



یکصد نوآوری در صنعت معدنکاری

(بخش اول)

■ مترجم: آیدین زینالزاده، کارشناس دفتر امور اکتشاف وزارت صنعت، معدن و تجارت، کارشناس برنامه گنج و رنج، رادیو اقتصاد*

◀ مقدمه:

نوآوری‌ها، آینده‌ی ما را تشکیل می‌دهند. معدنکاری که سپیده دم تمدن تاریخ بشری است، اغلب به عنوان یک صنعت باستانی شناخته می‌شود. اکتشاف و بهره‌برداری از ذخایر معدنی با وجود این ریشه‌های تاریخی، همواره زمینه‌ای فعال برای نوآوری داشته است. امروزه نوآوری در معدن، در واقع رسیدگی به تقاضای رو به رشد دامنه‌ای در حال گسترش از منابع معدنی در عین احترام به جوامع و محیط‌زیست است. قصد داریم یکصد نوآوری که در ده سال اخیر به کمک معدن و معدنکاری آمده‌اند را تحت چهار دسته‌بندی موضوعی، معرفی کنیم:

۱- اکتشاف هوشمندانه‌تر: تشخیص مستقیم کانی‌ها، ترکیبات شیمیایی و خواص فیزیکی آن‌ها در عملیات زمینی، تشخیص هرچه عمیق‌تر ذخایر معدنی، مدل‌سازی ذخایر معدنی، شناخت پتانسیل‌های اقتصادی و ذخایر رقیب آن‌ها درست در ابتدایی‌ترین مراحل اکتشاف.

۲- بهره‌برداری موثرتر: روش‌های استخراج بر پایه‌ی آخرین پیشرفت‌های رباتیک، نظارت آنی بر حجم استخراج و تولید از طریق معدن و کارخانه‌های فرآوری، شبیه‌سازی در مرحله طراحی معدن برای محک زدن روش‌های مختلف پیش از اجرا.

۳- شرایط کاری امن‌تر: بهبود ارتباطات مخابراتی زیرزمینی، تجهیزات پیچیده‌تر ترابری و حمل‌ونقل در معادن، تدابیر واکنش اضطراری برای سخت‌ترین شرایط کاری.

۴- سازگاری بیشتر با محیط‌زیست: راه‌حل‌هایی برای مقابله با زهکشی اسیدی معادن، تدابیری برای تبدیل باطله معادن به محصولات

* این برنامه روزهای شنبه هر هفته ساعت ۲۱ از رادیو اقتصاد، موج اف ام ردیف ۹۸ مگاهرتز، پخش می‌شود

مفید، به طورکلی نوآوری در صنعت معدنکاری با هدف بهبود ایمنی معدنکاران، افزایش بهره‌وری و به حداقل رساندن اثرات زیست‌محیطی، نوآوری‌های ارابه‌دهنده‌ی عناصر ساختاری ایجاد شده یا در حال طراحی برای معدنکاری که برگرفته از زمینه‌های علمی مانند شیمی، فیزیک، زیست‌شناسی، مهندسی، علوم کامپیوتر و...، ارابه‌های جدید برای مقابله با محیط‌های چالشی خاص که نوآوری‌های مرتبط با آن‌ها قابل انتقال به رشته‌های علمی دیگر باشد تا در نهایت دسترسی به برنامه‌های کاربردی بسیار وسیع‌تر ایجاد شود (مثلا بسیاری از تجربیاتی که به سرعت در زمینه مهندسی محیط‌زیست در حال گسترش است، به واسطه نوآوری‌های بخش معدن ایجاد شده است)، نوآوری‌های ایجاد ارزش پایدار.

معدنکاری در بنیاد تمدن نهفته است. از اولین کارخانه‌های ذوب مس در قبرس تا برنزکاری در قرن دوازدهم پیش از میلاد و جویندگان طلا در غرب آمریکای شمالی و مجتمع‌های معدنی و فولاد قرن نوزدهم اروپا، معادن همواره در چشم‌انداز اقتصادی دوران باستان برجسته بوده‌اند. هرچند چنین سابقه طولانی‌ایی بیانگر سنتی کهن است، اما این صنعت کهن مترادف با روش‌های قدیمی نیست! ممکن است صنعت معدنکاری برای عموم مردم چندان نوآورانه به نظر نرسد. بودجه تحقیق و توسعه حوزه معدن در مقابل حجم سرمایه‌گذاری، در مقایسه با بیوتکنولوژی و ارتباطات و حتی خود معدنکاری بسیار پایین و در عین حال بسیار حیاتی است.

اما واقعیت کاملاً متفاوت است. معدن همواره منبع نوآوری بوده و در شرایط دشوار در تلاش برای بهره‌وری بهتر، ایمنی بیشتر و تعامل با جامعه و محیط‌زیست است. چالش قابل توجه این است که در تعریف، معادن

را با عنوان بهره‌برداری از منابع تجدیدناپذیر پنهان در زیر سطح زمین می‌دانند که معمولاً شرایط سخت و ناشناخته مانع عملیات‌های اکتشاف و استخراج هستند.

این نوشتار با ارایه یکصد نوآوری جدید از اکتشاف تا بازسازی معادن متروکه، توجه عمومی را به ویژگی نوآورانه‌ی صنعت معدنکاری، که در حوزه بسیاری از علوم و فناوری‌ها قابل لمس است، جلب می‌نماید. نوآوری چیست؟ به گفته ژاک منارد^۱، رئیس گروه مالی بی ام او^۲، طی یک سخنرانی در باشگاه مونترال در ۲۸ فوریه ۲۰۱۱، «بهره‌وری سخت‌تر کار کردن نیست، بلکه دقیق‌تر کار کردن، سازماندهی بهتر و استفاده از ابزار بهتر است. تمام این مفاهیم در یک کلمه خلاصه می‌شود: نوآوری!». به عبارت ساده‌تر، نوآوری را می‌توان به عنوان یک ایده‌ی جدید قابل اجرا تعریف کرد. بنابراین نوآوری نتیجه‌ی ایده‌ای است که نیازی را برآورده می‌نماید. نوآوری فناورانه با کشف یا اختراع فرق می‌کند و این تفاوت اساساً در جنبه‌های کاربردی نهفته است.

نوآوری صرفاً فناورانه نیست و می‌تواند اجتماعی باشد که در این صورت نیازهای جامعه محرک پیشرفت‌های تکنولوژیکی و فناورانه است. مثال مقتضی امروز نوآوری در زمینه حفاظت از محیط‌زیست است که عمدتاً برپایه رشد جنبش‌های اجتماعی سی سال گذشته بوده است. تحقیقات درخصوص نوآوری‌های صنعت معدنکاری از کشورهای معدنی جهان (کانادا، استرالیا، ایالات متحده، اروپا، آفریقای جنوبی، شیلی) و همچنین اطلاعات حاصل از نشست‌ها و جلسات با نوآوران در عرصه‌ی معدنکاری ایالت کبک^۳ و خصوصاً در منطقه‌ی آبییتی^۴ انجام شده است.

◀ خلاصه:

قسمت اعظمی از نوآوری‌های صنعتی، زاینده‌ی معدنکاری است و تاریخچه‌ی معدنکاری جهان سرشار از نمونه‌های ارزشمند و قابل توجه است. اولین مقررات زیست‌محیطی به معدن جیوه آلمادن^۵ در قرن هفدهم برمی‌گردد. پس از گذشت زمانی نه چندان طولانی توماس نیوکامن^۶ در اوایل قرن هجدهم اولین موتور بخار را برای آبکشی از معادن قلع در کورن وال^۷ طراحی کرد. جیمز وات^۸ (که تکنیسینی در دانشگاه گلاسکو بود) پس از آغاز به کار پمپ نیوکامن و جهت اصلاح کارایی محدود آن، به همراه دوستش متیو بولتون^۹ محفظه‌ی میعان را اختراع کرد که به واسطه آن ثروتمند شد. در سال ۱۷۸۴ این دو شریک لوکوموتیو بخار را برای حمل مواد معدنی استخراج شده ثبت کردند و بیست سال بعد از زمانی که اولین لوکوموتیوها در معرض فروش گذاشته شدند، معادن زغال‌سنگ را ترک کردند تا این معادن زیرزمینی نفسی با هوای تازه بکشند! ابتکار

- 1- Jacques Ménard
- 2- B.M.O: Bank of Montreal
- 3- Quebec
- 4- Abitibi
- 5- Almadén
- 6- Thomas Newcomen
- 7- Cornwall
- 8- James Watt
- 9- Matthew Boulton

معدنی «بولتون» و «وات» هنوز هم برای مکانیزه نمودن تولید منسوجات استفاده می‌شوند و بنابراین باعث انقلابی در صنعت پوشاک شد.

چراغ اطمینان از سال ۱۸۱۵ و کمی پیش از رونق معدنکاری مس در آمریکای شمالی و در میشیگان (۱۸۴۰ تا ۱۸۴۳)، طلا در کالیفرنیا (۱۸۴۸) و کلورادو (۱۸۵۸) به‌کار گرفته شد. در ۱۸۶۷، آلفرد نوبل^{۱۰} دینامیت را اختراع کرد که به زودی راه خود را در دنیای معدنکاری پیدا کرد!

بازار در حال توسعه‌ی فلزات، در ابتدای قرن بیستم نیاز به روش‌های جدید تولید و فرآوری، به عنوان سنگفرش‌های مسیر پیشرفت متالورژی، داشت. فرآیندهای الکترولیتی برای خالص‌سازی آلومینیم، و پس از آن، مس، تنها بیست سال پس از ظهور «دینام» توسط گرام^{۱۱} به تکامل رسیدند که این فرآیندها امروز نیز برای خالص‌سازی فلزات مورد استفاده قرار می‌گیرند. فلوتاسیون، روش بسیار موثری برای جداسازی کانی‌ها از باطله یا اجزا بدون بار سنگ‌ها و کانی‌ها است که در سال ۱۹۰۳ در بروکن هیل^{۱۲} استرالیا پا به عرصه ظهور گذاشت و به سرعت در سرتاسر جهان انتشار پیدا کرد.

تکنیک‌های معدنکاری مانند اتومبیل‌های فرمول یک در مسابقه‌ی صنعت هستند: برای یک دنیای دشوار و رقابتی ابداع شده‌اند که در جبهه‌ی مقدم ایده‌های جدید واقع شده‌اند و نمایشگر آزمون‌ی برای برنامه‌های کاربردی در مقیاس بزرگ هستند.

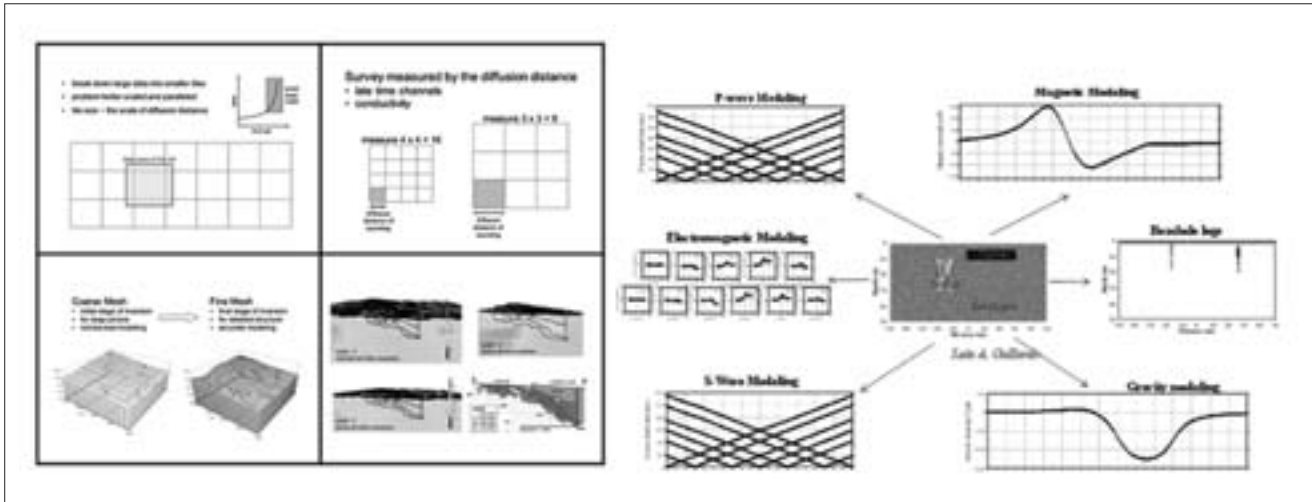
اکتشاف: اولین قدم در معدنکاری اکتشاف یک ذخیره معدنی است. اکتشاف ترکیبی است از تمام فعالیت‌هایی که منجر به کشف یک ذخیره‌ی اقتصادی پایدار، پیش از انجام هرگونه فعالیت معدنی دیگر است. نوآوری در اکتشاف نقش محوری دارد. تسریع قابل توجه در اکتشاف ذخایر معدنی و در نتیجه تولید مواد معدنی با معرفی روش‌های جدید اکتشافی ارتباط مستقیم دارد. یک مثال خوب در این زمینه آغاز به استفاده از ژئوفیزیک هوایی در دهه ۱۹۷۰ است که منجر به رونق اکتشافات جدید در سراسر شمال کانادا شد.

◀ اکتشاف

◀ ۱- الگوریتم معکوس^{۱۳}:

ژئوفیزیک برای پیش‌بینی موقعیت توده معدنی به وسیله دنبال کردن ناهنجاری‌های مغناطیسی، گرانشی و هدایت الکتریکی به کار گرفته می‌شود. الگوریتم‌های معکوس جدید امکان استفاده از داده‌ها ژئوفیزیکی را به شیوه‌های مختلف فراهم می‌نماید. با آغاز عملیات ژئوفیزیک و ایجاد خواص ژئوفیزیکی سنگ و سپس اندازه‌گیری «امضای ژئوفیزیکی» آن‌ها، مدل‌سازی سه بعدی از پتانسیل کانی‌سازی و محیط زمین‌شناختی پیرامون آن ممکن می‌شود. استفاده از الگوریتم‌های معکوس منجر به اکتشاف بسیاری از ذخایر مس و طلا شده است (عکس ۱).

- 10- Alfred Nobel
- 11- Gramme
- 12- Broken Hill
- 13- Inversion Algorithms



▲ عکس شماره ۱



▲ عکس شماره ۳



▲ عکس شماره ۲

این ابزار صرفه‌جویی در زمان، اثرات زیست‌محیطی را در مرحله اکتشاف کاهش می‌دهد (عکس ۳).

▲ ۴- سنسور آویریس^{۱۶}:

سنسور رادار مراقبتی هوابرد آویریس که بر روی هواپیما نصب می‌شود، برای سنجش‌های هایپراسپکترال^{۱۷} مورد استفاده قرار می‌گیرد در حالی که ماهواره‌های معمولی توانایی سنجش کمی در یک زمان را ندارند (یک گروه طیفی که به بخشی از طیف امواج الکترومغناطیسی اشاره دارد). با ترکیب این باندهای اسپکترال یا طیفی، نه تنها تشخیص پوشش‌های گیاهی مختلف مشخص می‌شود، بلکه نوع کانی‌های موجود در سطح زمین را نیز می‌توان تشخیص داد. از این فرآیند می‌توان مستقیماً برای تهیه نقشه‌های زمین‌شناسی در مناطقی که کمتر تحت پوشش گیاهان قرار گرفته‌اند مانند مناطق خیلی گرم یا خیلی سرد استفاده نمود. اولین ماهواره از این نوع در سال ۱۹۹۷ و به نام تصویربردار هایپراسپکترال

▲ ۲- آنالیزهای ICP-MS^{۱۴}:

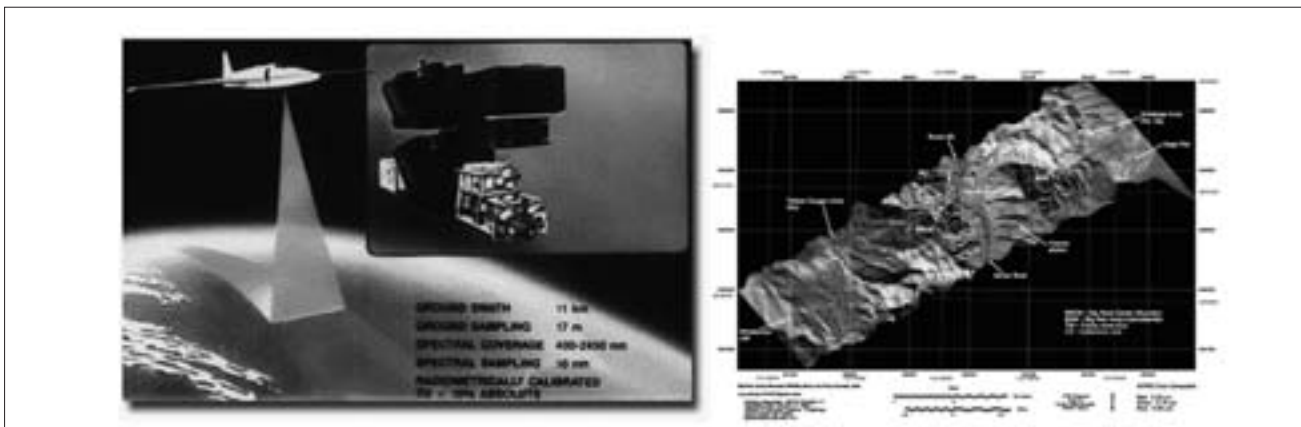
اکتشاف مواد معدنی نیازمند آنالیز دقیق، قابل اطمینان و سریع سنگ‌ها و کانی‌هاست. پیشرفت‌های دهه ۱۹۹۰ در زمینه آنالیزهای طیف‌سنجی^{۱۵} منجر به توسعه طیف‌سنجی جرمی پلاسمای جفت‌شده‌ی القایی (ICP-MS) شد که به طور هم‌زمان توانایی آنالیز ده عنصر با دقت بسیار زیاد را دارد. همچنین قادر است که فلزات خاص را تا یک میلی‌گرم در تن اندازه‌گیری نماید. این روش به واسطه انجام هم‌زمان چند آنالیز و کاهش هزینه، دارای راندمان بالایی است و در تمام مراحل صنعت معدنکاری از اکتشاف تا بازسازی مورد استفاده قرار می‌گیرد (عکس ۲).

▲ ۳- آنالیزور پرتابل (قابل حمل):

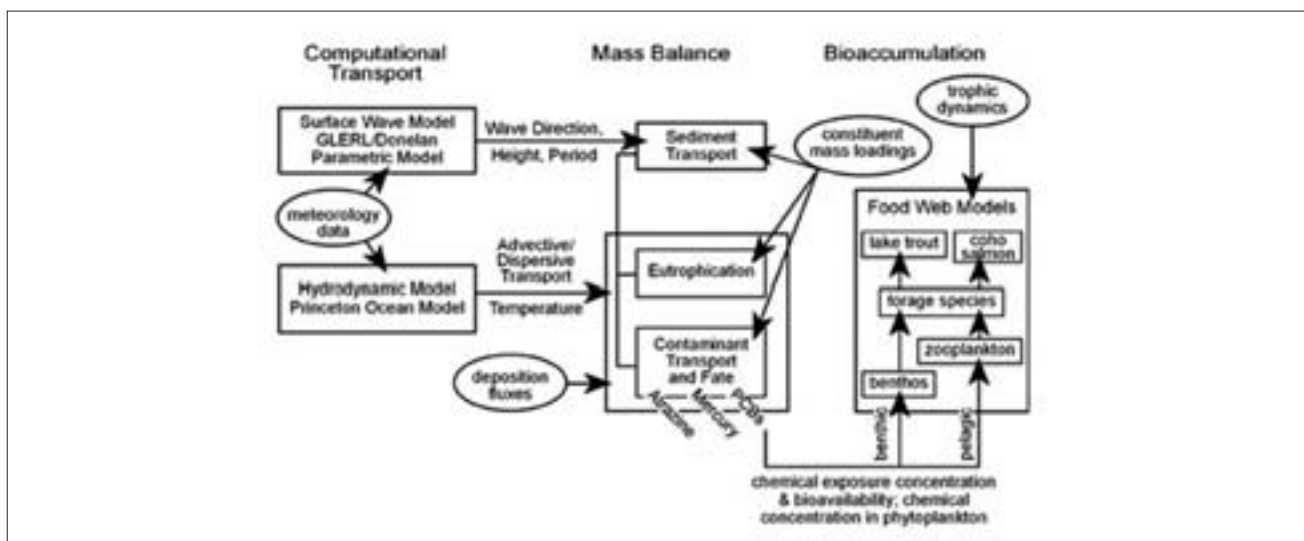
این ابزار عناصر شیمیایی موجود در سطح سنگ یا کانی مورد آنالیز را با استفاده از اشعه ایکس تشخیص می‌دهد. به وسیله این ابزار می‌توان نتایج را در محل عملیات زمینی مشاهده کرد که در نتیجه‌ی آن از نمونه‌برداری غیر ضروری و پس از آن انجام آنالیزهای آزمایشگاهی جلوگیری نمود.

16- AVIRIS
17- Hyperspectral Measurements

14- Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometer and Method
15- Spectrometric Analysis



▲ عکس شماره ۴



▲ عکس شماره ۵

تحقیقاتی اکتشاف مواد معدنی^{۲۱} در ایالت کبک^{۲۲} کانادا) توسعه یافته و پردازش اطلاعات سطح بالا و پیچیده‌ای را برای ارزیابی نتایج تحلیلی به منظور محاسبه مقدار عناصر شیمیایی که در یک منطقه به هر نمونه سنگی تزیق شده یا از آن جدا شده است را محاسبه می‌نماید که به موجب آن می‌توان فاصله تقریبی نقطه امیدبخشی معدنی را به دست آورد (عکس ۵).

▲ ۶- سیستم اطلاعات جغرافیایی (جی‌آی‌اس)^{۲۳}؛

این سامانه، انقلابی در اکتشاف مواد معدنی ایجاد کرد و با سازماندهی و ارزیابی اطلاعات رقومی (دیجیتال) که زمین مرجع^{۲۴} شده‌اند در رایانه عمل می‌نماید. زمانی ادارات اکتشاف شرکت‌های معدنی با نقشه‌هایی با مقیاس‌های مختلف پوشیده شده بودند، اما امروز پوشیده از نمایشگرهای رایانه‌ای هستند که زمین‌شناسان با کمک آن‌ها، اطلاعاتشان را با استفاده از سیستم جی‌آی‌اس، یکپارچه و تلفیق می‌نمایند. برخی از نرم‌افزارهای جی‌آی‌اسی برای پردازش و ارزیابی انواع خاصی از اطلاعات زمین‌شناسی، ژئوشیمیایی و ژئوفیزیکی طراحی شده‌اند (عکس ۶).

21- Mineral Exploration Research Consortium
22- Québec, Canada
23- Geographic Information System (GIS)
24- Georeference

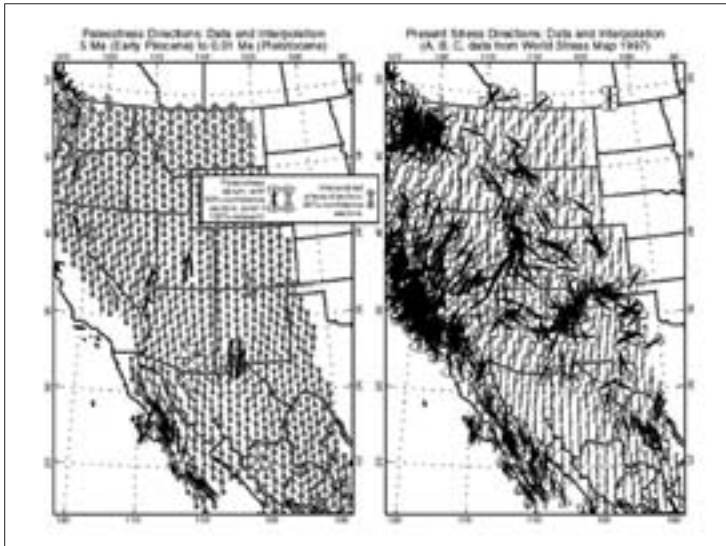
لوئیس^{۱۸} توسط ناسا به فضا پرتاب شد. آویزیس طیف سنجی است که طول موج‌های محدوده‌ی ۰/۴۰۰ تا ۲/۵۰۰ نانومتر را پوشش می‌دهد و توان برداشت ۲۲۴ باند پیوسته و مجاری طیفی را دارد (عکس ۴).

▲ ۵- موازنه جرم^{۱۹}؛

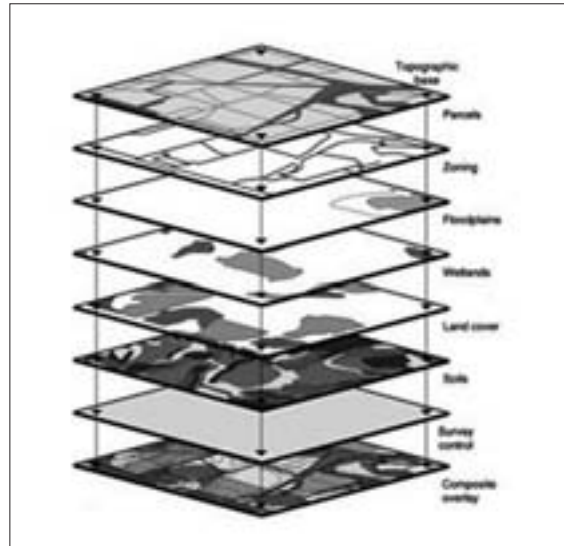
کانسارهای مس، روی و طلا نتیجه جریان سیالات فلزها هستند. زمانی که این سیال کانه را از میان سنگ‌ها عبور می‌نماید (می‌دهد)، آن‌ها را دگرگون می‌کند، تغییر می‌دهد و در نتیجه برخی مواد معدنی را در خود حل کرده، باعث کانی‌زایی برخی مواد معدنی دیگر می‌شود. این فرآیند ممکن است منجر به کاهش یا افزایش دانسیته یا چگالی (جرم حجمی، جرم مخصوصی یا انبوهی) سنگ شود. در عین حال ناحیه‌ای که حاوی سنگ‌های دگرگون شده است، از عرصه حاوی مواد معدنی بسیار بزرگ‌تر است. به همین دلیل ما می‌توانیم در اکتشاف فلزات گرانبها ابتدا به دنبال این زون‌های آلتزه باشیم.

این یک روش کمی جدید است که توسط کانسورم^{۲۰} (کنسرسیوم

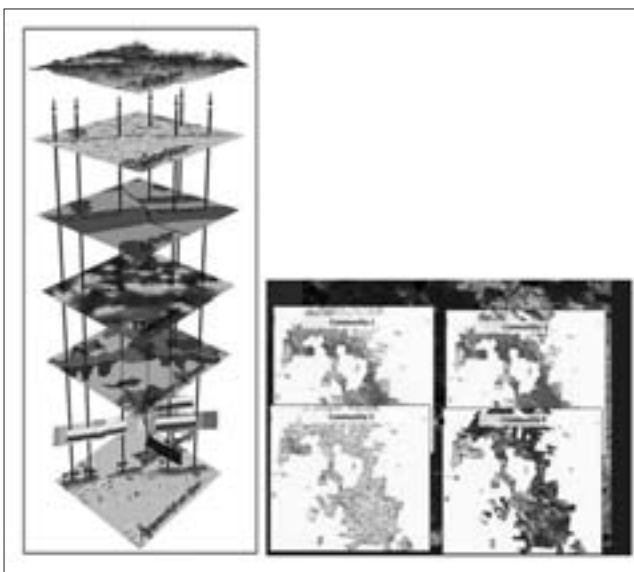
18- Lewis Hyperspectral Imager
19- Mass Balance
20- CONSOREM: Consortium de Recherche en Rexploration Minérale



▲ عکس شماره ۷



▲ عکس شماره ۶



▲ عکس شماره ۸

۷- نقشه‌های تنش دیرینه^{۲۵}:

پیدا کردن یک رگه‌ی طلا کار ساده‌ای نیست. تحقیقات چند سال اخیر، خصوصا در استرالیا، نشان داده‌اند بسیاری از چنین ذخایری، نشان‌دهنده زون‌های گسلی است و در امتداد این گسل زمین لرزه‌های اصلی و پس لرزه‌های زیادی اتفاق افتاده است. نرم‌افزارهایی نیز وجود دارند که می‌توانند موقعیت این ذخایر را با استفاده از مدل‌های تنش‌های دیرینه‌ی پوسته زمین پیش‌بینی کنند. نرم‌افزار، که هنوز در مرحله تحقیقات قرار دارد، می‌تواند نقاط امیدبخش را شناسایی و معرفی نماید. بدین معنی که با استفاده از خروجی تحلیلی این نرم‌افزار سطح عرصه‌ی معرفی شده که مستعد کانی‌زایی می‌باشد تا حد قابل توجهی برای اکتشافات آتی کوچک خواهد شد (عکس ۷).

۸- نقشه‌های پیش‌یابی^{۲۶}:

وزارت منابع طبیعی و حیات وحش (MRNF^{۲۷}) و کنسرسيوم تحقیقاتی اکتشاف مواد معدنی ایالت کبک کانادا (CONSOREM) در حال تحقیق و توسعه محصولات نقشه‌برداری جدید هستند که به پیش‌بینی موقعیت کانسار معدنی برپایه موقعیت کانی‌زایی‌های شناخته شده، کمک می‌کند. این نوع نقشه‌ی جدید با تکیه بر پیشرفت‌های هوش مصنوعی، شبکه‌های عصبی و منطق فازی ایجاد خواهد گردید. هر دو سازمان مذکور موقعیت‌های اهداف اکتشافی شناسایی شده را که شباهت‌های زمین‌شناسی و ژئوشیمیایی قوی دارند؛ عمومی خواهد کرد تا نمونه‌های معدنی راحت‌تر شناسایی شوند (عکس ۸).

۹- نقشه معرف:

وزارت منابع طبیعی و حیات وحش (MRNF) ایالت کانادا، یک برنامه رایانه‌ای تهیه کرده که به فعالان معدنی (مکتشفین) اجازه می‌دهد به صورت آنلاین و از طریق وب سایت به مطالعات اکتشافی بپردازند.

25- Paleostress Maps

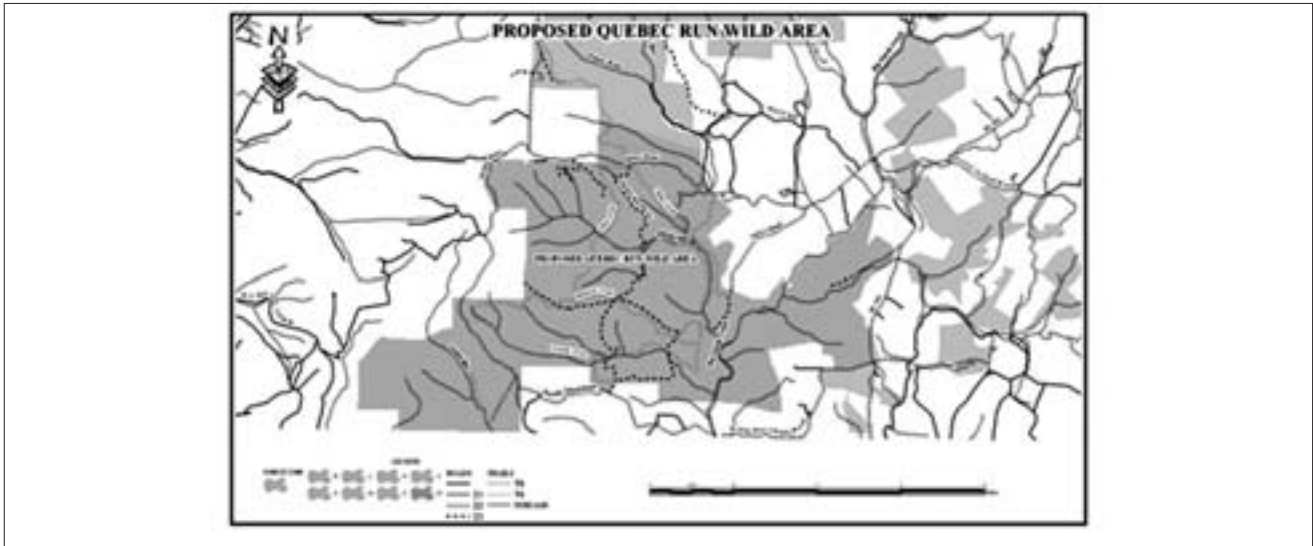
26- Predictive Maps

27- Ministère de l'Énergie et des Ressources Naturelles

کبک تنها نقطه‌ای در دنیاست که از این فناوری استفاده می‌نماید (عکس ۹).

۱۰- ژئوشیمی گازها:

گاهی اوقات ذخایر معدنی در اعماق زمین تشکیل شده‌اند. با وجود عمق زیاد، اکسیداسیون کانی‌های سولفیدی موجود در کانسار باعث آزادسازی گازهایی می‌شوند که می‌توان با نمونه‌گیری این گازها از خاک یا پس از حفاری، به اکتشاف و ردگیری این نوع کانسارها در سطح زمین پرداخت. با این روش می‌توان گازهای مختلفی از جمله جیوه، اکسیژن، دی‌اکسیدکربن و رادون را اگر در حداقل مقدار موجود باشند، ردیابی کرد. این روش در حال حاضر تحت مطالعه و آزمون‌های روش شناختی است و در زمینه‌های زمین‌حرارتی نیز مورد استفاده قرار گرفته است (عکس ۱۰).



▲ عکس شماره ۹

چشمگیری عملیات زمینی و پروژه‌های نقشه‌برداری را تسهیل کرده است. همچنین با امکان مشاهده سریع و دقیق منطقه انقلابی در اکتشاف مواد معدنی ایجاد کرده است. استفاده از ابزارهای GPS از برش‌های خطی سیستماتیک درختان جنگل‌ها برای ایجاد شبکه‌های متعارف محلی جلوگیری کرده و در نتیجه اثرات زیست‌محیطی عملیات‌های اکتشافی را کاهش می‌دهد (عکس ۱۲).

◀ ۱۳- ثقل‌سنجی هوایی (ژئوفیزیک هوایی با روش ثقل‌سنجی):

ثقل‌سنجی یک تکنیک است که طی آن تغییرات جزئی در میدان گرانشی زمین تشخیص داده می‌شود. توده‌های مواد معدنی چگال‌تر از سنگ‌های اطراف هستند که باعث آشفتگی جزئی در میدان گرانشی زمین می‌شوند. این آشفتگی توسط یک ابزار حساس به نام ثقل‌سنج قابل تشخیص می‌باشد. این روش متکی بر در اختیار داشتن اطلاعات بسیار دقیق توپوگرافی با دقت سانتی‌متر است تا بتوان با موفقیت داده‌های برداشت شده را تفسیر نمود.

در حال حاضر پیشرفت ابزارها، تکنیک‌ها و فناوری موقیعت‌یابی و علامت‌یابی باعث شده‌اند که ثقل‌سنجی با استفاده از هواپیما و در فاصله‌ای قابل توجه از سطح زمین انجام شود. ثقل‌سنجی هوایی هزینه‌های اولیه را به طور قابل توجهی کاهش می‌دهد و در سال‌های پیش رو باعث انقلابی در اکتشافات معدنی خواهد شد (عکس ۱۳).

◀ ۱۴- ژئوفیزیک به روش الکترومغناطیس^{۲۹}:

این روش برای اکتشاف فلزات پایه ابداع شده است و به کمک آن می‌توان گردش امواج الکترومغناطیس زیر سطح زمین را اندازه‌گیری و ثبت نمود. با این روش می‌توان کانسارهای فلزی سولفیدی را تا عمق یک کیلومتری از سطح زمین ردیابی کرد (عکس ۱۴).

◀ ۱۵- نقشه‌برداری هوایی دیجیتال^{۳۰}:

از لیزر می‌توان برای نقشه‌برداری توپوگرافی یک منطقه با دقت خیلی



▲ عکس شماره ۱۰

◀ ۱۱- ژئوشیمی یون‌های فلزی همراه^{۲۸}:

ژئوشیمی را می‌توان برای شناسایی فلزات در مواد موجود در سطح زمین و در نتیجه پیش‌بینی حضور کانسار در زیر سطح زمین به کار گرفت. زمانی این کار بسیار مشکل و حتی غیرممکن بود که بتوانند مواد معدنی پوشیده با باطله را شناسایی کنند حتی اگر جنس این باطله شن و ماسه می‌بود. اما در اواسط دهه ۱۹۹۰، طی تحقیقاتی به این نتیجه رسیدند که برخی از فلزات از کانسارهای زیر سطح زمین به واسطه وجود آب یا گاز مهاجرت کرده، به سطح زمین می‌رسند و بین کانی‌های موجود در رسوبات سست روی سطح زمین به تله می‌افتند. روش جدید «یون‌های فلزی همراه» از این ویژگی‌ها سوء استفاده کرده، تشخیص آنچه که در زیر زمین وجود دارد را با آنالیز مواد روی سطح زمین ممکن می‌سازد. در این روش از اسیدهای ضعیف برای حمله به سطح خارجی کانی‌های روی سطح زمین و در نتیجه پیدا کردن سرنخ‌هایی از پتانسیل‌های معدنی زیر سطح زمین استفاده می‌شود (عکس ۱۱).

◀ ۱۲- موقیعت‌یابی:

سیستم موقیعت‌یاب جهانی (GPS) که با استفاده از سیگنال‌های ماهواره‌ای تعیین موقیعت می‌کند، اطلاعات سریع و دقیقی فراهم می‌کند که البته دقت و سرعت آن بستگی به ابزار مورد استفاده داشته و به طرز

29- InfiniTEM

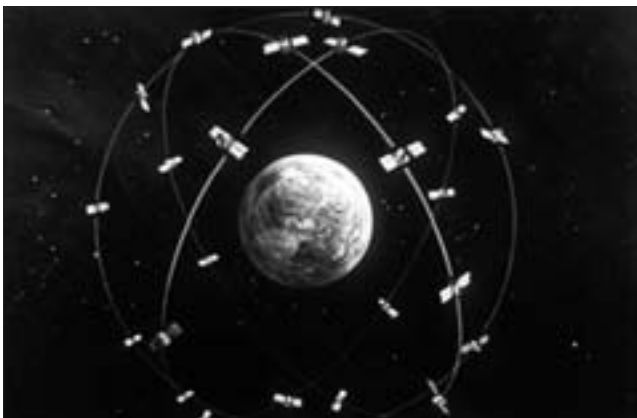
30- LIDAR (Light Detection and Ranging) or ALTM (Airborne Laser Terrain Mapper)

28- MMI (Mobile Metal Ion) Geochemistry

Mobile Metal Ion Packages

MML-M - Multi Element Suite

▲ عکس شماره ۱۱



▲ عکس شماره ۱۲

نیز می‌رسد (سنجنده کوئیک برد^{۳۱}). در نتیجه این ماهواره‌ها بسیار قوی‌تر شده‌اند و برای ارزیابی بهتر مناطق هدف اکتشاف می‌توان از آن‌ها استفاده نمود (عکس ۱۸).

◀ ۱۹- لرزه‌های کم اثر^{۳۲}؛

اساس روش‌های ژئوفیزیک لرزه‌ای بر پایه‌ی ایجاد یک شوک در سطح زمین یا ایجاد یک سیگنال با استفاده از یک چکش و حتی انفجار است که توسط یک سیستم تشخیص موج (میکروفن تخصصی و یا ژئوفون^{۳۳}) دریافت می‌گردد. تحلیل داده‌ها تعیین کننده ماهیت سنگ‌های زیرین است.

انفجار برای محیط‌زیست، خصوصاً برای سیستم‌های آبی مضر است. بهبود ضبط و پردازش سیگنال بدین معنی است که امروز می‌توان از سیگنال‌های بسیار ضعیف‌تر استفاده کرد. این ابزارهای بسیار دقیق‌تر نیاز به انفجارهای بسیار کوچک‌تر دارند و در نتیجه آسیب کمتری به محیط‌زیست می‌زنند. اصطلاح «لرزه‌های کم اثر» توصیف تعدادی از روش‌های انتشار شوک یا سیگنال‌های با مزاحمت کمتر و ژئوفون‌های سبک‌تر است (عکس ۱۹).

- 31- Quickbird
- 32- Low-Impact Seismics
- 33- Geophone

بالا استفاده کرد. در نقشه‌برداری با استفاده از دوربین‌های تصویربرداری لیزری دیجیتال یا تصویربرداری لیزری هوایی نصب شده بر روی هواپیما می‌توان توپوگرافی را با دقت ارتفاع‌سنجی بین ۵ الی ۲۰ سانتی‌متر به دست آورد. دو GPS برای محاسبه و تصحیح موقعیت دستگاه به کار گرفته می‌شوند: یکی روی هواپیما و دیگری در یک موقعیت ثابت روی زمین. این نوع نقشه‌برداری هم سریع‌تر و هم دقیق‌تر از نقشه‌برداری با استفاده از ابزارهای متعارف است (عکس ۱۵).

◀ ۱۶- ژئوفیزیک هوایی به روش الکترومغناطیسی؛

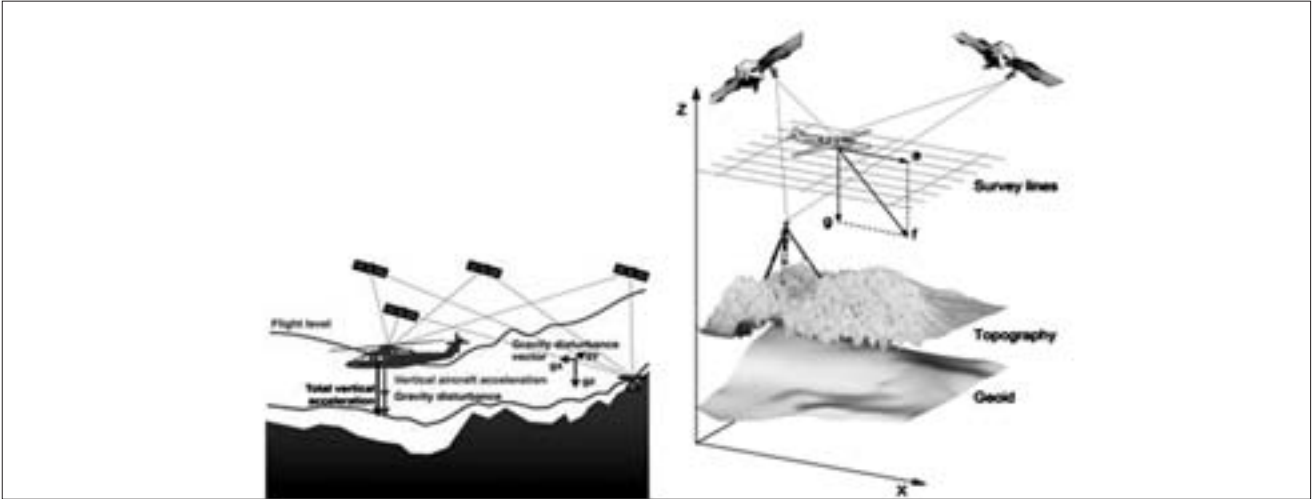
برداشت الکترومغناطیس هوابرد نیم قرن است که در اکتشاف مواد معدنی مورد استفاده قرار می‌گیرد. با این حال، پیشرفت‌های فناوری در زمینه ژئوفیزیک و پردازش داده‌های الکترونیکی منجر به توسعه دستگاه‌های بسیار حساس‌تر شده که در برخی مناطق قادر به تشخیص اهداف اکتشافی عمیق‌تر، تا ۲۵۰ متر زیر سطح زمین می‌باشد (عکس ۱۶).

◀ ۱۷- کانی‌های شاخص (رهایب)؛

اکتشاف الماس متکی به پیدا کردن مواد معدنی شاخص (رهایب) است که به طور طبیعی با الماس همراه هستند و البته کمیت آن‌ها از خود الماس بیشتر است (معمولاً گارنت، کرومیت، ایلمینیت). در نتیجه این مواد معدنی مانند «مسیریاب‌های طبیعی» عمل می‌کنند. این روش بر پایه جمع‌آوری نمونه‌های پلاسری از بستر رودخانه یا یخچال‌های طبیعی و سپس استخراج کانی‌های سنگین است. این رویکرد با موفقیت برای اکتشاف انواع دیگر مواد معدنی مانند ذخایر سرب و روی یا کانسارهای پورفیری طلا مورد استفاده قرار می‌گیرد (عکس ۱۷).

◀ ۱۸- ماهواره‌های بادقت در حد سانتی‌متر؛

بیش از سی سال است که از تصاویر ماهواره‌ای برای مشاهده پدیده‌های متنوعی از زمین استفاده می‌شود که دسترسی به آن‌ها از روی سطح زمین دشوار است. پیشرفت‌های فناوریانه اخیر باعث اختراع ماهواره‌های نوری با دقت بسیار بالا شده که این دقت به کمتر از یک متر



▲ عکس شماره ۱۳



▲ عکس شماره ۱۴

◀ ۲۰- پروب چند پارامتری^{۳۴}:

در اکتشاف مواد معدنی تعیین سریع خواص ژئوفیزیکی سنگ مثل ویژگی‌های مغناطیسی و توان انتقال و هدایت جریان‌های الکتریکی از اهمیت بسیار بالایی برخوردار است. پروب‌های چند پارامتری، مثل مدل MPP EM2S+، می‌توانند بلافاصله خصوصیات مواد معدنی سولفیدی موجود در یک نمونه حاصل از مغزه‌گیری یا نمونه‌های سنگی برداشت شده از سطح زمین را اندازه‌گیری نماید. در واقع با استفاده از این نوع پروب قابل حمل می‌توان حساسیت مغناطیسی و ارزش رسانایی نسبی و مطلق را با یک دستگاه کوچک و در محل تشخیص داد(عکس ۲۰).

◀ ۲۱- طیف سنج قابل حمل:

اصطلاح «طیف سنج»، گسترده‌ی وسیعی از ابزار اندازه‌گیری را شامل می‌شود که می‌توانند با استفاده از طول موج‌های مختلف مواد را آنالیز کنند. نوع جدیدی از طیف سنج با استفاده از امواج کوتاه مادون قرمز از طیف الکترومغناطیس کار می‌کند. این وسیله می‌تواند انواع خاک رس و کانی‌های میکا را که به طور گسترده‌ای به عنوان مواد معدنی رهیاب در اکتشاف مس، طلا و اورانیوم مورد جستجو قرار می‌گیرند، تشخیص دهد. خصوصاً رس‌ها که تشخیص انواع آن از یکدیگر با چشم مسلح غیر ممکن است. دستگاه به کاربر اجازه می‌دهد که مجموعه کاملی از مواد معدنی را با حساسیتی بیش از چشم انسان شناسایی کند(عکس ۲۱).

◀ تعیین ذخیره

◀ ۲۲- لاگ‌های ساختاری:

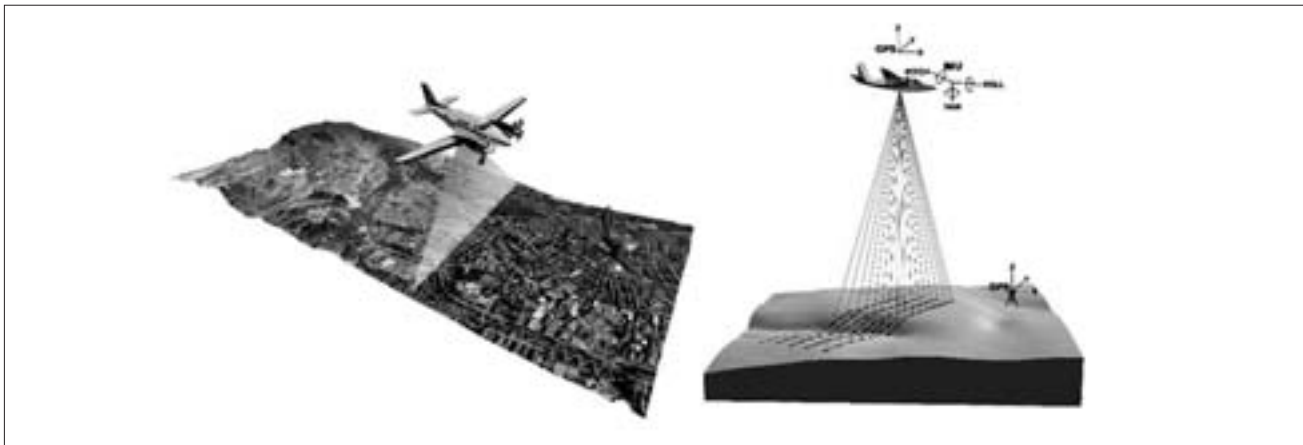
شناسایی شکستگی‌های زمین از داخل چاه‌های اکتشافی درک بهتری از محیط‌های زمین‌شناسی و ارزیابی روشن‌تری از خواص مکانیکی سنگ فراهم می‌آورد. به همین دلیل در حال حاضر امکان اندازه‌گیری پارامترهای بسیار زیادی مستقیماً از داخل چاه‌های اکتشافی بدون استخراج مغزه‌ی سنگ و با استفاده از ریز دوربین‌های^{۳۵} نوری، صوتی و مادون قرمز فراهم گردیده است. این فناوری همچنین کاربردهایی در زمینه مهندسی عمران، به ویژه برای سدهای برق آبی دارد که برای کسب اطمینان از طراحی سد بسیار مناسب می‌باشد.

◀ ۲۳- خارج کننده کیسینگ^{۳۶}:

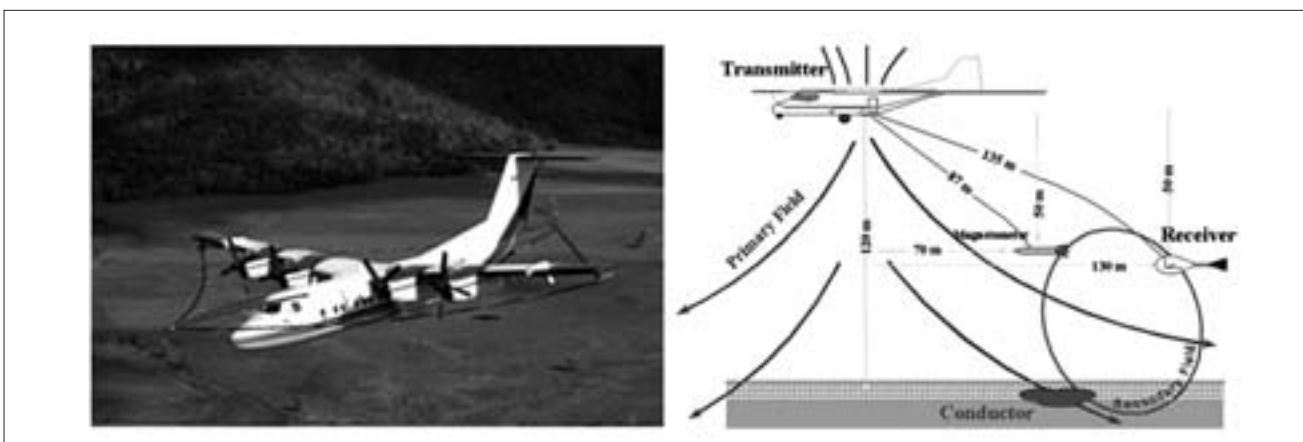
حفارها برای انجام بررسی‌های ژئوفیزیک باید لوله‌های فلزی که به نام «کیسینگ» یا «لوله جدار محافظ چاه حفاری» شناخته می‌شوند در داخل زمین کار بگذارند. هر لوله ۱/۲۰ یا ۱/۸۲ متر طول دارد و بعدها باید از زمین خارج شود. برای برداشت این پوشش‌های فلزی از زمین و داخل چال حفاری دستگاهی به شکل قلاب وجود دارد که این لوله‌ها را از پایین‌ترین عمق و با حداقل تلاش بیرون می‌کشد.

35- Microcameras
36- Casing Extraction

34- Multiparameter Probe



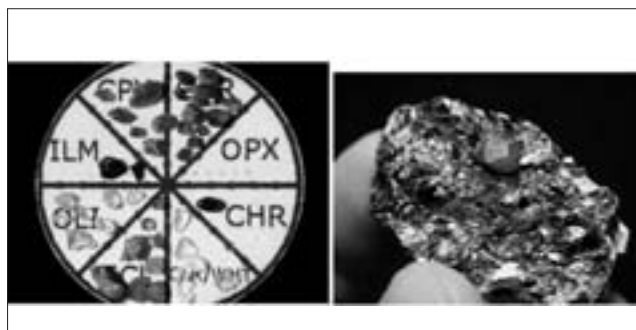
▲ عکس شماره ۱۵



▲ عکس شماره ۱۶



▲ عکس شماره ۱۸



▲ عکس شماره ۱۷

◁ ۲۵- تصویرساز ابرطیفی^{۳۸}:

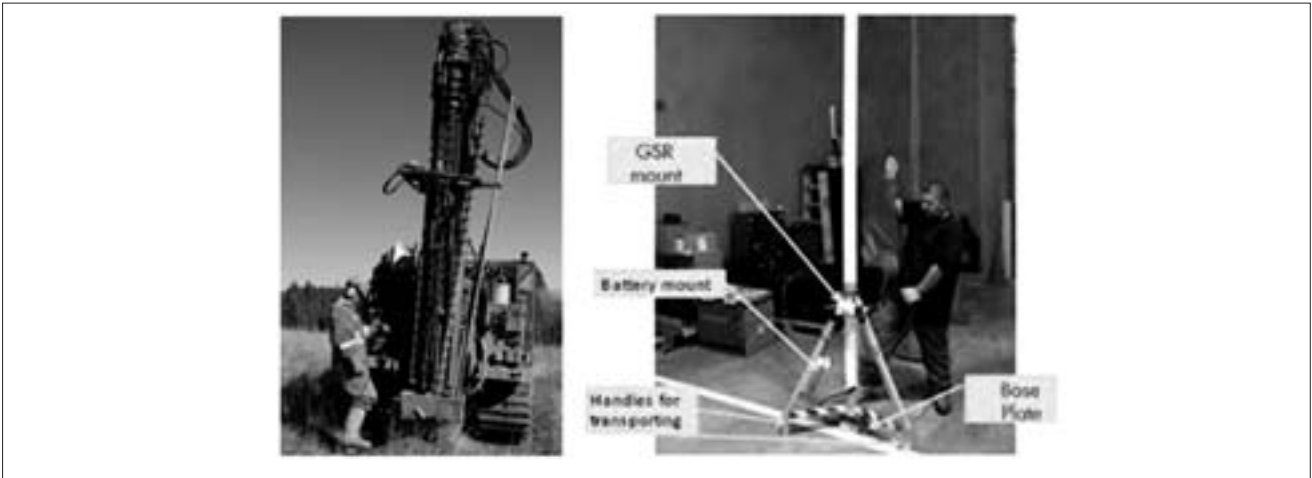
تمام مواد معدنی را می‌توان از روی رنگ‌ها یا دامنه‌ی طیفی آن‌ها تشخیص داد. تصویرساز ابرطیفی مورد استفاده برای نقشه‌برداری کانی شناختی در مرحله اکتشاف، قادر به تشخیص و تعیین هر یک از مواد معدنی موجود در امتداد یک گمانه است. همچنین به این دستگاه «نقشه‌بردار مغزه» هم گفته می‌شود چراکه به ازای هر ۲ نانومتر از محدوده طیف مرئی و نزدیک به مادون قرمز یک تصویر تهیه می‌کند که در مجموع

38- Hyperspectral Imager

◁ ۲۴- ژئومتالورژی^{۳۷}:

بهتر است با حداکثر سرعت ممکن آگاهی پیدا کنیم که ویژگی‌های مطلوب ماده معدنی یک کانسار خاص برای فرآوری و کانه‌آرایی چه هستند؟ ژئومتالورژی رشته‌ای نوظهور در زمینه توصیف خصوصیتی است که کاهش خطرات مربوط به فرآوری و کانه‌آرایی را در اولین مراحل معدنکاری ممکن می‌سازد.

37- Geometallurgy



▲ عکس شماره ۱۹



▲ عکس شماره ۲۱



▲ عکس شماره ۲۰


طراحی شده است. استفاده از این محافظ بسیار ساده است و مانع حفاظتی بسیار عالی برای اپراتورهای دستگاه‌های حفاری محسوب می‌شود.

◀ ۲۹- مدل زمین‌شناسی سه بعدی:

نرم‌افزارهای زیادی در طول یک دهه گذشته برای تبدیل اطلاعات حاصل از حفاری به پایگاه‌های داده‌های معدنی در قالب تصاویر سه بعدی و سیستم‌های یکپارچه‌سازی داده‌ها و اطلاعات به منظور تسهیل مدیریت اطلاعات پدید آمده‌اند. مدل‌سازی سه بعدی یک کانسار نشان‌دهنده شکل و اندازه آن است که اخذ تدابیر استراتژیک اکتشاف و سپس روش‌های مناسب و بهینه استخراج را آسان می‌نماید.

◀ ۳۰- سیستم تعیین جهت حفاری (CORIENTR^{۴۱}):

نقاط حفاری را باید با دقت بسیار زیادی تعیین کرد. از آنجایی که احتمال دارد مسیر حفاری به طور قابل توجهی از عمق مورد نظر منحرف شود، بسیار مهم است که بتوانیم مختصات فضایی نقاط متعددی از بدنه‌ی چال حفاری را به دست آوریم.

کاوشگر بررسی چال دستگاهی است که جهت‌گیری و شیب فضایی چال را به کمک یک ژيروسکوپ (که قطعه‌ای از این کاوشگر است) به دست می‌آورد. این اطلاعات به منظور مدیریت اطلاعات و توسعه مدل‌های سه بعدی وارد نرم‌افزار تلفیق می‌شوند. 

طول موج‌های بین ۴۰۰ تا ۱۰۰۰ نانومتر را پوشش می‌دهد. ۳۰۰ تصویر تک رنگی تهیه و سپس تلفیق می‌شود و نتیجه، نقشه‌برداری بسیار دقیق چال حفاری می‌باشد.

◀ ۲۶- آزمایشگاه سیار:

LAMROC یک آزمایشگاه آنالیز مغزه حفاری چند پارامتری سیار است که می‌تواند خصوصیات فیزیکی، مینرالوژیکی و شیمیایی سنگ‌ها و کانی‌ها را مورد آزمایش قرار دهد. کل این آزمایشگاه در یک تریلر جاسازی شده و یک کشنده‌ی قدرتمند دو دیفرانسیل توانایی حمل آن را تا سایت حفاری یا انبار صحرایی مغزه‌ها و نمونه‌ها دارد. سیستم خودکار دستگاه، این امکان را فراهم می‌نماید که آزمایش‌های مداوم که با چشم غیرمسلح میسر نیست به طور مداوم انجام شود.

◀ ۲۷- واحد تعیین وزن چگالی حجمی (BDWU^{۴۹}):

این سیستم مکانیزه وزن مخصوص نمونه‌های حاصل از مغزه‌گیری را تعیین می‌کند و به یک رایانه متصل است که در نتیجه باعث ایجاد امکان ورود اطلاعات سریع و کارآمد می‌شود.

◀ ۲۸- ورساگارد^{۴۰}:

ورساگارد محافظی است که به طور ویژه برای جلوگیری از دسترسی به قسمت‌های دوار یک دستگاه حفاری چرخشی

41- Core Orientation System

39- Bulk Density Weight Unit
40- Versaguard