



## یکصد نوآوری در صنعت معدنکاری

### (بخش دوم)

■ 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 معدن، تدابیر واکنش اضطراری برای سخت‌ترین شرایط کاری.

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

۴- سازگاری بیشتر با محیط‌زیست: راه‌حل‌هایی برای مقابله با زهکشی اسیدی معادن، تدابیری برای تبدیل باطله معادن به محصولات مفید، به طور کلی نوآوری در صنعت معدنکاری با هدف بهبود ایمنی معدنکاران، افزایش بهره‌وری و به حداقل رساندن اثرات زیست‌محیطی، نوآوری‌های ارایه دهنده‌ی عناصر ساختاری ایجاد شده یا در حال طراحی برای معدنکاری که برگرفته از زمینه‌های علمی مانند شیمی، فیزیک، زیست‌شناسی، مهندسی، علوم کامپیوتر و... ارایه روش‌های 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 (مثلاً 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، معدن 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 معدن 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<sup>۱</sup>، رییس گروه مالی بی ام او<sup>۲</sup>، 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 بر پایه رشد جنبش‌های اجتماعی سی سال گذشته بوده است.

تحقیقات در خصوص 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<sup>۳</sup> و خصوصاً در منطقه‌ی آبییتی<sup>۴</sup> 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 آلمان<sup>۵</sup> در قرن هفدهم برمی‌گردد. پس از گذشت زمانی نه چندان طولانی توماس نیوکامن<sup>۶</sup> در اوایل قرن هجدهم اولین موتور بخار را برای آبکشی از معدن قلع در کورن وال<sup>۷</sup> طراحی کرد. جیمز وات<sup>۸</sup> (که تکنیسینی در دانشگاه گلاسکو بود) پس از آغاز به کار پمپ نیوکامن و جهت اصلاح کارایی محدود آن، به همراه دوستش متیو بولتون<sup>۹</sup> محفظه‌ی میعان را اختراع کرد که به واسطه

- 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

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، معدن زغال‌سنگ را ترک کردند تا این معدن زیرزمینی نفسی با هوای تازه بکشند! ابتکار 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) به کار گرفته شد. در ۱۸۶۷، آلفرد نوبل<sup>۱۰</sup> 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<sup>۱۱</sup> 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 اجزای بدون بار سنگ‌ها و کانی‌ها است که در سال ۱۹۰۳ در بروکن هیل<sup>۱۲</sup> 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

#### ◀ ۳۱- سیستم کله‌جغدی<sup>۱۳</sup>

عملیات‌های حفاری بسیار پرهزینه هستند و تحلیل چال حفاری برای درک کنسار بسیار مهم است. «سیستم کله جغدی خود قفل شو» به لطف سیستم قفل شونده و مستقل ضامن‌ها جهت نمونه‌برداری بهینه طراحی شده است. یک سیستم پیستون نگه‌دارنده چفت در محل وجود دارد که در حین کار اجازه آزاد شدن چفت‌ها و ضامن‌ها را نمی‌دهد. بدین ترتیب مت‌های مغزه‌گیری با حداقل لرزش‌ها و حرکت‌های اضافه به مغزه‌گیری می‌پردازد.

- 10- Alfred Nobel
- 11- Gramme
- 12- Broken Hill
- 13- Owl Head Assembly

### ◀ ۳۲- مته‌های حفاری:

آتشباری)، حمل و نقل و ارتباطات، کانه‌آرایی و فرآوری و همچنین ایمنی می‌شوند.

### ◀ ۳۳- جعبه آتشباری:

نقش جعبه آتشباری (یا جعبه انفجار) این است که مواد منفجره را منفجر کند و ممکن است دارای اجزای طراحی شده برای انفجار زنجیره‌ای دینامیت‌های کارگذاشته شده در انتهای یک تونل از خارج تونل معدن باشد. امروزه امکان استفاده از هوای فشرده احتراق به جای حالت فزنی وجود دارد تا از انفجارات غیرمنتظره اجتناب گردد.

### ◀ ۳۴- پیچ هیبریدی:

پیچ هیبریدی ترکیبی از پیچ‌های اصطکاکی و رزینی است. در معادن عمیق (بسیار عمیق بیش از یک کیلومتر) پیچ‌های نگهداری در داخل سنگ ورقه ورقه شده، تغییر شکل می‌دهند به طوری که دیگر نمی‌توانند از حرکت سنگ‌ها جلوگیری کنند تا جایی که می‌شکنند و دیگر نمی‌توانند صفحه‌ها را در محل خود نگه دارند. پیچ‌های ترکیبی این مشکل را حل می‌کنند.

### ◀ ۳۵- منفجر یا خوردکننده قله سنگ<sup>۱۷</sup>:

در برخی مواقع قطعات بسیار بزرگ سنگ باید به منظور تسهیل حمل و نقل شکسته و خرد شوند. منفجرکننده‌ی قله سنگ به راحتی این کار را انجام می‌دهد. یک سوراخ کوچک درون قله سنگ حفر و درون آن با آب پر می‌شود. لوله‌ای درون چال قرار گرفته، یک تشک محافظ روی آن قرار داده می‌شود و یک کارتریج داخل لوله جاسازی می‌شود. چاشنی به بدنه‌ی لوله پیچ شده، انفجار انجام می‌شود. برای این کار نیاز به اخذ هیچ‌گونه مجوز آتشباری نمی‌باشد.

### ◀ ۳۶- دوربین‌های بازرسی:

دوربین بازرسی روی یک سطح ثابت چرخ‌دار نصب شده و برای بازرسی از چاه‌ها و تونل‌های معدن با یک سیستم روشنایی پیش رو مجهز گردیده است.

### ◀ ۳۷- داکت‌های پلیمری:

تهویه تونل‌های معدنی طی مدت زمان طولانی از طریق مجاری پارچه‌ای بزرگ تامین می‌شود. استفاده از کانال‌های پلیمری سخت، اصطکاک هوا را کاهش و در نتیجه باعث بهبود بهره‌وری انرژی می‌گردد. علاوه بر این، حمل ورق‌های پلیمری از کارخانه تا معدن (پیش از مونتاژ) بسیار راحت‌تر می‌باشد.

### ◀ ۳۸- توسعه‌ی جامع:

فعال کردن یک معدن فرآیند پیچیده‌ای است که طی آن چند واحد باید به طور موازی طراحی شوند: ژئومتری و طراحی استخراجی معدن، محاسبه حجم مواد معدنی و باطله‌ای که باید جابه‌جا شوند، محاسبه و پیاده‌سازی میزان استخراج ماده معدنی و حمل باطله و...

چند نرم‌افزار برای برنامه‌ریزی و مدیریت تمام جنبه‌های عملیاتی در معادن تولید شده و توسعه یافته‌اند. تا جایی که امروز امکان طراحی یک معدن مجازی پیش از اجرا در منطقه با استفاده از مدل‌های سه بعدی معدنی وجود دارد که امکان برنامه‌ریزی برنامه‌های توسعه‌ای در پیشبرد اهداف معدن را فراهم می‌نماید.

انواع بسیار زیادی از مته‌های حفاری ساخته شده و در طول سال‌ها بهبود یافته‌اند که منجر به تولید سرمته‌های دارای سختی بیشتر و کارایی بالاتر شده‌اند تا امروز که سرعت حفاری با مته‌های پیشرفته بالاتر رفته و خوردگی سرمته‌ها نیز کاهش یافته است. آلیاژهای مورد استفاده در ساخت مته‌ها بسیار متنوع است و به جنس سنگ‌های منطقه تحت حفاری و شرکت سازنده بستگی دارد.

### ◀ عملیات معدنکاری (استخراج و استحصال)

به استخراج مواد معدنی از زمین و در پی آن فرآوری و پرعیارسازی در کارخانه‌ای داخل محدوده معدن یا نزدیکی معدن عملیات معدنکاری یا بهره‌برداری گفته می‌شود. معدن پیشرفته کاملاً مکانیزه هستند و عملیات‌های معدنی در آن‌ها شامل تکنیک‌هایی متناسب با نوع همان معدن می‌باشند. طبیعی است که کار کردن در معادن زیرزمینی بسیار مشکل‌تر از معادن روباز باشد.

استخراج ماده معدنی در معادن زیرزمینی به جای استفاده از تکنیک‌های کلاسیک پروژه‌های روباز، از طریق چاه‌های عمودی (شفت<sup>۱۸</sup>)، رمپ‌ها، تونل‌های افقی یا مورب (دریفت<sup>۱۹</sup> و استوپ<sup>۱۶</sup>) انجام می‌شود. در هر دو روش زیرزمینی و روباز استحصال ماده معدنی به پایداری زمین و در نتیجه مسایل مکانیک سنگ بستگی دارد. عملیات استخراجی با آتشباری، استفاده از مواد ناریه و فناوری‌های خردشدگی آغاز می‌شود. برخی از روش‌های استخراجی دیگر بر پایه استخراج حجم زیادی ماده معدنی از عمق طراحی شده‌اند که ماده معدنی استخراج شده به سطح حمل می‌شود. پرسنل شاغل در معدن باید از تجهیزات تخصصی متنوعی برای مدیریت آب‌های زیرزمینی (آبکشی)، تهویه، روشنایی، ارتباطات مخابراتی و ... استفاده کنند.

مواد معدنی پس از استخراج از معدن به واسطه مجموعه‌ای از سیستم‌ها و خطوط، حمل می‌شوند. در معادن فلزی دو مرحله اصلی وجود دارد: فرآوری کانی شناختی که کانی‌های موردنظر را به واسطه خردایش، آسیاب، دانه‌بندی و فرآیندهای شستشو - خشک کردن استخراج می‌کند و پس از آن فرآوری متالورژیکی که طی آن آزادسازی فلزات به واسطه فرآیندهایی مانند ذوب، الکترومتالورژی یا هیدرومتالورژی صورت می‌گیرد. نوآوری در این بخش نقش کلیدی در تکامل صنعت معدنکاری بازی کرده است که به ارایه روش‌های فزاینده‌ای در استفاده از کانسنگ‌های عیار پایین می‌پردازد. برای مثال ظهور صنعت مس در اواخر قرن نوزدهم در غرب آمریکا به دلیل تجمع موفق از الکترولیز و کوره‌های بسم بود. زمانی که قیمت مس در دهه ۱۹۷۰ سقوط کرد، صنعت مس با اجرای تکنیک جدید استخراج به واسطه انحلال جان سالم به در برد.

نوآوری‌هایی که در مرحله معدنکاری معرفی می‌شوند، مربوط به مراحل مختلف معدنکاری مانند استخراج ماده معدنی (حفاری و

14- Shaft  
15- Drift  
16- Stope

### ۳۹- حفاری تهویه:

پیشرفت‌های قابل توجهی در دقت حفاری حاصل شده است. به همین دلیل است که در حال حاضر امکان تمرکز دقیق بر روی یک نقطه در عمق ۸۰۰ متری از سطح زمین وجود دارد. تأثیری از حادثه‌ای که برای کارگران معدنی در شیلی در سال ۲۰۱۰ روی داد. از دیگر مزایای این روش این است که مواد مستخرجه حاصل از حفاری را می‌توان به سطح زمین انتقال داد.

### ۴۰- مازول قمری<sup>۱۸</sup>:

به کار گرفتن پرسنل در مرکز خدمات سیستم کنترل تخلیه مواد استخراج شده در یک معدن زیرزمینی، به دلیل وزن بالای باکت (حدود ۱۷۵ کیلوگرم)، یکی از دشوارترین و خطرناک‌ترین مشاغل معدنی است. مازول قمری یک قطعه‌ی پیش ساخته است که می‌توان آن را یک‌کش کرد و در تونل جدید راه‌اندازی نمود و در زمان نیاز به استفاده از ماک باکت استفاده کرد. این کار موجب صرفه‌جویی در زمان و افزایش ایمنی می‌شود.

### ۴۱- ماشین‌های حفاری موبایل<sup>۱۹</sup>:

این ماشین‌ها برای حفاری تونل‌ها و انجام عملیات نگهداری در معادن زیرزمینی استفاده و به دلیل مته‌های الماسه‌ای که دارند برای حفر گمانه‌های معمولی به کار گرفته می‌شوند. نوار نقاله کوچک این ماشین‌ها دسترسی به حفاریات باریک‌تر را تسهیل می‌کند. صفحه تثبیت کننده، امکان مانورهای سریع را به ماشین می‌دهد.

### ۴۲- دستگاه اندازه‌گیری تخلخل<sup>۲۰</sup>:

سنجش تخلخل گامی مهم در عملیات‌های معدنی زیرزمینی است تا بتوانیم اطلاعاتی در رابطه با شکل و حجم توده سنگی که استخراج می‌شود به دست آوریم. سیستم پایش تخلخل (CMS<sup>۲۱</sup>) با استفاده از یک ابزار سنجش متری که برای کار در تونل‌های معدنی مقاوم شده، ژئومتری سه بعدی از یک تونل معدنی فراهم می‌کند.

### ۴۳- آستر شفت<sup>۲۲</sup>:

شفت‌ها باید دارای دیواره‌های صاف باشند تا از اصطکاک بین دیواره‌ها و کیچ‌های حمل افراد یا ماده معدنی به داخل یا خارج از چاه اجتناب گردد. یک سیستم رباتیک جدید (RSSL<sup>۲۳</sup>) وجود دارد که می‌تواند لاینیکی را داخل چاه انجام دهد که خطرات حین انتقال کارگران به داخل یا خارج از چاه را کاهش داده، نتایج بهتری نسبت به روش‌های مرسوم لاینینگ شفت ارائه نماید.

### ۴۴- اتیکت RFID:

این اتیکت‌ها جانشین بارکد هستند که برای تشخیص تولید بدون نیاز به یک اسکنر نوری و با استفاده از مخابره اطلاعات به کمک امواج رادیویی استفاده می‌شوند و حتی می‌توانند از لایه‌های بسیار نازک موادی مثل رنگ یا برف هم عبور کنند.

این اتیکت‌ها امروزه برای ردیابی مواد معدنی پس از استخراج به کار گرفته می‌شوند. اتیکت‌های RFID به هر محموله‌ی استخراجی از معدن تا کارخانه فرآوری چسبانده می‌شوند. این شیوه‌ی نظارت، امکان آمارگیری آنی و اخذ اطلاعات درخصوص نرخ تولید روزانه را به بهره‌بردار می‌دهد.

### ۴۵- روبومپ<sup>۲۴</sup>:

اختراع روبات‌های معدنی فرصتی برای طراحی ابزارهای خودکار برای نقشه‌برداری تونل‌ها در معادن زیرزمینی و خصوصاً برای برداشت میزان ناهمواری دیوارها ایجاد کرده است. روبات‌ها همچنین می‌توانند به فضاهایی دسترسی داشته باشند که برای انسان‌ها سخت یا غیرممکن است. روبومپ یک ماشین خودکار یا کنترل از راه دور با یک سنسور حرکتی برای موقعیت‌یابی (بسیار شبیه به جوی استیک بازی‌های کامپیوتری) و تعدادی لیزرهای تله متری است.

### ۴۶- راک مشا<sup>۲۵</sup>:

راک مشا، توری‌های محافظ را در فضاهای زیرزمینی معادن نصب می‌کند. این ماشین ایمنی را با نصب مکانیزه توری‌ها طبیعتاً کاهش خطای در مقایسه با نصب آن‌ها توسط انسان، فراهم می‌کند. یک اپراتور می‌تواند تمام عملیات ماشین را از داخل کابین کنترل کند. به علاوه، سرعت نصب توری‌ها تا ۳۰ درصد سریع‌تر از میزان استاندارد خواهد بود.

### ۴۷- شبیه‌ساز معدنکاری<sup>۲۶</sup>:

سیستم‌های آموزشی مجازی برای تمام روش‌های معدنکاری، امکان آموزش در مکانی امن برای تمام پرسنل فراهم می‌آورد. به منظور قرار دادن کارگران در موقعیت‌هایی که آن‌ها دوست دارند طی دوره آموزشی با آن‌ها مواجه شوند، با استفاده از این سیستم شگفت‌آور و واقع‌بینانه آن‌ها را بدون قرار دادن در معرض هر خطر واقعی جهت آموزش واکنش‌های مناسب آموزش می‌دهند.

### ۴۸- سنگ هوشمند<sup>۲۷</sup>:

معمولاً ردیابی حرکت سنگ‌ها در معادن زیرزمینی و پس از استخراج ماده معدنی و انباشت آن‌ها در فضاهای زیرزمینی توسط دوربین مدار بسته، خصوصاً در روش‌های استخراجی بلوکی یا توده‌ای، دشوار است. سنگ هوشمند، کمک بزرگی به حل این مشکل می‌کند. یک ابزار الکترونیکی که شبیه یک سنگ است و با یک ابزار الکترونیکی مجهز شده که دارای یک سیستم موقعیت‌یابی نیز هست که اصول عملکرد آن شبیه GPS است و به شکل یک کامپیوتر و یک ساطع‌کننده امواج جهت موقعیت‌یابی کار می‌کند. سنگ هوشمند طی عملیات حفاری در داخل سنگ‌ها تعبیه می‌شود و می‌تواند سیگنال‌هایی از موقعیت خود تا عمق ۲ کیلومتری از داخل یک توده سنگی انتشار دهد. بدین ترتیب می‌توان حرکت آنی سنگ‌های معدنی را با استفاده از یک سیستم موقعیت‌یاب جغرافیایی تعقیب کرد.

24- Robomap  
25- Rock MSHA  
26- Mining Simulator  
27- Smart Rock

18- Lunar Module  
19- Mobile Drill  
20- Cavity Measuring  
21- Cavity Monitoring System  
22- Mine Shaft Liner  
23- Robotic Shotcrete Shaft Liner

ذرات ساطع شده از موتورهای دیزلی و شرایط فشار و درجه حرارت را دارد. این نوآوری همچنین می‌تواند برای بهبود تهویه سایر فعالیت‌های زیرزمینی نیز به کار گرفته شود.

#### ◀ حمل و نقل و ارتباطات

##### ◀ ۵۳- ایستگاه کاهش:

لاستیک‌ها نیاز دارند که به عنوان بخشی از سیستم تعمیر و نگهداری خودروها در معدن به طور منظم تخلیه شوند. این کار علاوه بر پرسر صدا بودن، با خطر آسیب دیدگی ناشی از بلند شدن آلودگی‌ها و گرد لاستیک‌ها در اثر فشار بالای باد خروجی از تایرها روبه‌روست. در حال حاضر تجهیزات تخصصی در دسترس متشکل از یک واگن برقی مجهز به صدا خفه‌کن و دو بادگیر است. این ابزار که به راحتی قابل حمل است، به لاستیک وصل شده، از لوله ارتباط‌دهنده تیوب و لاستیک عبور می‌کند و تمام ناخالصی‌ها و ذرات پراکنده داخل لاستیک را جمع می‌کند.

##### ◀ ۵۴- مگنلینک<sup>۳۱</sup>:

معادن زیرزمینی ذاتا محیط‌های خطرناکی هستند و گاهی اوقات ضروری است که به پیام‌ها از طریق سنگ اعتماد کنیم. سیستم ارتباط مغناطیسی مگنلینک (MCS) یک سیستم ارتباطی اضطراری برای معادن زیرزمینی است که امواج مغناطیسی را از طریق زمین انتقال می‌دهد و امکان ارتباط دو طرفه از طریق صدا یا پیام‌های متنی ایجاد می‌کند.

##### ◀ ۵۵- کامیون‌های جدید:

یک شرکت آلمانی طرح جدید از کامیون‌های معدنی را با ظرفیت ۸۸ تا ۲۴۰ تن ارائه نموده است. کامیون‌ها مدولار و تا پنج محور با مجموع بیست لاستیک هستند. اکسل‌ها می‌توانند تا ۱۰ درجه به هر طرف کج شوند و خود را با زمین انطباق دهند همچنین تعلیق بسیار انعطاف‌پذیری دارند. وقتی کامیون خالی باشد از هشت لاستیک استفاده نمی‌شود. این کامیون‌ها همچنین امکان کنترل مداوم فشار تایر و تنظیم آن‌ها را دارند. هر کامیون دارای چهار موتور است که به طور مستقل کار می‌کنند و امکان ایجاد هماهنگی الکترونیکی آن‌ها وجود دارد که به مصرف سوخت و روغن کمتر منجر می‌شود.

##### ◀ ۵۶- تعویض غلتک:

تعویض غلتک‌های نوار نقاله، زمانی به دلیل وزن بالای قطعات و وضعیت نامساعد مورد نیاز برای تعویض آن‌ها کار مشکلی بود. یک ابزار خاص برای این کار طراحی شده که این عملیات را بسیار ساده کرده است.

##### ◀ ۵۷- درزگیری کامیون‌ها:

گردوغبار و خرده سنگ در زمان حمل مواد معدنی از کامیون پرتاب و در هوا معلق می‌شوند. برای جلوگیری از این مشکل، کامیون‌ها از محلی عبور می‌کنند که مایعی خاص روی سطح بار کامیون‌ها ریخته می‌شود تا آن‌ها را سر جای خود ساکن نگه دارد. این نوآوری اثرات زیست‌محیطی حمل و نقل مواد معدنی را کاهش می‌دهد.

##### ◀ ۵۸- ماشین‌آلات معدنی:

این ماشین‌آلات همواره بزرگ و بزرگ‌تر می‌شوند و بدین ترتیب



##### ◀ ۴۹- کاوشگر هشداردهنده<sup>۲۸</sup>:

وقتی در کف تونل حفاری می‌کنیم، ممکن است سقف تونل تراز پایینی ریزش کند. یک کاوشگر هشداردهنده را به ریسمان یا طنابی وصل می‌کنیم و به داخل یکی از چال‌های کف تونل می‌فرستیم تا به سقف تونل پایینی برسد. اگر سقف تونل پایینی ریزش داشته باشد، نور هشدار دهنده‌ای به حفار اخطار می‌دهد.

##### ◀ ۵۰- توپ آبی فوق‌العاده<sup>۲۹</sup>:

از توپ‌های آبی برای شستشوی دیوارهای تونل‌های معدنی و همچنین از آن‌ها به عنوان واترجت برای برش یا نفوذ به محیط‌های سنگی سخت‌تر استفاده می‌شود. توپ آبی فوق‌العاده، جت قوی‌تری از سایر توپ‌های آبی و واترجت‌ها دارد اما آب کمتری مصرف می‌کند.

##### ◀ ۵۱- اسپوتنیک<sup>۳۰</sup>:

چاه‌های عمودی که در داخل ماده معدنی حفر و به نام دوپیل شناخته می‌شوند، برای انتقال مواد معدنی استخراج شده به تونل پایینی جهت حمل به خارج حفر می‌شوند. گاهی اوقات مواد معدنی ریخته شده به داخل دوپیل، به هر دلیل باعث انسداد دوپیل می‌شوند. اسپوتنیک یک بالن پر شده از هواست که مواد منفجره را حمل می‌کند و به کف محل انسداد می‌رساند. این بالن از تونل پایینی رها می‌شود و با انفجار باعث رفع گرفتگی می‌شود.

##### ◀ ۵۲- تهویه درخواستی:

تهویه در معادن زیرزمینی نسبت به تمام عملیات‌های دیگر اولویت دارد زیرا به دنبال ایجاد یک محیط کار رضایت‌بخش است. سیستم تهویه پیچیده است زیرا باید کیفیت، دما و فشار هوای مناسبی در تمام بخش‌های معدن ایجاد و حفظ نماید. امکان بهبود بهره‌وری انرژی از طریق مدیریت بهتر سیستم تهویه هوا با عرضه آن تنها در جاهایی که نیاز است و تطبیق جریان با نیازهای خاص آن مناطق وجود دارد. مدل‌سازی با استفاده از رابط گرافیکی سه بعدی متحرک در سیستم تهویه انجام می‌شود. سیستم تهویه با استفاده از مدل‌سازی ترمودینامیکی امکان شبیه‌سازی جریان هوا، حرکت

28- Warning Probe  
29- Super Water Cannon  
30- Spoutnik

دید اپراتور آن‌ها همواره کم می‌شود. ماشین‌های امروزی مجهز به رادار هستند (سنسورهای رادار برای تشخیص اجسام) که اگر اپراتور به هر نوع وسیله نقلیه یا به افراد نزدیک ماشین، چه ساکن و چه متحرک، نزدیک شد اخطار بدهد. این رادارها از امواج فرکانس بالا استفاده می‌کنند و کارایی آن‌ها بسیار بالاتر از ابزارهای نوری است که کارشان به واسطه گل و لای یا وجود گرد و خاک خدشه‌دار می‌شود. همین‌طور ابزارهای مغناطیسی که تحت تاثیر میدان‌های الکتریکی ایجاد شده توسط ماشین‌های فلزی و فولادی موجود در اطراف قرار می‌گیرند.

#### ◀ ۵۹- ردیاب کامیون:

کامیون‌های عظیم الجثه‌ی معدنی با بارهای سنگین خود (که ممکن است بیش از ۱۵۰ تن هم باشد) در جاده‌های اغلب ناهموار معادن حرکت می‌کنند. سیستم تحلیل و کنترل راه (RAC<sup>۳۳</sup>), سیستمی است متشکل از تعدادی سنسور که به یک نرم‌افزار کامپیوتری متصل است. سیستم، وضعیت جاده‌ها را برای بارهای سنگین مورد نظارت قرار می‌دهد و باعث بهبود عملکرد کامیون‌ها و افزایش ایمنی می‌شود که نهایتاً باعث کاهش نیاز به عملیات تعمیر و نگهداری می‌شود. این سیستم با استفاده از سنسورهای سوار بر روی کامیون‌ها شرایط جاده را ده بار در ثانیه اندازه‌گیری می‌کنند و به اطلاع اپراتور می‌رسانند تا در صورت نیاز، سرعت خود را کم کند. همراهی این سیستم با جی پی اس و سیستم دورسنجی این امکان را فراهم می‌آورد تا بتوان به نقشه‌ای از مناطق مشکل‌دار دست یافت تا به مدیران جهت تعمیرات مورد نیاز در جاده‌ها هشدار دهد. داده‌ها ثبت می‌شوند و می‌توان تاریخچه‌ای از وقایع برای وضعیت فیزیکی هر کامیون ایجاد کرد.

#### ◀ ۶۰- ارتباط مخابراتی زیرزمینی:

ارتباط در زیر زمین دشوار است. سال‌های سال، سوت تنها ابزار ارتباطی و تبادل پیام در زیر زمین بود. ورود تلفن‌های بی‌سیم و آنتن‌های وایرلس وای فای انقلابی در ارتباطات مخابراتی معادن ایجاد کرد. نصب رله‌ها امکان برقراری ارتباط با استفاده از تلفن‌های بی‌سیم نوع VOIP را در تونل میسر کرد که باعث آسان‌تر شدن برقراری ارتباط کارگران با یکدیگر در داخل معدن شد. آن‌ها همچنین می‌توانند با بیرون از معدن و حتی مردم بسیار دورتر تماس بگیرند.

#### ◀ ۶۱- سیستم نظارت بر فشار هوای لاستیک‌ها:

لاستیک جزء حیاتی عملیات استخراجی است. لاستیک و تایر یک لودر معدن زیرزمینی و یا یک دامپ تراک ممکن است بیش از یکصد هزار دلار هزینه داشته باشد و به همین دلیل تعمیر و نگهداری آن بسیار مهم است. سیستم نظارت لاستیک، دستورالعملی براساس اطلاعات میزان وضعیت لاستیک (فشار، دما، نشست هوا، تغییر در فشار لاستیک در طول زمان و...) تهیه کند. به عنوان مثال فشار باد ناکافی لاستیک موجب افزایش مصرف سوخت می‌شود. استفاده از این اطلاعات همچنین می‌تواند باعث پیشگیری از ترکیدگی لاستیک در سرعت‌های بالا شود.

#### ◀ ۶۲- قطار جاده‌ای<sup>۳۳</sup>:

حمل ماده معدنی از دپورهای دور تا سایت فرآوری یک عملیات بسیار پرهزینه است. شرکت‌ها برای کاهش این هزینه‌ها از یک قطار جاده‌ای دو موتوره (Smith MK4 Hydrapede Dolly) استفاده می‌کنند که باعث افزایش ظرفیت حمل و نقل به بیش از ۳۰۰ تن در مقایسه با ۵۵ تن وسایل نقلیه معمولی می‌شود. این قطار جاده‌ای را نیز مانند سایر وسایل نقلیه مورد استفاده، می‌توان در زیرساخت‌های ارتباطی موجود در معادن به کار گرفته چون جثه‌ی کوچکی دارد.

#### ◀ ۶۳- ویل پرو<sup>۳۴</sup>:

لاستیک‌های برخی از وسایل نقلیه معدنی بزرگ بسیار سنگین هستند و ممکن است تا ۲۰۰ کیلوگرم وزن داشته باشند! ویل پرو یک گیره هیدرولیک متصل به جرثقیل است که لاستیک را از وسیله نقلیه جدا می‌کند.

#### ◀ نوآوری‌های کانه‌آرایی و فرآوری مواد معدنی

#### ◀ ۶۴- جریان سنج صوتی:

در یک مجتمع معدنی، مواد معدنی یک مسیر از پیش تعیین شده را از کارگاه استخراجی تا سایت فرآوری عمدتاً به وسیله کامیون یا نوار نقاله طی می‌کنند. ابزارهایی مانند SONARTRAC شرکت CIDRA برای سنجش جریان مواد معدنی در مسیر، خصوصاً در معادن سنگ‌آهن، تولید شده‌اند. این ابزارها، بدون تماس فیزیکی، میزان عبور مواد معدنی توسط تسمه نقاله را با استفاده از سنسور صوتی اندازه‌گیری می‌کنند که برای جامدات و مایعات قابل استفاده است.

#### ◀ ۶۵- پیش تغلیظ زیرزمینی:

اولین قدم در جداسازی ماده معدنی از باطله معمولاً خردایش (سنگ‌شکن و آسیا) است. مرحله‌ی پیش تغلیظ بسیار پرسروصدا و اغلب همراه با گردوغبار است که منجر به آسیب‌های زیست‌محیطی می‌شود. امروزه تلاش‌هایی در حال انجام است تا عملیات پیش تغلیظ را به طور مستقیم در زیر زمین انجام دهند. این کار هزینه‌های حمل و نقل را کاهش داده، مواد کمتری از معدن به خارج حمل خواهد شد.

#### ◀ ۶۶- نظارت بر سنگ‌شکن:

آسیا اولین قدم فرآوری مواد معدنی است. ماده معدنی باید به قطعات بسیار ریز خرد شود تا امکان جدایش مواد معدنی موردنظر وجود داشته باشد. این کاهش اندازه را می‌توان طی عملیات آتشباری، سنگ‌شکن و آسیا ایجاد کرد. البته آگاهی از اندازه دانه‌ها طی عملیات فرآوری بسیار مهم است. از سرنند می‌توان برای اندازه‌گیری ذرات استفاده کرد اما در فرآیندهایی که ماده معدنی با آب مخلوط می‌شود و پالپ تشکیل می‌دهد، اینکار عملاً غیرممکن خواهد شد. در حال حاضر امکان اندازه‌گیری آنی قطعات با استفاده از آنالیز تصویر وجود دارد. سیستم تقسیم آنلاین<sup>۳۵</sup>، یک سیستم تصویربرداری دیجیتال خودکار است که بر ماده معدنی در داخل

آسیاها نظارت می‌کند. تصاویر توسط ابزارهای عکاسی نصب شده در سنگ‌شکن و نوار نقاله برداشت شده، توسط نرم‌افزارهای خاصی تفسیر و پردازش می‌شوند و امکان دریافت اطلاعاتی مثل اندازه ذرات، شکل، رنگ و بافت آن‌ها فراهم می‌گردد. این اطلاعات به صورت آنلاین برای ارزیابی کیفیت عملکرد آسیا به مرکز کنترل ارسال می‌شود.

#### ۶۷- کارخانه‌های مدولار:

کارخانه تصفیه‌ی مدولار UMCO یک راه‌حل کم هزینه برای استخراج معادن کوچک مقیاس است. اگرچه این کارخانه برای ذخایر طلا طراحی شده، اما برای انواع مواد معدنی قابل استفاده است. اندازه‌ی کوچک آن امکان جابه‌جایی و انتقال از یک معدن به معدن دیگر را فراهم می‌آورد.

#### سلامتی و ایمنی

#### ۶۸- مبدل جک:

ماشین‌آلات سنگین نیاز به تعمیر و نگهداری منظم دارند. بدین منظور هریک از این ماشین‌آلات و تجهیزات را باید از زمین بلند کرد و در همان ارتفاع به صورت امن و با خیال راحت نگه داشت. ریبو تینتو آلکان<sup>۳۶</sup> برای جلوگیری از لیز خوردن ماشین‌آلات از روی جک، یک تبدیل یا مبدل ساخته که بین جک اصلی و ماشین قرار می‌گیرد و ایمنی کار را بالا می‌برد.

#### ۶۹- ردیاب پرسنل و نیروهای انسانی:

آگاهی از محل حضور کارکنان دغدغه‌ای همیشگی در معادن زیرزمینی بوده و هست. یک روش سنتی وجود دارد که هر کارگر با یک پلاک خاص و قرار دادن آن در محلی خاص داخل معدن می‌رود و عدم وجود آن پلاک در محل نشانه بیرون بودن وی است. این روش به دلیل اشتباهات فردی و یا سهل‌انگاری قابل اعتماد نیست و گاهی تمام عملیات معدن فقط برای کسب اطلاع از این‌که یک معدنچی داخل معدن است یا خیر، متوقف شده‌است.

برچسب‌های RFID این مشکل را به راحتی حل کرده‌اند. همان‌طور که پیش از این در ردیف ۴۴ (برای حمل مواد معدنی) توضیح داده شد، امکان قراردادن این برچسب‌های راداری، که فرکانس‌های رادیویی ساطع می‌کنند، در لباس معدنچیان برای ردیابی دقیق و تشخیص این‌که چه کسی داخل معدن است و چه کسی نیست، وجود دارد. بنابراین خطر اشتباهات فردی رفع می‌شود و در زمان وقوع حادثه، تیم نجات با دانستن موقعیت هر معدنچی با حداکثر آمادگی، بهترین خدمات را ارائه خواهند داد.

#### ۷۰- ابزارهای تشخیص گاز:

برخی عملیات‌های معدنکاری زیرزمینی باعث تولید گازهای اکثراً سمی می‌شوند. گازهای ناشی از ماشین‌های دیزل و آتشباری نیز از این دست هستند. سنسورهایی طراحی شده‌اند که غلظت گاز را به صورت آنی اندازه‌گیری کرده، با مدیریت تهویه همکاری می‌نمایند. این سیستم‌ها

را می‌توان در مکان‌های دیگری مثل پارکینگ‌های زیرزمینی نیز استفاده کرد.

#### ۷۱- کپسول فنیکس<sup>۳۷</sup>:

ناسا کپسول فنیکس را برای نجات ۳۳ معدنکار شیلیایی در سال ۲۰۱۰ طراحی کرد. این کپسول امکان حمل یک نفر را از چاله‌ای به قطر ۶۰ سانتی‌متر را دارد.

#### ۷۲- نقشه‌های نواحی خطر:

معدان رویاب به دلیل وجود دیواره‌ها و خاکریزهای متعددی که امکان ریزش دارند، جز محل‌های پرخطر هستند. برای حفاظت کارکنان و ماشین‌آلات از خطرات ژئوتکنیکی، شرکت بی‌اچ پی بیلیتون میتسوبیشی<sup>۳۸</sup> یک نقشه نواحی خطر با استفاده از دورسنجی صوتی و نوری طراحی کرده است. نقشه، که قابلیت بروزرسانی یک بار در هفته را دارد، کدهای ساده‌ی زنگی ایجاد می‌کند که امکان تفکیک بخش‌های پرخطر و امن در معدن وجود داشته باشد. این نقشه آنقدر ساده است که معدنچیان را ترغیب به بحث و تبادل نظر می‌کند. نقشه‌های دو بعدی و سه بعدی مشابهی را نیز می‌توان با استفاده از داده‌های مکانیک سنگی برای معدن زیرزمینی طراحی کرد.

#### ۷۳- اتاق بقا:

اتاق‌های بقا یا اتاق‌های امن در زمان حادثه از کارگران و معدنچیان حادثه دیده محافظت می‌کند. این اتاق‌ها به راحتی قابل حمل بوده، با تامین اکسیژن و برق امکان محافظت از چهار تا شش نفر برای سی و شش ساعت دارند.

#### ۷۴- لباس خنک‌کننده:

لباس‌های مورد استفاده در معدن درحال ارتقا هستند تا ایمنی و راحتی بیشتری برای صاحب آن فراهم آورند. اخیراً پیشرفت‌هایی در یک سری از لباس‌های دارای تهویه انجام شده که از یک تکنولوژی غشایی خاص استفاده می‌کند. یک مایع خنک‌کننده به تدریج تبخیر می‌شود و فرد با پوشیدن لباس، جلیقه، کلاه و یا پوشش گردن خنک می‌شود. این لباس‌ها به جنگ با گرمای موجود در معدن عمیقی روند. جایی که گاهی اوقات شدت گرما به بیش از ۶۰ درجه سانتی‌گراد هم می‌رسد. پیشرفت‌های دیگری نیز در این زمینه حاصل شده که می‌توان به استفاده از پارچه‌های بسیار بازتابنده اشاره کرد.

#### ۷۵- هد لامپ‌های ال ای دی:

تکنولوژی لامپ‌هایی که به کلاه ایمنی معدنکاران متصل است به طور قابل توجهی پیشرفت کرده است. قبل از ظهور لامپ‌های ال ای دی، از لامپ‌های سنگین (که با وزنی بیش از یک کیلوگرم از کمر بند معدنکار آویزان بودند) با روشنایی کم در مقایسه با فناوری‌های در دسترس امروز استفاده می‌شد.

لامپ‌های ال ای دی روشنایی بهتر و عمر بیشتری و به دلیل استفاده از باتری‌های لیتیومی زمان نوردهی بسیار طولانی‌تری نیز دارند. همچنین

37- Fenix

38- BHP Billiton Mitsubishi Alliance-Poitrel Mine

36- Rio Tinto Alcan

بسیار سبکتر از مدل‌های قدیمی هستند و فقط ۴۵۰ گرم وزن دارند و در بعضی از مدل‌ها باتری آن‌ها به لامپ متصل است.

#### ۷۶- ساعت سنجش خستگی:

سیستم مدیریت خطر خستگی (FRMS<sup>۳۹</sup>) یک مچ بند الکترونیکی است که سطح خستگی کارگر، خصوصاً اپراتورهای تجهیزات سنگین، را اندازه‌گیری می‌کند و تشخیص می‌دهد که چه زمانی آماده کار هستند و چه زمانی بهتر است که کار کنند یا دست از کار بکشند. طراحی این دستگاه ترکیبی از دانش به دست آمده از پنجاه سال پژوهش درباره خواب با آخرین فناوری‌های پردازش اطلاعات است. این مچ‌بند داده‌های مربوط به تجمع خستگی را پردازش و توصیف می‌کند: میزان خواب، کیفیت خواب، نسبت زمان خواب به بیداری و...

#### ۷۷- برف‌روب علائم جاده:

در زمان طوفان‌های برف و کولاک، برف روی علائم جاده و پرچم‌های نشانه می‌نشیند و کارگران با ضربه زدن به آن‌ها توسط یک میله فلزی، برف‌روبی می‌کنند. این کار خسته‌کننده با نصب یک میله فلزی متحرک که توسط یک فنر کنترل می‌شود در پشت یک کامیون به راحتی انجام می‌شود. راننده با سرعت ۲۲ کیلومتر در ساعت حرکت می‌کند درحالی‌که میله با علائم جاده و نشانه‌ها برخورد می‌کند و برف روی آن‌ها را پاک می‌کند. این نوآوری موجب صرفه‌جویی در زمان و پیشگیری از آسیب‌های احتمالی می‌شود.

#### ۷۸- چادر عایق صوتی:

برخی از بخش‌های وینچ مکانیکی که برای پایین بردن آسانسور داخل چاه معدن استفاده می‌شوند، بسیار پر سر و صدا هستند. چادر عایق صوتی، پوششی است برای گیربکس وینچ که هم امکان ارتباط و تماس بین اپراتور وینچ و کارگران داخل آسانسور را بهبود می‌بخشد و هم باعث کاهش خطر ابتلا به مشکلات شنوایی برای اپراتور وینچ می‌شود.

#### ۷۹- دستک امن:

برای بهبود ایمنی در شب در معادن روباز برای اپراتورهای وسایل نقلیه سنگین، کنار جاده‌ها یا لبه‌ی سینه کارها با دستک‌ها یا فنس‌های شب‌رنج تجهیز می‌شوند. گردوغبار، ارتعاشات و شرایط بد آب و هوایی به این تجهیزات آسیب می‌رساند و تعمیر یا جایگزینی آن‌ها کاری طولانی، خسته‌کننده و خطرناک است زیرا معمولاً در جاهای پرخطر و حادثه‌ساز نصب می‌شوند.

نسل جدیدی از دستک‌ها دارای نوارهای شب‌رنج پهن‌تری هستند که باعث دید بهتری می‌شوند. علاوه بر این، سیستم نصب‌کننده باعث افزایش ایمنی در محل می‌شود زیرا دیگر لازم به صعود روی تپه‌های سنگ یا قدم زدن در لبه سینه کار نیست. همچنین این دستک‌ها را می‌توان متناسب با شکل جاده تنظیم کرد.

#### ۸۰- دستگیره ضد لرزش:

لرزش دستگاه‌ها و ابزارهای دستی مثل دریل‌های هیدرولیک یا

چکش‌های پنوماتیک، اصلی‌ترین دلیل صدمات جسمی کارگران معدن هستند (سپید انگشت<sup>۴۱</sup> و سندرم کانال مچ دست). دستگیره ضد لرزش یک وسیله جداگانه است که به ابزار اصلی متصل می‌شود و آسیب‌های ناشی از ارتعاشات را تا ۶۰ درصد کاهش می‌دهد.

#### ۸۱- شبکه‌های فلزی کاربردی:

شبکه‌های (توری‌های) فلزی در سقف تونل‌ها نصب می‌شوند تا به استحکام سقف‌ها و افزایش ایمنی کمک کنند. برای این کار به تکیه‌گاه‌هایی نیاز داریم تا این شبکه‌های فلزی را در جای خود محکم نگه دارند. شیوه قدیمی امنیت کافی برای کارگران فراهم نمی‌کرد و حتی تجهیزات نیز به آن‌ها آسیب می‌زد. مضاف بر این به نیروی زیادی برای نصب این شبکه‌های فلزی نیاز بود. امروز یک قطعه‌ی تی (T) شکل که درون آن فنر کار گذاشته شده ابداع گردیده که به عنوان تکیه‌گاه کاربرد دارد. فنر تثبیت‌کننده پایداری است زیرا فشار عمودی به کف و سقف تونل وارد می‌کند.

#### ۸۲- نظارت و ثبت ریزلرزه‌ها:

توده‌های سنگ به ریزلرزه‌های ناشی از عملکرد ماشین‌آلات حفاری واکنش نشان می‌دهند. ثبت و ضبط این ریزلرزه‌ها و جانمایی آن‌ها در فضای سه بعدی، ابزاری برای نظارت بر پایداری آبی توده‌های سنگ در معادن زیرزمینی و روباز فراهم می‌نماید. این روش، تغییرات تنش‌ها و توزیع مجدد آن‌ها، موقعیت و میزان رشد شکستگی‌ها و اثرات عملیات‌های معدنی را ثبت می‌کند. همچنین می‌تواند ایجاد ناپایداری‌های منجر به ریزش را پیش‌بینی نماید.

#### ۸۳- پست‌های بازرسی کابل:

کابل کیچ (آسانسور) معدن حیاتی‌ترین عنصر ایمنی معدن است. حداکثر بار مجاز و عمر کابل به واسطه استانداردهای سختگیرانه‌ای که توسط کمیسیون بهداشت و ایمنی کبک<sup>۴۱</sup> وضع گردیده، تعیین می‌شود. اگرچه این کابل‌ها به ندرت پاره می‌شوند، اما با این وجود بازرسی دوره‌ای آن‌ها واجب است.

کنسرسیوم تحقیقاتی سوردم<sup>۴۲</sup> یک سیستم پایش پیوسته برای کابل‌های وینچ معدن زیرزمینی ابداع شده است. این سیستم میزان سایش آبی را به وسیله یک سیم پیچ الکترومغناطیسی که باعث ایجاد میدان مغناطیسی در کابل می‌شود، پایش و زمان دقیق تعویض کابل را اعلام می‌نماید.

#### ۸۴- معدنکاری از دور<sup>۴۳</sup>:

دسترسی به برخی کانسارها راحت نیست. مثل کانسنگ‌های غنی از اورانیوم حوضه آتاباسکا که میزان مواد رادیواکتیو آن خیلی بیشتر از حدی است که کارگران معدن مستقیماً برای استخراج به کار گرفته شوند. راه‌حل‌های فنی زیادی برای بهره‌برداری از این نوع ذخایر معدنی با استفاده از ربات‌ها ارایه شد. ماشین‌های معدنکار به صورت کنترل از راه دور، از یک منطقه‌ی امن در داخل معدن و یا حتی از سطح زمین هدایت

شده، به لطف اینترنت از هر نقطه از جهان قابل کنترل و هدایت هستند. اپراتور با استفاده از دوربین و جوی استیک هدایت و کنترل این تجهیزات را انجام می‌دهد.

## ◀ بازسازی

طی پانزده سال گذشته، بازسازی معادن متروکه با فرآیندهای اولیه طراحی معدن و حتی در ابتدایی‌ترین مراحل معدنکاری همراه شده است. مدیریت احیا و بازسازی از دو افق فنی و مالی، یکی از ملاحظات مداوم و در حال پیشرفت در تمام طول عمر معدن است. زمانی که ذخیره معدنی به پایان می‌رسد یا استخراج آن فاقد توجیه فنی و اقتصادی باشد، معدن متروکه می‌شود. در این زمان مرحله نهایی معدنکاری تحت عنوان بازسازی سایت معدن (اصلاح و احیا) شروع می‌شود. هدف، پاکسازی یا خنثی‌سازی شیمیایی آلاینده‌ها به منظور آغاز مرحله‌ای جدید از یک زندگی نو با استفاده از ظرفیت‌های غیر معدنی منطقه است. باید مطالعات بسیار زیادی در این خصوص انجام پذیرد تا یافته‌ها برای احیا و بازسازی سایت‌های معدنی متروکه به کار گرفته شوند.

بازسازی معادن متروکه شامل چند مرحله می‌شود که تابعی از چشم‌انداز، اثرات ژئوشیمیایی و زیست‌محیطی (بر روی آب و سیستم‌های بیولوژیکی) و اجتماعی منطقه‌ی مورد وقوع معدن است. بازسازی می‌تواند شامل فعالیت‌هایی خاص مربوط به دیو، دفن، تخریب، خنثی‌سازی، عارضه‌یابی و مدیریت باطله باشد. رفع آلودگی باطله و سنگ و خاک‌های آلوده مهم‌ترین جنبه فرآیند بازسازی و احیا است.

## ◀ ۸۵- سدهای چند لایه:

وقتی مواد سولفیدی در معرض هوا و سایر عناصر طبیعت قرار می‌گیرند اسیدی تولید می‌کنند که به داخل زمین نفوذ کرده، آب‌های زیرزمینی را آلوده می‌نماید. یک پوششی چند لایه به عنوان سدی در برابر نفوذ طبق اثر موینگی وجود دارد که زهکش اسیدی معدن را کنترل می‌کند و به عنوان سپری در برابر نفوذ مایعات سد باطله حاوی عناصر مضر به زمین عمل می‌نماید.

## ◀ ۸۶- از بین بردن سیانید:

وقتی طلا بسیار ریزدانه باشد، یکی از روش‌های ممکن برای استحصال آن، سیانیداسیون یا ترکیب کانسنگ طلا دار با سیانید است که یک ماده‌ی شیمیایی سمی و مسئول بروز آلودگی‌های خطرناک است. مدیریت سیانید یک عملیات بسیار مهم در طی عملیات استحصال طلا از روش سیانیداسیون است. یک روش جدید برای از بین بردن سیانید ابداع شده که علاوه بر کنترل خطر سیانید، بازیافت تمام طلای باقی‌مانده در پساب را ممکن می‌سازد. این روش توسط شرکت خدات مواد معدنی مالگوین (MMS<sup>۴۴</sup>) و به نام فرآیند سیانید<sup>۴۵</sup> ابداع شده است.

## ◀ ۸۷- مواد منفجره‌ی زیست تخریب‌پذیر:

پس‌مانده‌های مواد منفجره به آلودگی معدن کمک می‌کند. برای رویارویی با این مشکل، گونه‌ای از باکتری باسیلوس سوبتیلیس جسی ان<sup>۴۶</sup> به دلیل توانایی در تجزیه مواد منفجره تنها در چند روز به کار گرفته می‌شود. ممکن است اسپورهای باکتریایی در خاک اره (آرد چوب) موجود در مواد منفجره، بدون اثر مخرب بر مواد منفجره، اضافه شوند.

## ◀ ۸۸- تالاب‌های ساخته شده:

تالاب‌ها قابلیت حذف فلزات از پساب معدن و خنثی کردن اسیدیته‌ی آن‌ها را دارند. از آنجا که این اکوسیستم‌ها «خود تنظیم» هستند، می‌توانند راه‌حلی بلندمدت برای زهکش اسیدی معادن باشند. تالاب‌ها دارای پوشش گیاهی (معمولاً نی و گیاه دم گربه‌ای) و همچنین باکتری‌های حاذب آلاینده‌ی هستند. ساخت چنین تالاب‌های مصنوعی فرآیندی پیچیده است، با این حال، باکتری‌ها برای انجام عملکرد گندزدایی نیاز به مواد مغذی دارند.

روش‌های جدیدی به شیوه‌ای استاندارد توسط گروه پژوهش‌های ملی رودخانه ساوانا (SRNL<sup>۴۷</sup>) ابداع شده که طی آن روغن‌ها و موم‌های زیست تخریب‌پذیر به عنوان تامین‌کننده مواد غذایی جمعیت باکتریایی به تالاب ریخته می‌شوند که باعث رسوب کردن مواد معدنی در کف حوضه می‌شوند.

## ◀ ۸۹- استفاده مجدد از باطله‌های معدنی:

برخی از بهره‌برداران، از باطله‌ی معادن فعال برای رفع آلودگی خاک‌ها استفاده می‌کنند. باطله به عنوان سد عبور اکسیژن عمل می‌کند و جریان آب آلوده را با توقف جابه‌جایی رسوبات آلوده، ریشه‌کن می‌کند.

## ◀ ۹۰- خنثی‌سازی باطله‌ها:

برای استفاده‌ی مجدد از باطله‌ها ابتدا باید آن‌ها را تثبیت کرد. باطله‌ها را می‌توان با آهک، خاکستر، تراشه‌ی چوب، سیمان و یا انواع دیگری از مواد مخلوط کرد تا خمیری تولید شود که بتوان به عنوان سد ضد آب یا خاکریز مورد استفاده قرار داد.

## ◀ ۹۱- فیلترهای ماسه‌ای و خاک‌های خاص:

اسیدیته فاضلاب را می‌توان با استفاده از فیلترهای خاکی کاهش داد و تا ۹۹ درصد مواد آلی تجزیه‌پذیر و همچنین ارگانیک‌های بیماری‌زای آن (باسیل‌ها) را از بین برد. سیستم‌های تصفیه‌ای که از خزه‌های خشک و پرزهای نارگیل استفاده می‌کنند، به طور موثری جایگزین سیستم‌های مخزنی شده، به طور قابل ملاحظه‌ای موثر بوده، قادر به کار در شرایط آب‌وهوایی بسیار سرد هستند و دقیق‌ترین الزامات زیست‌محیطی را برآورده می‌سازند. فیلترهای شن و ماسه‌ای هم می‌توان اضافه کرد که مشکل از یک غشا و لایه‌های ماسه هستند.

## ◀ ۹۲- استفاده مجدد از باطله‌های بوکسیت:

می‌توانید باطله‌های بوکسیت را فرآوری و به سه محصول قابل



عرضه در بازار تبدیل کنید: شن و ماسه قرمز (مورد استفاده در خاکریزها، جاده‌سازی و...)، آهک قرمز (برای خثی کردن اسیدیته و کنترل pH) و آلکالوم (برای غنی‌سازی خاک‌های کشاورزی، کاهش سریع pH خاک و کاهش مهاجرت مواد مغذی خاک به آب‌های سطحی و زیرزمینی).

#### ۹۳- سیستم روبیس<sup>۴۸</sup>:

روغن‌های استفاده شده را می‌توان با تجزیه‌ی حرارتی بازیافت کرد. یک فرآیند گرمایی برای شکستن مولکول‌های بزرگ در روغن و تبدیل آن‌ها به مولکول‌های کوتاه‌تر از سوخت دیزل. این فرآیند یک مشکل دارد. سوخت تولیدی ناپایدار است و به دلیل آن‌که از ترکیبات آلوده‌ی اسیدی تولید شده، بوی ناخوشایندی دارد. راه‌حل، روبیس است. روبیس یک حلال است سوخت مشتق از تجزیه حرارتی روغن را تثبیت و تصفیه کرده، در نهایت یک محصول قابل عرضه به بازار ارایه می‌نماید.

#### ۹۴- ژئوتکستایل‌های جداساز:

ژئوتکستایل ورقه‌هایی است متشکل از یک صفحه‌ی بافته شده یا بافته نشده که از مواد مصنوعی ساخته شده‌اند. نقش اصلی آن‌ها، ایجاد یک مانع فیزیکی بین زمین و مواد ثانویه‌ی ذخیره شده یا مورد استفاده برای ساخت تاسیسات یا سازه است. ژئوتکستایل در معادن به ویژه برای دپوها بسیار مناسب هستند. این مانع (یا سد) جلوی جریان آب را نمی‌گیرد، اما جلوی ورود ذرات ریز موجود در محیط طبیعی زیر و روی ژئوتکستایل را به آب یا محیط بالا و پایین آن می‌گیرد. کاربرد دیگر آن، جلوگیری از انسداد در تخلیه و سیستم‌های زهکشی است. در نتیجه ژئوتکستایل به عنوان جداکننده یا ضدآلوده نقش آفرینی می‌کند مضاف بر این‌که برای محافظت از تونل‌های معدن نیز استفاده می‌شود. ژئوتکستایل را می‌توان با عناصر ساختاری جدید که به شکل یک شبکه‌ی نیمه سخت و سخت است، تقویت کرد.

#### ۹۵- خاکریزهای زیرزمینی:

ارسال باطله به زیر زمین چند مزیت دارد: میزان ضایعات و ذخیره‌ی باطله‌های سطح زمین را به ۵۰ درصد کاهش می‌دهد، آن‌ها را در یک محیط پایدار ذخیره می‌کند (گردش آب کم، بدون نوسانات درجه حرارت، فاقد بارندگی یا جریان آب‌های ناشی از ذوب یخ). مدل‌های هیدرولوژیکی و ژئومکانیکی برای ارزیابی خواص در حال تغییر این باطله‌ها و اثرات آن‌ها بر زیر سطح زمین در حال توسعه هستند.

#### ۹۶- پنل‌های خورشیدی برای سایت‌های دیوی باطله:

باطله‌های معدنی می‌توانند سطح قابل توجهی از زمین را بپوشانند که ممکن است این کار به سرعت انجام شود و بازسازی و توانبخشی این بخش‌های آلوده شده بسیار مشکل خواهد بود. احیای جنگل‌ها، شایع‌ترین اقدام در راستای بازسازی و توانبخشی است. شرکت شورون<sup>۴۹</sup> به تازگی در حال توسعه ایده‌های نوآورانه خود در خصوص استفاده از سایت‌های قدیمی باطله معادن به عنوان مزرعه تولید برق خورشیدی است. باطله‌های

اسیدزای معدن کوئستا<sup>۵۰</sup> در نیو مکزیکو، امروز با ۱۷۳ پانل سلول خورشیدی پوشانده شده‌اند که می‌توانند یک میلیون وات برق تولید کنند.

#### ۹۷- ژاروفیکس<sup>۵۱</sup>:

فرآوری کانسنگ روی باعث تولید پسماندی به نام ژاروسایت<sup>۵۲</sup> می‌شود. در سال ۱۹۸۸، شرکت سی ایی زینک<sup>۵۳</sup> فرآیندی ابداع کرد که این پسماند را از نظر فیزیکی و شیمیایی پایدار و تثبیت می‌نمود. فرآیند ژاروفیکس شامل افزودن آهک، سیمان و آب به این پسماند می‌شود. پس از خشک شدن، ترکیب باقی‌مانده پایدار شیبه به رس داشت. اگر ژاروفیکس فشرده شود، می‌توان آن را به راحتی سوراخ کرد، از لحاظ شیمیایی پایدار بوده و از آن می‌توان به منزله‌ی یک پرکننده‌ی بسیار عالی استفاده کرد.

#### ۹۸- ژئورادار:

ژئورادار یک فناوری است که امواج رادار را در زیر سطح زمین و مثل رادارهای بالای سطح زمین، امواج کوتاه و قدرتمند را به سمت هدف منتشر می‌کند و انعکاس سیگنال‌ها را دریافت و ویژگی‌های شی را مشخص می‌نماید. گستره‌ی امواج هم تا چند متر زیر سطح زمین است. از این روش برای تعیین ساختار خاک، خصوصاً یخچال‌های دائمی در قطب شمال و یا برای نظارت بر تغییرات آلودگی‌های زیرزمینی در طول زمان با به‌کارگیری ابزاری برای اجرای پیمایش‌های دوره‌ای از روی سطح زمین استفاده می‌شود. البته از ژئورادار در زمینه‌های دیگر، خصوصاً برای چینه‌شناسی زیر سطح زمین استفاده می‌شود.

#### ۹۹- ژئوتیوب<sup>۵۴</sup>:

ژئوتیوب یک کیسه‌ی پلی پروپیلنی است که برای آبیگری و خشک کردن لجن در آب درمانی استفاده می‌شود و در سایزهای مختلف (با طول ۵ تا ۱۰۰ متر) وجود دارد و از طریق پمپاژ تناوبی یا پیوسته پر می‌شود. آبیگری توسط فیلتراسیون انجام می‌شود و در نتیجه مواد جامد (فلزات سنگین و مواد مغذی) در کیسه باقی می‌مانند. آب زلال از طریق منافذ ژئوتیوب خارج می‌شود و مواد جامد به واسطه‌ی خشک شدن تثبیت می‌شوند. ژئوتیوب حجم باطله را تا ۹۰ درصد کاهش می‌دهد.

#### ۱۰۰- هایدروسیدینگ (بذر آبی)<sup>۵۵</sup>:

یک معدن هم در زمان بهره‌برداری و هم پس از بسته شدن باید چشم انداز مناسبی داشته باشد. یک فرآیند کاشت جدید ایجاد شده که هایدروسیدینگ نام دارد که دوغابی از کود، بذر و آب بر روی زمین می‌پاشد.

#### منبع:

- 100 Innovations in the Mining Industry, The Mining Association of Canada, 2012

- 50- Questa
- 51- Jarofix
- 52- Jarosite
- 53- CEZinc
- 54- Geotube
- 55- Hydroseeding

- 48- ROBYSTM System
- 49- Chevron