راز قدرت انفجاری غیرمعمول برای مواد

تأکیدی دوباره بر اهمیت عوامل مؤثر بر واکنش‌های شیمیایی

ترجمهٔ: ابوالفضل زینی

اشاره

ساعت هفت یک شب سرد از ماه فوریهٔ سال ۲۰۰۸، انفجاری یک کارخانهٔ تولید شکر در جورجیا را در هم ریخت. گسترهٔ ویرانی این انفجار چنان بود که دیوار همهٔ طبقه‌های کارخانهٔ امپریال درهم شکست و باعث قطع برق شد. آتش‌سوزی ساعت‌ها ادامه داشت و تا صبح، همهٔ کارخانه ویران شد. سیزده نفر جان باختند و چهل نفر زخمی شدند. پژوهشگران در محل حادثه حاضر شدند تا عامل انفجار را تعیین کنند.

پاسخ این جست‌وجو، چیزی جز تنها فراوردهٔ این کارخانه نبود: شکر!

کلیدواژه‌ها: مواد انفجاری، سرعت واکنش، ایمنی مواد شیمیایی

مقدمه

هنگامی که از مواد قابل انفجار صحبت می‌شود بی‌اختیار به یاد باروت، دینامیت یا بنزین می‌افتیم. اما اگر از شکر به‌عنوان چنین ماده‌ای یاد شود جای بسی شگفتی خواهد بود. چگونه ممکن است یک مادهٔ غذایی معمولی و در دسترس، عامل انفجار و مرگ و میر باشد؟

شکل ۱ شکر در شرایطی خاص منفجر می‌شود.

خمیر شیرینی؛ عامل انفجار

همهٔ انفجارها، بدون در نظر گرفتن منبع آن‌ها، با آزاد شدن انرژی زیاد، تولید مواد گازی که به سرعت در محیط انتشار می‌یابند و انجام یک واکنش سریع همراهند. هنگامی که شکر با فرمول شیمیایی $C_{12}H_{22}O_{11}$ می‌سوزد، بی‌درنگ انرژی آزاد می‌شود. خمیر شیرینی که شکر بخش عمده‌ای از آن را تشکیل می‌دهد، همچنان که برشته می‌شود می‌تواند شعله‌ور شود و بسوزد. معادلهٔ شیمیایی فرایند سوختن شکر به این قرار است:

$$C_{12}H_{22}O_{11}(s)+12O_2(g)\rightarrow 12CO_2(g)+11H_2O(g)+\text{انرژی}$$

می‌بینیم که در سمت چپ معادله، ۱۲ مول گاز وجود دارد در حالی‌که در سمت راست ۲۳ مول گاز موجود است. این افزایش حجم درمول‌های گازی، ویژهٔ واکنش‌های انفجاری است. اگر این افزایش در حجم مواد گازی، به‌سرعت روی دهد، انفجار اتفاق می‌افتد. از این روست که وقتی ما شکر را می‌خوریم، در دهان ما منفجر نمی‌شود، حتی آتش هم نمی‌گیرد. در این حال، مولکول‌های شکر (ساکاروز) در معده به واحدهای سازندهٔ خود یعنی گلوکوز، $C_6H_{12}O_6$، تجزیه می‌شوند. سپس گلوکوز در چند مرحله با اکسیژن واکنش می‌دهد که به تولید کربن دی‌اکسید، آب و انرژی می‌انجامد. این فرایند را می‌توان چنین خلاصه کرد:

$$C_6H_{12}O_6(s)+6O_2(g)\rightarrow 6CO_2(g)+6H_2O(g)+\text{انرژی}$$

این فرایند با سرعت کمتری نسبت به واکنش انفجاری، روی می‌دهد در نتیجه، انرژی آن ذخیره می‌شود. در اینجا هم کربن دی‌اکسید و آب تولید می‌شود اما آزاد شدن انرژی در چند مرحله صورت می‌گیرد.

عامل انفجار در کارخانهٔ تولید شکر امپریال[1]، خمیر شیرینی بوده است، نه شکر. با اینکه معادلهٔ واکنش شیمیایی ترکیب هر یک از این دو با اکسیژن مشابه است اما این واکنش‌ها با سرعت‌های متفاوتی روی می‌دهند.

این افزایش حجم درمول‌های گازی، ویژهٔ واکنش‌های انفجاری است. اگر این افزایش در حجم مواد گازی، به‌سرعت روی دهد، انفجار اتفاق می‌افتد

راز قدرت انفجاری ذره‌های شکر

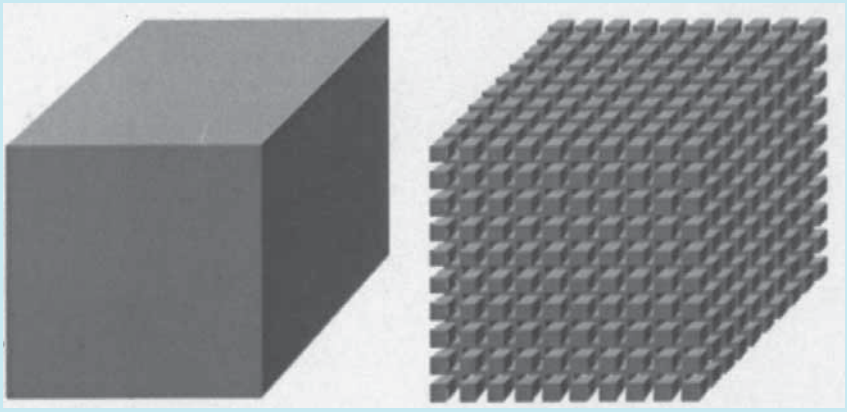
واکنش شیمیایی تجزیهٔ خمیر شیرینی گاه به آرامی انجام می‌گیرد و گاه می‌تواند با انفجار کارخانهٔ تولید آن همراه باشد. تفاوت این دو واکنش در چیست؟ پاسخ را باید در عوامل مؤثر بر سرعت واکنش‌ها جست‌وجو کرد. این عوامل عبارت‌اند از: ماهیت واکنش‌دهنده‌ها، حالت فیزیکی آن‌ها (جامد، مایع یا گازی بودن مواد)، دما و فشار محیط، سطح تماس یا اندازه‌ای از سطح که می‌تواند دستخوش تغییر شود.

از میان عوامل یادشده، عامل سطح تماس در جریان انفجار کارخانهٔ امپریال نقش مهم‌تری دارد.

شکل ۲ لایه‌های درونی سیب برخلاف سطح آن، در امان باقی می‌مانند.

محل انجام واکنش‌های شیمیایی برای مواد جامد، تنها در سطح آن‌ها خلاصه می‌شود. برای نمونه، هنگامی که سیب را برش می‌زنیم، سطح آن‌که در برابر هوا قرار دارد، به سرعت قهوه‌ای می‌شود. در حالی‌که لایه‌های درونی سیب از تغییر رنگ در امان باقی می‌مانند، شکل ۲. نمونه‌ای دیگر، روشن کردن آتش با یک کندهٔ بزرگ درخت است که کار دشواری است و به زمان زیادی نیاز دارد اما اگر کنده را به قطعه‌های کوچک بشکنیم زودتر آتش می‌گیرد. در این حال سطح بزرگ‌تر و بیشتری از چوب برای انجام واکنش سوختن در دسترس است و ذره‌های ریز چوب حتی هنگام سوختن، شکلی از انفجار را هم ایجاد می‌کنند.

شکر خام هنگام پالایش در کارخانه، آسیاب می‌شود و به‌صورت دانه‌های کوچکی در می‌آید. اندازهٔ دانه‌ها ۵۷۰ تا ۶۳۵ میکرومتر، در حدود ضخامت یک ناخن است. اندازهٔ ذره‌های شکر در شکل گَرد به $60\ \mu m$ می‌رسد. برای مقداری ثابت و مشخص از ماده، هر چه آن ماده به ذره‌های کوچک‌تر خرد شود، تعداد ذره‌ها افزایش می‌یابد و سطح هر ذره محلی مناسب برای انجام واکنش شیمیایی را فراهم می‌کند. با افزایش سطح، تعداد برخوردها

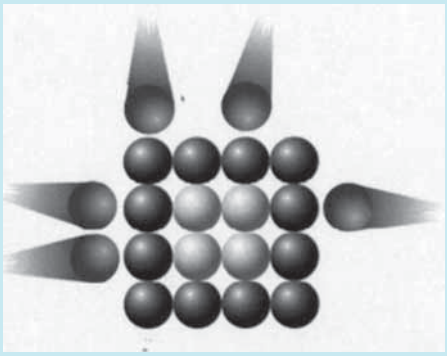


ذره‌هایی در اندازهٔ ۵۰۰ µm را گرد و غبار می‌نامند. هنگامی که ذره‌های یک ماده چنین اندازه‌ای داشته باشند به راحتی می‌توانند منفجر شوند، به‌ویژه اگر در هوا پراکنده شده باشند

شـــکل ۳ هر چه یک ماده به قطعه‌های کوچک‌تر تقســـیم شـــود، سطح بیشتری از آن برای انجام واکنش شیمیایی در دسترس قرار می‌گیرد. برای نمونه، مساحت مکعبی به ضلع ۱۰ cm، ۶۰۰cm^2 است. اگر این مکعب به ۱۰۰۰ مکعب کوچک‌تر به ضلع ۱cm تقسیم شود، مساحت آن ده برابر مکعب اولیه خواهد بود:

مساحت مکعب اولیه : (۱۰*۱۰) × ۶ (تعداد وجه‌ها) = ۶۰۰cm^2

مساحت مکعب تقسیم شده : ۱۰۰۰ × (۱*۱) × ۶ (تعداد مکعب‌ها) = ۶۰۰۰cm^2



شکل ۴ نمایش اثر سطح تماس در سرعت واکنش

میان ذره‌های شـــکر با اکسیژن هوا افزایش می‌یابد. در برابر یک جرقه یا شعله، همهٔ این برخوردها به واکنش سوختن می‌انجامد که با ســـرعت زیاد روی می‌دهد. گرمای زیادی که آزاد می‌شود به سرعت حجم گازهای تولید شده را افزایش می‌دهد و موجی ناگهانی شبیه انفجار را به وجود می‌آورد که باعث حرکت سریع هوا می‌شود.

دانشمندان ذره‌هایی در اندازهٔ ۵۰۰ µm را گرد و غبار می‌نامند. هنگامی که ذره‌های یک ماده چنین اندازه‌ای داشـــته باشند به راحتی می‌توانند منفجر شـــوند، به‌ویژه اگر در هوا پراکنده شده باشند. پس آتش گرفتن گرد و غبار باز هم دشوار است و تا زمانی که در هوا شناور نباشد حتی در حضور جرقه، منفجر نمی‌شود.

در فرایندهای صنعتی، مانند خرد یا آسیاب کردن شکر، ذره‌های کوچک شناور در هوا می‌توانند باعث انفجار شوند مگر اینکه در یک سامانهٔ تخلیه نگهداری شوند. از آنجا که تعداد این سامانه‌ها برای دور نگه‌داشتن گرد و غبار از هوا، در کارخانهٔ امپریال[1] کافی نبود با یک جرقه، انفجار آغاز شـــد و وجود گرد و غبار در فضای کارخانـــه، روی زمین و تجهیزات، به ادامه انفجار و گســـترش ویرانی دامن زد.

تنها گرد و غبار مربوط به شکر نیست که می‌تواند باعث انفجار شود. گرد و غبار ناشی از سنگ، آرد، فلز، پلاستیک و چوب نیز در شرایط مناسب ـ که شامل تجمع این ذره‌ها در محیط بسته و وجود جرقه یا شعله است ـ می‌توانند منفجر شوند.

شورای بررسی خطر یا ایمنی مواد شیمیایی در ایالات متحده[2] (CSB)، یک سازمان دولتی ایالتی که دربارهٔ حوادث شیمیایی صنعتـــی تحقیق می‌کند، در ســـال ۲۰۰۶ انفجار گرد و غبار را خطری جدی اعلام کرد. این سازمان ارائهٔ استانداردهای ایمنی را بـــرای همهٔ منابعی کـــه توانایی ایجاد انفجار گـــرد و غبار در محیط‌های صنعتی دارند پوشش می‌دهد و استانداردهایی برای جلوگیری از آســـیب در محل کار، بیمـــاری و مرگ و میر ارائه می‌دهد. در اواخر ســـال ۲۰۰۹، CSB اعـــلام کرد در نظر دارد استانداردهای جدیدی دربارهٔ چگونگی کنترل مقدار گرد و غبار در محیط کار، از بین بردن منابع ســـوخت و کنترل آسیب‌های ناشی از انفجار تعیین کند.

در ســـایهٔ این تلاش‌های جدید، انتظار می‌رود کارگاه‌هایی که حاوی گرد و غبار زیادی هســـتند، ایمن‌تر شوند. در همین حال همهٔ مردم باید از خطر قدرت انفجاری گرد و غبار آگاه شوند. به این ترتیب برای جلوگیری از خطرآفرین شدن این مواد می‌توان به روش‌های مناسبی دست یافت.

*** پی‌نوشت‌ها**

1. Imperial
2. Chemical Safety and Hazard Investigation Board

*** منبع**

1. Tinnesand, M. «Sugar, an unusual explosive», Chemmatters, Dec. 2010.

سونیتر