند.

- فرایند هال به علت مصرف مقدار زیادی انرژی الکتریکی هزینه بالایی دارد، از این رو با بازیافت فلز آلومینیم می‌توان ضمن افزایش عمر یکی از مهم‌ترین منابع تجدیدنپذیر طبیعت، برخی از هزینه‌های تولید این فلز را کاهش داد.

- در برخی سلول‌های الکتروشیمیایی، برای انجام واکنش اکسایش - کاهش، می‌توان از نور بهره برد. این سلول‌ها را سلول نور الکتروشیمیایی می‌نامیم. به طور مثال نمونه‌ای از آن‌ها برای تهیه گاز هیدروژن از آب به کار می‌رود که در آن نیم‌واکنش‌های زیر انجام می‌شود:



- این سلول دارای emf ، بازده و سرعت انجام کمی است اما به دلایل زیست‌محیطی، از آن در تهیه گاز هیدروژن استفاده می‌شود.

فصل سوم شیمی دوازدهم

- خاک رس مخلوطی از مواد گوناگون است. این خاک، مخلوطی از اکسیدهای گوناگون را در برمی‌گیرد. جدول زیر درصد جرمی مواد سازنده نوعی خاک رس را نشان می‌دهد که از یک معدن طلا استخراج شده است.

ماده	SiO_2	Al_2O_3	H_2O	Na_2O	Fe_2O_3	MgO	Au و دیگر مواد
ترتیب فراوانی	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷

- سرخ فام بودن این نوع خاک رس به دلیل وجود Fe_2O_3 در ساختار آن است.

- فراوان‌ترین عناصر سازنده کره زمین به ترتیب O ، Si هستند. از طرفی، فراوان‌ترین عناصر سازنده پوسته جامد زمین به ترتیب O و Si هستند. به همین خاطر است که ترکیب‌های گوناگون دو عنصر O و Si ، بیش از ۹۰٪ پوسته جامد زمین را تشکیل می‌دهند. بر این اساس، می‌توان گفت سیلس (SiO_2) فراوان‌ترین اکسید در این لایه از سیاره ما به شمار می‌رود.

- کوارتز از جمله نمونه‌های خالص و ماسه از جمله نمونه‌های ناخالص سیلیس است. در واقع، ماسه نمونه‌ای از سیلیس به همراه ناخالصی است.

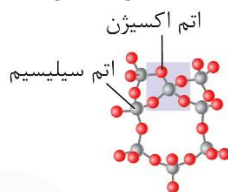
- سیلیس خالص به دلیل داشتن خواص نوری ویژه در ساخت منشورها و عدسی‌ها به کار می‌رود.

- پختن نان سنگک بر روی دانه‌های درشت سنگ را می‌توان نشانه‌ای از مقاومت گرمایی بالای سیلیس دانست.

- مواد کووالانسی مجموعه‌ای از اتم‌های بسیار هستند که باهم پیوندهای اشتراکی داشته و یک شبکه‌ای غول‌آسا را ایجاد می‌کنند. برای مثال، سیلیس، سیلیسیم، گرافیت و الماس از جمله جامدهای کووالانسی هستند. مواد کووالانسی به دلیل وجود پیوند اشتراکی میان همه‌ی اتم‌های خود، نسبت به مواد مولکولی دارای نقطه ذوب بالاتر و درجه سختی بیش‌تری هستند.

- مولکول‌های H_2O در ساختار یخ، در یک آرایش منظم و سه‌بعدی با تشکیل حلقه‌های شش گوشه، شبکه‌ای همانند کندوی زنبور عسل با استحکام ویژه پدید می‌آورند. در این ساختار، هر اتم اکسیژن به دو اتم هیدروژن با پیوند اشتراکی و به دو اتم هیدروژن از مولکول‌های دیگر با پیوندهای هیدروژنی متصل است. این در حالی است که در ساختار سیلیس، همه اتم‌ها (اتم‌های سیلیسیم و اکسیژن) با پیوندهای اشتراکی به یکدیگر متصل شده‌اند.

- سیلیس، شامل شمار بسیار زیادی از اتم‌های سیلیسیم و اکسیژن با پیوندهای اشتراکی $Si - O - Si$ بوده و دارای ساختاری به هم پیوسته و غول آسا است. ساختاری که دلیلی بر سختی بالا و دیرگداز بودن چنین موادی است. ساختار سیلیس به صورت زیر است:



- همه اعضای خانواده مواد کووالانسی از جمله الماس، گرافیت و سیلیس، در دما و فشار اتاق به حالت جامد هستند؛ بنابراین، مواد مورد نظر را با نام جامد کووالانسی نیز می‌خوانند.

- عنصرهای اصلی سازنده جامدهای کووالانسی در طبیعت، کربن و سیلیسیم هستند. از این دو عنصر تاکنون یون تک‌اتمی در هیچ ترکیبی شناخته نشده است، زیرا اتم‌های C و Si با تشکیل پیوندهای اشتراکی به آرایش الکترونی هشت‌تایی می‌رسند. البته، اتم‌های سیلیسیم و کربن در ساختار برخی از یون‌های چنداتمی مثل یون‌های کربنات و سیلیکات یافت می‌شوند.

- گرافیت و الماس از جمله دگرشکل‌های طبیعی کربن بوده که جزو جامدهای کووالانسی هستند. گرافیت به دلیل ساختار لایه‌ای خود، دارای چگالی کم‌تری نسبت الماس است. همچنین این ویژگی چند لایه بودن گرافیت، سبب شده که گرافیت در مقایسه با الماس درجه‌ی سختی کم‌تری داشته باشد و با کشیدن آن بر روی کاغذ، لایه‌هایی از گرافیت جدا شده و بر روی کاغذ باقی بمانند.

- تصاویر زیر، نمایی از ساختار گرافیت و الماس را نشان می‌دهد:



- گرافن، تک لایه‌ای از گرافیت است که در آن، اتم‌های کربن با پیوندهای اشتراکی، حلقه‌های شش گوشه تشکیل داده‌اند. چنین ساختاری با الگویی مانند کندوی زنبور عسل، استحکام ویژه‌ای دارد به طوری که مقاومت کششی آن حدود ۱۰۰ برابر فولاد است.

- برای ذوب‌کردن یا خردکردن سیلیس و سایر جامدهای کووالانسی، باید بر پیوندهای اشتراکی بین اتم‌های موجود در این مواد غلبه کنیم. بر این اساس، جامدهای کووالانسی دیرگداز بوده و علاوه بر سختی زیاد، نقطه ذوب بالایی دارند.

- سیلیسیم در طبیعت به حالت خالص یافت نمی‌شود و به طور عمده به شکل سیلیس (SiO_2) وجود دارد. در واقع چون آنتالپی پیوند $Si - O$ بزرگ‌تر از آنتالپی پیوند $Si - Si$ است، یک نمونه از سیلیس پایداری بیشتری در مقایسه با سیلیسیم خالص دارد و به همین خاطر، اغلب اتم‌های Si موجود در طبیعت در ساختار سیلیس جای می‌گیرند.

- ساختار الماس مانند ساختار سیلیسیم خالص است، اما نقطه ذوب این جامد کووالانسی بالاتر از نقطه ذوب سیلیسیم است. در واقع برای ذوب‌کردن الماس و سیلیسیم، باید بر نیروی پیوندهای $C - C$ و $Si - Si$ موجود در بلور این مواد غلبه کنیم و از آن‌جا که آنتالپی پیوند $C - C$ بیشتر از آنتالپی پیوند $Si - Si$ است، پس برای ذوب‌کردن الماس به انرژی بیشتری نیاز بوده و نقطه ذوب این ماده بالاتر است.

- سیلیسیم کربید با فرمول شیمیایی SiC ، یک ساینده ارزان‌قیمت است که در دسته جامدهای کووالانسی قرار می‌گیرد. سیلیسیم کربید، ساختاری مشابه الماس و سیلیسیم دارد و از آن در تهیه سنباده استفاده می‌شود.

- به موادی که در ساختار خود مولکول‌های مجزا دارند، مواد مولکولی می‌گویند. برای مثال، H_2O و CO_2 از جمله مواد مولکولی هستند.

- اغلب ترکیب‌های آلی جزو مواد مولکولی هستند. توجه داریم که واژه‌های شیمیایی رایج مانند ماده مولکولی، فرمول مولکولی و نیروهای بین مولکولی را صرفاً برای مواد مولکولی به کار می‌بریم و برای جامدهای کووالانسی و ترکیب‌های یونی، نمی‌توان از این واژه‌ها استفاده کرد.

- همه ترکیب‌هایی که در دما و فشار اتاق به حالت مایع و یا گاز هستند را در دسته مواد مولکولی قرار می‌دهیم.

- رفتار فیزیکی مواد مولکولی به نوع و قدرت نیروهای بین مولکولی آن‌ها بستگی دارد؛ در حالی که رفتار شیمیایی این مواد به طور عمده به پیوندهای اشتراکی (جفت الکترون‌های پیوندی) و جفت الکترون‌های ناپیوندی موجود در مولکول آن‌ها وابسته است.

- رفتارهای فیزیکی و شیمیایی مواد مولکولی به شرح جدول زیر هستند:

رفتار فیزیکی مواد	آنتالپی تبخیر - نقطه ذوب و جوش - چگالی مواد - حالت فیزیکی مواد (جامد، مایع، گاز)
رفتار شیمیایی مواد	آنتالپی سوختن - واکنش‌پذیری

- توزیع جفت الکترون‌های پیوندی و ناپیوندی در هر مولکول نقش مهمی در تعیین رفتار آن به ویژه در میدان الکتریکی دارد.

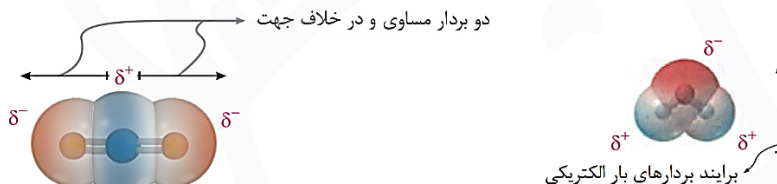
- ساده‌ترین مولکول‌ها، دواتمی هستند. مولکول‌هایی مانند H_2 و Cl_2 که از دو اتم یکسان تشکیل شده‌اند، مولکول دواتمی جور هسته نامیده می‌شوند. چنین مولکول‌هایی در میدان الکتریکی جهت گیری نمی‌کنند. به عبارت دیگر، گشتاور دو قطبی آنها برابر با صفر بوده و مولکول‌های ناقطبی هستند. نقشه پتانسیل الکترواستاتیکی این مولکول‌ها به صورت زیر است:



- مولکول‌های دواتمی مانند HCl ، HF و NO ، مولکول دواتمی ناجور هسته بوده و قطبی هستند. برای مثال، نقشه پتانسیل الکترواستاتیکی مولکول‌های هیدروژن کلرید به صورت زیر است:



- یکی از عواملی که می‌تواند تقارن و توزیع یکنواخت بارهای الکتریکی را در مولکول‌های چند اتمی به هم بزند، وجود جفت الکترون‌های ناپیوندی روی اتم مرکزی است. هر مولکولی که اتم مرکزی آن دارای جفت الکترون ناپیوندی باشد، حتماً قطبی خواهد بود.
- در یک مولکول، در صورتی که برآیند حاصل از بارهای جزئی مثبت و منفی صفر شود، آن مولکول ناقطبی است و در غیر این صورت، آن مولکول قطبی است. به عنوان مثال، مولکول آب قطبی و مولکول کربن دی‌اکسید ناقطبی است. به ساختارهای زیر توجه کنید:



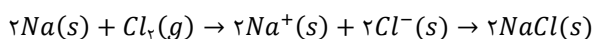
- مواد قطبی دارای حداقل یکی از شروط مقابل هستند: ۱- اتصال دو اتم ناهم‌جور به یکدیگر ۲- وجود جفت الکترون ناپیوندی روی اتم مرکزی ۳- اتصال اتم‌هایی از عناصر متفاوت به اتم مرکزی
- کلروفرم ($CHCl_3$)، برخلاف کربن‌تتراکلرید (CCl_4)، به دلیل اتصال اتم مرکزی آن به اتم‌های متفاوت، یک ماده‌ی قطبی است.
- دی‌متیل‌اتر (C_2H_6O)، یک ترکیب قطبی است، در حالی که پروپان (C_3H_8)، همانند سایر هیدروکربن‌ها، یک ترکیب ناقطبی است.
- در جدول زیر، به بررسی تعدادی از ترکیب‌های معرفی شده در کتاب درسی می‌پردازیم:

نام ترکیب	آب	کربن دی‌اکسید	اتین	کربونیل سولفید	گوگرد تری‌اکسید	آمونیاک
فرمول ترکیب	H_2O	CO_2	C_2H_2	SCO	SO_3	NH_3
نقشه‌ی پتانسیل الکترواستاتیکی						
نوع ساختار	سه اتمی غیرخطی (شکل V)	سه اتمی خطی	چهار اتمی خطی	سه اتمی خطی	چهار اتمی مسطح (مثلثی شکل)	چهار اتمی غیرمسطح
قطبی	✓	×	×	✓	×	✓
دلیل قطبیت	وجود جفت الکترون ناپیوندی بر روی اتم مرکزی	-	-	اتصال اتم‌های متفاوت به اتم مرکزی	-	وجود الکترون ناپیوندی روی اتم مرکزی

- مولکول‌هایی با گشتاور دو قطبی بزرگ‌تر از صفر، در میدان الکتریکی جهت‌گیری پیدا کرده و یک باریکه مایع از آن‌ها توسط میله باردار از مسیر خود منحرف می‌شود.

- از واکنش فلز سدیم با گاز کلر، جامد یونی سفید رنگی بر جای می‌ماند که همان نمک خوراکی است. نور زرد رنگ و گرمای زیاد آزاد شده در این واکنش نشان می‌دهد که واکنش مورد نظر بسیار گرماده است.

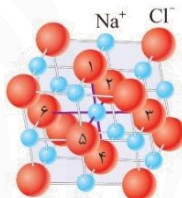
- معادله کلی واکنش تولید نمک خوراکی (سدیم کلرید) از عناصر سازنده آن به صورت زیر است:



- پس از دادوستد الکترون و تشکیل یون‌ها، میان یون‌های ناهمنام، نیروی جاذبه و میان یون‌های همنام، نیروی دافعه پدید می‌آید. اگر هر یک از یون‌ها همانند کره‌ای باردار باشد، انتظار می‌رود نیروهای جاذبه و دافعه از همه جهات به آن وارد شود. به عبارت دیگر، این نیروها به شمار معینی از یون‌ها محدود نشده بلکه میان همه آن‌ها و در فاصله‌های گوناگون وارد می‌شود.

- وجود سدیم کلرید و دیگر جامدهای یونی در طبیعت نشان می‌دهد که نیروهای جاذبه میان یون‌های ناهمنام بر نیروهای دافعه میان یون‌های همنام غالب است؛ آن چنان که شمار بسیار زیادی از یون‌ها به سوی یکدیگر کشیده می‌شوند. چنین روندی، دلیل پدید آمدن آرایش منظمی از یون‌ها در سه بعد و تشکیل شبکه بلوری جامد یونی است.

- شکل مقابل آرایش یون‌ها در شبکه بلوری سدیم کلرید را نشان می‌دهد:



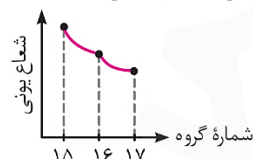
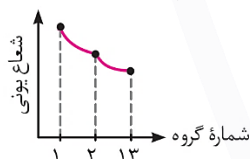
- به شمار نزدیک‌ترین یون‌های ناهمنام موجود پیرامون هر یون در شبکه بلور، عدد کوئوردیناسیون می‌گویند. به طور مثال با توجه به شکل مقابل، عدد کوئوردیناسیون یون‌های Na^+ و Cl^- در بلور سدیم کلرید برابر با ۶ است.

بار کاتیون \propto عدد کوئوردیناسیون کاتیون \equiv شمار نزدیک‌ترین یون‌های ناهمنام پیرامون هر کاتیون

بار آنیون \propto عدد کوئوردیناسیون آنیون \equiv شمار نزدیک‌ترین یون‌های ناهمنام پیرامون هر آنیون

- می‌دانیم که شعاع اتم‌ها در یک دوره با افزایش شماره گروه کاهش یافته و همچنین در یک گروه با افزایش شماره دوره، شعاع اتم‌ها افزایش می‌یابد.

- برای مقایسه‌ی شعاع یون‌هایی با تعداد الکترون یکسان (یون‌های هم‌الکترون)، یونی که تعداد پروتون کم‌تری در ساختار هسته خود دارد، شعاع بیش‌تری دارد، زیرا جاذبه هسته بر آخرین لایه الکترونی آن کم‌تر می‌شود. برای مثال، مقایسه شعاع چند یون هم‌الکترون به صورت زیر است:



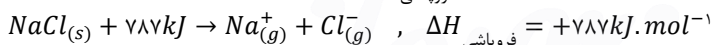
- به طور کلی آنیون‌ها اندازه‌ای بیشتر از اتم خنثی خود دارند و کاتیون‌ها در مقایسه با اتم خنثی خود، کوچک‌تر هستند.

- اگر هر یون را کره‌ای باردار در نظر بگیریم، چگالی بار هم ارز با نسبت بار به حجم آن یون است. چگالی بار، کمیتی است که می‌تواند برای مقایسه میزان برهمکنش میان یون‌ها به کار رود. نسبت ساده‌تری که می‌توان به کاربرد، نسبت مقدار بار یون به شعاع آن است.

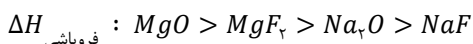
- نوع و بار یون‌ها و در نتیجه قدرت نیروی جاذبه میان آن‌ها در شبکه بلوری، کلیدی برای درک رفتار ترکیب‌های یونی است. هر چه نیروی جاذبه میان یون‌ها قوی‌تر باشد، استحکام شبکه یونی بیش‌تر بوده و برای فروپاشی آن به انرژی بیش‌تری نیاز است.

- هرچه چگالی بار یون‌های سازنده یک شبکه یونی بیش‌تر باشد، انرژی لازم برای فروپاشی آن شبکه بیش‌تر است.

- گرمای مصرف شده در فشار ثابت برای فروپاشی یک ترکیب یونی (تبدیل یک مول از شبکه‌ی بلوری یک ترکیب یونی جامد به یون‌های گازی مجزا) را آنتالپی فروپاشی شبکه می‌نامند و آن را با $\Delta H_{\text{فروپاشی}}$ نمایش می‌دهند. به طور مثال آنتالپی واکنش زیر، فروپاشی سدیم کلرید است:



- برای مقایسه آنتالپی فروپاشی ترکیب‌های یونی، به ترتیب روبرو عمل می‌کنیم: ۱- هرچه مجموع قدرمطلق بار یون‌های موجود در ترکیب بیش‌تر باشد، آنتالپی فروپاشی آن ترکیب بیش‌تر است. ۲- در صورت برابر بودن مجموع قدرمطلق بار یون‌ها، چگالی بار آنیون و کاتیون موجود در بلور دو ترکیب را با هم مقایسه می‌کنیم. ترکیبی که دارای یون‌هایی با چگالی بار بالاتر باشد، فروپاشی ΔH بالاتری دارد. برای مثال، داریم:

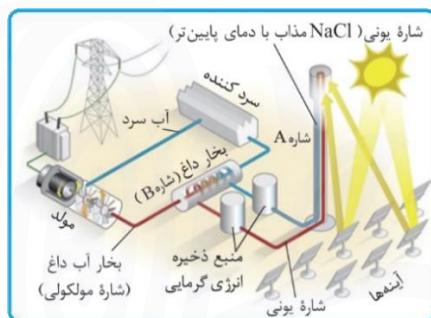


در ترکیب اول، مجموع قدرمطلق بارهای آنیون و کاتیون مساوی ۴ است، پس این ترکیب بیش‌ترین فروپاشی ΔH را دارد. سپس برای مقایسه‌ی فروپاشی ΔH در MgF_2 و Na_2O ، به سراغ چگالی بار می‌رویم زیرا مجموع قدرمطلق بارهای آنیون و کاتیون در این دو ترکیب برابر با ۳ است. از طرفی، چون در NaF مجموع قدرمطلق بارهای آنیون و کاتیون برابر با ۲ است، این ترکیب کمترین فروپاشی ΔH را دارد.

- میان آنتالپی فروپاشی شبکه و نقطه ذوب جامدهای یونی رابطه‌ای مستقیم وجود دارد. ترکیبی با $\Delta H_{\text{فروپاشی}}$ بالاتر، دمای ذوب بیش‌تری دارد.

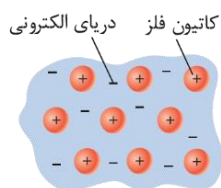
- بالا بودن نقطه ذوب و جوش ترکیب‌های یونی، از جمله ویژگی‌های مهم این مواد است. در این ترکیب‌ها، بخاطر قوی بودن جاذبه میان یون‌ها، نقطه ذوب و جوش تفاوت زیادی داشته و به همین خاطر، از این مواد در برخی از نیروگاه‌های خورشیدی استفاده می‌شود.

- مطابق یک قاعده کلی، هر چه تفاوت بین نقطه ذوب و جوش یک ماده خالص بیش تر باشد، آن ماده در گستره دمایی بیشتری به حالت مایع بوده و نیروهای جاذبه میان ذره های سازنده مایع قوی تر است.
- خورشید بزرگترین منبع انرژی برای زمین است. منبعی تجدیدپذیر که انرژی خود را با استفاده از پرتوهای الکترومغناطیسی به سوی ما گسیل می دهد.
- بدیهی است که بهره گیری بیش تر از این انرژی پاک، کاهش رد پای زیست محیطی را به دنبال خواهد داشت.
- تبدیل پرتوهای پرتوان خورشیدی به انرژی الکتریکی، به دانش و فناوری پیشرفته نیازمند است و به همین خاطر، این فرایند فقط در برخی از کشورهای توسعه یافته انجام می شود. شکل زیر نمایی از فناوری پیشرفته برای تولید انرژی الکتریکی از پرتوهای خورشیدی را نشان می دهد:



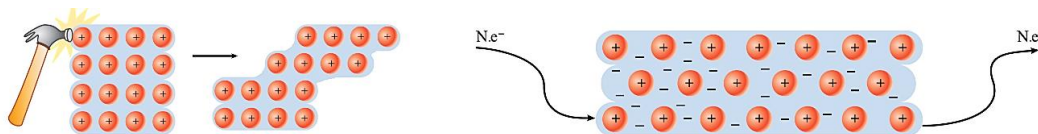
- در این فرایند پرتوهای خورشیدی پس از بازتاب از سطح آینه ها، در بالاترین نقطه برج متمرکز شده و انرژی خود را به سیال A (سدیم کلرید مذاب) که در حال عبور کردن از این قسمت است منتقل می کنند و موجب افزایش دمای این ماده می شوند. شاره A پس از افزایش دما به سمت منبع ذخیره انرژی گرمایی جریان پیدا کرده در این مخزن باقی می ماند.
- در هنگام نیاز به انرژی الکتریکی، شاره A از منبع ذخیره انرژی گرمایی به طرف محل انتقال حرارت جاری شده و بخشی از انرژی خود را به شاره B (آب) می دهد و آن را به بخار تبدیل می کند. پس از انتقال حرارت، دمای شاره A مجددا کاهش پیدا کرده و این ماده دوباره به سمت برج گیرنده جاری می شود. در این فرایند، وظیفه شاره A رساندن حرارت خورشید به شاره B است.
- بخار آب تولید شده در مخزن انتقال حرارت، به سمت یک توربین (مولد) حرکت کرده و با چرخاندن آن سبب تولید انرژی الکتریکی می شود. پس از به حرکت درآوردن توربین، بخار آب به سمت سردکننده جاری می شود تا دوباره در چرخه تولید بخار قرار بگیرد.
- ماده ای که به عنوان شاره A انتخاب می شود، باید ظرفیت گرمایی بالایی داشته و در گستره دمایی بزرگی به حالت مایع باشد تا بتواند انرژی گرمایی خورشید را برای مدت طولانی تری نگه دارد. از سدیم کلرید مذاب که یک شاره یونی است، به عنوان این شاره استفاده می کنیم.
- ترکیب های یونی در حالت جامد رسانای جریان برق نیستند اما با ذوب کردن این مواد یا انحلال آن ها در آب، یک محلول الکترولیت به دست می آید.
- شبکه بلور ترکیبات یونی شامل تعداد زیادی یون می شود که با یک آرایش ویژه و منظم در کنار هم قرار گرفته اند. در این حالت، نیروهای جاذبه ایجاد شده بین یون های ناهم نام سبب حفظ پیوستگی بلور جامد یونی می شود. با وارد شدن یک نیروی خارجی (مثل ضربه) به بلور ترکیب یونی، لایه های سازنده این ترکیب جابه جا شده و یون های هم نام موجود در آن در مقابل یکدیگر قرار می گیرند. در چنین شرایطی، نیروی دافعه ایجاد شده میان یون های هم نام باعث شکستن شبکه بلور و جدا شدن قطعات آن از هم می شوند.
- تنوع و شمار مواد مولکولی (مثل آب و متان) بیشتر از مواد یونی (مثل سدیم کلرید و کلسیم اکسید) است و تنوع و شمار مواد یونی نیز بیشتر از مواد کووالانسی (مثل گرافیت و سیلیسیم کربید) است.
- فلزها بخش عمده عنصرهای جدول دوره ای را تشکیل می دهند. این عناصر در هر ۴ دسته s، p، d و f جدول دوره ای جای داشته و به طور کلی، خواص مشابهی دارند. البته، برخی از رفتارهای فیزیکی و شیمیایی فلزها متنوع و متفاوت از هم است.
- داشتن جلا، رسانایی الکتریکی، رسانایی گرمایی و شکل پذیری، از جمله رفتارهای فیزیکی فلزها هستند، در حالی که واکنش پذیری و تنوع اعداد اکسایش از جمله رفتارهای شیمیایی آن ها است.

- شکل مقابل یک الگوی ساده از شبکه بلوری فلزها را نشان می دهد که برای توجیه برخی رفتارهای فیزیکی (نه رفتارهای شیمیایی) آن ها ارائه شده و به مدل دریای الکترون معروف است:



- بر اساس مدل دریای الکترونی، ساختار فلزها آرایش منظمی از کاتیون ها در سه بعد است که در فضای میان آنها سست ترین الکترون های موجود در اتم که همان الکترون لایه ظرفیت هستند، دریایی را ساخته و در آن آزادانه جابه جا می شوند.
- در مدل دریای الکترونی، به دلیل حرکت آزادانه الکترون ها، نمی توان هر الکترون موجود در بلور فلز را تنها متعلق به یک اتم معین دانست.

- دریای الکترونی عاملی است که چیدمان کاتیون‌ها را به دلیل جاذبه‌ای که با آن‌ها ایجاد می‌کند، در شبکه بلوری فلز حفظ می‌کند. همچنین این الکترون‌ها هستند که باعث خاصیت چکش‌خواری و رسانایی الکتریکی فلزات می‌شوند. تصاویر زیر، نمایی از توجیه این دو ویژگی را نشان می‌دهد:



- فلزها افزون بر رفتارهای مشابه، تفاوت‌های آشکاری در برخی رفتارها نشان می‌دهند. در واقع، هر فلز افزون بر رفتارهای مشترک، رفتارهای ویژه خود را نیز دارد. برای نمونه فلزهای دسته d همانند فلزهای دسته s و p، دارای ویژگی‌هایی مانند جلا، رسانایی الکتریکی، رسانایی گرمایی و شکل‌پذیری هستند، اما در ویژگی‌هایی مانند سختی، نقطه ذوب و تنوع اعداد اکسایش با آن‌ها تفاوت دارند.

- در میان عنصرهای دسته d از دوره چهارم جدول تناوبی، تیتانیم (Ti) با ویژگی‌های باورنکردنی، فلزی فراتر از انتظار است. ماندگاری و استحکام مناسب از جمله این ویژگی‌ها است. جدول زیر برخی ویژگی‌های تیتانیم را با فولاد زنگ نزن مقایسه می‌کند:

ویژگی	ماده	تیتانیم	مقایسه	فولاد
نقطه ذوب (°C)		۱۶۶۷	<	۱۵۳۵
چگالی (g · mL ^{-۱})		۴/۵۱	>	۷/۹۰
واکنش با ذره‌های موجود در آب دریا	ناچیز	>	متوسط	
مقاومت در برابر خوردگی	عالی	<	ضعیف	
مقاومت در برابر سایش	عالی	≈	عالی	

- در جدول زیر به چند مورد از موارد مصرف تیتانیم و علت استفاده‌ی آن می‌پردازیم.

مورد استفاده	دلیل استفاده
ساخت برخی از اجزای ثابت و متحرک موتور جت	بالا بودن نقطه ذوب تیتانیم
ساخت پروانه کشتی اقیانوس پیما	مقاومت در برابر خوردگی و واکنش‌پذیری کم
پوشش بیرونی بناهای هنرمندانه، زیبا و ماندگار همانند موزه گوگنهایم	مقاومت بالا در برابر خوردگی
آلیاژ نیتینول، در ساخت فراورده‌های صنعتی و پزشکی	شرکت در ساختار آلیاژهای هوشمند
بدنه دوچرخه	چگالی کم و مقاومت در برابر خوردگی و سایش

- نیتینول آلیاژی از نیکل و تیتانیم است که به آلیاژ هوشمند معروف است. از این آلیاژ در ساخت فراورده‌های صنعتی و پزشکی مانند استنت برای رگ‌ها، سازه ارتودنسی و قاب عینک کاربرد دارد.

- احساس و درک رنگ به دلیل نورهایی است که از محیط پیرامون به چشم ما می‌رسد. در واقع، این نورها همان پرتوهای الکترومغناطیسی بوده که طول موج آن‌ها در گستره بین $400nm$ تا $700nm$ است و چشم ما آن‌ها را می‌بیند.

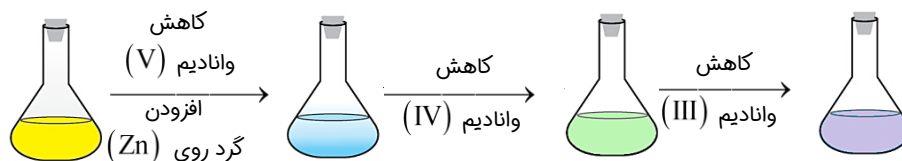
- اگر در محیطی نور مرئی نباشد، انسان نمی‌تواند پیرامون خود را ببیند. رفتار نور در برخورد با اجسام مختلف، تفاوت دارد. در جدول زیر، رفتار مختلف نور را بررسی می‌کنیم:

نور بازتاب شده	نور جذب شده
همه طول موج‌های مرئی	-
همه طول موج‌های مرئی	-
رنگ جسم	همه طول موج‌های مرئی بجز رنگ خود جسم

- سازنده اصلی یک ماده رنگی که به آن رنگ می‌بخشد، رنگدانه نام دارد. برای نمونه، TiO_2 سفید رنگ بوده و Fe_2O_3 قرمز رنگ است. دوده نیز یک رنگدانه به رنگ سیاه است. این مواد، از جمله رنگ‌دانه‌های معدنی هستند. در گذشته انسان، این مواد رنگی را از منابع طبیعی همچون گیاهان، جانوران و برخی کانی‌ها تهیه می‌کرد.

- رنگ‌هایی که برای پوشش سطح استفاده می‌شوند (رنگ‌های پوششی)، نوعی کلویید هستند که لایه نازکی روی سطح ایجاد می‌کنند تا افزون بر زیبایی، مانع خوردگی در برابر اکسیژن، رطوبت و مواد شیمیایی گردد. همانطور که می‌دانیم، این مواد به طور کامل از خوردگی فلزها جلوگیری نمی‌کنند. به یاد داریم که کلوئیدها از جمله مخلوط‌های پایدار هستند که از توده‌های مولکولی ساخته شده‌اند.

- وانادیم یک عنصر از دسته d است که اعداد اکسایش متفاوتی دارد. در جدول زیر محلول نمک‌های مختلف وانادیم در شرایطی با اعداد اکسایش متفاوت را بررسی می‌کنیم:



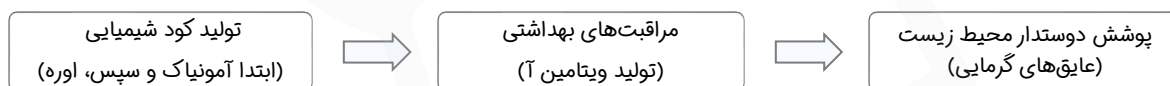
محل	محلولی از نمک وانادیم (V)	محلولی از نمک وانادیم (IV)	محلولی از نمک وانادیم (III)	محلولی از نمک وانادیم (II)
رنگ محلول	زرد	آبی	سبز	بنفش
آرایش الکترونی وانادیم	وانادیم در این محلول به شکل یون چنداتی است.	وانادیم در این محلول به شکل یون چنداتی است.	$[Ar] 3d^2$	$[Ar] 3d^3$

- با افزودن مقدار کافی گرد Zn به محلول نمک وانادیم، با اکسایش Zn و مشاهده تغییر رنگ محلول، می‌توانیم عدد اکسایش وانادیم در محلول ایجاد شده را تشخیص دهیم.

فصل چهار شیمی دوازدهم

- استفاده بهینه و درست از دانش و فناوری، آسایش و رفاه را در زندگی تأمین می‌کند، اما استفاده نادرست از آن، آثار مخرب‌تر و زیان‌بارتری به دنبال خواهد داشت. برای نمونه تولید سلاح‌های شیمیایی استفاده نادرست از دانش و فناوری را نشان می‌دهد.

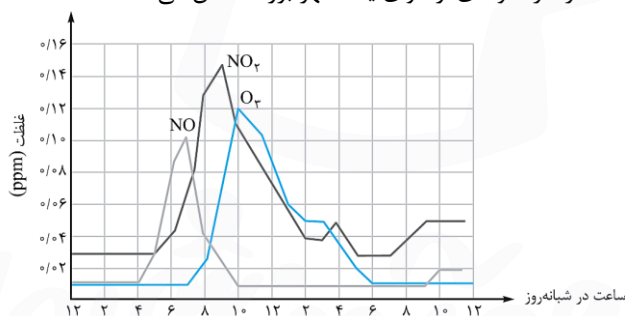
- در نمودار زیر، ترتیب زمانی تولید برخی از فناوری‌های شیمیایی در سال‌های پس از انقلاب صنعتی نشان داده شده است:



- تماشای آسمان آبی و تنفس در هوای پاک، همیشه لذت بخش و شادی آفرین است اما گاهی در آسمان به ویژه در زمستان، شاهد لایه قهوه‌ای روشن هستیم که سطح شهرهای بزرگ جهان و کشورمان را می‌پوشاند. این لایه قهوه‌ای رنگ ناشی از وجود گاز NO_x در هواکره است.

- به دلیل وجود آلاینده‌های مختلف، هوای آلوده بوی بدی دارد، چهره شهر را زشت می‌کند، فرسودگی ساختمان‌ها و پوسیدگی خودروها را سرعت می‌بخشد و سبب ایجاد و تشدید بیماری‌های تنفسی از جمله برونشیت، آسم، سرطان ریه و حتی مرگ می‌شود.

- نمودار زیر، روند تغییر غلظت برخی از آلاینده‌ها را در نمونه‌ای از هوای یک شهر بزرگ نشان می‌دهد:

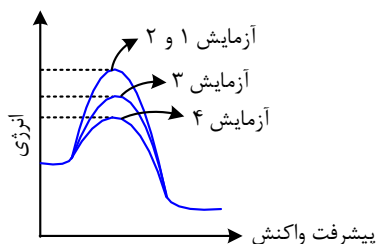


- هوای آلوده حاوی آلاینده‌هایی است که اغلب بی‌رنگ هستند و نمی‌توان به آسانی وجود آن‌ها را تشخیص داد. همچنین نوع آلاینده‌ها و مقدار هریک از آن‌ها در شهرهای گوناگون متفاوت است. یکی از روش‌هایی که با توجه به آن می‌توانیم نوع و غلظت آلاینده‌ها را تشخیص دهیم، برهم‌کنش این مواد با پرتوهای الکترومغناطیسی است.

- هرگاه یک نمونه ماده در برابر پرتوهای الکترومغناطیسی قرار گیرد، ممکن است گستره معینی از آن‌ها را جذب کرده و پرتوهای باقی مانده را بازتاب کند یا عبور دهد. اینکه یک جسم چه پرتوهایی را جذب کرده و چه پرتوهایی را بازتاب می‌کند، به رنگ آن جسم بستگی دارد. شیمی‌دان‌ها با استفاده از برهم‌کنش‌های پرتوهای مرئی، فروسرخ، فرابنفش و پرتوهای الکترومغناطیسی، روش‌های گوناگون طیف سنجی را برای شناسایی ساختار مواد پایه گذاری کرده‌اند. به عنوان مثال، تصویر زیر برهم‌کنش دو ماده با نور را نشان می‌دهد:



- یکی از رایج‌ترین روش‌های طیف‌سنجی که برای شناسایی گروه‌های عاملی به کار می‌رود، طیف‌سنجی فروسرخ (نوعی پرتو الکترومغناطیسی با طول موج بلندتر از ۷۰۰ نانومتر) نام دارد. با توجه به اینکه شمار و نوع اتم‌های سازنده هر گروه عاملی متفاوت از دیگری است، موادی که شامل هر نوع گروه عاملی می‌شوند تنها گستره معین و منحصر به فردی از پرتوهای فروسرخ را جذب می‌کنند.
- طیف‌سنجی فروسرخ برای تشخیص موارد دیگری از جمله برخی آلاینده‌های هواکره (کربن مونوکسید و اکسیدهای نیتروژن) و نیز شناسایی برخی از انواع مولکول‌ها در فضای بین ستاره‌ای به کار می‌رود.
- افزون بر طیف‌سنجی فروسرخ، می‌توان از برهم‌کنش پرتوهای فرابنفش، مرئی و یا امواج رادیویی نیز برای شناسایی مواد گوناگون بهره برد. دستگاه ام.آر.آی (MRI)، نمونه‌ای از کاربرد طیف‌سنجی در علم پزشکی است.
- واکنش‌های شیمیایی با سرعت‌های گوناگون انجام می‌شوند. برای نمونه واکنش زنگ زدن آهن کُند است، در حالی که واکنش سوختن متان، تند است. افزایش دما سبب افزایش سرعت واکنش‌های شیمیایی می‌شود. برای نمونه گاز نیتروژن با گاز اکسیژن در دمای اتاق واکنش نمی‌دهد اما درون موتور خودرو که دمایی بیش‌تر از 1000°C دارد، اندکی از این گازها به نیتروژن مونوکسید تبدیل می‌شود.
- هر واکنش شیمیایی برای انجام شدن به حداقلی از انرژی نیاز دارد. در واقع برای اینکه یک واکنش آغاز شود، باید واکنش دهنده‌ها مقدار معینی انرژی داشته باشند. به این حداقل انرژی مورد نیاز، انرژی فعال‌سازی واکنش (E_a) می‌گویند و آن را با یکای کیلوژول نشان می‌دهند.
- یکی از روش‌های تأمین انرژی فعال‌سازی، گرما دادن به واکنش دهنده‌ها است.
- واکنش‌های شیمیایی صرف نظر از اینکه گرماده یا گرماگیر باشند، برای آغاز شدن به انرژی فعال‌سازی نیاز دارند. به طور مثال برای روشن شدن کبریت، هنگامی که نوک آن روی سطح زبر قوطی کبریت کشیده شود، گرما تولید می‌شود. این گرما انرژی فعال‌سازی واکنش را تأمین می‌کند. پس از تأمین انرژی فعال‌سازی اولیه، ادامه واکنش سوختن کبریت به طور خودبه‌خودی پیش می‌رود.
- هرچه انرژی فعال‌سازی واکنشی بیش‌تر باشد، تأمین این مقدار انرژی دشوارتر بوده و سرعت آن واکنش کم‌تر است. چنین واکنشی در شرایط دشوارتر و دمای بالاتری انجام می‌شود.
- اگر محتوای انرژی فراورده‌ها (آنتالپی) پایین‌تر از واکنش دهنده‌ها باشد، واکنش مورد نظر گرماده است و اگر محتوای انرژی فراورده‌ها از واکنش دهنده‌ها بالاتر باشد، واکنش مورد نظر نوعی واکنش گرماگیر است. در هر واکنش تفاوت سطح انرژی واکنش دهنده‌ها و فراورده‌ها، نشان دهنده ΔH واکنش و تفاوت سطح انرژی واکنش دهنده‌ها با قله نمودار نیز نشان دهنده مقدار انرژی فعال‌سازی واکنش است.
- فسفر سفید، برخلاف گاز هیدروژن در هوا و در دمای اتاق می‌سوزد. علت این پدیده، انرژی فعال‌سازی کمتر واکنش سوختن فسفر سفید در مقایسه با گاز هیدروژن است.
- برخی واکنش‌ها در صنعت فقط در دما و فشار بالا انجام می‌شوند و تولید فراورده‌ها در آن‌ها صرفه اقتصادی ندارد. به همین دلیل، برای انجام اینگونه واکنش‌ها از کاتالیزگرهای مختلفی استفاده می‌کنند.
- کاتالیزگرها در واکنش شرکت می‌کنند، اما در پایان واکنش باقی می‌مانند. از این رو می‌توان آن‌ها را بارها و بارها به کار برد. همچنین استفاده از کاتالیزگرها در صنایع گوناگون، سبب کاهش آلودگی محیط می‌شود.
- هر کاتالیزگر می‌تواند به شمار معدودی واکنش سرعت ببخشد. این مواد اغلب اختصاصی و انتخابی عمل می‌کنند. در نقطه مقابل، مواد بازدارنده سرعت انجام واکنش شیمیایی را برخلاف کاتالیزگرها کاهش می‌دهند.
- در حضور کاتالیزگر استفاده شده در یک فرایند، نباید واکنش‌های ناخواسته دیگری انجام شود. همچنین، کاتالیزگر در شرایط انجام واکنش باید پایداری شیمیایی و گرمایی مناسبی داشته باشد.
- افزایش دما، گرما دادن به مواد و یا زدن جرقه در مخلوط واکنش دهنده‌ها، باعث کاهش انرژی فعال‌سازی واکنش نمی‌شود، اما این عوامل با تأمین انرژی فعال‌سازی، توانایی افزایش سرعت واکنش را دارند.
- گازهای هیدروژن و اکسیژن با یکدیگر واکنش داده و بخار آب را تولید می‌کنند. در جدول و نمودار زیر، سرعت واکنش گاز هیدروژن و اکسیژن در دمای اتاق (25°C) با شرایط مختلف را بررسی می‌کنیم:

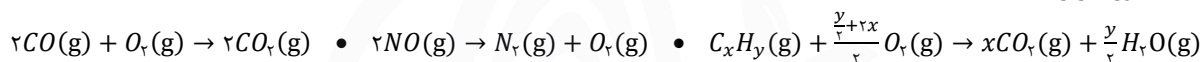


آزمایش	شرایط آزمایش	سرعت واکنش	ΔH واکنش
۱	بدون حضور کاتالیزگر	ناچیز	-572 kJ
۲	ایجاد جرقه در مخلوط	انفجاری	-572 kJ
۳	در حضور پودر روی	سریع	-572 kJ
۴	در حضور توری پلاتینی	انفجاری	-572 kJ

- یکی از راهکارهای مهم برای حذف آلاینده‌های تولید شده توسط خودروها (گازهای CO ، SO_x ، NO و C_xH_y)، گذاشتن قطعه‌ای به نام مبدل کاتالیستی در مسیر خروج گازها از اگزوز خودروها است. تصویر زیر، ساختار این مبدل‌ها را نشان می‌دهد:



- آلاینده‌های مختلف با عبور از قطعه‌ای که بر سر راه خروج آن‌ها قرار دارد، در واکنش‌های مختلفی شرکت کرده و به فراورده‌هایی کم‌خطر تبدیل می‌شوند. معادله این واکنش‌ها به صورت زیر است:



- واکنش‌های بالا، مقدار E_a بالایی دارند. این حقیقت، نشان می‌دهد که این واکنش‌ها در دماهای بالا انجام می‌شوند و یا اگر هم در دمای پایین انجام شوند، سرعت واکنش بسیار کند است. به همین خاطر است که در روزهای سرد زمستان، آلاینده‌های بیش‌تری از اگزوز خارج می‌شوند.

- در ساختار مبدل‌های کاتالیستی، یک قطعه سرامیکی وجود دارد. بر روی سطح این قطعه که به شکل توری به کار می‌رود، فلزهای رودیم (Rh)، پالادیوم (Pd) و پلاتین (Pt) به عنوان کاتالیزگر نشانده شده است. این فلزها E_a واکنش‌های انجام شده در مبدل را کاهش می‌دهند.

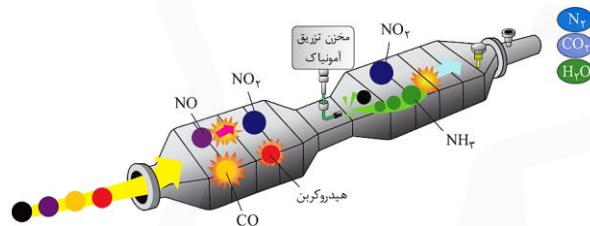
- در سطح سرامیک‌های درون مبدل کاتالیستی، توده‌های فلزی با قطر ۲ تا ۱۰ نانومتر وجود دارند.

- برای افزایش کارایی مبدل کاتالیستی، گاهی سرامیک را به شکل مش (دانه‌های ریز در می‌آورند و کاتالیزگرها را روی سطح آن می‌نشانند. این فرایند، با افزایش سطح تماس میان کاتالیزگرها و آلاینده‌ها سبب افزایش قدرت مبدل می‌شود.

- با اینکه مبدل کاتالیستی برای مدت طولانی کار می‌کند، اما کارایی این قطعه پس از مدت معینی کاهش یافته و دیگر قابل استفاده نیست.

- مبدل کاتالیستی ذکر شده صرفاً برای استفاده در خودروهای بنزینی طراحی شده است، زیرا با استفاده از این مبدل‌ها نمی‌توان گازهای NO و NO_2 خروجی از خودروهای دیزلی را حذف کرد. بر این اساس، برای حذف آلاینده‌های خودروهای دیزلی از روشی دیگر استفاده می‌کنند.

- شکل زیر مبدل کاتالیستی را در خودروهای دیزلی نشان می‌دهد:



- در مبدل مخصوص خودروهای دیزلی، با ورود آمونیاک و انجام واکنش $NO(g) + NO_2(g) + 2NH_3(g) \rightarrow 2N_2(g) + 3H_2O(g)$ ، گازهای NO و NO_2 به گاز N_2 تبدیل شده و تا حدود زیادی (نه به طور کامل) از ورود آلاینده‌های NO و NO_2 به هواکره جلوگیری می‌شود.

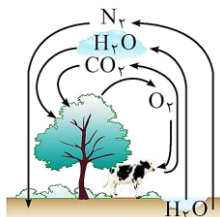
- چون در واکنش مربوط به حذف اکسیدهای نیتروژن در خودروهای دیزلی گاز آمونیاک مصرف می‌شود، پس می‌توان گفت تعداد اتم‌های نیتروژن خارج شده از اگزوز خودرو دیزلی بیش‌تر از تعداد اتم نیتروژن خارج شده از موتور این خودروها است.

- غذا به عنوان محور رشد و سلامتی، یکی از ضرورت‌های زندگی برای ادامه آن به شمار می‌رود، اما محدودیت منابع و روند رو به افزایش جمعیت جهان سبب شده تا تأمین غذا به یکی از چالش‌های زندگی تبدیل شود.

- بهترین راه‌حل 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.

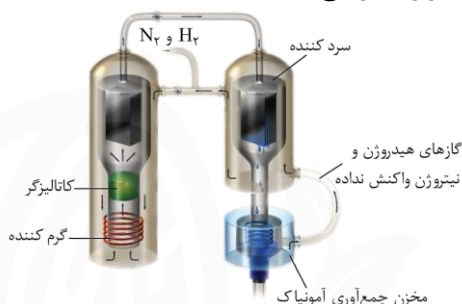
- گیاهان با جوی سرشار از گاز نیتروژن احاطه شده‌اند، اما نمی‌توانند این عنصر ضروری برای رشد خود را به طور مستقیم از هوا جذب کنند. به همین خاطر، گیاهان باید نیتروژن را به شکل ترکیب‌های نیتروژن‌دار از جمله آمونیاک و اوره از خاک جذب کنند. گیاهان برای رشد افزون بر کربن دی‌اکسید و آب، به

عنصرهایی مانند S ، N ، P و K نیز نیاز دارند. تصویر زیر، نمایی از مبادله مواد بین گیاه و سایر اجزای طبیعت را نشان می‌دهد:

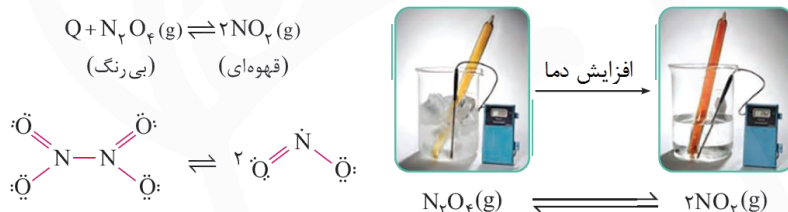


- در برخی از کشورها برای افزایش بازده تولید فراورده‌های کشاورزی، آمونیاک مایع را به عنوان کود شیمیایی مستقیماً به خاک تزریق می‌کنند.
- واکنش برگشت‌پذیر تولید آمونیاک به صورت $N_2(g) + 3H_2(g) \xrightleftharpoons{Fe} 2NH_3(g)$ است.
- در دمای اتاق، واکنش میان گازهای نیتروژن و هیدروژن حتی در حضور کاتالیزگر یا جرقه پیش نمی‌رود، زیرا انرژی فعال‌سازی این واکنش بسیار بزرگ است.
- بر این اساس، فریتس هابر با تلاش فراوان شرایط بهینه برای انجام شدن این واکنش را یافت.
- شرایط بهینه واکنش تولید آمونیاک (شرایطی که در آن واکنش‌دهنده‌ها تا حد ممکن به فراورده‌ها تبدیل شوند)، دمای $450^\circ C$ و فشار ۲۰۰ اتمسفر در حضور کاتالیزگر آهن است.
- واکنش انجام شده در فرایند هابر، برگشت‌پذیر است و می‌تواند در شرایط مناسب به تعادل برسد. تعادلی که در دمای معین، شامل مخلوطی از گازهای واکنش‌دهنده و فراورده با غلظت ثابت می‌شود.
- 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.
- 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. برای مثال، ثابت تعادل واکنش انجام شده در فرایند هابر طبق رابطه $K = \frac{[NH_3]^2}{[N_2] \times [H_2]^3}$ بدست می‌آید.
- اصل لوشالیه 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 موثر بر واکنش‌های تعادلی استفاده می‌شود.
- هنگامی که در دمای ثابت، غلظت یکی از مواد شرکت‌کننده 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.
- 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.
- به شرط یکسان نبودن تعداد مول‌های گازی در دو سمت معادله‌ی یک واکنش تعادلی، کاهش حجم 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.
- اگر در یک واکنش تعادلی، شمار مول‌های گازی موجود در دو سمت معادله واکنش با همدیگر برابر باشند، با افزایش و یا کاهش حجم ظرف واکنش، تعادل جابه‌جا نمی‌شود و شمار مول‌های هر یک از گونه‌های شرکت‌کننده در واکنش نیز ثابت باقی می‌ماند.
- تغییر دما از دیگر عواملی است که باعث جابه‌جایی تعادل می‌شود، اما این عامل برخلاف بقیه موارد، باعث تغییر میزان K واکنش نیز می‌شود. اثر تغییر دما بر تعادل‌های گوناگون، یکسان نیست و به گرماده یا گرماگیر بودن آن‌ها بستگی دارد.
- 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.
- در اغلب واکنش‌های تعادلی، نماد Q (گرما) در سمتی از معادله واکنش قرار دارد که مجموع تعداد مول‌های گازی و یا محلول آن کم‌تر باشد.
- 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 این رو واکنش را در دماهای بالاتر بررسی کرد.
- در دماهای بالا، واکنش تولید 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.
- 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.
- 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.

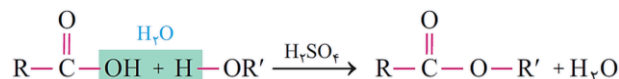
- در پایان واکنش، در ظرف مخلوطی از گازهای آمونیاک، هیدروژن و نیتروژن را داریم که برای جداسازی آن‌ها از تفاوت نقطه جوش آن‌ها بهره می‌بریم. چون نقطه جوش آمونیاک (-34°C) اختلاف زیادی با نقطه جوش هیدروژن (-253°C) و نیتروژن (-196°C) دارد، با رساندن دمای سامانه به نقطه جوش آمونیاک، این ماده میعان شده و از مخلوط خارج می‌شود.
- شکل زیر، نمایی از فناوری تولید آمونیاک به روش هابر را نشان می‌دهد:



- سردکننده‌ی موجود در دستگاه تولید آمونیاک، دما را تا حدود -34°C کاهش می‌دهد تا آمونیاک میعان شده و از سایر مواد جدا شود.
- استفاده از کاتالیزگر (تیغه آهن) در این واکنش، در درصد پیشرفت واکنش نقشی ندارد و فقط سرعت واکنش را افزایش می‌دهد.
- به معادله‌ی تعادل گازی زیر و روند تغییر رنگ مخلوط تعادلی توجه کنید:



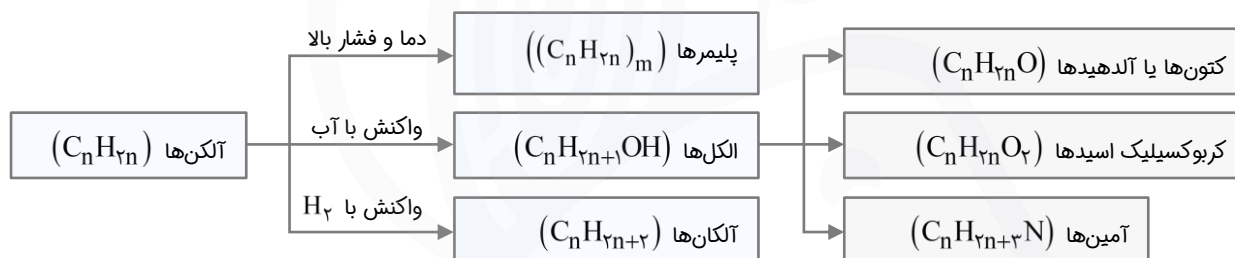
- با افزایش دمای محیط در واکنش تعادلی فوق، واکنش در جهت رفت (در جهت مصرف گرما) به پیش رفته و رنگ مخلوط گازی مورد نظر تیره می‌شود.
- نفت خام، گاز طبیعی، زغال سنگ و معادن مس، آهن، طلا، مرمر و فیروزه از جمله منابع شیمیایی ارزشمندی هستند که به طور یکسان در جهان توزیع نشده‌اند. به همین دلیل برخی کشورها صادر کننده این منابع و برخی دیگر وارد کننده آن‌ها هستند.
- برخی از کشورهای دنیا با کسب درآمد از فروش منابع خود، زمینه آسایش، رشد و توسعه را فراهم می‌کنند. این فروش منابع می‌تواند به روش‌های مختلفی صورت بگیرد. بسیاری از کشورها منابع طبیعی خود را کم و بیش بدون فراوری و به همان صورتی که از طبیعت بدست می‌آید، می‌فروشند. این فرایند به خام فروشی معروف است. برای نمونه فروش نفت خام ساده‌ترین راه بهره‌برداری از این منبع طبیعی است.
- خام فروشی برای منابع معدنی مانند سنگ معدن آهن، مس، روی و حتی منابع کشاورزی مانند پنبه نیز صادق است. برای نمونه قیمت یک تن مس خالص در بازارهای جهانی به هزاران برابر قیمت یک تن سنگ معدن مس می‌رسد. این تفاوت چشمگیر نشان می‌دهد که دانش و فناوری استخراج و خالص‌سازی تا چه اندازه ارزشمند است.
- در برخی از کشورها، به کمک فناوری‌های شیمیایی، مواد خام و اولیه را به فراورده‌های دیگر تبدیل می‌کنند تا بتوان آن‌ها را به قیمت بالاتری به فروش رساند. به عنوان مثال، نفت خام را پس از پالایش، به فراورده‌های پتروشیمیایی مانند آمونیاک و سولفوریک اسید تبدیل می‌کنند.
- هر چه درصد خلوص یک ماده شیمیایی بیش‌تر باشد، قیمت آن ماده نیز بیش‌تر خواهد بود. به همین دلیل، فناوری‌های جداسازی و خالص‌سازی مواد یکی از فناوری‌های پیشرفته، گران، پرکاربرد و در عین حال کارآفرین و درآمدزا به شمار می‌رود.
- به کارگیری فناوری و تبدیل مواد خام به مواد فراوری شده، سبب رشد و بهره‌وری اقتصاد یک کشور می‌شود. از نفت خام می‌توان چند فراورده‌ی نفتی مانند بنزین، پلی‌اتن، اتانول، متانول و اتیلن گلیکول تهیه کرد.
- فناوری را می‌توان به کار بردن دانش برای حل یک مسئله در صنعت یا زندگی روزانه برای رسیدن به هدفی خاص دانست.
- یکی از لذت‌بخش‌ترین فناوری‌های شیمیایی، سنتز مواد نو از جمله رنگ‌دانه‌ها، خوشبوکننده‌ها، داروهای ضدسرطان، الیاف، سوخت‌های دوستدار محیط‌زیست و مواد هوشمند است. سنتز، کانون بسیاری از پژوهش‌های شیمیایی است که باعث طراحی و تولید مواد جدید می‌شود.
- 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:



- گاز اتن (C_2H_4) یکی از مهم ترین خوراکها در صنایع پتروشیمی است. از این گاز، مواد آلی گوناگون، پرمصرف و اغلب ارزشمند می توان تهیه کرد. در جدول زیر، برخی از موادی را که با استفاده گاز اتن تولید می شوند بررسی می کنیم:

نام واکنش	معادله واکنش	کاربرد فراورده 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 بی حس کننده موضعی
واکنش تولید پلی اتن	$C_2H_4(g) \xrightarrow{\text{فشار و دما}} (C_2H_4)_n(s)$	سازنده اصلی برخی لوازم پلاستیکی
واکنش تولید اتانول	$C_2H_4(g) + H_2O(l) \xrightarrow{H_2SO_4} C_2H_5OH(l)$	ضد عفونی کننده - حلال صنعتی
واکنش تولید اتیل استات	$C_2H_4(g) + H_2O(l) \xrightarrow{H_2SO_4} C_2H_5OH(l)$ $C_2H_5OH(l) + C_2H_3O_2(l) \xrightarrow{H_2SO_4} C_2H_5O_2C_2H_5(l) + H_2O(l)$	حلال چسب

- الکل ها با استفاده از آلکن ها تولید می شوند. نمودار زیر، فرایند تبدیل الکل ها به سایر ترکیب های آلی را نشان می دهد:



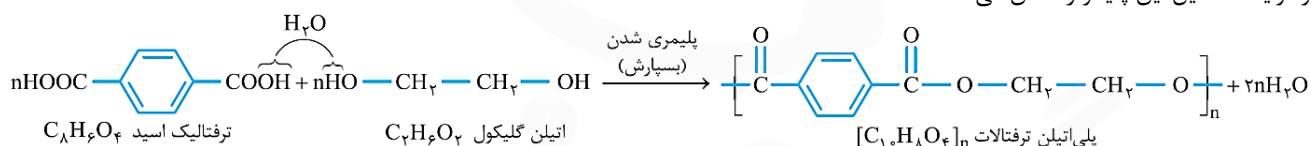
- با استفاده از مواد مناسب و واکنش های شیمیایی ویژه، می توان مواد آلی گوناگون را به یکدیگر تبدیل کرد.

- سالانه شمار بسیار زیادی بطری پلاستیکی برای نگهداری و بسته بندی آب آشامیدنی تولید می شود. بطری آب، از پلیمری به نام پلی اتیلن ترفتالات (PET) ساخته می شود. فرمول مولکولی پلی اتیلن ترفتالات به صورت $(C_{10}H_8O_4)_n$ است.

- برای ساخت بطری هایی از جنس پلی اتیلن ترفتالات، نخست پلیمر آن ها را تهیه می کنند. سپس این پلیمرها را به همراه برخی افزودنی ها در قالب های ویژه ای می ریزند تا به شکل بطری مورد نظر درآید.

- پلی اتیلن ترفتلات 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 می شود.

- در واکنش تولید یک نمونه از پلی اتیلن ترفتالات، به ازای مصرف هر مول از هر یک از واکنش دهنده ها (دی اسید و دی الکل)، ۲ مول آب تولید می شود. شکل زیر فرایند تشکیل این پلیمر را نشان می دهد:

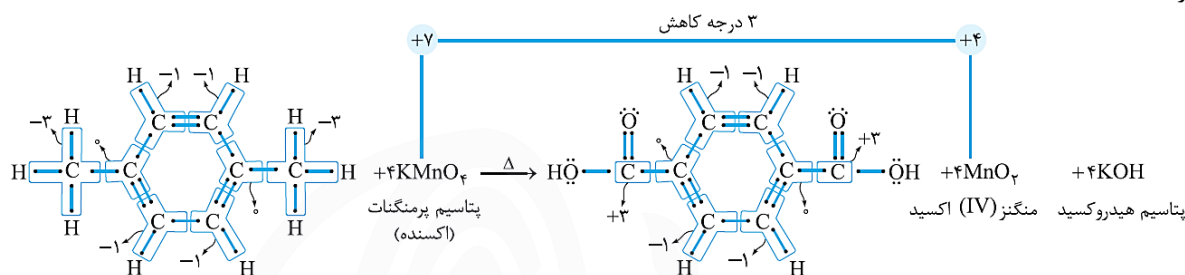


- مونومرهای مورد نیاز برای تولید پلی اتیلن ترفتلات (اتیلن گلیکول و ترفتالیک اسید)، در نفت خام وجود ندارند و به همین خاطر، نمی توان آن ها را به طور مستقیم از نفت خام به دست آورد. در چنین شرایطی، با بهره گیری از دانش شیمی می توان این مواد را با استفاده از مواد خام و اولیه که از نفت خام جداسازی می شوند، سنتز کرد.

- پارازایلن یک هیدروکربن حلقوی با فرمول C_8H_{10} است که به طور مستقیم از نفت خام بدست آمده و می توان از آن در تهیه ترفتالیک اسید استفاده کرد. این ماده، یک ترکیب آروماتیک بوده و همانند بنزوئیک اسید، استیرن، نفتالن و ...، یکی از ترکیب های مشتق شده از بنزن به شمار می رود. ساختار این ماده به صورت زیر است:

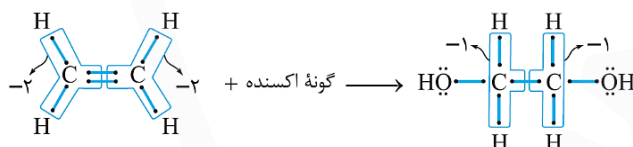


- ترفتالیک اسید را می‌توان از اکسایش پارازایلن به دست آورد. در این واکنش، پتاسیم پرمنگنات اکسنده‌ای است که محلول غلیظ آن در شرایط مناسب پارازایلن را با بازده نسبتاً خوب بر اساس معادله $C_8H_{10} + 4KMnO_4 \rightarrow C_8H_6O_4 + 4MnO_2 + 4KOH$ به ترفتالیک اسید تبدیل می‌کند. معادله این واکنش به صورت زیر است:



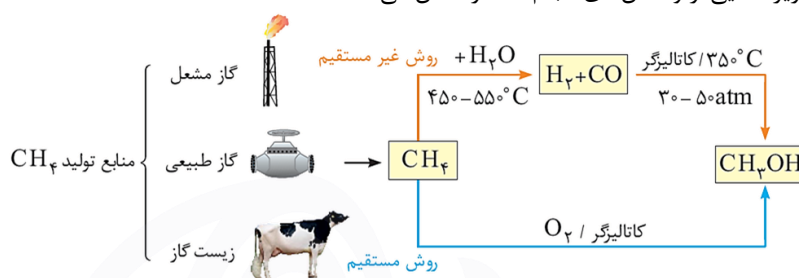
- در واکنش تبدیل پارازایلن به ترفتالیک اسید، یون پرمنگنات به منگنز (IV) اکسید تبدیل شده و عدد اکسایش منگنز از +۷ به +۴ می‌رسد.
- فرایند اکسایش پارازایلن به ترفتالیک اسید دشوار است و انرژی فعال‌سازی بالایی دارد. با وجود غلظت بالای یون پرمنگنات، باز هم شرایط تبدیل پارازایلن به ترفتالیک اسید تأمین نمی‌شود؛ مگر آنکه دمای مخلوط واکنش افزایش یابد. با افزایش دما اگرچه شرایط انجام واکنش تأمین شده است، اما بازده همچنان مطلوب نیست.

- شیمی‌دان‌ها دریافتند که با استفاده از اکسیژن هوا و کاتالیزگر مناسب، می‌توان پارازایلن را در شرایط آسان‌تری به ترفتالیک اسید تبدیل کرد.
- اتیلن‌گلیکول، از دیگر واکنش‌دهنده‌های مصرف شده در واکنش تولید پلی‌اتیلن ترفتالات است. این ماده را همانند ترفتالیک اسید، نمی‌توان به طور مستقیم از نفت خام به دست آورد. برای تولید اتیلن‌گلیکول، 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 اکسنده را بر عهده دارد. معادله این واکنش به صورت زیر است:



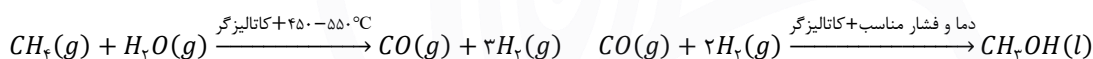
- در واکنش‌های تولید ترفتالیک اسید و اتیلن گلیکول، از یک اکسنده یکسان استفاده می‌شود. اکسنده واکنش تولید ترفتالیک اسید محلول غلیظ پتاسیم پرمنگنات است، اما اکسنده واکنش تولید اتیلن گلیکول محلول رقیق پتاسیم پرمنگنات است.
- پلی‌اتیلن ترفتالات، همانند پلیمرهای سنتزی، ماندگاری زیادی دارد و در طبیعت به کندی تجزیه می‌شود. به همین دلیل، پسماندهای حاصل از این ماده، تهدیدی جدی برای زندگی روی کره زمین به شمار می‌آید.
- پلاستیک‌ها به دلیل ویژگی‌هایی روبرو، کاربردهای وسیعی در زندگی پیدا کرده‌اند: ۱- چگالی کم ۲- نفوذناپذیری نسبت به هوا و آب ۳- ارزان بودن ۴- مقاومت در برابر خوردگی
- استفاده بی‌رویه و بیش از حد از مواد پلاستیکی در صنایع گوناگون، به همراه زیست‌تخریب‌ناپذیری این مواد، سبب شده که پلاستیک‌ها در جای‌جای کره زمین یافت شوند. به همین خاطر است که گفته می‌شود بازیافت پلاستیک‌ها اجتناب‌ناپذیر است.
- یکی از مواد پلاستیکی قابل بازیافت، پلی‌اتیلن ترفتالات است. برای این منظور، باید اجسام ساخته شده از این پلیمر را جداگانه جمع‌آوری و سپس با انجام فرایندهای فیزیکی و شیمیایی، به مواد قابل استفاده تبدیل کرد.
- در روش اول بازیافت پلی‌اتیلن ترفتالات، مواد ساخته شده از این پلیمر را پس از شست و شو و تمیز کردن، ذوب کرده و دوباره از آن‌ها برای تولید وسایل و ابزار دیگر استفاده می‌کنند.
- در روش دوم بازیافت پلی‌اتیلن ترفتالات، پس از شست و شوی مواد پلاستیکی آن‌ها را خرد کرده و به تکه‌های کوچک به نام پرک تبدیل و در تولید مواد پلاستیکی دیگر استفاده می‌کنند.
- در روش سوم بازیافت پلی‌اتیلن ترفتالات، پسماندهای این پلیمر را به مونومرهای سازنده یا مواد اولیه مفید و ارزشمند تبدیل می‌کنند.
- سطح فناوری هر کشور یا گروه صنعتی تعیین می‌کند کدام روش بازیافت را باید انتخاب کرد، زیرا برگرداندن پسماندهای حاصل از پلی‌اتیلن ترفتالات به مونومرهای سازنده کاری بسیار دشوار است.
- 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.
- 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.

- متانول در مقیاس صنعتی، از دو روش مستقیم و غیرمستقیم تولید می‌شود. متان مورد استفاده در این واکنش‌ها را با استفاده از زیست‌گاز، گاز طبیعی و یا گاز مشعل تهیه می‌کنند. تصویر زیر، نمایی از واکنش‌های انجام شده را نشان می‌دهد:



- در روش تولید مستقیم متانول از متان، گاز متان طبق واکنش $CH_4 \xrightarrow{O_2 + \text{کاتالیزگر}} CH_3OH$ اکسایش پیدا می‌کند. 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 واکنش پذیری بسیار کمی دارد و تبدیل آن به متانول فرایندی دشوار است.

- واکنش‌های زیر، روش تولید غیرمستقیم متانول از متان را نشان می‌دهند.



- واکنش کلی تولید غیرمستقیم متانول از متان به صورت $CH_4(g) + H_2O(g) \rightarrow CH_3OH(l) + H_2(g)$ است.

- 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 تعریف می‌شود.

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

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