

اسرار غار بلورها



بلورها پدیده هایی زیبا و منحصر به فردند. در پاره ای موارد، آنقدر شگفت انگیز به نظر می آیند که گویی تماشای آنها، بازدید از نفیس ترین گنجینه های هنری است. به راستی آیا می توان این همه ظرافت و زیبایی را که از قلم سحر آمیز آفریدگار هستی جاری شده است، نادیده گرفت؟ او همیشه ما را با چیره دستی اش در پردازش با شکوه طبیعت، غافلگیر می کند. در این مقاله، با یکی از شگفتی های طبیعت آشنا می شویم.

متبلور کردن بلورهای زاج سفید در آزمایشگاه، یکی از معمول ترین آزمایش هایی است که در مراکز آموزشی اجرا می شود. شاید خود شما هم این آزمایش را انجام داده باشید، اما هرگز به این سوال فکر کرده اید که یک بلور چقدر می تواند بزرگ شود؟!

سال ۲۰۰۰، در عمق ۲۰۰ متری زیر کوهستان نایکا (Naica) واقع در صحرای Chihuahuan در مکزیک، ۲ معدنکار ضمن حفاری برای ایجاد تونلی جدید، غاری را کشف کردند که به نام "غار بلورها" معروف شد. این غار شامل بزرگترین بلورهای طبیعی است که تا به حال دیده شده اند. شاخه های نیمه شفاف ژیپس ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) به طول ۱۱ متر می رسند و وزنی معادل ۵۵ تن دارند. دلیل این که چگونه این بلورها به شکل غول آسایی رشد کرده اند، تاکنون نامشخص بود. در واقع نکته گیج کننده این بود که چگونه شرایط ژئوشیمیایی مناسب توانسته برای مدت طولانی، بدون تغییرات زیاد، ادامه یابد و این هسته سازی عظیم و با دوام را سبب شود؟

آوریل سال ۲۰۰۷ گارسیا رویز (Garcia Ruiz) از دانشگاه گرانا در اسپانیا موفق شد به همراه یک گروه محقق، راز نگشوده این بلورها را کشف کند.

زمین شناسی منطقه

معدن نایکا از مهمترین ذخایر سرب و نقره جهان محسوب می شوند. جریان های هیدروترمال مرتبط با دایکهای ترشیری، منابع با ارزشی را از Ag-Pb-Zn به وجود آورده اند. مجموعه ای از گسلها، به عنوان عوامل اصلی کنترل کننده بلورسازی در منطقه به شمار می آیند. انباشته های معدنی منطقه عبارتند از: پیریت، پیروتیت، سفالریت، گالن و کالکوپیریت. در آخرین مرحله فرآیند هیدروترمال، اسید سولفوریک حاصل از اکسیداسیون سولفیدهای داخلی، با سنگ آهک منطقه وارد واکنش شده و آبهای غنی از سولفات کلسیم را به وجود آورده که در نهایت سبب رسوب حجم زیادی انیدریت در این منطقه شده است.

بلورهای عظیم سلنیت ژیپس

از اوایل قرن بیستم، حفاری تونل های جدید در معدن نایکا، گاه به گاه به کشف غارهایی با بلورهای سلنیت (بلورهای بی رنگ ژیپس) منجر شده است. این غارها همیشه در نزدیکی شکستگی ها قرار دارند و دیواره های آنها با پوشش قرمزی از کلسیت و سلسیت با مقدار کمی اکسید آهن، مونت موریلونیت، کلریت و ایلیت

ایجاد کرده است.

هیچ محدودیتی در ایجاد ابعاد یک بلور وجود ندارد. اما برای این که بلورها در "غار کریستال" به چنین ابعادی برسند، باید دمای تعادل تبدیل انیدریت - ژپس، برای صدها هزار سال پایین باقی مانده باشد.

در غار بالایی برعکس، دمای این تعادل، به طور سریع کم شده و نتیجه این عمل، تشکیل بلورهایی به مراتب کوچکتر است.

بودن یا نبودن؛ مساله این است

در حالی که شانس تکرار چنین شرایطی در دیگر نقاط جهان بعید است، دانشمندان انتظار دارند که غارهای دیگری در همین ناحیه با بلورهای بزرگ وجود داشته باشند. آنها می گویند که انتظار می رود غارهایی با کریستالهایی حتی بزرگتر از این در عمق بیشتر وجود داشته باشد که همین دمای ۵۸ درجه را دارند و نه بیشتر. آنها همچنین به شرکتهای معدنی پیشنهاد کرده اند تا این غارها را حفظ کنند. هرچند تنها دلیلی که امروزه بشر توانسته به داخل این غارها وارد شود، همان شرکت معدنکاری بوده که محفظه غار را از آب تخلیه کرده است. اگر پمپاژ آب متوقف شود، غار دوباره در آب غوطه ور می شود و بلورها دوباره شروع به رشد می کنند. بنابراین چه اتفاقی رخ می دهد اگر معدن تعطیل شود؟ آیا باید به پمپاژ آب ادامه دهیم تا این غار به همین شکل برای بازدید آیندگان بماند و آنها بتوانند زیبایی این بلورها را تحسین کنند یا باید پمپاژ را متوقف کنیم و محیط را به شکل اولیه طبیعی خود در آوریم و اجازه دهیم بلورها دوباره رشد کنند؟

رشد کرده اند که در آب غنی از مواد معدنی غوطه ور بوده اند، ضمن این که دما در یک محدوده پایدار، ثابت مانده است. در این درجه حرارت، انیدریت حل شده در آب، به ژپس که یک نوع کانی نرم است، تبدیل می شود. در واقع محاسبات سینتیک هسته زایی نشان می دهد که این مکانیسم فقط هنگامی که این عمل در دامنه دمایی بسیار محدود اتفاق بیفتد، می تواند برای تشکیل بلورهای بزرگ پذیرفته شود.

همانطور که می دانید ژپس به مقدار کمی در آب حل می شود و این حلالیت در ۵۸ درجه به حداکثر میزان خود می رسد. در فشار اتمسفر و دمای گرمتر از ۵۶-۵۸ درجه، انیدریت فاز ترمودینامیکی پایدار است؛ اما زیر این دما ژپس فاز پایدارتر می شود.

فعالیت آتشفشانی که ۲۶ میلیون سال پیش کوهستان نایکا را به وجود آورده است، آن را با انیدریت داغ پر کرده که فرم بدون آب ژپس است. دمای آبهای غنی از یونها در این منطقه آتشفشانی، به دلیل عمیق بودن منطقه، بسیار تدریجی تغییر کرده و این زمان طولانی، فرصت مناسب برای رشد بلورها را فراهم کرده است. اما منبع دائمی یونهای کلسیم و سولفات چه بوده که توانسته چنین بلورهای عظیمی را بی وقفه تولید کند؟ در واقع انیدریت فراوان حاصل از فرآیند هیدرو ترمال منطقه، زیر دمای ۵۸ درجه ناپایدار شده و شروع به حل شدن می کند. در نتیجه، یونهای کلسیم و سولفات داخل آب می شوند و به تدریج آب را اشباع می کنند و به این ترتیب آب اشباع شده برای آغاز بلورسازی ژپس فراهم می شود که طی میلیون ها سال در غارها به شکل بلورهای سلنیت ژپس انباشته می شود.

ملاحظه می شود؛ تفاوت خیلی کم حلالیت ژپس و انیدریت در دمای اندکی زیر ۵۸ درجه، منبعی پیوسته از یونهای کلسیم و سولفات ایجاد کرده و مکانیسم بسیار پایداری را برای تامین دائمی یونها در سیستم بلورسازی تعادلی

پوشیده شده است. تا سال ۲۰۰۰ مشهورترین این غارها "غار خنجرها" بود. دیواره های این غار پوشیده از بلورهای خنجر مانند است و به نسبت "غار بلورها" به سطح زمین نزدیکتر است. (۱۲۰ متر عمق). با این که تعداد کریستالهای "غار خنجرها" خیلی بیشتر است اما از لحاظ اندازه به مراتب کوچکتر از بلورها در "غار بلورها" است. (حداکثر یک متر)

"غار بلورها" حفره ای به شکل نعل اسب است که در صخره های آهکی با پهنای ۱۰ متر و طول ۳۰ متر قرار گرفته است. کف آن از بلورهایی پوشیده شده که کاملاً مانند یک قطعه تراش خورده است. این بلورها حاوی ذرات بسیار کمی از اکسیدهای آهن و منگنز هستند، بنابراین تقریباً شفافند و زیبایی بی همتایی را به نمایش می گذارند. شاخه های بلورین از کف و دیواره ها بیرون زده است. چگالی این بلورها در غار، خیلی کم است که در واقع داستان تشکیل این زیبایی را توضیح می دهد، زیرا این مساله فقط نتیجه سرعت هسته زایی بی نهایت کم در تمام دوران رشد بلورها است. این موضوع، شرط اول تشکیل بلورهای بزرگ است.

شرایط ژئوشیمیایی

برای دریافت این که چگونه این بلورها به این اندازه های غول آسا رسیده اند، دانشمندان مقدار کمی از مایع گرفتار شده درون این بلورها را مطالعه کرده اند. آنالیز نمونه های مایع داخل کریستالها نشان می دهد کریستالها از محلولهای کم نمک و در دمای حدود ۵۴ تا ۵۸ درجه سانتی گراد، به وجود آمده اند. بررسی ایزوتوپهای اکسیژن و گوگرد بلورهای ژپس نشان می دهد که این بلورهای عظیم حاصل یک مکانیسم "خودکفا" هستند. به این ترتیب که حل شدن انیدریت (که خود حاصل فرآیند هیدرو ترمال در منطقه است) سبب ایجاد مواد اولیه لازم برای تشکیل بلورهای ژپس یعنی یونهای Ca^{2+} و SO_4^{2-} در آب شده است. دانشمندان معتقدند بلورها به این دلیل خوب

