شیمی و ژئوشیمی فلزات گرانبها، گوهرها و گوهرسنگ ها
ششمین کنفرانس از سری کنفرانس های شیمی کاربردی انجمن علوم و فناوری های شیمیایی ایران
شماره مجوز:۹۱۶۳۱۲۲
کداختصاصی:۹۷۴۸۹-۰۰۲۱۰

تشکیل، تولید و اکتشاف گوهرها

لیلا ملکی
دانشگاه پیام نور مرکز الیگودرز
l.maleki@modares.ac.ir

چکیده

زمین‌شناسی گوهرها یک حوزهٔ نسبتاً جدید از تحقیقات علمی است که بر درک شرایط نادر و استثنایی زمین‌شناسی، که باعث ایجاد گوهرها می‌شوند، تمرکز دارد. این شرایط شامل در دسترس بودن اجزای اصلی غیر معمول، وجود کروموفورهای مناسب، غلظت محدود عناصر نامطلوب، فضای باز، محیطی مناسب برای تشکیل کریستال‌ها با اندازه و شفافیت کافی و محیطی مناسب برای استخراج است. اگرچه به دست آوردن ارقام دقیق برای میزان عرضه و تقاضا برای بسیاری از انواع جواهرات دشوار است، اما به نظر می رسد در حالی که منابع سنتی در حال کاهش هستند، تقاضا حداقل ثابت بماند. امروزه رایج‌ترین تکنیک‌های اکتشاف سنگ‌های جواهر شامل رادار نفوذی در زمین، تجزیه و تحلیل عناصر کمیاب و استفاده از تحلیل امواج لرزه‌ای است .علیرغم اشکالات و عدم قطعیت مناسب بودن اکتشاف سنگ‌های قیمتی با استفاده از تکنولوژی‌های پیشرفته، بهره‌گیری از برخی تکنولوژی‌های جدید اجتناب ناپذیر است. به استثنای الماس، روش اکتشاف بسیاری از مواد معدنی تا کنون غیرسیستماتیک بوده و بنابراین، لازم است تحقیقات آینده بر اکتشاف گوهرها متمرکز شوند.

کلیدواژه: گوهرها، تشکیل، اکتشاف، ژئوشیمی.

مقدمه

سنگ‌های قیمتی هزاران سال است که به دلیل رنگ، درخشندگی، شفافیت، دوام و نسبت بالای ارزش به حجم، مورد توجه قرار گرفته‌اند. ارزش یک گوهر در درجهٔ اول، وابسته به فاکتورهای زیبایی و دوام است، اما نادر بودن آن نیز قابل توجه است. برخی از گوهرها از کانی‌هایی ساخته شده‌اند که در طبیعت بسیار کمیاب هستند (مانند بنیتوئیت ، تاافئیت و برازیلیانیت)، در حالی که بسیاری از گوهرها از کانی‌های معمول (مانند کوارتز ، فلدسپات و گارنت) تولید می‌شوند. هنگامی که یک کانی معمولی دارای ویژگی‌های خاصی مانند رنگ جذاب، اندازه نسبتاً بزرگ و درجهٔ شفافیت بالا باشد، می‌تواند به عنوان سنگ قیمتی استفاده شود[۱]. مثلا در مورد آمتیست (نوع بنفش کوارتز)، این خود کانی نیست که سنگ قیمتی می‌سازد بلکه، این ویژگی‌های یک نمونهٔ خاص است. به عنوان مثالی دیگر، بلور کرندوم (یاقوت سرخ، یاقوت کبود) یک سنگ قیمتی نیست مگر اینکه در محیطی شکل گرفته باشد که به آن اجازهٔ رسیدن به اندازه، شفافیت و رنگ مناسب داده شده‌باشد[۲].

ذخایر گوهر نادر هستند زیرا شرایط زمین شناسی لازم برای تشکیل مواد با کیفیت گوهر به ندرت به دست می‌آیند. این شرایط شامل برخی یا همهٔ موارد زیر است[۲].

(1)در دسترس بودن اجزای اصلی، که در برخی موارد در طبیعت غیر معمول است.

(2) وجود کروموفورهای مناسب (عناصر مسئول رنگ در مواد معدنی)، که می‌تواند در محیط‌های خاص، نادر باشد.

(3)غلظت محدود عناصر نامطلوب، که ممکن است در طبیعت یا در یک محیط زمین شناسی خاص رایج باشد (چنین عناصری می‌توانند رنگ "خاموش" ایجاد کنند یا مانع تشکیل بلور شوند).

(4)فضای باز برای رشد بدون مانع بلورها که در بیشتر محیط های زمین شناسی نادر است.

(5) محیطی برای تشکیل بلورهای با اندازه مناسب و شفافیت کافی.

(6)محیط مساعد برای استخراج از معادن.

این الزامات استثنایی، ذخایر گوهر را برای مطالعهٔ علمی جذاب می‌کنند. این جذابیت، همراه با ملاحظات اقتصادی، باعث افزایش علاقه به زمین‌شناسی ذخایر گوهر در سال‌های اخیر شده است (به عنوان مثال [۵،۴،۳]).

بحث

.تشکیل گوهرها:

۲-۱. مواد سازنده:

اکثر گوهرها، کانی هستند و بنابراین دارای ترکیب شیمیایی مشخص (اما غیر ثابت) هستند. به عنوان مثال می‌توان به الماس[C]، یاقوت سرخ (کرندوم قرمز، $[Al_2O_3]$)، یاقوت کبود (نوعی بلور کرندوم) و زمرد (گوهر بریل سبز رنگ حاوی کرومیوم / وانادیوم، $[Be_3Al_2Si_6O_{18}]$) اشاره کرد. یک استثناء قابل توجه یشم است. سنگی است که از میکروکریستال‌های ریز ژادئیت $[NaAlSi_2O_6]$ تشکیل شده و به عنوان یشم ژادئیت شناخته می‌شود یا سنگی که از ترمولیت –اکتینولیت ساخته شده $[Ca_2(Mg,Fe)_5Si_8O_{22}(OH)_2]$و به آن نفریت می‌گویند .

شیمی و ژئوشیمی فلزات گرانبها، گوهرها و گوهرسنگ ها
ششمین کنفرانس از سری کنفرانس های شیمی کاربردی انجمن علوم و فناوری های شیمیایی ایران
جمهوری اسلامی ایران
وزارت علوم، تحقیقات و فناوری
IRANCSTA
پایگاه استنادی علوم جهان اسلام
ISC
شماره مجوز: ۹۱۶۳۱۲۲
کداختصاصی: ۰۰۲۱۰-۹۷۴۸۹

بحث

تشکیل، تولید و اکتشاف گوهرها

لیلا ملکی
دانشگاه پیام نور مرکز الیگودرز
l.maleki@modares.ac.ir

تشکیل اکثر گوهرها نیاز به غلظت کافی از اجزای ضروری دارد. به عنوان مثال، کربن یک عنصر کمیاب در گوشته است و تشکیل الماس با کیفیت جواهر مستلزم غنای محلی کربن است[۶]. در مورد اکثر سنگ‌های قیمتی (به استثنای الماس)، تشکیل گوهرها مستلزم این است که عناصر اساسی آنها با غلظت‌های مناسب یک کروموفور (اغلب فلز انتقالی)، در تماس باشند (مانند کروم در یاقوت سرخ یا وانادیوم در تانزانیت). یک مثال خوب از نیاز به یک عنصر اصلی و یک کروموفور، زمرد (گونه‌ای بریل که به واسطه وجود کروم یا وانادیوم به رنگ سبز دیده می‌شود) است. بریل یک کانی نسبتاً کمیاب است، زیرا برلیوم بسیار کمی(۲.۱ppm) [۷] در پوستهٔ قارهٔ بالایی و در محل‌هایی که ماگما پس از طی مراحل تبلور بخشی در گرانیت، پگماتیت و معادل دگرگونی آنها متمرکز می‌شود، وجود دارد کند [۸]. کروم و وانادیوم بیشتر رایج هستند (به ترتیب ۹۲ppm و ۹۷ppm ؛[۷]) اما، در سنگ‌های مختلف متمرکز شده اند: کروم در دونیت، پریدوتیت، بازالت و معادل دگرگونی آنها، و وانادیوم در رسوبات غنی از مواد آلی و آهن و معادل دگرگونی آنها وجود دارد. این عناصر معمولاً در محیط‌های غنی از بریلیوم یافت نمی‌شوند و شرایط پویای زمین شناسی و ژئوشیمیایی برای کنار هم قرار گرفتن بریلیم و کروم یا وانادیوم لازم است. در مدل کلاسیک، پگماتیت‌های حاوی بریلیوم با سنگ‌های اولترامافیک یا مافیک حاوی کروم تعامل دارند. با این حال، در کانسارهای کلمبیایی به میزبانی شیل سیاه، هیچ مدرکی از ماگماتیسم وجود ندارد و نشان داده شده است که فرآیندهای گردش آب گرمایی مرتبط با فعالیت زمین ساختی برای تشکیل زمرد کافی بوده است (به عنوان مثال[۹،۱۰،۱۱]. علاوه بر این، برخی از محققان پیشنهاد کرده اند که دگرگونی منطقه‌ای و فرایندهای تکتونومتامورفی، مانند تشکیل زون‌های برشی، نقش مهمی در تشکیل برخی از ذخایر زمرد ایفا کرده است (به ویژه Habachtal در اتریش ، Leydsdorp در آفریقای جنوبی و Franqueira در اسپانیا [۱۲،۱۳،۱۴].

جالب است بدانید که کروم هم در یاقوت و هم زمرد (به میزان بیشتر) کروموفور است. در یاقوت سرخ، جزئیات محیط اتمی و بارهای محلی در اطراف یون کروم منجر به اثر متقابل قوی، معادل یک "قفس" کوچک در اطراف یون می‌شود. این باعث جذب در سطح انرژی بالا می‌شود و بنابراین بیشتر انتقال در انرژی کم، در قسمت قرمز طیف مرئی است. برعکس در زمرد که در آن محیط محلی آرامتر است و در نتیجه یک قفس با استحکام کمتر در اطراف یون کروم ایجاد می‌شود. جذب در انرژی کمتری رخ داده و این امر منجر به ایجاد رنگ سبز در زمرد است. [۱۵].

تشکیل نهشته‌های گوهر نه تنها به حضور اجزای گاهی نادر، بلکه گاه حذف عناصر نامطلوب نیاز دارد. به عنوان مثال، کرندوم فقط در غیاب نسبی سیلیس تشکیل می‌شود، زیرا در حضور سیلیس، آلومینیوم ترجیحاً در کانی‌های آلومینوسیلیکات مانند فلدسپات و میکا جایگزین می‌شود. برخی از کروموفورها، مانند آهن، می‌توانند با ایجاد رنگ‌های نامطلوب در گوهرها (مانند سیاه در تورمالین، سبز بیش از حد تیره در زمرد، رنگ‌های قهوه‌ای مایل به قرمز)، مانع از ایجاد نگین‌های جذاب و با ارزش اقتصادی بالا شوند.

۲-۲. شرایط لازم:

ذخایر گوهر همچنین نیاز به شرایط ترموبارومتری مشخصی دارند که برای تبلور و پایداری کانی خاص لازم است. به عنوان مثال، "قانون کلیفورد" ارتباط نزدیک بین کیمبرلیت‌های حاوی الماس و کراتون‌های آرکئن را فرموله می‌کند. اعتقاد بر این است که ریشه‌های لیتوسفری عمیق (تا ۲۰۰ کیلومتر) باعث بالا رفتن گذار گرافیت - الماس در زیر کراتون‌ها می‌شوند. ناحیه‌ای که گوشتهٔ لیتوسفری به میدان ثبات الماس می رسد فرصتی است که ممکن است الماس در آن شکل گرفته و جایگزین شود (برای مثال [۱۵،۱۶]. الماس‌ها بعدا از طریق ماگماهای اولترامافیکی که با سرعت به سطح صعود می‌کنند و به شکل دیاترم‌های کیمبرلیتی یا پایپ‌ها یا سیل‌ها و دایک‌های ولکانیکی منجمد می‌شوند، به سطح آورده می‌شوند. تحقیقات اخیر نشان می‌دهد که الماس ها از سیالات اکسیده شده (یعنی کربنات‌دار) که ممکن است مربوط به اسلب‌های اقیانوسی فرورانده باشند، رسوب می‌کنند [۶] و در زمان‌های خاصی از تاریخ زمین که با رویدادهای مهم تکتونیکی در لیتوسفر در ارتباط هستند، شکل می‌گیرند [۱۷]. در برخی موارد، اطلاعات کمی در مورد شرایط ترمودینامیکی مورد نیاز برای تشکیل گوهر وجود دارد. به عنوان مثال، کرندوم در محیطهای ماگمایی، دگرگونی و گرمابی تشکیل می‌شود. در نهشته‌های ماگمایی، به صورت زنوکریست یا فنوکریست در بازالت قلیایی، لامپروفیر و سینیت، و در سنگ‌های دگرگونی، توسط میزبان‌هایی مانند مرمر، مافیک و اولترامافیک، گرانولیت، گنیس، میگماتیت، پگماتیت‌های سیلیسی شده، اسکارن و نهشته‌های مرتبط با زون‌های برشی نگهداری می‌شود [۱۷،۱۸]. به طور کلی تصور می‌شود که کرندوم ماگمایی در پوستهٔ زیرین یا گوشتهٔ بالایی شکل می‌گیرد، اما مدل‌های مختلفی برای توضیح شرایط و زمین شناسی خاص محیط تبلور ارائه شده است (به عنوان مثال[۱۸،۱۹]). کرندوم دگرگونی در دماهای بالا و فشارهای زیاد تا متوسط متبلور می‌شود. با این حال، همانطور که توسط [۲۰] اشاره شده‌است، اطلاعات کمی در مورد نهشته‌های کرندوم اولیه - یعنی جایی که کرندوم توسط یک سنگ والد میزبانی می‌شود - وجود دارد و هنوز سؤالات بی‌شماری باقی مانده است. به عنوان مثال، برای تشکیل کرندوم در سنگ مرمر، این سنگ باید از سیلیس و آلومینیوم تهی شود و برای تشکیل کرندوم در چنین محیطی، وجود فاز سیال ضروری به نظر می‌رسد. با این حال، آلومینیوم معمولاً به عنوان یک عنصر بی‌حرکت در نظر گرفته می‌شود و فاز سیال باید به سنگ مرمری که به طور کلی دارای شکستگی و تخلخل کمی است، نفوذ کند.

تشکیل، تولید و اکتشاف گوهرها

لیلا ملکی
دانشگاه پیام نور مرکز الیگودرز
l.maleki@modares.ac.ir

بحث

۲-۳. شرایط رشد:

گوهرها برای رشد به فضا نیاز دارند و بنابراین اغلب در حفره‌ها یافت می‌شوند. به عنوان مثال، در مراحل نهایی تبلور پگماتیت‌های مرکب، سیالات غنی از مواد فرار ممکن است امتدادی از فضای خالی ایجاد کنند که در آنها کریستال‌های با کیفیت نگین، که معمولاً بریل، توپاز و تورمالین هستند [۱۰] تشکیل می‌شوند. فضاهای خالی در زون مرکزی و در حاشیهٔ آن واقع می‌شوند. فضاهای حاوی گوهر در رگه های گرمابی و در سنگ‌های آتشفشانی (حفره‌های حاصل از خروج گاز) نیز ایجاد می شوند. در برخی موارد، گوهرها در سنگ‌های بدون فضای خالی تشکیل می‌شوند و فضای باز مهم نیست. بهترین مثال الماس در سنگ اولترامافیک (معمولاً کیمبرلیت) است. زمرد نیز می‌تواند در شیست‌ها و در نتیجهٔ متاسوماتیسم تشکیل شود. پریدوت (اولیوین به رنگ سبز زیتونی $[(Mg,Fe)_2SiO_4]$ می‌تواند مجموعه‌های بلوری را در سنگ‌های اولترامافیک تشکیل دهند. در شرق زامبیا، رودولیت، پیروپ صورتی تا قرمز $[(Mg,Fe)_3Al_2(SiO_4)_3]$، در رگه‌های جدایش پلاژیوکلازها در گرانولیت‌های مافیک، نودول‌هایی تا قطر ۱۰ سانتی‌متر تشکیل می‌دهد[۲۱]. نودول‌های تسوویریت، پریدوت یا رودولیت گاهی ممکن است حاوی قطعاتی از مواد با کیفیت نگین باشد. نمونه‌های دیگری از کانی‌های گوهری که فضای باز برای آنها حیاتی نیست شامل زوئزیت (تانزانیت)، کوردیریت (ایولیت)، کرندوم، اسپینل و زیرکون هستند.

اندازهٔ گوهر از این نظر مهم است که باید کنده‌کاری بر روی آن ممکن باشد. به عنوان مثال، کوردیریت می‌تواند در سنگ‌های دگرگونی غنی از Al به وفور یافت شود، اما به طور کلی اندازهٔ دانه‌ها برای استفاده از گوهر بسیار کوچک است. فقط در موارد استثنایی کوردیریت کریستال‌هایی با اندازه و شفافیت کافی ایجاد می‌کند تا به عنوان نگین شناخته شود.

در بیشتر موارد شفافیت نیز مسئلهٔ مهمی است. به عنوان مثال، کریستال‌های بریل در پگماتیت‌ها می‌توانند تا اندازهٔ زیادی رشد کنند، اما به طور کلی این بلورهای بزرگ، شفاف نیستند .

سنگ‌های قیمتی همچنین باید از شکستگی مکانیکی، انحلال شیمیایی، دگرگونی و سایر آسیب‌های پس از رشد محافظت شوند. اولیوین می‌تواند یک کانی رایج در سنگ‌های مافیک و اولترامافیک باشد، با این حال پریدوت در سنگ‌های پوسته نسبتاً کمیاب است زیرا در حضور آب، بسیار مستعد حملهٔ شیمیایی است .در فرآیندی شبیه به تشکیل الماس در کیمبرلیت، پریدوت می‌تواند در عمق گوشته تشکیل شده و در آلکالی بازالت‌ها نسبتاً سریع به سطح منتقل شود و فرصت حملهٔ شیمیایی را به حداقل برساند. محافظت از شکستگی وسیع را می‌توان در گوهرهایی مشاهده کرد که در حفره‌ها رشد می‌کنند (مانند رگه‌های گرمابی و پگماتیت‌ها). در معدن استوارت در کالیفرنیا، سیالات گوهرساز باعث ایجاد شکستگی‌هایی شده‌اند که در آنها کریستال‌های نگین بکر تشکیل شده‌اند. با این حال، سنگ‌های پگماتیت نیز ممکن است دچار شکستگی حکاکی و به ویژه تعادل مجدد شیمیایی شوند. برخی از پگماتیت‌های یافت شده در برزیل حاوی بلورهای بریل حل شده هستند باعث ایجاد نمونه‌های برجستهٔ حک شده اما جواهرات کمتری می‌شوند. گوهرهای بریل گزارش شده در اوکراین نیز اغلب آثار حکاکی را نشان می‌دهند .

۳. گوهرهای نزدیک‌تر به سطح:

برخی از گوهرها ناشی از فرآیندهای سطحی هستند[۲۲]. به عنوان مثال، اپال $[(SiO_2.nH_2O)]$ ممکن است توسط چشمه‌های آب گرم در اعماق کم عمق، توسط آب‌های متئوریتی یا محلول‌های هیپوژن با دمای پایین رسوب کند [۲۳]. این گوهرها در دو محیط متضاد تشکیل می‌شوند: سنگ‌های آتشفشانی مانند توف ریولیتی (اغلب اوپال‌هایی با کریستالیزیشن ضعیف) و سنگ‌های رسوبی حوزه‌ها (اغلب اوپال آمورف). فیروزه $[CuAl_6(PO_4)_4(OH)_8\cdot 4H_2O]$ یک کانی ثانویه است که معمولاً به شکل رگه‌های کوچک و در سنگ‌های آتشفشانی کم و بیش تجزیه شده (مس پورفیری) در مناطق خشک یافت می‌شود. مالاکیت سبز $[Cu_2CO_3(OH)_2]$و آزوریت آبی $[Cu_3(CO_3)_2(OH)_2]$کانیهای مس سوپرژن هستند و در قسمت‌های اکسیده شدهٔ رسوبات مس مربوط به سنگ آهک گسترش می‌یابند [۲۴].

مهم است که توجه داشته باشیم، بسیاری از گوهرها در نهشته‌های ثانویه با منشأ رسوبی تشکیل می‌شوند[۲۵]. نهشته‌های رسوبی از حمل و نقل مواد رسوبی توسط جریان رودخانه ایجاد می‌شوند. جواهرات موجود در چنین رسوباتی باید آنقدر متراکم باشند که به وسیله گرانش متمرکز شوند و به اندازه کافی با دوام باشند تا بتوانند از حمل و نقل جان سالم به در ببرند. از آنجا که در مقایسه با منبع اصلی، نمونه های ترک خورده و هوازده شده در حین حمل بیشتر از بین می روند و قطعات سالم‌تر بیشتر حفظ می‌شوند، نسبت گوهر به کانی‌های غیر گوهر در رسوبات آبرفتی بیشتر است. مثال شاخص شامل برخی نهشته‌های کرندوم و الماس است که در آنها نسبت کریستال‌های با کیفیت گوهر با افزایش فاصله از منبع افزایش می‌یابد و مواد شکننده‌تر در امتداد مسیر به طور فزاینده‌ای از بین می‌روند.

تشکیل، تولید و اکتشاف گوهرها

لیلا ملکی
دانشگاه پیام نور مرکز الیگودرز
l.maleki@modares.ac.ir

بحث

از آنجایی که بسیاری از جواهرات از عملیات نسبتاً کوچک و کم هزینه در مناطق دور افتادهٔ کشورهای در حال توسعه تولید می شوند، بدست آوردن آمار دقیق در مورد تولید و ارزش آنها کار سختی است [۲۶]. با این حال، تولید الماس در سال ۲۰۰۷ حدود ۱۷۳ میلیون قیراط (به ارزش ۱۳.۹ بیلیون دلار آمریکا) از حدود ۲۰ کشور بود که بوتسوانا، روسیه، کانادا، آفریقای جنوبی و آنگولا پنج تولید کنندهٔ برتر از نظر ارزش بودند[۲۷] .در سال ۲۰۰۱، ارزش تجارت جهانی گوهرهای رنگی در حدود ۶ میلیارد دلار در سال تخمین زده شد [۲۸].

این مهم است که بدانیم که اکثر سنگ‌های قیمتی، مانند سایر کالاها، تحت تأثیر عرضه و تقاضا هستند. اگرچه به دست آوردن ارقام دقیق برای بسیاری از انواع جواهرات دشوار است، اما به نظر می رسد در حالی که منابع سنتی در حال کاهش هستند، تقاضا حداقل ثابت بماند. به عنوان مثال، اوج تولید الماس در جهان ممکن است به زودی تمام شود و گمان می‌شود که معادن زمرد کلمبیا رو به اتمام است، در حالی که مقادیر تجاری تانزانیت (تا کنون) تنها در یک نقطه در جهان پیدا شده‌اند. بسیاری از سنگ‌های قیمتی از کشورهای فقیر می‌آیند، جایی که کشف ذخایر جدید می‌تواند منجر به تغییر عمده، چه خوب و چه بد، در سطح زندگی در منطقه بلافصل شود. به عنوان مثال، کشف الماس در سال ۱۹۶۷ بوتسوانا را از یکی از فقیرترین کشورهای جهان به یک اقتصاد با درآمد متوسط تا بالا تبدیل کرد. با این حال، نرخ فقر در بوتسوانا زیاد و توزیع درآمد و منابع بسیار نابرابر است. برخی از کشورها، اکتشافات بسیار کمی داشته اند. مثلا به نظر می‌رسد که کانادا با مساحت زیاد و تراکم کم جمعیت، مکانی منطقی برای جستجو گوهرهای رنگی باشد. صرف نظر از کشور، ثبات رژیم سیاسی و امنیت مالکیت معادن از مسائل مهم است. در برخی نقاط، قاچاق یک مشکل بزرگ است و تجارت سنگ‌های قیمتی برای تأمین هزینه جنگ های داخلی، شورش‌ها و فعالیت‌های تروریستی مورد استفاده قرار گرفته است. به نظر می‌رسد یک فناوری بی عیب و نقص برای ردیابی سنگ‌های شخصی مناسب است.

۵. اکتشاف گوهر:

پروتکل‌های اکتشافی برای سنگ‌های قیمتی از پروتکل‌های بسیار توسعه یافته (الماس) [۲۹] تا پروتکل‌های غیر سیستماتیک (اکثر مواد جواهرات دیگر) در تغییر هستند.

تکنیک‌های مورد استفاده برای اکتشاف الماس شامل نمونه برداری و پردازش کانی‌های سنگین (اغلب با استفاده از جدا کننده‌ها)، شیمی کانی‌های شاخص و ژئوفیزیک است. با تکامل فعالیت‌های اکتشاف الماس، این تکنیک‌ها به طور فزاینده‌ای پیچیده می‌شوند. در کانادا نیز لازم است الگوهای پیشروی و عقب نشینی یخچال‌ها را در نظر بگیریم. تکنیک کانی‌های شاخص بر اساس شناخت کانی‌های متمایز در رسوبات یخچالی (کروم پیروپ، کروم دیوپسید، ایلمنیت منیزیم و الیوین) مرتبط با سنگ‌های منبع الماس و سپس ردیابی آنها تا منبع است (مراجعه کنید به [۲۸]).

بخش بزرگی از بودجهٔ اکتشاف الماس به تکنیک‌های ژئوفیزیکی با وضوح بالا و استفاده از انواع سیستم عامل‌ها اختصاص داده می‌شود. Shore Gold Incو Newmont Miningاز نقشه های مغناطیسی هوایی برای تصویر کیمبرلیت های عمق ۱۰۰ متری زیر سنگ فرش یخبندان در central Saskatchewanاستفاده کرده‌اند. De Beersاز یک سیستم بررسی گرانش از یک کشتی هوایی استفاده کرده است [۲۶] .

نشریات موجود، شامل دستورالعمل‌های اکتشافی محیط‌های مناسب برای تشکیل سنگ‌های قیمتی است. به عنوان مثال، [۳۰] روش‌های جستجوی سازگار با اکتشاف سنگ‌های قیمتی از جمله نقشه برداری زمین شناسی، تست حفاری سیستماتیک رودخانه‌ای، جستجوی ژئوفیزیکی و ژئوشیمیایی و سنجش از دور را توصیف و ارزیابی کردند. آنها همچنین یک مطالعهٔ موردی از رودولیت کیسولی، و تورمالین و یاقوت در جنوب کنیا ارائه کردند که در آن نقشه‌برداری، رادیوسپکتروسکوپی و ژئوشیمی خاک به شناسایی شرایط زمین شناسی مطلوب برای ذخایر گوهر کمک کرد. در یک مثال دیگر، [۳۱] معیارهایی را برای تشخیص گرانیت‌هایی که می‌توانند والد پگماتیت های گرانیتی بسیار تکامل یافته در Cordilleraواقع در کانادا باشند، ذکر کردند. این گرانیت‌ها از نوع Sبا سن کرتاسه میانی، گستردگی کمتر از ۳۰ کیلومتر مربع، ماهیت پرآلومینوس، غنی از عناصر لیتیوفیل و نسبت ایزوتوپ استرانسیوم اولیه $^{87}Sr/^{86}Sr$ بیشتر از ۰.۷۱۰۰ ، و ناهنجاری منفی نئودیمیوم بودند. یک بررسی از تکنیک‌های ژئوفیزیکی مورد استفاده در اکتشاف جواهرات توسط [۳۲] منتشر شد .

بحث

تشکیل، تولید و اکتشاف گوهرها

لیلا ملکی
دانشگاه پیام نور مرکز الیگودرز
l.maleki@modares.ac.ir

رایج ترین تکنیک‌های اکتشاف سنگ‌های جواهر امروزه رادار نفوذی در زمین ،GPR، تجزیه و تحلیل عناصر کمیاب، که شامل جستجوی عناصر خاص به عنوان سرنخ هایی در مورد محل قرار گرفتن گوهرها و استفاده از دستگاهی به نام "terra thumper"است که از طریق تحلیل امواج لرزه‌ای، تفاوت در ساختار سنگ میزبان را مشخص می‌کند [۳۳].

۵-۱. استفاده از تکنیک GPR:

دستگاه‌های GPR ، دستگاه‌هایی کوچک و قابل حمل هستند که می‌توان آنها را در یک چرخ دستی چرخدار از مناطق مورد نظر عبور داد، با دوچرخه کشید یا با دست حمل کرد. این دستگاه از یک لپ تاپ، یک جعبه کنترل که در کوله پشتی قرار می‌گیرد و یک باتری ۱۲ ولت تشکیل شده است. دستگاه‌های کوچک‌تر با قیمت ۲۰۰۰۰ دلار به فروش می رسند و از نظر اقتصادی برای کار با مطالبات کوچک مقرون به صرفه هستند. تکنیک GPR فقط در سطح زمین کار می‌کند و برای اکتشافات هوایی قابل استفاده نیست. ایجاد GPRمناسب برای هوا شامل فیزیک پیچیده‌ای است که در حال حاضر منجر به کاهش بازده می‌شود. این تکنیک در بیشتر محیط‌های آبرفتی به خوبی کار می‌کند، اما در محل‌های حاوی رس رسانا این تکنیک مناسب نیست زیرا رسانایی، منجر به ایجاد تصاویر گیج کننده می‌شود.

کارشناسان در این مورد که آیا استفاده از وسایلی مانند GPRمی تواند برای اکتشاف سنگ‌های قیمتی مقرون به صرفه باشد یا نه اتفاق نظر ندارند. آزمایشات انجام شده به روش GPR، سطح موفقیت متغیری دارند. به عنوان مثال، در سال ۱۹۴۴ زمانی که از این روش برای ردیابی معدن تورمالین قدیمی در هیمالیا (کالیفرنیا) استفاده شد، در ابتدا، رطوبت زمین تصاویر نامشخصی را ایجاد کرد، اما آزمایش‌های بیشتر، اطلاعات کافی را در اختیار جستجوگران قرار داد تا بتوانند فضاهای‌های زیرزمینی را تشخیص دهند. با این حال، این سؤال که آیا فضاهای تشخیص داده شده، دارای جواهرات هستند یا خیر، باید با حفاری پاسخ داده می‌شد[۳۳].

به گفته بیل لارسون از Pala International، مالک معدن هیمالیا، "تصاویر خوب بود ، اما نمی توان تشخیص داد که یک فضای دارای گوهر دارید یا یک درزه. بنابراین شما استخراج می کنید و یک درزه از رس پیدا می‌کنید. ما به ازای هر ۴ مورد فضای دارای گوهر، شش ناهنجاری کاذب تشخیص دادیم." با وجود چنین نتایجی، برخی معتقدند که تکنیک GPRموج آیندهٔ اکتشاف سنگ‌های قیمتی است. جان فرانک از Associated Mining Consultants Ltd.به عنوان یک متخصص برجستهٔ ژئوفیزیک در استفاده از GPRدر زمینهٔ سنگ‌های قیمتی در نظر گرفته می شود. او معتقد است ایده آل‌ترین و مناسب‌ترین فناوری برای تصویربرداری با وضوح بالای مورد نیاز برای مشاهده ویژگی‌های بسیار کوچک درون پگماتیت،GPR است. به گفته وی، اشکال اصلی GPRعمق نفوذ است. به این صورت که هرچه وضوح بالاتری نیاز داشته باشیم، عمق نفوذ باید کمتر شود. قاعدهٔ کلی این است که هر داده‌ای با عمق بیش از سه متر (۹.۸ فوت) غیر واقعی است. اما وضوح داده‌ها در این سه متر در حد مقیاس سانتیمتر است. تصاویر تولید شده توسط GPRعملاً سه بعدی هستند و به جستجوگران اجازه می‌دهند تا فقط دستگاه را به جلو و عقب حرکت داده، تصویر سه بعدی دریافت کنند و اندازه و شکل ذخیره را بررسی کنند. وی معتقد است اگر GPRمناسب نباشد، گزینهٔ بعدی روش لرزه نگاری شکست است. لرزه‌نگاری قادر است نشان دهد که بستر کجاست، اما نتایج این تکنیک، وضوح بسیار پایین‌تری ازنتایج GPRدارند. استفاده از GPRبه معنای جایگزینی ترانشه یا حفاری نیست، اما صرفاً برای یافتن محتمل‌ترین مکان است [۳۴]. استفاده از GPRدر سراسر جهان برای کاربردهای مهندسی عمران مانند مکان‌یابی لوله‌های مدفون و سایر سازه‌ها است. اینکه تولیدکنندگان GPRدر جهت بهبود برنامه‌های استخراج کار خواهند کرد یا نه، بستگی به میزان استقبال معدنچیان از این فناوری دارد[۳۳].

تشکیل، تولید و اکتشاف گوهرها

لیلا ملکی
دانشگاه پیام نور مرکز الیگودرز
l.maleki@modares.ac.ir

بخش سوم

۵-۲. عناصر کمیاب و ژئوشیمی:

یکی دیگر از روش‌های رایج برای اکتشاف، تجزیه و تحلیل عناصر کمیاب مناطق مشکوک به داشتن سنگ‌های قیمتی است[۳۶،۳۵] یک مطالعهٔ گسترده در مورد رسوب یاقوت کبود در مونتانا توسط محققان دانشگاه تورنتو انجام شده است. دانشمندان توانستند چندین عنصر کمیاب که به طور طبیعی در مناطق غنی از یاقوت کبود وجود دارد را فهرست بندی کنند. این داده ها اکنون می توانند به عنوان سرنخ در مناطق دیگری که احتمال وجود یاقوت کبود یا سنگ‌های رنگی دیگر وجود دارد، مورد استفاده قرار گیرد. کاربرد عمدهٔ تکنیک تجزیهٔ عناصر کمیاب در معدن زمرد Seahawkدر منطقه Piteirasبرزیل انجام شد. رئیس Seahawk Louis A. Lepryتوضیح داد که شرکت او بر اکتشاف طلا در آمریکای لاتین متمرکز بوده است و در سال ۱۹۹۸، با کاهش قیمت طلا، این شرکت تجاری عمومی، تلاش خود را در زمینهٔ سنگ‌های رنگی نیز افزایش داد. وی گفت: "ما درست مانند یک ذخیرهٔ طلا برخورد کردیم و نمونه‌برداری سیستماتیک از خاک را انجام دادیم. هیچ رخنمون واقعی وجود نداشت، فقط خاکی با ابعاد ۲ تا ۵۰ متر (۶.۶ تا ۱۶۴ فوت) گسترش داشت. یک بررسی ژئوشیمیایی چند عنصری خاک، روی بخشی که بیشترین پتانسیل احتمالی را داشت (بر اساس داده‌های ژئوفیزیکی) انجام شد. شبکه‌بندی ابتدا در مساحت دو کیلومتر مربع [۰.۸ مایل مربع] انجام شد و سپس با یک برنامه‌ریزی، نمونه‌گیری گسترده‌تر ادامه یافت و بر اساس اطلاعات حاصل، اهداف قابل حفاری مشخص شدند. همه زمردهای منطقه از افق بسیار متفاوتی به ضخامت دو تا پنج متر (۶.۶ تا ۱۶.۴ فوت) آمده بودند. در مجموع ۴۵ سوراخ با عمق متوسط حدود ۱۸۰ متر [۵۹۰.۴ فوت] حفر شد و در برخی از هسته‌ها کریستال های زمرد کشف شد. تیم اکتشافی آزمایش ژئوشیمی چند عنصری را بر روی چندین هزار نمونه انجام داد و ۳۰ عنصر مختلف را جستجو کرد . این عملیات در سال ۲۰۰۱ به استخراج ۸۰۰تن گوهر منتهی شد و در حال حاضر تولید ۵۰ تا ۱۰۶ تن در روز است [۳۳].

ژئوشیمی در کلمبیا نیز مفید واقع شده است. [۳۷] زمین شناسی و ژئوشیمی منطقه Gachalá را مطالعه کرد و دریافت که غنی بودن Naو تهی بودن از Li ، K، Beو Mo در سنگ‌های میزبان شاخص‌های خوبی برای مکان یابی مناطق معدنی هستند .[۳۸] نتایج یک بررسی ژئوشیمیایی تحت حمایت سازمان ملل متحد در مورد ذخایر زمرد حمل شده توسط رودخانه در مناطق Chivor و Muzo کلمبیا را ارائه کرد. توزیع فضایی مناطق دارای کانی زمرد، در مقیاس منطقه‌ای، به تقاطع گسلی شمال شرقی و شمال غربی متصل شد. شیل‌های سیاهی در بلوک‌های تکتونیکی حاوی کانی سازی زمرد یافت شدند که درCO_2 ، Ca، Mg، Mnو Na غنی شده و در K، Siو Al تهی بودند [۳۷]. نتایج این مطالعه با یک برنامه نمونه برداری رسوب در ناحیهٔ Muzo مورد آزمایش قرار گرفت و نمونه های جمع آوری شده از بلوک های زمین ساخت حاوی زمرد دارای نسبت پایین و غیرعادی K/ Naبود. متعاقباً مشخص شد که میزان سدیم رسوبات بهترین شاخص مناطق معدنی در حوضه‌های زهکشی است. چندین مورد زمرد جدید توسط تیم های سازمان ملل متحد با استفاده از نتایج این مطالعه کشف شد. همچنین، [۳۹] گزارش داد که زمین شناسان کلمبیایی در حال تجزیه و تحلیل نمونه های خاک جمع آوری شده از بلوک های تکتونیکی آلتره برای لیتیوم، سدیم و سرب برای بررسی کانی سازی زمرد هستند .[۴۰] نشان دادند که محتوای Beشیل های سیاه خارج از مناطق معدنی شسته شده بین ۳.۴ ppm تا ۴ppm است. غلظت برلیوم در مناطق شسته شده بین ۰.۱ppm تا ۳ ppm مشاهده شد [۳۷].

۵-۳. زمین شناسی ساختاری:

برای اکتشاف زمرد در کلمبیا، زمین شناسی ساختاری نیز نقش ایفا کرد[۱۰] . در ناحیهٔ غربی (Muzo وCoscuez)، رسوبات توسط گسل‌های اشکی به هم متصل بودند.

۵-۴. کانی‌های همراه:

راهنماهای آینده نگری برای برخی دیگر از گوهرها، به عنوان مثال زمرد، وجود دارد (به [۴۱] مراجعه کنید). این راهنماها اشاره می‌کنند که همراهی کانی‌ها با یکدیگر مهم هستند. به عنوان مثال، کریزوبریل و فناکیت کانی‌های شاخصی برای شناسایی زمرد "از نوع دگرگونی" هستند .

به نظر می رسد علاقهٔ جدیدی به استخراج و اکتشاف ذخایر گوهر رنگی به طور کلی توسط شرکت‌های کوچکتر که تعداد فزاینده‌ای از آنها در بورس‌های سهام جهان فهرست شده اند، و به طور خاص مبادلات TSX Ventureو AIM(بازار سرمایه گذاری جایگزین) در حال ظهور است. علاوه بر این، اخیراً روندی به سوی ادغام عمودی مشاهده شده است، که به موجب آن یک شرکت واحد کلیهٔ فعالیت‌های اکتشاف، معدن‌کاری، بهره مندی و بازاریابی را انجام می‌دهد. یک مثال Pallinghurst Resourcesاست که در ژوئن ۲۰۰۸ در یکی از شرکت‌های خود، چنین فعالیتی را انجام داد. Rox، ۷۵ درصد در معدن کاگم در زامبیا، بزرگترین معدن زمرد آفریقا، و به عنوان یک گزینه برای به دست آوردن مجموعه ای از مجوزهای اکتشاف سنگ‌های قیمتی در

تشکیل، تولید و اکتشاف گوهرها

لیلا ملکی
دانشگاه پیام نور مرکز الیگودرز
l.maleki@modares.ac.ir

بحث و نتیجه گیری

در ماداگاسکار مشارکت داشت. Pallinghurstهمچنین اعلام کرد که شرکت Fabergé Limited، به Gemfieldsاین امکان را داده است که مجوز جهانی و انحصاری ۱۵ ساله برای استفاده از نام تجاری Fabergéبرای سنگ‌های قیمتی با کیفیت بهتر (به استثنای الماس) کسب کند. Pallinghurstو Gemfieldsادعا می‌کنند که این معاملات گام های کلیدی در هدف آنها برای ایجاد یک شرکت پیشرو در زمینه سنگ‌های قیمتی و پیگیری ادغام عمودی در این بخش است. نمونه های دیگر شامل پروژه‌های اکتشافی پیشرفته توسط True North Gems Inc.در کانادا (برای زمرد و یاقوت کبود) و گرینلند (یاقوت) است.

۶. اثرات اجتماعی و اقتصادی:

مسألهٔ دیگر تأثیرات اجتماعی و اقتصادی اکتشافات اتوماتیک و پیشرفته است. زیرا بسیاری از معدنچیان محلی، نسل‌ها با تکنولوژی‌های پایین کسب درآمد کرده‌اند. از این رو برخی از دولت‌ها در برابر پیشنهادات شرکت‌های خارجی برای ارائهٔ روش‌های اکتشافی توسعه یافته برای معادن سنگ‌های قیمتی تاریخی موضع سختی می‌گیرند. به عنوان مثال، سریلانکا استفاده از اکثر روش های فناوری پیشرفته را ممنوع کرده است، زیرا آنها تمایلی به خالی شدن یکبارهٔ منبعی که سال‌ها ۲۵ درصد از جمعیت کشور را پشتیبانی کرده است، ندارند و معتقدند این معادن به شکل کنونی قادر به تأمین ۱۰۰ سال آیندهٔ این بخش از جمعیت کشور هستند. علیرغم اشکالات و عدم قطعیت اکتشافات سنگهای قیمتی با تکنولوژی بالا، برخی پیشرفت‌ها اجتناب ناپذیر است. در آینده چه رخ خواهد داد؟ ممکن است در آینده، برخی از فناوری‌هایی که برای استفاده نظامی و انتظامی توسعه یافته است، برای معادن و اکتشاف قابل استفاده باشد. یکی از فناوری های امیدوار کننده شامل فرکانس‌های بسیار بالای اشعه ایکس است. تکنیکی که در حال حاضر توسط بازرسان گمرک برای مشاهدهٔ وسایل در حال حمل و نقل استفاده می‌شود. این وسایل ممکن است آخرین همراهان یا وارثان تابه ، بیل و سایر وسایل سنتی باشند [۳۳].

۷. نتیجه‌گیری:

بسیاری از سؤالات (و بنابراین فرصت های تحقیق) در مورد زمین شناسی ذخایر گوهر باقی مانده است. به عنوان مثال، محققان به تازگی به دنبال چگونگی پیدایش ذخایر یاقوت سرخ و یاقوت کبود میزبانی شده توسط سنگ مرمر هستند. تعداد کمی از داده‌های میکروپروب و داده های ترکیب عناصر کمیاب برای زمرد وجود دارد و یک کتابخانهٔ جامع از چنین ترکیباتی برای محققان آینده دارایی ارزشمندی خواهد بود. علاوه بر این، نقش دگرگونی در شکل گیری برخی از ذخایر زمرد بحث برانگیز است و بنابراین ارزش مطالعه بیشتری را دارد. همچنین نیاز به یک طرح طبقه بندی بدون ابهام که به درک ما از مکانیسم ها و شرایط منجر به تشکیل رسوبات زمرد کمک کند حس می‌شود. با این حال، درک نحوه شکل گیری ذخایر گوهر بیشتر از علاقه‌ای آکادمیک است زیرا می‌تواند دستورالعمل‌هایی را برای اکتشاف ارائه دهد. به همین دلیل، زمین شناسی سنگ‌های قیمتی به یک تخصص در زمین شناسی اقتصادی تبدیل می‌شود. اگرچه دستورالعمل های اکتشافی موجود برای ایجاد اکتشافات جدید آغاز شده است، اما بیشتر معادن جدید به طور تصادفی یافت می شوند، نه با طراحی. توسعهٔ بیشتر دستورالعمل های اکتشافی برای بسیاری از مواد جواهر مطلوب است. این امر، همراه با فناوری های جدید، باید جامعه را از عرضهٔ جواهرات برای آینده مطمئن سازد.