

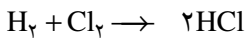
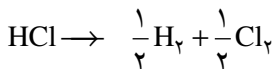
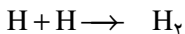
### سرعت واکنش‌ها و عوامل مؤثر بر آن

هدف‌های رفتاری: پس از پایان این فصل، هنرجو باید بتواند:

- ۱- واکنش‌های شیمیایی را تعریف کند.
- ۲- انواع واکنش‌های شیمیایی را بیان کند.
- ۳- مفهوم سرعت واکنش را تشریح کند.
- ۴- عوامل مؤثر بر سرعت واکنش را توضیح دهد.

#### مقدمه

می‌دانید که واکنش شیمیایی را این‌گونه تعریف می‌کنند:  
 هر فرایندی که همراه با تشکیل، شکستن یا تشکیل و شکستن پیوند شیمیایی باشد، واکنش شیمیایی نام دارد. به واکنش‌های شیمیایی زیر دقت کنید:



به این ترتیب تمام فرایندهایی نظیر تجزیه‌ی مولکول‌ها، تشکیل مولکول‌ها، ترکیب اسیدها و بازها، هم‌چنین، زنگ زدن آهن، سوختن چوب، فتوسنتز و غیر آن‌ها واکنش‌های شیمیایی هستند.

#### ۸-۱- انواع واکنش‌های شیمیایی

الف - واکنش‌های هموزن      ب - واکنش‌های هتروژن

به سیستمی که فقط از یک فاز تشکیل شده باشد و توزیع فشار، دما، غلظت و ... در آن یک‌نواخت باشد، همگن گفته می‌شود و به سیستمی که از بیش‌تر از یک فاز تشکیل شده باشد،

غیرهمگن گویند.

به همین ترتیب واکنش‌هایی را که درون یک فاز اتفاق می‌افتد واکنش همگن و واکنش‌هایی که بین دو یا چند فاز رخ می‌دهند را واکنش غیرهمگن نامند. در تعریف کلی به واکنش‌هایی که روی یک سطح تشکیل می‌شوند، واکنش غیرهمگن گویند.

اگر در واکنش شیمیایی، تمام مواد اولیه و محصولات از یک فاز باشند مثلاً هم مواد اولیه و هم محصولات به شکل گاز باشند، یا هم مواد اولیه و هم محصولات در فاز مایع باشند، واکنش هم‌وزن است. در صورتی که یکی از مواد اولیه یا محصولات واکنش از فاز دیگری باشند واکنش هتروژن است.

## ۸-۲- سرعت واکنش

یکی از ویژگی‌های مهم واکنش شیمیایی، سرعت انجام یافتن آن است. در اغلب موارد علاقه‌مند هستیم که آزمایش‌ها به سرعت در آزمایشگاه صورت بگیرند، زیرا مشتاقیم تغییرات انجام یافته و ثبت نتایج را در کوتاه‌ترین مدت ممکن مشاهده کنیم. صاحبان یا مسئولان کارخانه‌ها نیز علاقه‌مندند سرعت واکنش‌ها افزایش یابد تا هرچه زودتر نیاز بازار را تأمین کنند و به سود بیش‌تری برسند.

در عین حال، گاهی درصدد هستیم که از سرعت واکنش‌ها بکاهیم. برای مثال، اندکی از مواد شیمیایی ویژه‌ای به مربا می‌زنیم تا کپک زدن آن را عقب بیندازیم. همین کار را نیز با انواع داروهای شیمیایی می‌کنیم تا بر دوام آن‌ها بیفزاییم.

در کارگاه سرامیک به منظور به تعویق انداختن گیرش گچ به آن ریتارد می‌افزاییم. آموختنی‌های قبلی ما هرگز در جهت شناخت عوامل مؤثر بر سرعت واکنش‌های شیمیایی نبوده است. یک معادله‌ی شیمیایی موازنه شده، نسبت مواد ترکیب‌شونده را نشان می‌دهد و نه سرعت ترکیب آن‌ها را. سرعت واکنش فقط از راه آزمایش قابل محاسبه است و پیش‌گویی سرعت واکنش بر مبنای مطالعه‌ی نظری ناممکن است. مخلوط گازهای نیدروژن و اکسیژن ممکن است مدت‌های مدیدی بدون ترکیب قابل ملاحظه باقی بماند. در صورتی که مولکول‌های این مخلوط به کمک جرقه و در فاصله‌های زمانی میکروثانیه با انفجار ترکیب می‌شوند. هم‌چنین، اسیداستیک را یک اسید ضعیف می‌دانیم که غلظت یون‌های  $H^+$  در آن بسیار کم است. در عین حال، به تجربه می‌دانیم که این اسید خیلی سریع و به شدت با مواد دیگری از قبیل بازها و کربنات‌ها ترکیب می‌شود.

برای آگاهی از سرعت واکنش و عوامل مؤثر بر آن باید با مفاهیم و اصول خاصی آشنا شد. که

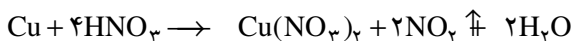
در ابتدا با مفهوم «سرعت واکنش» آشنا می‌شویم.

## ۱-۲-۸- مفهوم سرعت واکنش: همگی با مفهوم سرعت آشنایی داریم. ممکن است گفته

شود که سرعت دویدن قهرمان دو ۱۰۰ متر جهان در حدود ۱۰ متر بر ثانیه است یا این که سرعت خواندن یک کتاب توسط شخصی ۲۰۰ کلمه در دقیقه است و بالأخره ممکن است اعلام شود که حداکثر سرعت مجاز برای رانندگی در یک خیابان ۵۰ کیلومتر در ساعت است.

در یک واکنش شیمیایی نیز، که طی آن از مقدار یا غلظت مواد اولیه کاسته می‌شود و بر مقدار و غلظت محصولات عمل افزوده می‌گردد، می‌توان سرعت را بر مبنای مقدار مصرف مواد اولیه یا مقدار تولید محصولات عمل در واحد زمان سنجید.

واحد زمان برای سنجش سرعت‌ها بسیار متفاوت است. برای مثال، تغییر محسوس اثر فرسایشی آب و هوا بر سنگ‌های کوهستانی، که به تشکیل دره‌ها منجر می‌گردد، پس از گذشت هزاران سال آشکار می‌گردد. در عین حال، بسیاری از واکنش‌های شیمیایی مانند انفجار کپسول گاز آشپزخانه، طی چند میکروثانیه صورت می‌گیرد. سوختن یک شمع طی چند دقیقه، زنگ زدن آهن قراضه در چند روز و هفته و بالأخره متلاشی شدن و تجزیه‌ی برگ درختان در چند ماه انجام می‌گردد. سرعت اغلب واکنش‌ها را در آزمایشگاه با واحد ثانیه می‌سنجند.



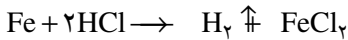
هرگاه یک تکه سیم مسی را در اسید نیتریک رقیق قرار دهیم، می‌بینیم که این دو ماده در آغاز با شدت زیادی ترکیب می‌شوند، زیرا در ابتدا تعداد ذرات اسیدی که روی فلز مؤثرند بسیار زیاد بوده و در نتیجه سرعت واکنش زیاد است. با مرور زمان از غلظت اسید و شدت اثر آن کاسته می‌شود. در نتیجه سرعت آن نیز کاهش می‌یابد تا سرانجام و با مصرف شدن کامل اسید یا فلز، واکنش کاملاً متوقف می‌شود و سرعت آن به صفر می‌رسد. به همین دلیل، به جاست که به جای اصطلاح «سرعت واکنش» از مفهوم «سرعت متوسط واکنش» که میانگین سرعت‌هاست، صحبت کنیم. سرعت واکنش را با هر کدام از فرمول‌های زیر می‌توان به دست آورد.

$$\text{سرعت متوسط به وجود آمدن یک محصول} = \frac{\text{تعداد مول‌های تولید شده آن محصول}}{\text{زمان}}$$

$$\text{تعداد مول‌های از بین رفته‌ی آن واکنش دهنده} = \frac{\text{سرعت متوسط از بین رفتن یک واکنش دهنده}}{\text{زمان}}$$

۲-۲-۸- چند مثال برای سنجش سرعت واکنش: هرگاه ماده‌ی شرکت کننده در واکنش جامد باشد، می‌توان مقدار مصرف یا تولید آن را با مول سنجید و هرگاه به صورت محلول باشد، می‌توان تغییر غلظت آن را به صورت مول در لیتر در نظر گرفت و بالأخره هرگاه به صورت گاز باشد، می‌توان تغییر در حجم یا تغییر در فشار گاز را ملاک سنجش سرعت قرار داد.

**الف - محاسبه‌ی سرعت متوسط مصرف یک ماده جامد:** یک میخ کوچک از آهن خالص به جرم  $6/72$  گرم طی مدت ۵ دقیقه در محلولی از اسید کلریدریک حل شده است. سرعت متوسط واکنش را بر مبنای آهن مصرف شده حساب کنید. اتم گرم آهن ۵۶ گرم است.



$$12/0 \text{ مول} = \frac{6/72}{56} = \text{تعداد مول‌های آهن مصرف شده}$$

$$\frac{12/0 \text{ مول}}{300 \text{ ثانیه}} = \frac{12/0 \text{ مول}}{5 \times 60 \text{ ثانیه}} = \text{سرعت متوسط واکنش}$$

$$= 0/0004 \text{ مول بر ثانیه}$$

**ب - محاسبه‌ی سرعت متوسط مصرف یک ماده محلول:** هرگاه در آزمایش قبلی، واکنش را با یک لیتر محلول اسید کلریدریک به غلظت  $0/5$  مول بر لیتر آغاز کرده و در پایان، غلظت اسید به  $0/26$  مول بر لیتر رسیده باشد، سرعت متوسط واکنش را برحسب اسید مصرف شده حساب کنید. کاهش غلظت اسید در طول واکنش برابر است با:

$$\text{مول بر لیتر } 0/26 - 0/5 = 0/24$$

چون حجم محلول یک لیتر است، بنابراین  $0/24$  مول اسید خالص مصرف شده است.

$$\text{سرعت متوسط واکنش} = \frac{\text{تعداد مول‌های اسید خالص مصرف شده}}{\text{زمان واکنش}}$$

$$\text{مول بر ثانیه } 0/0008 = \frac{0/24 \text{ مول}}{300 \text{ ثانیه}}$$

**ج - محاسبه‌ی سرعت متوسط تولید یک گاز:** هرگاه در آزمایش قبلی  $2/688$  لیتر گاز نیدروژن در شرایط متعارفی آزاد شده باشد، سرعت واکنش را برحسب تولید گاز نیدروژن حساب کنید.

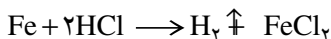
می‌دانیم که حجم یک مول گاز ئیدروژن در شرایط متعارفی برابر ۲۲/۴ لیتر است.

مول گاز	لیتر
۱	۲۲/۴
x	۲/۶۸۸

$$x = \text{مول} = \frac{۲/۶۸۸}{۲۲/۴} = ۰/۱۲$$

$$\text{مول بر ثانیه} = \frac{۰/۱۲ \text{ مول}}{۳۰۰ \text{ ثانیه}} = ۰/۰۰۰۰۴$$

یک نتیجه‌گیری مهم: معادله‌ی واکنش و سرعت متوسط آن برحسب هریک از مواد شرکت‌کننده در آن، به ترتیب زیر بوده است:



$$۰/۰۰۰۰۴ \quad ۰/۰۰۰۰۸ \quad ۰/۰۰۰۰۴$$

سرعت متوسط برحسب مول بر ثانیه

این نتیجه‌گیری می‌رساند که:

اولاً، سرعت مصرف آهن برابر سرعت تولید گاز ئیدروژن بوده است. به عبارت دیگر، چون ضریب آهن و ئیدروژن در معادله یک‌سان و هریک از آن‌ها برابر یک مول بوده است، بنابراین سرعت مصرف یا تولید این دو ماده یک‌سان است.

ثانیاً، سرعت مصرف اسیدکلریدریک دو برابر سرعت مصرف و تولید آهن و ئیدروژن است. زیرا به ازای هریک مول آن‌ها، دو مول اسید مصرف می‌شود.

۳-۲-۸- عوامل مؤثر بر سرعت واکنش: آزمایش‌های گوناگون نشان می‌دهد که سرعت

واکنش به چهار عامل مهم بستگی دارد، که عبارت‌اند از:

۱- نوع و ماهیت مواد شرکت‌کننده در واکنش؛

۲- غلظت مواد شرکت‌کننده در واکنش (و سطح تماس و اندازه‌ی دانه به عنوان حالت خاصی

از غلظت)؛

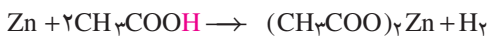
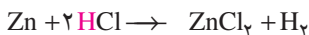
۳- دمای واکنش؛

۴- کاتالیزور.

حال به بررسی هریک از این عوامل می‌پردازیم.

نقش نوع مواد در سرعت واکنش: می دانیم که در یک واکنش شیمیایی، پیوندهایی می شکنند و پیوندهای جدیدی پدید می آیند. بنابراین، منطقی به نظر می رسد که نوع اتم های تشکیل دهنده ی مواد و استحکام پیوند میان آن ها، در سرعت واکنش، نقش داشته باشند.

دو محلول به غلظت یک سان (مثلاً یک مول در لیتر) از کلریدریک اسید و استیک اسید انتخاب می کنیم و اثر آن ها را بر دو تکه هم شکل از فلز روی امتحان می کنیم:

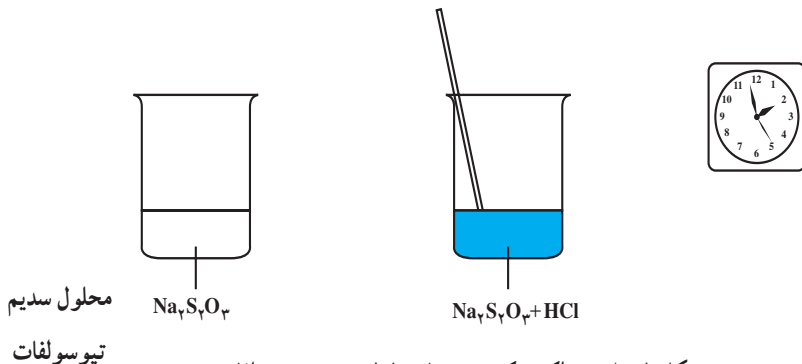
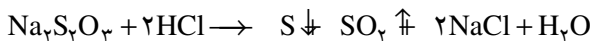


آزمایش نشان می دهد که شدت واکنش کلریدریک اسید با فلز روی خیلی بیش از استیک اسید است. می دانیم که همه ی شرایط در این دو آزمایش یک سان است. تنها تفاوت مشهود در این جا بین ذره ی کوچک و ساده (Cl) و ذره ی بزرگ و پیچیده (CH<sub>3</sub>COO) است. شکستن پیوند میان Cl و H در محلول کلریدریک اسید آسان و شکستن پیوند میان (CH<sub>3</sub>COO) و H در محلول استیک اسید دشوار است.

هرگاه محلول بسیار رقیق کلریدریک اسید روی موزائیک ریخته شود، فوراً روی آن اثر می کند و کف فراوان پدید می آید که مربوط به اثر اسید بر کلسیم کربنات موجود در موزائیک است که به آزاد شدن گاز کربن دی اکسید منجر می گردد.



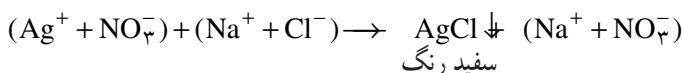
حال، هرگاه اندکی از همان محلول بسیار رقیق کلریدریک اسید برداریم و بر ذرات بزرگ و پیچیده سدیم تیوسولفات بریزیم، واکنش به کندی صورت می گیرد:



شکل ۸-۱ - واکنش کند HCl با محلول سدیم تیوسولفات

در این جا مطابق شکل ۱-۸ چند ثانیه طول می کشد (مثلاً ۲۴ ثانیه) تا محلول تقریباً کدر شود. پیدایش رسوب شیری رنگ گوگرد به تدریج مشهود می شود. برای مثال، بعد از گذشت مدت قابل توجهی در حدود ۳۰ تا ۶۰ ثانیه، محلول کاملاً کدر می شود. به طوری که اگر یک شیء کوچک زیر ظرف بگیریم، نمی توانیم آن را به چشم خود از بالا ببینیم.

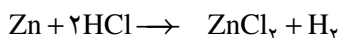
به طور کلی، می توان گفت واکنش های امکان پذیر بین ذرات و یون های ساده، خیلی سریع انجام می گیرند. ریختن محلول سدیم کلرید بر محلول نقره نیترات فوراً به تشکیل رسوب کلرید نقره منجر می گردد، زیرا به محض برخورد یون های  $Cl^-$  با یون های  $Ag^+$ ، رسوب پدید می آید.



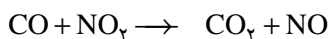
ولی واکنش میان ذرات بزرگ و پیچیده مانند تیوسولفات کندتر انجام می گیرد.

**نقش غلظت مواد در سرعت واکنش:** می دانیم هرچه زغال نیم افروخته را بیش تر باد بزیم، بر شدت سوختن آن می افزاییم. این مثالی است از مشاهده ی روزمره ی ما برای بیان نقش افزایش حجم اکسیژنی که در واحد زمان وارد صحنه ی احتراق می شود. به عبارت دیگر نمایانگر اثر افزایش غلظت یکی از مواد شرکت کننده بر سرعت واکنش است.

در آزمایشگاه نیز می توان تکه ای از فلز روی را یک مرتبه در کلریدریک اسید رقیق (مثلاً یک مول در لیتر) و بار دیگر در کلریدریک اسید غلیظ (مثلاً ۶ مول در لیتر) قرار داد و مشاهده نمود که واکنش در مورد اسید غلیظ خیلی شدیدتر است و تکه ی فلز در آن با سرعت بیش تری حل و ناپدید می گردد.



هرگاه اندکی گوگرد را در هوا بسوزانیم، می بینیم که واکنش  $S + O_2 \rightarrow SO_2$ ، با تولید شعله ی آبی بسیار کم رنگ همراه است. در صورتی که همان گوگرد در گاز اکسیژن خالص با شدت بیش تر و شعله ی آبی فروزانی می سوزد. می دانیم که هوا در حکم محلول رقیقی از اکسیژن در نیتروژن است و سوختن گوگرد در محلول رقیق اکسیژن با شدت کم تری صورت می گیرد. بالأخره آزمایش زیر را به یاد می آوریم:



آزمایش کمی و دقیق نشان می دهد که هرگاه غلظت  $NO_2$  را ثابت بگیریم، ولی غلظت  $CO$  را به جای یک مول در لیتر به دو مول در لیتر برسانیم، سرعت واکنش دو برابر می شود. عکس آن نیز درست است، یعنی اگر غلظت  $CO$  را ثابت بگیریم و غلظت  $NO_2$  را دو برابر کنیم، خواهیم دید که سرعت واکنش دو برابر می شود.

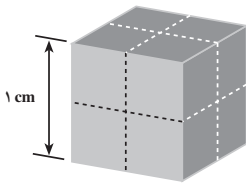
به طور کلی آزمایش‌های گوناگون نشان می‌دهند که سرعت واکنش با غلظت نسبت مستقیم دارد و معمولاً هرچه بر میزان غلظت مواد افزوده شود، سرعت واکنش نیز افزایش می‌یابد.

در پایان یادآور می‌شویم که در مورد گازها، هرچه فشار بیش‌تر شود، بر تراکم و غلظت مولکول‌های آن افزوده می‌گردد. بنابراین، افزایش فشار یک گاز خود جلوه‌ای از افزایش غلظت آن خواهد بود.

**نقش سطح تماس مواد در سرعت واکنش (حالت خاصی از غلظت):** اگر قطعات فلز روی را در اسید کلریدریک بریزیم، دو فاز مختلف، شامل جامد و مایع، خواهیم داشت که در کنار یکدیگر قرار دارند. فقط اتم‌های سطحی فلز هستند که در هر لحظه تحت تأثیر اسید قرار می‌گیرند. تکه‌های درشت فلز روی به آرامی با اسید کلریدریک ترکیب می‌شوند ولی پودر این فلز با چنان شدتی با اسید ترکیب می‌شود که مخلوط کف می‌کند و پخش می‌گردد.

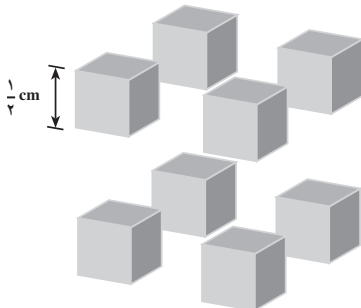
تکه‌های درشت زغال به آسانی در هوا نمی‌سوزند، ولی پودر زغال پراکنده شده در هوای معدن زغال‌سنگ، با یک جرعه انفجار مهیبی ایجاد می‌کند. نظیر این فاجعه نیز ممکن است در کارخانه‌ی آردسازی روی دهد. مخلوط ذرات بسیار ریز آرد و هوا در شرایط حفاظت نشده آتش‌گیر و قابل انفجار است. بالأخره یک میخ آهنی به علت کوچک بودن سطح تماس، هفته‌ها وقت می‌گیرد تا در جای مرطوب زنگ بزند، ولی سیم ظرف‌شویی که از آهن ساخته شده و سطح تماس بیش‌تری با هوا دارد، یک روزه در همان محل زنگ می‌زند.

برای توجیه نقش افزایش سطح تماس کافی است که به شکل زیر توجه کنیم. مطابق شکل ۸-۲،



سانتی‌متر مربع  $6 = 6 \times (1 \times 1)$  : سطح یک مکعب

سانتی‌متر مربع  $\frac{3}{4} = \left(\frac{1}{4} \times \frac{1}{4}\right) \times 6$  : سطح مکعب کوچک



سانتی‌متر مربع  $12 = 8 \times \frac{3}{4}$  : سطح ۸ مکعب کوچک

شکل ۸-۲ - افزایش سطح جانبی مکعب در اثر برش خوردن و تبدیل به مکعب‌های کوچک‌تر



از یک مکعب بزرگ آهنی که طول ضلع آن یک سانتی متر است، ۸ مکعب کوچک نیم سانتی متری ساخته‌ایم. این کار، سطح جانبی را از ۶ سانتی متر مربع به ۱۲ سانتی متر مربع رسانیده است. بنابراین، امکان تماس اتم‌های آهن با هوای مرطوب دو برابر می‌شود و سرعت زنگ زدن دو برابر می‌گردد.

**نقش دما در سرعت واکنش:** می‌دانیم که زغال گرم یا نفت گرم خیلی زود آتش می‌گیرد. آزمایش‌های گوناگون می‌رساند که سرعت کلیه واکنش‌های شیمیایی، چه گرمازا و چه گرماگیر، با افزایش دما، بیش‌تر و با کاهش دما، کم‌تر می‌شود.

قاعده‌ی تقریبی دو برابر شدن سرعت واکنش بر مبنای افزایش دما به میزان ۱۰ درجه سانتی‌گراد، تا حدودی عمومیت داشته و در قلمرو دماهای معمولی (مثلاً ۲۰ تا ۶۰ درجه) تقریباً درست است.<sup>۱</sup> آزمایشی که در دمای ۶۰ درجه انجام می‌گیرد تقریباً به نسبت ۲<sup>۴</sup> و یا ۱۶ مرتبه سریع‌تر از همان آزمایش در دمای ۲۰ درجه است. زیرا فاصله‌ی دمای ۲۰ تا ۶۰ شامل چهار مرحله افزایش ۱۰ درجه است.

موارد کاربرد این قاعده در زندگی زیاد است. داخل دیگ زودپز که دمای جوش آب را از درجه‌ی ۱۰۰ تا ۱۱۰ درجه افزایش می‌دهد. ممکن است زمان پختن غذا را تا نصف و کم‌تر از آن تقلیل دهد. دوام شیر نگه‌داری شده در دمای ۵ درجه‌ی سانتی‌گراد یخچال، ممکن است چهار برابر دوام آن در دمای ۲۵ درجه‌ی اتاق باشد (۲۵ تا ۵ درجه شامل دو مرحله کاهش ۱۰ درجه است). نگه‌داری گوشت یخ‌زده و سایر غذاهای منجمد نیز، به همین علت در مدت زمان طولانی‌تر ممکن است. باکتری‌های تخمیرکننده و متلاشی‌کننده مواد غذایی در دماهای بسیار پایین فعالیت کم‌تری دارند. البته این را نیز بدانیم که بالا بودن دما تنها عامل فساد مواد غذایی به‌شمار نمی‌رود. غذاهای یخ‌زده حتی اگر در دمای ۳۰ درجه زیر صفر نگه‌داری شوند، در مدت‌های طولانی فاسد می‌گردند. با این شرح احتمالاً بی‌خواهید برد که ثابت ماندن دما در جانوران خون‌گرم تا چه حد در ثابت نگه‌داشتن سرعت واکنش‌های انجام یافته در مایعات و سلول‌های بدن آن‌ها نقش دارد و باعث هماهنگی و متعادل شدن فعالیت‌های حیاتی می‌شود.

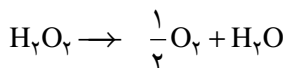
**نقش کاتالیزور در سرعت واکنش:** «کاتالیزور» ماده‌ای است، که در واکنش شرکت می‌کند و بر سرعت آن اثر می‌گذارد و معمولاً در پایان بدون تغییر و مصرف شدن، باقی می‌ماند. به همین دلیل، آن را در معادله موازنه شده وارد نمی‌کنند.

---

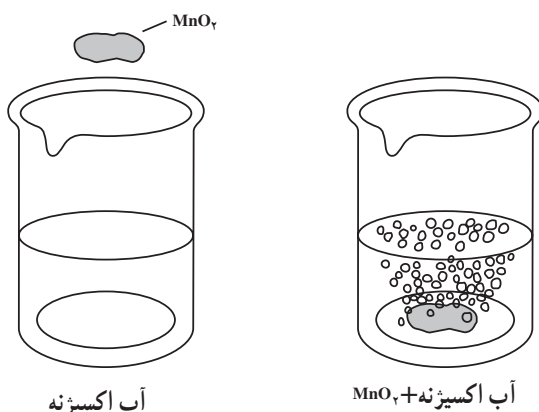
۱- این قاعده هم از طریق تجربی و هم از طریق نظری بر مبنای یکی از روابط پیش‌نهاد شده به وسیله‌ی آرنیوس، دانشمند

سوئدی تأیید می‌شود.

یک شیشه محلول تیروژن دی اکسید  $H_2O_2$ ، که ضد عفونی کننده بوده و در داروخانه به آب اکسیژنه معروف است، برای چندین ماه «خاصیت» خود را نگه می دارد و خیلی کند به آب و گاز اکسیژن تجزیه می شود.

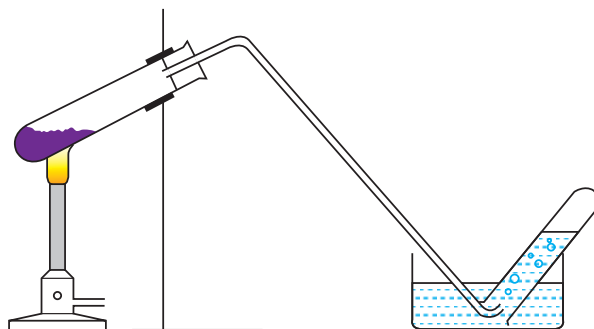


با ریختن اندکی محلول پتاسیم یدید (KI) یا اندکی گرد سیاه رنگ منگنز دی اکسید  $MnO_2$  به ظرف محتوی تیروژن دی اکسید، واکنش تجزیه مطابق شکل ۳-۸ به شدت صورت می گیرد و مقدار زیادی گاز اکسیژن آزاد می گردد که می تواند چوب نیم افروخته را روشن سازد.



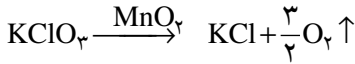
شکل ۳-۸- تأثیر کاتالیزور بر واکنش تجزیه ی  $H_2O_2$

هرگاه مقداری پتاسیم کلرات را در لوله آزمایش، مطابق شکل ۴-۸ حرارت دهیم، عمل تجزیه و آزاد شدن گاز اکسیژن نیاز به دمای بیش تر دارد و این گاز به کندی تولید می شود. حرارت دادن بیش تر خطرناک بوده و ممکن است به انفجار مخلوط منجر گردد.



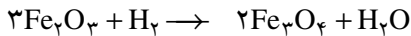
شکل ۴-۸- تأثیر کاتالیزور بر واکنش تجزیه ی  $KClO_3$

حال، اگر پتاسیم کلرات را در آغاز، با هم وزن خود منگنز دی اکسید مخلوط کنیم و حرارت دهیم، عمل تجزیه کلرات پتاسیم به آسانی و در دمای پایین تر صورت می گیرد. منگنز دی اکسید سیاه رنگ در پایان واکنش بدون تغییر در کیفیت و کمیت، باقی می ماند. از این رو، این ماده نقش کاتالیزور را در فرآیند تجزیه حرارتی کلرات پتاسیم دارد.



### پرسش و تمرین

- ۱- واکنش شیمیایی را تعریف کنید.
- ۲- انواع واکنش های شیمیایی را نام ببرید و تفاوت آن ها را بیان کنید.
- ۳- چگونه می توان گیرش گچ را به تعویق انداخت؟
- ۴- مبنای سنجش سرعت واکنش شیمیایی چیست؟
- ۵- در واکنش زیر، سرعت تولید  $\text{H}_2\text{O}$  و  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  را با سرعت مصرف  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  و  $\text{H}_2$  مقایسه کنید.



- ۶- عوامل مؤثر بر سرعت واکنش های شیمیایی را نام ببرید.
- ۷- نقش نوع مواد در سرعت واکنش شیمیایی چگونه است؟
- ۸- نقش غلظت مواد را در سرعت واکنش های شیمیایی توضیح دهید.
- ۹- تغییر فشار گاز چگونه می تواند در سرعت واکنش های شیمیایی اثر بگذارد؟
- ۱۰- سرعت زنگ زدن تیرآهنی در هوا بیش تر است یا قطعات کوچک آهن؟

چرا؟

- ۱۱- کاتالیزور چیست؟
- ۱۲- چرا کاتالیزور در معادله ی موازنه شده وارد نمی شود؟
- ۱۳- به نظر شما سرعت واکنش دو مایع باهم بیشتر است یا یک مایع و یک جامد؟ چرا؟

### آشنایی با سیمان، گچ و آهک

هدف‌های رفتاری: پس از پایان این فصل، هنرجو باید بتواند:

- ۱- سیمان را تعریف کند.
- ۲- اکسیدهای موجود در سیمان را نام ببرد.
- ۳- فازهای موجود در سیمان را نام ببرد و آن‌ها را از نظر نحوه‌ی گیرش باهم مقایسه کند.
- ۴- انواع گیرش سیمان را توضیح دهد.
- ۵- مراحل آب‌پوشی سیمان را بیان کند.
- ۶- روش‌های تولید سیمان را نام ببرد و آن‌ها را باهم مقایسه کند.
- ۷- عملیات تولید سیمان را شرح دهد.
- ۸- انواع فازهای موجود در گچ را توضیح دهد.
- ۹- نحوه‌ی گیرش گچ را بیان کند.
- ۱۰- انواع روش‌های تولید گچ را شرح دهد.
- ۱۱- نحوه‌ی گیرش آهک را توضیح دهد.
- ۱۲- جریان تولید آهک را شرح دهد.
- ۱۳- موارد استفاده‌ی آهک را نام ببرد.

#### مقدمه

در این فصل با منشأ، روش تولید و نحوه‌ی گیرش هریک از مواد سرامیکی خودگیر یعنی سیمان، گچ و آهک آشنا می‌شوید.

#### ۹-۱- سیمان

سیمان ماده‌ای است دارای میل ترکیبی با آب، که در اثر ترکیب با آب هیدراته می‌شود و سپس

باند هیدرولیکی ایجاد می‌نماید (خاصیت گیرش در زیر آب) و این مشخصه باعث چسبیدن مواد بر یکدیگر می‌شود. در صورت ترکیب سیمان با آب و سپس دادن فرصت لازم، مخلوط به‌دست آمده، به مرور سخت می‌گردد و نهایتاً جسمی شبیه سنگ (سنگ مصنوعی) حاصل می‌شود.

در ایران، از زمان‌های قدیم در مناطق مرطوب، به‌خصوص مناطق شمالی خلیج فارس از نوعی ساروج استفاده می‌شد که خواص هیدرولیکی مطلوب و مقاومت فشاری بالایی داشت. معروف‌ترین این ساروج‌ها، ساروج خمیر است که در بندر خمیر تهیه می‌شد. هنوز تأسیسات بندری ساخته شده توسط این نوع ملات در مناطقی مانند بندرلنگه و بندر بوشهر پابرجاست.

برای اولین بار، حدود ۱۸۰ سال قبل، از مخلوط مصنوعی سنگ آهک و خاک رس یک نوع آهک هیدرولیکی ساخته شد که به نام «سیمان پرتلند» معروف گردید، که به تدریج تکامل یافته و به سیمان پرتلند امروزی مبدل شده است. در ایران، زمان آغاز به‌کارگیری سیمان به‌طور کامل مشخص نیست. اما آمار نشان می‌دهد که در سال ۱۳۱۴ هجری شمسی ایران چهارمین واردکننده‌ی سیمان در جهان بوده است. اولین کارخانه‌ی سیمان‌سازی ایران به‌طور رسمی در سال ۱۳۱۲ در شهر ری به بهره‌برداری رسید و پس از آن واحدهای تولیدی دیگری در نقاط دیگر کشور به بهره‌برداری رسیدند.



شکل ۹-۱- استخراج سنگ معدن جهت مصرف در کارخانه سیمان

### ۹-۱-۱- شیمی سیمان

مواد اولیه: مواد اولیه سیمان شامل کربنات کلسیم و آلومینو سیلیکات‌های قلیایی است، که در زیر به آن‌ها اشاره می‌شود. اکسیدهای عمده‌ی تشکیل‌دهنده‌ی سیمان پرتلند عبارت‌اند از: کلسیم

اکسید (CaO)، منیزیم اکسید (MgO)، سیلیسیم اکسید (SiO<sub>2</sub>)، آلومینیم اکسید (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) و آهن III اکسید (هماتیت) Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. علاوه بر اکسیدهای مذکور سایر اکسیدها نیز مانند اکسیدهای قلیایی از طریق مواد اولیه وارد سیستم می‌شود. منابع تأمین اکسیدهای مذکور به صورت زیر است:

کلسیم اکسید از تجزیه‌ی سنگ آهک (CaCO<sub>3</sub>) تأمین می‌شود. سیلیسیم اکسید و آلومینیم اکسید از رس مصرفی تأمین می‌گردند. هم‌چنین، منبع تأمین اکسید آهن مخلوط سنگ آهک و رس (مارن) و یا سنگ آهک است.

کلسیم اکسید یا آهک (CaO) جزء اصلی تشکیل دهنده‌ی سیمان هاست. وزن مخصوص آهک در حدود 3/3 g/cm<sup>3</sup> است.

سیلیسیم اکسید از عمده‌ترین اجزای تشکیل دهنده‌ی سیمان پرتلند (بعد از آهک) است و وزن مخصوصش 2/65 g/cm<sup>3</sup> است.

آلومینیم اکسید سومین اکسید مهم تشکیل دهنده‌ی سیمان است که دارای وزن مخصوص 3/9 g/cm<sup>3</sup> است. آهن III اکسید چهارمین اکسید مهم در سیمان پرتلند است و دارای وزن مخصوص 5/25 g/cm<sup>3</sup> می‌باشد.

۱-۹-۲ فازهای سیمان: ترکیبات عمده‌ای که در سیمان وجود دارد و به نام فازها یا کریستال‌های کلینکر سیمان موسوم هستند عبارت‌اند از:

جدول ۱-۹- فازهای کلینکر سیمان

ردیف	نام فاز	ترکیب شیمیایی	علامت اختصاری (فازها)	نام مینرالی فازها
۱	سه کلسیم سیلیکات	۳CaO.SiO <sub>2</sub>	C <sub>3</sub> S	آلیت
۲	دو کلسیم سیلیکات	۲CaO.SiO <sub>2</sub>	C <sub>2</sub> S	بلیت
۳	سه کلسیم آلومینات	۳CaO.Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	C <sub>3</sub> A	سلیت
۴	کلسیم آلومینو فرات	۴CaO.Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	C <sub>4</sub> AF	براون و میلریت

البته، عملاً در کریستال‌های فازهای فوق مقداری از اکسیدهای فرعی نظیر MgO، K<sub>2</sub>O، Na<sub>2</sub>O، TiO<sub>2</sub> و آهک آزاد و سولفات‌ها و غیر آن‌ها نیز وجود دارد.

سه کلسیم سیلیکات یا ۳CaO.SiO<sub>2</sub>: جزء اصلی سیمان پرتلند است، که خواص اصلی سیمان ناشی از وجود این فاز است. این فاز دارای خواص گیرش اولیه و نهایی است. هم‌چنین، بخش عمده‌ای از خواص مکانیکی سیمان مربوط به این فاز است.

دو کلسیم سیلیکات  $2CaO.SiO_2$ : تأثیر چندانی در گیرش سیمان ندارد ولی در درازمدت (حدود چند روز) هیدراته شده و ایجاد گیرش می‌نماید. هم‌چنین، در مقاومت سیمان در درازمدت مؤثر است.

سه کلسیم آلومینات یا  $3CaO.Al_2O_3$ : دارای گیرش سریع است. از مخلوط کردن بودر آن با آب، حرارت زیادی ایجاد می‌شود که شکفتن آن به صورت انفجارگونه و همراه با بخار آب است. پس از شکفته شدن خمیری با شکل پذیری بالا حاصل می‌شود که در صورت قرار گرفتن در مجاورت هوای مرطوب عمل گیرش ادامه پیدا می‌کند و به جسم سختی با مقاومت نسبی تبدیل می‌گردد. اگر خمیر فوق در آب قرار گیرد حل می‌شود و از هم گسیخته می‌گردد. برای کنترل و کاهش گیرش سریع این فاز، به سیمان گچ خام  $CaSO_4.2H_2O$  افزوده می‌شود. در هنگام آسیاب کردن کلینکر، گچ خام در اثر حرارت ناشی از کلینکر و سایش به نیمه هیدراته و انیدرید تبدیل می‌شود.

کلسیم آلومینوفرات  $4CaO.Al_2O_3.Fe_2O_3$ : این فاز سریعاً هیدراته می‌شود ولی شکفتن آن انفجارگونه صورت نمی‌گیرد.

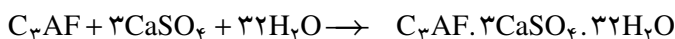
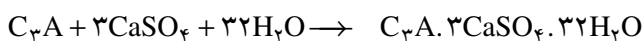
### ۳-۱-۹- گیرش سیمان

گیرش کاذب: عامل گیرش کاذب وجود گچ پخته یا نیم‌پخته در سیمان است. این دو نوع گچ میل ترکیبی شدیدی با آب دارند و در نتیجه مخلوط آب و سیمان و ماسه سریعاً اشباع می‌گردد. در این حالت کریستال‌های  $CaSO_4.2H_2O$  به وجود می‌آیند و سپس، به سرعت رسوب می‌نمایند و باعث می‌گردند که خمیر سیمان سریعاً خودش را بگیرد. در این حالت باید برای به هم زدن ملات اقدام نمود. گیرش سریع: این عمل در حقیقت سخت شدن زودرس ملات یا خمیر سیمان است و از واکنش گچ خام ناشی می‌شود. در این حالت مینرال‌های کلینکر خصوصاً فاز آلومینات کلسیم، ضمن جذب سریع آب، هیدراته می‌شوند. در نتیجه خمیر سیمان سفت و سخت می‌گردد. در این صورت برای باز گرداندن سیالیت و شکل پذیری باید به آن مقداری آب اضافه شود.

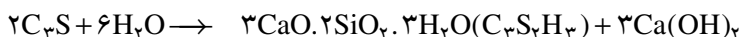
۴-۱-۹- آب پوشی سیمان: واکنش بین آب و اجزای تشکیل دهنده سیمان را آب پوشی سیمان می‌نامند. در اثر این واکنش نخست جسمی خمیری و شکل پذیر به دست می‌آید که با گذشت زمان، مانند سنگ سخت می‌شود. سرعت سخت شدن سیمان‌های گوناگون با هم متفاوت است و به درصد اجزای تشکیل دهنده سیمان و شرایط واکنش بستگی دارد. واکنش‌های آب پوشی سیمان‌ها را می‌توان به سه مرحله تقسیم بندی کرد.

۱- مرحله نهفته: همین که سیمان با آب تماس پیدا می‌کند آب پوشی  $C_3A$ ،  $C_4AF$  و گچ

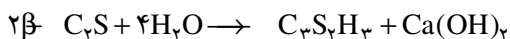
به سرعت صورت می‌گیرد. عمل آب‌پوشی در این مرحله را می‌توان با واکنش‌های زیر نشان داد:



۲- **مرحله‌ی سریع:** سیمان طی این مرحله منعقد می‌شود و واکنش عمده‌ی آن، در این مرحله، مربوط به آب‌پوشی  $C_3S$  است که با فرمول زیر نشان داده می‌شود.



۳- **مرحله‌ی آهسته شدن:** در این مرحله، سرعت آب‌پوشی کاهش می‌یابد. آب‌پوش  $C_3S$  و  $C_3A$  در این مرحله کامل شده است و آب‌پوشی باقی‌مانده  $C_3S$  صورت می‌گیرد که سبب طولانی شدن استحکام سیمان می‌شود. آب‌پوشی  $C_3S$   $\beta$  به صورت زیر است:



در کارخانه‌های سیمان برای تنظیم سرعت آب‌پوشی، عواملی چون ترکیب شیمیایی اجزای سیمان، اندازه‌ی ذره‌ها، نسبت آب به سیمان و مقدار افزودنی‌ها را کنترل می‌کنند.



شکل ۲-۹- نمایشی از کارخانه‌ی سیمان



## ۵-۱-۹- تولید سیمان: به‌طور کلی سیمان به چهار روش تر، نیمه‌تر، نیمه‌خشک و خشک

تولید می‌شود که رایج‌ترین آن‌ها تولید به روش خشک است. در روش تر مواد اولیه به صورت دوغاب وارد کوره می‌شود. در نیمه‌تر و نیمه‌خشک از دوغاب آبدگیری شده (کیک) استفاده می‌شود. (در روش نیمه‌خشک درصد رطوبت کم‌تر از روش نیمه‌تر است).

در روش خشک دو جزء اصلی سیمان یعنی مواد آهکی و رس را از معدن استخراج و به محل کارخانه حمل می‌کنند. مواد اولیه پس از ورود به کارخانه سنگ‌شکن می‌شوند و به اندازه‌هایی زیر ۳۰ میلی‌متر می‌رسند. سپس، آن‌ها را با یکدیگر مخلوط می‌کنند و مواد افزودنی دیگر مانند سیلیس پودر شده و کمک ذوب به آن می‌افزایند. مخلوط به دست آمده وارد آسیاب می‌شود و به صورت پودر درمی‌آید، که به آن خوراک کوره گفته می‌شود.

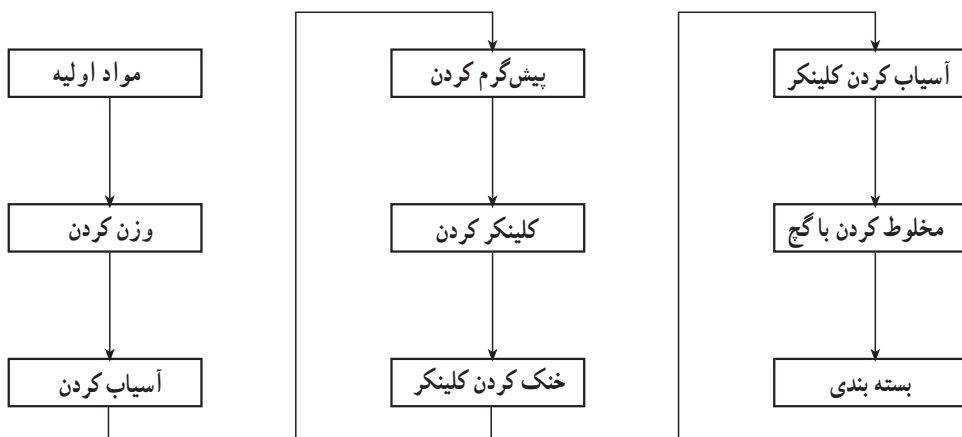
خوراک کوره به پیش‌گرم‌کن کوره وارد می‌شود که تا  $800^{\circ}\text{C}$  حرارت دارد. در مرحله بعد مواد خام از پیش‌گرم‌کن وارد یک کوره چرخان، که با سرعت کم دوران می‌کند، می‌شود. دمای آن تا  $1600^{\circ}\text{C}$  می‌رسد (ماکزیم دما در منطقه جهنم است) (شکل ۳-۹). همه‌ی واکنش‌های پیچیده‌ی شیمیایی مربوط به تهیه‌ی سیمان در این مرحله صورت می‌گیرد.

کوره‌ی چرخان یک استوانه فلزی با طول و قطر زیاد است که به صورت افقی ولی با شیب حدود ۳ تا ۴ درصد قرار گرفته و حرکت دَوْرانی دارد.

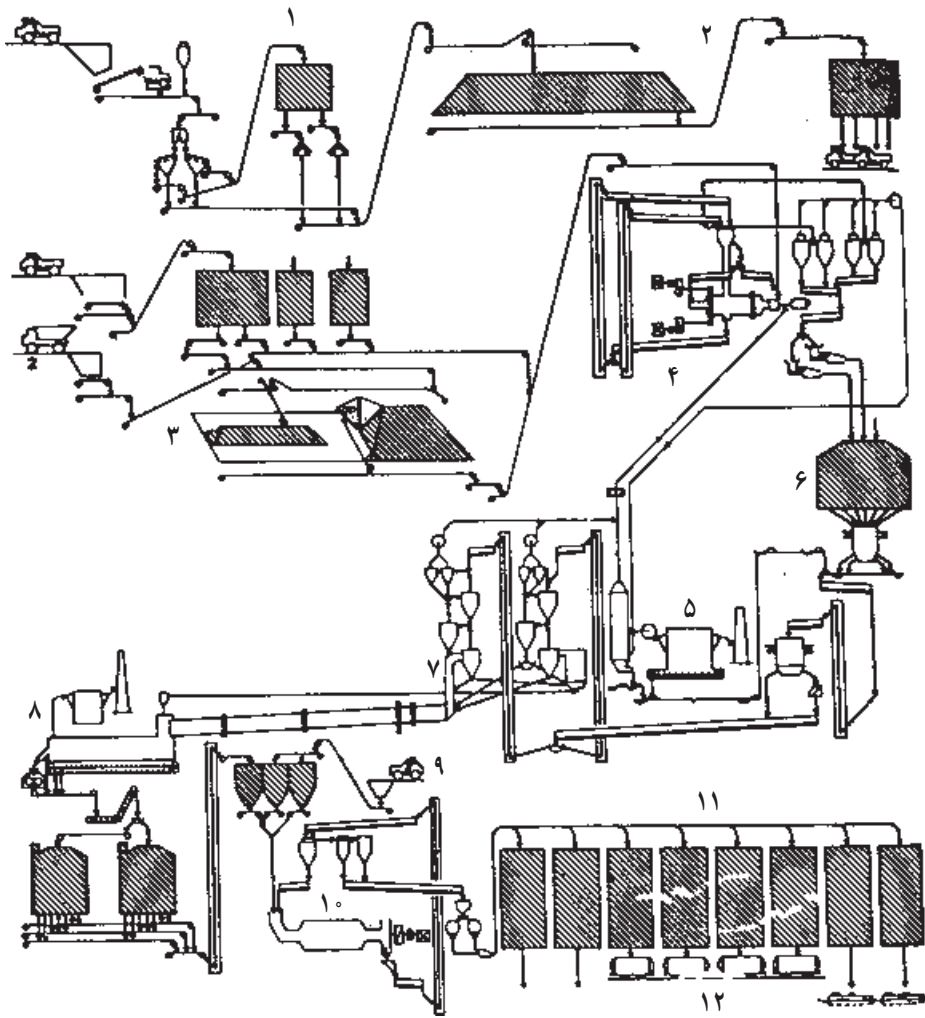


شکل ۳-۹- کوره‌ی دوار پخت سیمان

خوراک کوره هنگام گذشتن از مسیر کوره، نخست تکلیس می‌شود. سپس، با تکمیل تجزیه سیلیکات‌ها، به تدریج ترکیب اکسیدها با یکدیگر آغاز می‌شود. دمای کوره تا اندازه‌ای بالا می‌رود که ذوب ناقص مواد انجام شود و مقداری فاز مایع به وجود آید. در این شرایط بلورهای سیمان تشکیل می‌شود. محصول خروجی از کوره ی چرخان کلینکر نامیده می‌شود که به صورت دانه‌های خاکستری یا قهوه‌ای رنگ است. سپس، دمای کلینکر خارج شده از کوره ی چرخان ۵۰ تا ۶۰ درجه‌ی سانتی‌گراد کاسته می‌شود و در طی خنک شدن تشکیل بلورهای کلینکر کامل می‌شود. در مرحله‌ی بعد کلینکر وارد آسیاب می‌شود تا به صورت گرد درآید و نیز برای کنترل سرعت هیدراتاسیون یا آب‌پوشی آن را با حدود ۳/۵ درصد گچ ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) مخلوط می‌کنند و در نهایت گردی به‌دست می‌آید و در مرحله‌ی بعدی بسته‌بندی می‌شود.



نمودار ۱-۹- مراحل تولید سیمان در یک کارخانه‌ی سیمان



- ۱- سنگ شکنی سنگ آهک ۲- آسیاب رس ۳- پیش مخلوط کن ۴- آسیاب مخلوط مواد اولیه  
 ۵- برج خنک کن و الکتروفیلتر ۶- مخلوط کن و سیلوی ذخیره ۷- کوره ۸- خنک کن کلینکر  
 ۹- آسیاب سنگ گچ ۱۰- آسیاب کلینکر سیمان ۱۱- سیلوهای ذخیره‌ی سیمان ۱۲- بارگیری

نمودار ۲-۹- مراحل تولید سیمان به روش خشک

## ۹-۲- گچ

از زمان‌های دور، گچ و آهک در ساختمان‌سازی به عنوان ملات مورد استفاده قرار می‌گرفته‌اند. ایرانیان، مصریان، بابلیان و رومیان با هنر گچ‌بری آشنا بوده‌اند. تا قرن هجدهم میلادی تفاوت‌های بین گچ و آهک ناشناخته بود.

گچ در طبیعت به صورت سنگ گچ، که حاوی درصد بالایی از مینرال ژپس به فرمول  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  و یا انیدرید به فرمول شیمیایی  $\text{CaSO}_4$  است، به فراوانی یافت می‌شود. ساختمان سنگ گچ‌های قابل استخراج کاملاً متفاوت‌اند. مهم‌ترین نوع آن دارای ساختار ورقه‌ای است. سنگ گچ در انواع الیافی شکل و آلباستر (دانه‌ای) و فشرده و پودری شکل نیز وجود دارد. سنگ گچ خالص معمولاً رنگ سفید دارد ولی سنگ گچ قرمز تا زرد رنگ نیز وجود دارد که محتوی آهن است و در صورت داشتن رنگ خاکستری تا سیاه دارای خاک رس و بیتومین<sup>۱</sup> است.

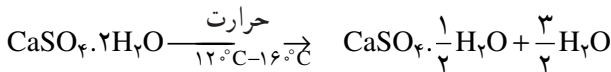


شکل ۹-۴- تصویر کانی ژپس

### ۹-۲-۱- شیمی گچ: انجام تحقیقات درخصوص

اصول فیزیکی و شیمیایی تکنولوژی گچ از زمان لاوازیه به سال ۱۷۶۵ میلادی شروع شده است تا این که در قرن گذشته این امکان فراهم شد که براساس یافته‌های علمی به صنعت پیشرفته کنونی مبدل گردد.

از حرارت دادن سنگ گچ، مینرال ژپس موجود در آن به گچ نیمه هیدراته دارای فرمول شیمیایی  $\text{CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2}\text{H}_2\text{O}$  تبدیل می‌شود. بنابراین، واکنش زیر یک واکنش گرماگیر است.

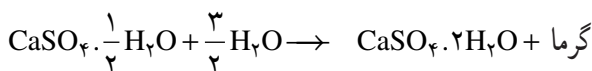


اگر چنان‌چه زمان و دمای حرارت دادن افزایش یابد واکنش فوق به صورت زیر ادامه پیدا می‌کند:



۱- بیتومین: نوعی ترکیب آلی است (هیدروکربور با ۴۶ درصد کربن)

همان طوری که تولید گچ نیمه هیدراته از سنگ گچ نیاز به حرارت دارد عمل ری هیدراتاسیون<sup>۱</sup> نیز واکنشی گرمازا است:



۹-۲-۲- انواع فازهای گچ: سیستم  $\text{CaSO}_4 - \text{H}_2\text{O}$  شامل ۵ فاز است. به طوری که ۴ فاز آن در دما و فشار عادی به وجود می آید (مانند کلسیم سولفات دی هیدرات، کلسیم سولفات نیمه هیدرات، انیدرید ۳ و انیدرید ۲) و فاز پنجم یعنی انیدرید ۱ فقط در دمای بالای  $118^\circ\text{C}$  تشکیل می شود.

فاز کلسیم سولفات نیمه هیدرات به دو شکل  $\alpha$  و  $\beta$  وجود دارد که دو فاز متمایزند. این دو فاز از لحاظ تکنیک کاربرد و روش تولیدشان با یکدیگر اختلاف دارند. نیمه هیدرات نوع  $\beta$  به صورت توده ای از ذرات ریز و درشت پفکی شکل است که از تک بلورهای فوق العاده ظریف ساخته شده است.

نیمه هیدرات نوع  $\alpha$ ، شامل ذرات اولیه، حجیم و اغلب شفاف، متراکم و دارای اشکال منتظم اند. در صورتی که سولفات کلسیم در دمای بالای  $120^\circ\text{C}$  حرارت ببیند تجزیه می شود.

جدول ۹-۲- انواع فازهای گچ

ردیف	نام فاز	فرمول شیمیایی	دمای تشکیل	دانسیته
۱	کلسیم سولفات دی هیدرات	$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	کم تر از $40^\circ\text{C}$	$2/31 \text{ g/cm}^3$
۲	کلسیم سولفات نیمه هیدرات	$\text{CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2} \text{H}_2\text{O}$	$\beta$ محیط خشک $45-200^\circ\text{C}$ $\alpha$ محیط خیس زیر $45^\circ\text{C}$	$\beta$ ۲/۶۱۹-۲/۶۳۷ $\alpha$ ۲/۷۵۷
۳	انیدرید III	$\text{CaSO}_4$	$\alpha$ هوا $100^\circ\text{C}$ $\beta$ خلا $50^\circ\text{C}$	۲/۵۸
۴	انیدرید II	$\text{CaSO}_4$	$200-1180^\circ\text{C}$	۲/۹۳-۲/۹۸
۵	انیدرید I	$\text{CaSO}_4$	$+1180^\circ\text{C}$	تعیین نشده

۱- ری هیدراتاسیون: سولفات کلسیم نیمه هیدرات در آب ابتدا محلول اشباع شده را تشکیل می دهد که این انحلال ۸ گرم در لیتر است (در دمای  $20^\circ\text{C}$ ) و چون این محلول، نسبت به کلسیم سولفات دی هیدرات (با میزان انحلالی حدود ۲ گرم در لیتر در دمای  $20^\circ$  درجه سانتی گراد) فوق اشباع است، بنابراین شروع به جدایش می کند. به طور کلی تشکیل بلورهای دی هیدرات بر اساس قانون جوانه زنی و رشد بلور است.

۳-۲-۹- گیش گچ: گیش گچ به مفهوم ترکیب هر کدام از فازهای گچ با آب در طی یک واکنش گرمازا و تبدیل آن به گچ دی‌هیدراته، به فرمول شیمیایی  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  است، که پس از گذشت زمان و انجام کامل واکنش به صورت توده‌ای سفت و محکم درمی‌آید که اصطلاحاً به آن گچ گیش یافته و به واکنش فوق‌ری‌هیدراتاسیون گفته می‌شود. محصول ری‌هیدراتاسیون توده‌ای از گچ دی‌هیدراته با فرمول  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  است، که تفاوت آن با سنگ گچ، ساختمان متخلخل و خاصیت جذب آب آن است.

۴-۲-۹- تولید گچ: روش تولید گچ با توجه به مصارف آن نظیر ساختمانی، صنعتی، پزشکی و غیر آن‌ها متفاوت است اما با وجود تکنولوژی متفاوت واکنش‌های شیمیایی متناسب با نوع فاز در طی تمامی آن‌ها یکسان است.

۵-۲-۹- گچ ساختمانی: گچ ساختمانی گچی است چند فازی که به روش پخت خشک در دمای بین  $300^\circ$  تا  $900^\circ$  درجه سانتی‌گراد تولید می‌گردد. این نوع گچ معمولاً از مقدار زیادی انیدرید گچ نیمه‌هیدرات و نیز مقداری گچ دی‌هیدراته تشکیل می‌شود. به‌طور خلاصه گچ ساختمانی (چندفازی) از لحاظ میزان و نوع فازها به صورت زیر است:

دی‌هیدراته: ۲ درصد،  $\beta$  نیمه‌هیدرات: ۲۶ درصد،  $\beta$  انیدرید III: ۱۴ درصد، انیدرید II و سایر فازهای کلسیم سولفات، که در مراحل مختلف واکنش تشکیل شده‌اند، ۵۸ درصد. گچ ساختمانی در کوره‌های دوار استوانه‌ای و یا به صورت سنتی تولید می‌گردد.

۶-۲-۹- گچ صنعتی: تولید گچ صنعتی به دو صورت  $\alpha$  و  $\beta$  است که نوع  $\beta$  در قالب‌سازی (ساخت انواع قالب‌های ریخته‌گری، دستگاه جیگر و جولی و ...) کاربرد دارد و نوع  $\alpha$  آن در ساخت مادر قالب به کار برده می‌شود. البته، بهتر است در قالب‌سازی مخلوطی از سه گچ  $\alpha$  (حداکثر  $30^\circ$  درصد) و  $\beta$  استفاده شود.

تولید نوع  $\beta$  روش‌های مختلفی دارد که مهم‌ترین روش تولید در کوره‌های تاوهای (kettle) با حرارت غیرمستقیم است که به صورت مرحله‌ای به‌وسیله‌ی پودر سنگ گچ شارژ شده و پس از اعمال حرارت در مدت زمان مشخص تخلیه می‌گردد. نوع  $\alpha$  در دستگاه اتوکلاو و تحت فشار و حرارت تولید می‌گردد که حرارت در این روش نسبت به روش تولید گچ  $\beta$  کم‌تر است.

۷-۲-۹- گچ پزشکی: کاربرد گچ پزشکی در تولید باندهای مخصوص شکسته‌بندی و در دندان‌سازی به عنوان قالب دندان و غیره است، که معمولاً با انجام عملیاتی بر روی انواع گچ آن‌ها را

از لحاظ بهداشتی در زمینه‌ی پزشکی برای مصرف آماده می‌کنند و سپس به مصارف مذکور می‌رسانند. با توجه به این که استفاده از گچ  $\alpha$  خواص مکانیکی (استحکام) گچ گیرش یافته را افزایش می‌دهد، در استفاده‌های پزشکی نظیر شکسته‌بندی از گچ  $\alpha$  استفاده می‌شود تا با حجم و وزن کم‌تر گچ بتوان به استحکام موردنظر رسید.

### ۳-۹- آهک

آهک (لایم) (CaO) به شکل خالص در طبیعت یافت نمی‌شود، بلکه به صورت کلسیم کربنات  $\text{CaCO}_3$  است. کلسیم کربنات به صورت‌های متفاوت در طبیعت به وجود می‌آید که از لحاظ خواص مینرالوژیکی مختلف‌اند. کلسیت و آراگونیت به صورت مینرال و سنگ آهک و سنگ مرمر به صورت سنگ وجود دارد. هم‌چنین، به شکل مارن (مخلوطی از کلسیم کربنات و خاک رس) و دولومیت یافت می‌شود.

کلسیم اکسید دارای رنگ سفید، آمورف و متخلخل است، وزن مخصوص آن  $3/3 - 3/2$  گرم بر سانتی‌متر مکعب و نقطه‌ی ذوب آن حدود  $2585^\circ\text{C}$  است.

قبل از پخت مواد فوق، معمولاً باید این مواد را در سنگ‌شکن خرد و غربال نمود. در بعضی مواقع که مواد مزبور با مقدار زیادی ناخالصی همراه باشد، سنگ‌ها را شست‌وشو می‌دهند و سپس طبقه‌بندی می‌نمایند. طبقه‌بندی این مواد را در زیر ملاحظه می‌کنید.

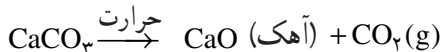
بزرگ‌تر از  $16^\circ$  میلی‌متر برای کوره‌ی حلقوی (هوفمان)<sup>۱</sup>

مابین  $2^\circ - 16^\circ$  میلی‌متر برای کوره‌ی استوانه‌ای (ایستاده)

کوچک‌تر از  $2^\circ$  میلی‌متر به دلیل ناخالصی زیاد و غیرقابل مصرف

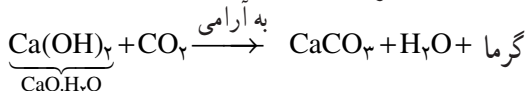
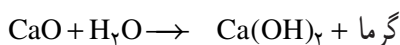
۱-۳-۹- شیمی آهک: همان‌طوری که اشاره شد، آهک از تکیس سنگ آهک به فرمول

$\text{CaCO}_3$ ، طبق واکنش زیر تشکیل می‌شود. این واکنش گرماگیر است.



همان‌طوری که تولید CaO از سنگ آهک واکنشی گرماگیر است، ترکیب آب با آب و  $\text{CO}_2$

نیز گرمازا است:



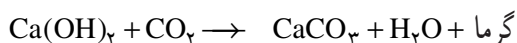
۱- در کتاب «شکل دادن و پخت سرامیک‌ها» با کوره‌های هوفمان آشنا شده‌اید.



شکل ۹-۵- سنگ آهک

۹-۳-۲- گیرش آهک: گیرش آهک به صورت واکنش با آب و سپس واکنش با  $\text{CO}_2$  صورت می‌گیرد. پس از تشکیل دوغاب آهک بلافاصله واکنش بین آهک و آب آغاز می‌شود که توده‌ی خمیری شکلی به فرمول  $\text{Ca(OH)}_2$  به وجود می‌آید. به این عمل شکفته شدن آهک گویند، اگر چنانچه این واکنش در محیط فاقد  $\text{CO}_2$  صورت گیرد توده‌ی خمیری شکل سخت نمی‌شود. هم‌چنین، اگر در ادامه‌ی واکنش در محیط آزاد صورت گیرد واکنش فوق ادامه می‌یابد و هیدروکسید تشکیل شده  $\text{CO}_2$  از هوا جذب می‌کند و به  $\text{CaCO}_3$  تبدیل می‌شود. این واکنش نیز گرم‌زا است.

دقت داشته باشید برای انجام گیرش حتماً باید آهک در تماس با  $\text{CO}_2$  باشد. مثلاً آهک شکفته شده، زیر آب هرگز خود را نمی‌گیرد.



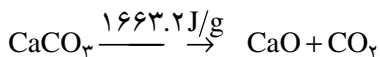
این مرحله همان مرحله‌ی گیرش آهک است و پس از انجام این واکنش آهک سخت می‌شود. این  $\text{CaCO}_3$  به فشردگی سنگ آهک نیست. زیرا ما در مرحله‌ی ترکیب با آب بیش‌تر از آب مولکولی مورد نیاز  $\text{CaO}$  به آن آب اضافه کرده‌ایم و  $\text{CaCO}_3$  نهایی متخلخل است.

۹-۳-۳- تولید آهک: پخت مواد آهکی تا خارج شدن کامل گاز  $\text{CO}_2$  در درجه‌ی حرارت بیش از  $1000^\circ\text{C}$  در کوره‌های حلقوی، استوانه‌ای دو‌آر و یا استوانه‌ای



ایستاده صورت می‌گیرد.

در سیستم  $\text{CaO} - \text{CO}_2$  تجزیه‌ی حرارتی کلسیم کربنات طبق فرمول زیر انجام می‌گیرد و افت وزنی آن برابر با ۴۴ درصد محاسبه می‌گردد.



آزاد شدن گاز  $\text{CO}_2$  در درجه‌ی حرارت ۸۹۵ سلسیوس و فشار یک اتمسفر صورت می‌گیرد. این درجه‌ی حرارت کم‌ترین درجه‌ی حرارت پخت مواد است. عملاً درجه‌ی حرارت پخت بیش‌تر، یعنی در حدود ۱۲۰۰-۱۰۰۰ درجه‌ی سانتی‌گراد است تا سرعت فعل و انفعال به حد کافی باشد. کاهش فشار  $\text{CO}_2$  در روی مواد مثلاً خارج کردن گازها، به تجزیه‌ی سنگ آهک شتاب می‌دهد یا با مقداری کربن که به مواد خام اضافه شود، با گاز  $\text{CO}_2$  ترکیب و  $\text{CO}$  تشکیل می‌شود. کربنات‌های قلیایی عمل تجزیه را به تعویق می‌اندازند. سنگ دولومیت به صورت چندمرحله‌ای تجزیه می‌شود. یعنی ابتدا در درجه‌ی حرارت ۶۰۰ تا ۷۰۰ درجه‌ی سلسیوس به  $\text{MgCO}_3$  و سپس در درجه‌ی حرارت ۹۰۰ درجه‌ی سلسیوس به  $\text{CaCO}_3$  تجزیه می‌گردد.

#### ۴-۳-۹- موارد استفاده آهک:

- ۱- نوع مخصوص (با خلوص بالا) از آن برای تهیه منشورهای نیکل در میکروسکوپ‌ها، فتومترها و کالری‌متر به کار می‌رود.
- ۲- نوع نامرغوب آن در صنعت تهیه‌ی قلیایی‌ها و به عنوان کود در زمین‌های فاقد آهک به کار می‌رود.
- ۳- در صنعت شیشه‌سازی کلسیم کربنات با خلوص بالا را به عنوان ماده‌ی اولیه استفاده می‌کنند.
- ۴- در صنایع شیمیایی به عنوان ماده‌ی اولیه و نیز برای خنثی کردن اسید، به عنوان کمک ذوب، ماده قلیاکننده، جاذب رطوبت، عامل چسبندگی و ... به کار می‌رود.
- ۵- سنگ آهک با خلوص بالا پس از کوبش به صورت مل عرضه می‌گردد.
- ۶- در صنعت سیمان به مقدار زیاد مصرف می‌گردد.
- ۷- و کاربردهای بسیار دیگر ...

## پرسش و تمرین

- ۱- مواد اولیه‌ی سیمان کدام گروه‌اند؟
- ۲- اکسیدهای عمده‌ی تشکیل‌دهنده‌ی سیمان پرتلند کدام‌اند و از کدام منابع تأمین می‌شوند؟
- ۳- جزء اصلی تشکیل‌دهنده‌ی سیمان کدام است؟
- ۴- ترکیبات عمده‌ی موجود در سیمان به چه نام موسوم است؟
- ۵- فازهای کلینگر سیمان را نام ببرید.
- ۶- اکسیدهای فرعی موجود در سیمان کدام‌اند؟
- ۷- بخش عمده‌ی خواص مکانیکی سیمان مربوط به کدام فاز است؟
- ۸- ترکیب شیمیایی، نام مینرالی و نقش هر یک از فازهای زیر را در گیرش سیمان بیان کنید :

سه کلسیم سیلیکات کلسیم آلومینات

دوکلسیم سیلیکات کلسیم آلومینوفرات

- ۹- برای کنترل گیرش سریع فاز سه کلسیم آلومینات چه ماده‌ای به سیمان افزوده

می‌شود؟

- ۱۰- عامل گیرش کاذب در سیمان چیست؟ نحوه‌ی عمل آن را توضیح دهید.
- ۱۱- هنگام گیرش کاذب سیمان چه باید کرد؟
- ۱۲- گیرش سریع سیمان چیست و ناشی از چه عواملی است؟
- ۱۳- چگونه می‌توان شکل‌پذیری سیمان را حین گیرش سریع بازگرداند؟
- ۱۴- منظور از آب‌پوشی سیمان چیست؟
- ۱۵- مراحل آب‌پوشی سیمان را نام ببرید و توضیح دهید.
- ۱۶- برای تنظیم سرعت آب‌پوشی سیمان در کارخانه چه می‌کنند؟
- ۱۷- روش‌های تولید سیمان را نام ببرید و با هم مقایسه کنید.
- ۱۸- گچ در طبیعت به چه صورت یافت می‌شود؟
- ۱۹- سنگ گچ به چه صورت‌هایی وجود دارد؟
- ۲۰- انواع فازهای موجود در گچ را نام ببرید.
- ۲۱- فاز سولفات کلسیم نیمه‌هیدراته به چند صورت وجود دارد؟ آن‌ها را با هم

مقایسه کنید.

- ۲۲- نحوه‌ی گیرش گچ را توضیح دهید.
- ۲۳- روش‌های تولید گچ را نام ببرید.
- ۲۴- گچ ساختمانی کدام است؟ نحوه‌ی تولید آن را شرح دهید.
- ۲۵- گچ صنعتی به چند صورت است؟ توضیح دهید.
- ۲۶- گچ پزشکی کدام است؟
- ۲۷- آهک به چه صورت در طبیعت یافت می‌شود؟
- ۲۸- پخت مواد آهکی در چه نوع کوره‌ای انجام می‌شود؟
- ۲۹- نحوه‌ی گیرش آهک را شرح دهید.
- ۳۰- موارد کاربرد آهک را بیان کنید.