زمستان ۸۸، سال نوزدهم، شماره ۷۴، صفحه ۱۴۳ تا ۱۴۸

معرفی روش حفاری جدید کوپراد (COPROD) و مقایسه این روش با دیگر روش‌های حفاری تولیدی مرسوم در معادن روباز، با بررسی امکان کاربرد آن در معادن ایران

محمد قاسم آیت[1]* و علی مظفری[2]

[1] وزارت صنایع و معادن، تهران، ایران

[2] مرکز تحقیقات و تعلیمات حفاظت و بهداشت کار، وزارت کار و امور اجتماعی، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۸۶/۱۱/۲۱ تاریخ پذیرش: ۱۳۸۷/۰۷/۳۰

چکیده

حفاری به عنوان بخش تفکیک‌ناپذیر عملیات استخراجی در معادن به شمار می‌آید و تاکنون روش مناسب تری برای جایگزینی این عملیات پیدا نشده است. روش‌های مختلفی برای حفاری در معادن روباز به کار می‌روند که از میان آنها روش‌های متداول عبارتند از روش‌های حفاری چرخشی و ضربه‌ای شامل ضربه‌زن ته چال و ضربه زن خارج چال هستند. روش حفاری جدیدی که امروزه در معادن روباز کشورهای پیشرفته مورد استفاده قرار می‌گیرد روش حفاری کوپراد نام دارد. این روش برای حفاری در شرایط سخت زمین‌شناسی معادن روباز طراحی شده است و نوآوری این سیستم حفاری برای فائق آمدن بر مشکلات حفاری در شرایط خاص زمین‌شناسی ارائه شده است، شرایطی که زمین منطقه به دلیل تکتونیزه بودن مشکلات فنی و اجرایی در حفاری را سبب می‌شود. در این مقاله ضمن معرفی روش حفاری کوپراد و بررسی مزایا و معایب آن از بعد فنی و اقتصادی در مقایسه با سایر روش‌های حفاری متداول در معادن روباز، امکان کاربری آن در معادن روباز تکتونیزه کشور مورد مطالعه قرار گرفته و همچنین نحوه انتخاب ماشین‌آلات مناسب حفاری با توجه به کاربری آن در معادن روباز کشورمان نیز مورد بررسی کامل قرار گرفته است.

کلیدواژه‌ها: روش حفاری، کوپراد، حفاری چرخشی، چکش بالای چال ، چکش ته چال، شرایط زمین‌شناسی

***نویسنده مسئول:** محمد قاسم آیت

۱- روش‌های متداول حفاری در معادن روباز

حفاری در شرایط مختلف اجرایی، نیازمند روش‌ها و تجهیزات مختلفی است که با توجه به کاربرد آن تعریف می‌گردد. انتخاب روش‌های حفاری مورد استفاده در معادن از سال‌ها پیش انجام گرفته است و متأسفانه بررسی دقیق و فنی روش حفاری جدیدی برای انتخاب و جایگزینی روش‌های قدیمی به ندرت صورت می‌گیرد. دستگاه‌های حفاری معادن روباز بر اساس شیوه انتقال نیروی حفاری به دو دسته کلی چرخشی (Rotary Drilling) و ضربه‌ای(Percussion Drilling) تقسیم می‌شوند که دستگاه‌های حفاری ضربه‌ای نیز بر اساس واسطه انتقال نیرو و محل استقرار ضربه زن (چکش حفاری) به دو دسته کلی چکش خارج چال (Tophammer) و چکش داخل چال (Down The Hole) تقسیم می‌شوند (Atlas Copco Booklet, 2006). شاید تعیین مرز مشخصی برای تفکیک کاربری دقیق روش‌های مختلف حفاری در معادن روباز چندان عملی نباشد چرا که نتایج به‌دست آمده از عملیات حفاری ، شرایط زمین‌شناسی، ماشین‌آلات حفاری، نیروی انسانی ماهر، ابعاد عملیاتی پروژه و دیگر موارد تأثیرگذار در این روند متغیر هستند.

۱-۱. روش حفاری چرخشی (Rotary Drilling)

روش حفاری چرخشی از روش‌های متداول حفاری تولیدی در معادن بزرگ روباز جهان به شمار می‌آید. امروزه بیشتر دستگاه‌های حفاری معادن فلزی بزرگ روباز جهان از نوع چرخشی است. اختلاف اصلی روش حفاری چرخشی با سایر روش‌های حفاری، حذف ضربه به عنوان عامل حفر چال از این روش حفاری است. در این روش، کار حفاری با برش سطح سنگ انجام می‌شود و عامل تعیین کننده در این روش، وزن دستگاه و مجموعه متعلقات سیستم حفاری است که به شکل بار روی مته به سنگ منتقل می‌شود. بنابراین دستگاه‌های چرخشی از وزنی به مراتب بیشتر از سایر دستگاه‌های حفاری برخوردار هستند. امروزه بیشتر حفاری‌های تولیدی در معادن روباز جهان با قطرهای ۲۲۰ تا ۴۴۰ میلی‌متر صورت می‌گیرد که در آنها از روش حفاری چرخشی استفاده می‌شود. سرعت دوران سرمته در این روش بین ۵۰ تا ۱۲۰ دور در دقیقه متغیر است، و وزن بار پشت سرمته از ۰/۵ تا ۴ تن بر اینچ از قطر سرمته در سنگ‌های نرم تا سخت متغیر است (Atlas Copco Booklet, 2006). از محدودیت‌های مهم عملیاتی روش حفاری چرخشی، سنگین بودن مجموعه دستگاه حفاری و عدم کارآیی در حفاری چال‌های شیب‌دار است که به دلیل سنگین بودن وزن مجموعه دکل حفاری ایجاد می‌شود.

۱-۲. روش حفاری چکش خارج چال (Tophammer Drilling)

در این روش ضربه‌زن یا چکش دستگاه حفاری در خارج از چال قرار می‌گیرد و در اثر ضربات متوالی به میله حفاری (Rod) انرژی را به سرمته منتقل می‌کند. این روش حفاری به دلیل نرخ بالای نفوذپذیری در سنگ در شرایط مناسب زمین‌شناسی از کاربرد و مقبولیت فراوان برخوردار است. محدودیت‌های دستگاه‌های حفاری که با این روش کار می‌کنند شامل محدودیت قطر حفاری (بیشترین قطر ۱۵۲ میلی‌متر)، ژرفای حفاری محدود به دلیل انحراف حفاری زیاد، دوام کم رادهای حفاری (Drilling Rod)، و راندمان پایین عملیاتی در حفاری در شرایط سخت زمین‌شناسی و تکتونیزه است. از مزایای این روش هزینه سرمایه‌گذاری اولیه و مصرف سوخت کمتر این دستگاه‌ها نسبت به سایر روش‌های متداول است. امروزه تحقیقات گسترده‌ای توسط شرکت‌های تولید کننده ماشین‌آلات حفاری در جهان صورت گرفته است که در این میان شرکت بین‌المللی اطلس کوپکو(Atlas Copco) در راستای بهینه‌سازی فرایند انتقال انرژی مؤثر موج ضربه‌ای از چکش حفاری به سر مته تحقیقات گسترده‌ای انجام داده است که منجر به طراحی نسل جدیدی از چکش‌های حفاری با بهینه سازی طول پیستون و تجهیز به سیستم دبل دمپینگ (Double Damping) شده است. که نتیجه آن افزایش سرعت و نرخ حفاری و همچنین عمر مجموعه راد حفاری بوده است (Atlas Copco Booklet, 2006). آنچه که در این روش عامل محدود کننده است، قدرت ضربات چکش این دستگاه‌ها بویژه در چال‌های با قطر بیشتر از ۱۲۷ میلی‌متر و ژرفای چال بیش از ۶ متر است چرا که با افزایش ژرفای چال، تعداد رادهای حفاری بیشتری باید به یکدیگر متصل شوند که نتیجه آن افت انرژی بیشتر در این روش حفاری است. با بررسی میزان اتلاف انرژی ناشی از اتصال رادهای متوالی

در دستگاه‌های حفاری که با این سیستم کار می‌کنند، مشخص شده است که میزان افت انرژی موج ضربه‌ای به ازای هر کوپلینگ (Coupling) اضافی در حدود ۶ تا ۱۰ درصد است که این افت انرژی ناشی از تماس ناقص در اتصالات کوپلینگ‌های راد حفاری رخ است (Atlas Copco Booklet, 2006).

۱-۳. روش حفاری چکش داخل چال (Down the Hole)

روش حفاری ضربه‌زن ته چال، روش قابل اعتمادی برای حفاری در شرایط سهل تا سخت زمین‌شناسی به شمار می‌رود(شکل ۱). در این روش انرژی ضربات به طور مستقیم به سر مته منتقل می‌شود و افت انرژی در آن به کمترین مقدار می‌رسد. در این نوع دستگاه‌ها شکل و ساختار چکش مانع از انحراف چال شده و پایداری بیشتری را در دیواره چال سبب می‌شود. از آنجا که در این روش حفاری فضای بین دیواره چال و راد حفاری کمتر از روش چکش خارج چال است، از این رو سرعت عبور خرده‌های حفاری و فلاشینگ(Flushing) در چال نسبت به سایر روش‌ها بیشتر خواهد بود. (Hartman, & Mutmansky, 2002; Jimena et al., 1995) این روش حفاری به دلیل قرار گرفتن چکش در داخل چال، کمترین میزان انحراف چال را نسبت به دیگر روش‌های رایج ایجاد می‌کند. از دیگر مزایای این دستگاه‌ها، مناسب بودن آنها برای کاربری در شرایط نامناسب زمین‌شناسی و سهولت کار برای اپراتور این دستگاه‌ها است. امروزه برای حفاری‌های تولیدی در معادن برای قطرهای بیشتر از ۱۲۷ و کمتر از ۲۰۰ میلی‌متر از این دستگاه‌ها استفاده می‌شود. عامل محدودکننده در این روش مقدار حجم هوای مورد نیاز برای چکش حفاری است چرا که برای حفاری چالی به قطر حدود ۲۰۰ میلی‌متر نیاز به کمپرسوری به ظرفیت حدود ۳۰ بار است که از حجم زیاد و هزینه زیاد ساخت برخوردار است (Atlas Copco Booklet, 2006). از دیگر مشکلات استفاده از این روش، گران بودن چکش حفاری و احتمال گیرافتادن سرمته در چال و از دست دادن آن در شرایط نامساعد حفاری است.

۱-۴. روش حفاری کوپراد (OPROD)

تا پیش از پیدایش سیستم حفاری کوپراد، حفاری چال‌های بدون انحراف در کوتاه‌ترین زمان و در شرایط نامساعد زمین‌شناسی از رؤیاهای طراحان معادن به شمار می‌آمد. اما امروزه دستگاه‌های حفاری کوپراد بهترین گزینه مناسب برای حفاری چال‌های بدون انحراف در شرایط نامساعد حفاری است. این سیستم حفاری ترکیبی از مزایای هر دو سیستم حفاری چکش داخل چال و چکش خارج چال را دارا است (شکل ۱). در این سیستم حفاری از یک استرینگ (String) و یک راد مرکزی (Rod) برای حفاری استفاده می‌شود که به ترتیب نقش کنترل انحراف چال و افزایش سرعت حفاری را بر عهده دارند. این سیستم حفاری شامل ترکیب رادهای ضربه‌ای و لوله‌های حفاری است به نوعی که وظیفه رادهای ضربه‌ای، انتقال انرژی و نیروی حرکتی، و نقش استرینگ محاطی یا لوله‌ی حفاری انتقال نیروی چرخشی و فلاشینگ (Flushing) چال است (Atlas Copco Booklet, 2006). اجزای اصلی این سیستم حفاری شامل لوله‌های حفاری و رادهای ضربه‌ای است که در ادامه شرح داده می‌شود.

لوله‌های حفاری در سیستم حفاری کوپراد(COPROD): بخش‌های مختلف سیستم کوپراد از روش لوله‌های حفاری به یکدیگر متصل می‌شوند. هنگامی که لوله‌های حفاری تنها نیروی چرخشی را به سیستم اعمال می‌کند، تنش انتقالی به رزوه‌ها به کمترین مقدار کاهش یافته و عمر تعمیرهای آن نیز بسیار طولانی خواهد شد چرا که آثار معمول انتقال انرژی از روش رزوه‌های راد حفاری از بین رفته است و در نتیجه حذف رزوه‌ها در این سیستم، امواج ضربه‌ای با حداقل فرسودگی قطعات منتقل می‌شود. از آنجا که سطح لوله‌ها صیقلی است، فلاشینگ در امتداد کل لوله حفاری به خوبی انجام می‌گیرد و بنابراین احتمال گیر افتادن مجموعه حفاری در چال که از محدودیت‌های روش چکش داخل چال است، در عمل از بین می‌رود.

رادهای ضربه‌ای در سیستم حفاری کوپراد: (COPROD) در داخل استرینگ سیستم حفاری یک راد ضربه‌ای شناور قرار دارد. این رادها فاقد رزوه هستند و این بدین معنا است که امواج ضربه‌ای از چکش حفاری به طور مستقیم بر سرمته وارد می شود، بدون آن که افت انرژی را در هنگام انتقال سبب شود. هر راد ضربه‌ای توسط لقمه‌هایی در داخل استرینگ نگاه داشته می‌شود و انرژی ضربه‌ای را به سرمته منتقل می‌کند.

چکش حفاری در سیستم حفاری کوپراد: (COPROD) ساخت چکش‌های حفاری با قدرت ضربه‌ای زیاد کار خیلی مشکلی نیست بلکه مشکل در نحوه انتقال انرژی ضربه‌ای به سر مته، بدون افزایش قدرت و تشدید میزان فرسایش استرینگ حفاری است. شاید این حرف عجیب به نظر برسد که انتقال دامنه کم امواج ضربه‌ای برای افزایش عمر سیستم و نرخ نفوذپذیری ضروری است. به علاوه به جای دمپینگ امواج ضربه‌ای برگشتی با یک سیستم مجزای دمپینگ، در چکش‌های حفاری هیدرولیک نسل جدید، سیستم‌های دبل دمپینگ "خود تنظیم" نصب شده است. در سیستم کوپراد راندمان انتقال انرژی چکش حفاری نیز افزایش یافته است چرا که انرژی ضربه‌ای از طریق رزوه‌ها منتقل نمی‌شود و در نتیجه میزان افت انرژی متعارف در روش‌های معمول چکش خارج از چال را موجب نمی‌شود. این بدین معنا است که بدون افزایش وزن مفرط وزن دکل و رشته لوله حفاری (String) بتوان از کل قدرت انرژی دستگاه استفاده کرد. چکش‌های هیدرولیک حفاری انرژی ضربه‌ای بیشتری را به راد منتقل می‌کنند و در نتیجه امکان حفاری چال‌های با قطر بزرگ‌تر را فراهم می‌سازند. در چکش‌های حفاری خارج چال، به دلیل حرکات میکروسکوپی بین رزوه‌های راد، مقداری از انرژی چکش حفاری در این میان تلف شده و به صورت افزایش گرما در قطعات مجموعه حفاری بروز می‌کند که این افت انرژی با توجه به زمان و امواج دریافتی ایجاد شده در سرمته مقدار قابل توجهی است. برای چیره شدن بر مشکل انحراف چال در سیستم‌های حفاری چکش خارج چال، سیستم حفاری چکش ته چال با رادهای با قطر خارجی بیشتر و فلاشینگ بهتر ساخته شد که در این سیستم به دلیل نزدیکی راد به دیواره چال و سختی بیشتر آن ، انحراف چال کنترل شده و به کمترین مقدار کاهش می‌یابد (Atlas Copco Booklet, 2006).

بیشتر عملیات حفاری در پله‌های معادن کوچک با دستگاه‌های چکش بالا انجام می‌شود. در این عملیات با استفاده از رادهای اضافی(Extension Rod) متصل به لوله کوپلینگ، و سر مته قابل تعویض که برای حفاری در چال‌های با قطر کم مناسب است، استفاده می‌شود. ولی این سیستم حفاری برای قطرهای بزرگ‌تر یا شرایط تکتونیزه منطقه‌ای از کارایی لازم برخوردار نیست و مشکلات زیادی در انتقال کافی انرژی به سرمته در چال‌های ژرف و همچنین فلاشینگ مناسب چال وجود دارد. در چکش‌های حفاری کوپراد امکان بیشترین انتقال انرژی و عمر کارکرد قطعات مورد توجه قرار گرفته است. در این چکش‌ها سیستم چرخش و رزوه در چکش از ضربه سیستم مستقل است و این کار در عمل عمر چکش را به نحو چشمگیری افزایش داده است. از سوی دیگر به دلیل شناور بودن ضربه‌زن داخلی، انرژی ضربه‌ای به پوسته و بدنه چکش منتقل نمی‌شود و طراحی ویژه سیستم دمپینگ آن مانع از انتقال امواج ضربه‌ای به فید و بوم دستگاه حفاری می‌شود.

۲- اهمیت حفاری چال‌های بدون انحراف

حفاری با دستگاه‌های چکش خارج چال، به عنوان گزینه معمول در کارهای عمرانی مطرح است، هر چند که در معادن انتخاب‌های دیگری نیز وجود دارد، چرا که به طور معمول در معادن از چال‌های با قطر بیشتر از ۵۱ میلی‌متر استفاده می‌شود. روشی که امروزه در کشورهای پیشرفته برای حفاری در شرایط خاص زمین‌شناسی مورد استفاده قرار می‌گیرد روش حفاری کوپراد است. محدودیت‌های روش‌های مرسوم

و مزایای حفاری چال‌های بدون انحراف شامل ابعاد بیشتر فاصله‌داری (Spacing) و بارسنگ (Burden) چال، تعداد چال حفاری کمتر، صرفه جویی در زمان و هزینه‌ها، کاهش مصرف مواد منفجره، توزیع بهتر خرج در چال‌ها، کاهش لرزش زمین، کاهش پرتاب سنگ، قطعات ابعاد سنگ بهتر و کاهش هزینه آتشباری ثانویه، پله‌های صاف‌تر، انبار کردن تعداد کمتری از رادهای حفاری یدکی و کاهش زمان بازیابی راد از داخل چال سبب می‌شود که روش‌های کاراتر حفاری مورد توجه قرار گیرند.

۲-۱. راه‌های پیشگیری از انحراف چال در هنگام عملیات حفاری

انحراف چال با افزایش ژرفا چال رابطه مستقیم دارد و هر چقدر ژرفای چال افزایش یابد میزان انحراف چال نیز افزایش خواهد یافت. انحراف چال در حفاری دلایل مختلفی دارد که می‌توان به استقرار نادرست دستگاه حفاری در هنگام حفاری، انحراف داخل چال ناشی از شرایط نامناسب زمین‌شناسی مانند لایه‌بندی و تغییر ساختار سنگ و در یک راستا قرار نگرفتن دکل و اجزای دستگاه حفاری اشاره کرد. برای حل این مشکل در ابتدا باید نحوه استقرار چکش و هم راستا بودن راد و فید (Feed) دستگاه حفاری بررسی شود، استفاده از گیره نگهدارنده دوگانه برای ثابت نگاه داشتن راد حفاری در نزدیکی یقه چال، استفاده از رادهای با سختی بالاتر بویژه در دستگاه‌های چکش خارج چال و همچنین استفاده از ابزارهای اندازه‌گیری لیزری کنترل راستای چال از دیگر نکات قابل توجه در کنترل انحراف چال حفاری است. استفاده از روش‌های چکش ته‌چال و کوپراد برای کاهش انحراف چال در چال‌های ژرف و در شرایط نامناسب زمین‌شناسی و همچنین استفاده از راد و سر مته حفاری مناسب با نوع سنگ و شرایط حفاری از دیگر راهکارهای کنترل انحراف چال به حساب می‌آید.

اگرچه تأثیر شرایط زمین‌شناسی را در انحراف چال به کلی نمی توان حذف کرد، ولی با انتخاب صحیح و کارشناسانه دستگاه حفاری مناسب و همچنین اجزای حفاری شامل راد و سر مته و همچنین توالی زمانی مناسب تیزکردن سرمته به حداقل مقدار کاهش داد. برای مثال استفاده از سرمته‌های گلوله‌ای و تیز کردن مناسب آنها در بیشتر موارد نسبت به سرمته‌های کروی، انحراف چال کمتری ایجاد می‌کند. مته‌های فرسوده و کند انحراف چال بیشتری را سبب می‌شود. همچنین سرمته‌های مقعر یا فرورفته انحراف چال کمتری در مقایسه با دیگر انواع سرمته‌ها ایجاد می‌کند. انتخاب دیگری که در کاهش انحراف چال وجود دارد استفاده از سرمته‌های با شیار جانبی (Retract bit) است، که در دستگاه‌های چکش خارج چال می‌توان میزان انحراف چال را تا حدود نصف کاهش داد. نمودار ۲ نحوه انتخاب ماشین‌آلات حفاری سطحی را با توجه به نوع کاربری و قطرهای مختلف چال حفاری نشان می‌دهد. همان‌طور که دیده می‌شود، در بالای نمودار نوع سنگ معدن و در زیر آن قطرهای مختلف چال حفاری به همراه نوع، مدل دستگاه و روش حفاری با رنگ‌های صورتی (دستگاه حفاری چرخشی)، سبز (دستگاه حفاری چرخشی و چکش ته‌چال)، زرد (دستگاه حفاری چکش ته چال) و آبی (دستگاه حفاری کوپراد و چکش بالای چال) نشان داده شده است. در جدول ۱ خلاصه‌ای از مزایا و معایب روش‌های مختلف حفاری با یکدیگر مقایسه شده است.

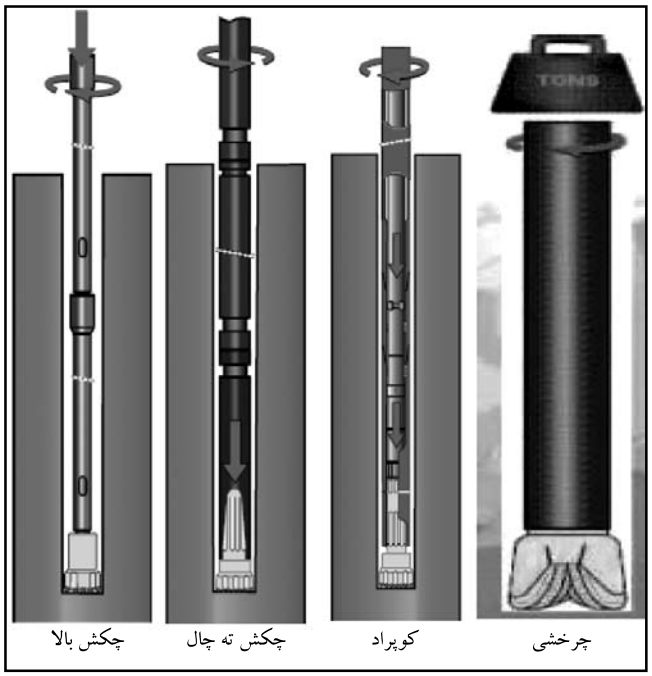
۳- کاربرد دستگاه‌های حفاری کوپراد در معادن ایران

وضعیت زمین‌شناسی در اغلب معادن سطحی کشورمان بسیار خرد و تکتونیزه است که این مهم، شرایط دشواری را برای عملیات حفاری و آتشباری ایجاد می‌کند. همان طور که در این مقاله گفته شد، کنترل انحراف چال و سرعت مناسب عملیات حفاری از نکات مهم بهره‌وری در کار حفاری و آتشباری در معادن به شمار می‌آید که دستیابی به آن در شرایط نامطلوب زمین‌شناسی کاری سخت و دشوار است. در ایران مانند بسیاری از کشورهای دیگر لزوم شناخت و استفاده از روش‌های نوین حفاری در معادن سطحی به شدت احساس می‌شود و این امر با توجه به پتانسیل بالای فعالیت‌های معدنی و طرح‌های توسعه معدنی در ایران از اهمیت بسزایی برخوردار است. شاید به جرأت بتوان گفت که کاربرد استفاده از دستگاه‌های حفاری نوع کوپراد در اغلب معادن فلزی روباز کشورمان نظیر معادن کرمیت، سرب و روی و آهن که پراکندگی عمده آنها در استان‌های کرمان، یزد و اصفهان است با توجه به ژنز ساختاری این معادن و نوع ماده معدنی و کانی‌های همراه آن در سنگ میزبان، بسیار مفید خواهد بود. استفاده از این روش حفاری در معدن سیلینجاروی که بزرگ‌ترین معدن روباز در کشور فنلاند است، سالانه در حدود ۱۱ میلیون تن سنگ آپاتیت (Apatite) از این معدن استخراج می‌شود و بهره‌برداری از این معدن از سال ۱۹۷۹ میلادی آغاز شده است و هم اکنون ابعاد آن عبارتند از: طول ۳ کیلومتر، عرض ۶۰۰ متر و ژرفای ۱۳۰ متر. این معدن با عیار ۱۰ درصد دارای کمترین مقدار عیار آپاتیت در معادن جهان است لذا استخراج معدن یاد شده تنها زمانی ارزش اقتصادی می‌یابد که بیشترین بازده تولیدی در عملیات حفاری و آتشباری مورد توجه اصلی قرار گیرد. چال‌های آتشباری در این معدن با ژرفای ۱۵/۵ متر و ارتفاع پله ۱۴ متر استخراج می‌شود و شرایط سنگی متفاوت و نامطلوب (از بعد حفاری) از مهم‌ترین مسائلی بودند که برای استخراج این معدن اهمیت داشت. در این راستا و با توجه به شرایط دشوار حفاری، انتخاب چال‌های با ژرفای زیاد و ایجاد کمترین میزان انحراف چال در الگوی حفاری برای افزایش راندمان استخراجی، بسیار اهمیت داشت. لازم به ذکر است که ماهیت طبیعی سنگ معدن یادشده (آپاتیت) و دیاباز (Dyabaz) که به صورت رگه‌ای تشکیل شده است خود مشکلات حفاری را دو چندان می‌نمود. لذا، دستگاه‌های مختلف حفاری در معدن سلینجاروی مورد آزمایش قرار گرفت و در نهایت دستگاه حفاری کوپراد مدل ROC L740CR به عنوان دستگاه حفاری مناسب انتخاب شد. در طرح اجرایی این معدن در سال ۲۰۰۷ میلادی با به کارگیری تنها ۳ دستگاه حفاری کوپراد مدل ROC L740CR که توانایی حفاری چال‌هایی با بیشترین قطر ۱۸۰ میلی‌متر را دارا است، میزان ۲۶۰/۰۰۰ متر حفاری برابر با ۴/۳۰۰/۰۰۰ متر مکعب سنگ استخراج خواهد شد که این مقدار تنها با دو شیفت و ۵ روز فعال کاری در هفته قابل دستیابی است (Atlas Copco Booklet, 2006). بنابراین لزوم توجه به روش‌های کارآتر حفاری و دستیابی به روش‌های نوین حفاری در جهان گامی مؤثر در اهداف توسعه معدنی در کشور خواهد بود.

۴- نتیجه‌گیری

آمار ثابت کرده است که دستگاه‌های حفاری کوپراد بر خلاف هزینه اولیه سرمایه‌گذاری بالاتر نسبت به سایر دستگاه‌های حفاری، در مجموع از بهره‌وری و صرفه اقتصادی بالاتری برخوردار هستند و به طور قطع می‌توان گفت در برخی شرایط زمین‌شناسی تنها راه حل حفاری مناسب استفاده از این روش حفاری است. نرخ نفوذپذیری بهتر دستگاه‌های حفاری کوپراد، هزینه کمتر حفاری را نسبت به سایر دستگاه‌های حفاری ایجاد می‌کند و در مقایسه با سیستم‌های حفاری چکش ته چال و چکش بالا (با راد حفاری اضافی در این سیستم)، در مجموع از نفوذپذیری و کیفیت چال بهتر و هزینه کمتری در تشکیلات سخت زمین‌شناسی برخوردار است. سرعت حفاری و امکان حفاری چال‌های بدون انحراف در شرایط سخت حفاری از مشخصات ویژه دستگاه‌های حفاری کوپراد و از مزیت‌های قابل توجه این سیستم است. از دید اقتصادی، به دلیل تعدد اجزای سیستم حفاری کوپراد، مجموعه راد حفاری از قیمت بالاتری به نسبت سایر رادها در سیستم چکش داخل چال و چکش بالا برخوردار است، ولی با این وجود به دلیل سرعت نفوذپذیری و دقت حفاری در شرایط سنگی نامساعد زمین‌شناسی و در نتیجه امکان حفاری چال‌هایی با ابعاد

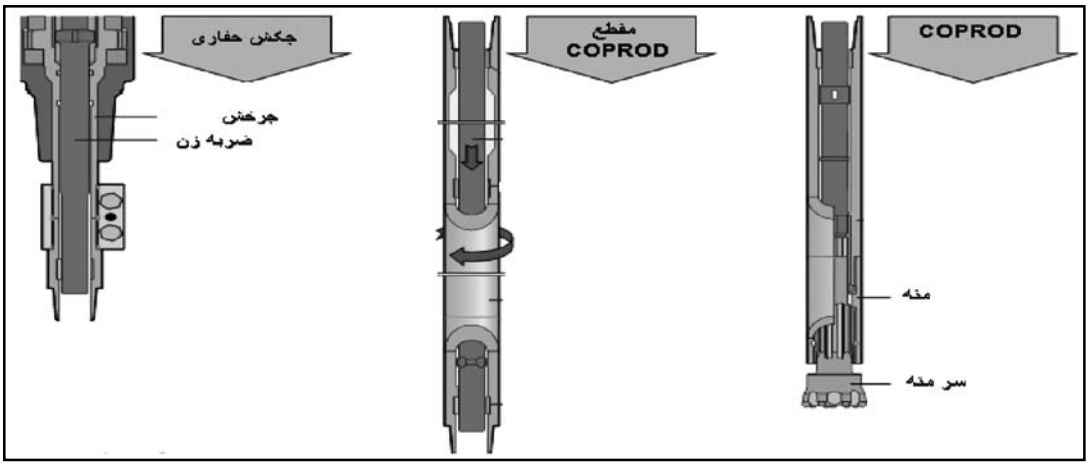
بزرگتر فاصله‌داری(Spacing) و بارسنگ (Burden)، میزان تناژ استخراجی توسط این دستگاه‌ها هزینه کمتری نسبت به سایر دستگاه‌های حفاری دارد. بدیهی است که آشنایی کارشناسان و متولیان بخش معدن کشور با قابلیت‌های دستگاه‌های حفاری مدرن، امکان استفاده از این ماشین آلات در معادن کشور فراهم می‌نماید. بدون شک تعامل بیشتر مهندسان و کارشناسان اجرایی معادن با شرکت‌های پیشرو در روش‌های نوین حفاری در جهان و استفاده از ماشین آلات حفاری جدید مانند کوپراد می‌تواند به کاربری بیشتر نیروی متخصص در معادن از یک سو و افزایش بهره‌وری تولید از سوی دیگر بیانجامد.



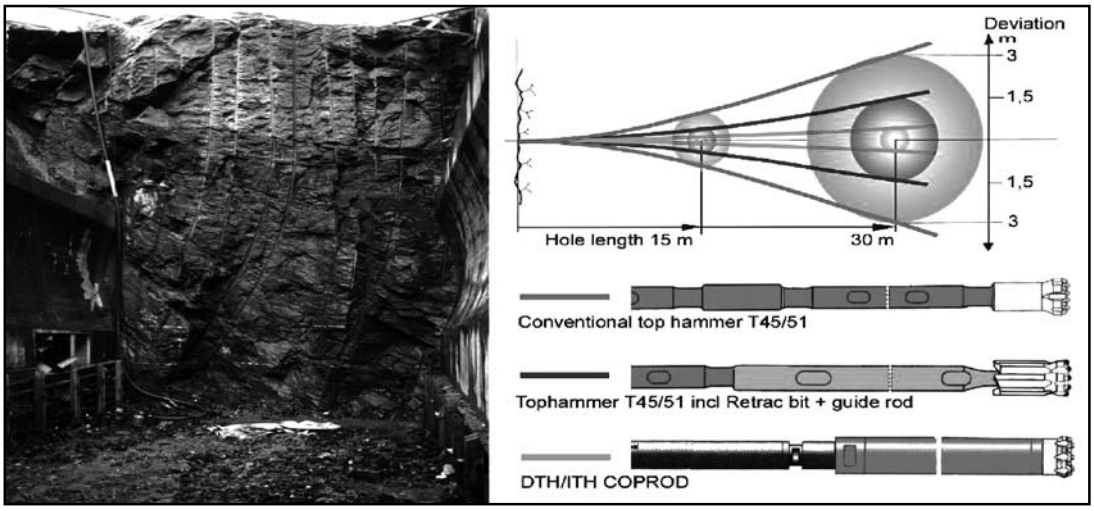
شکل ۱- روش‌های مختلف حفاری چال‌های آتشباری در معادن روباز و نحوه اعمال نیرو در هر روش (Adhikari, 2001)

جدول ۱- مقایسه کلی مزایا و معایب روش‌های مختلف حفاری در معادن روباز

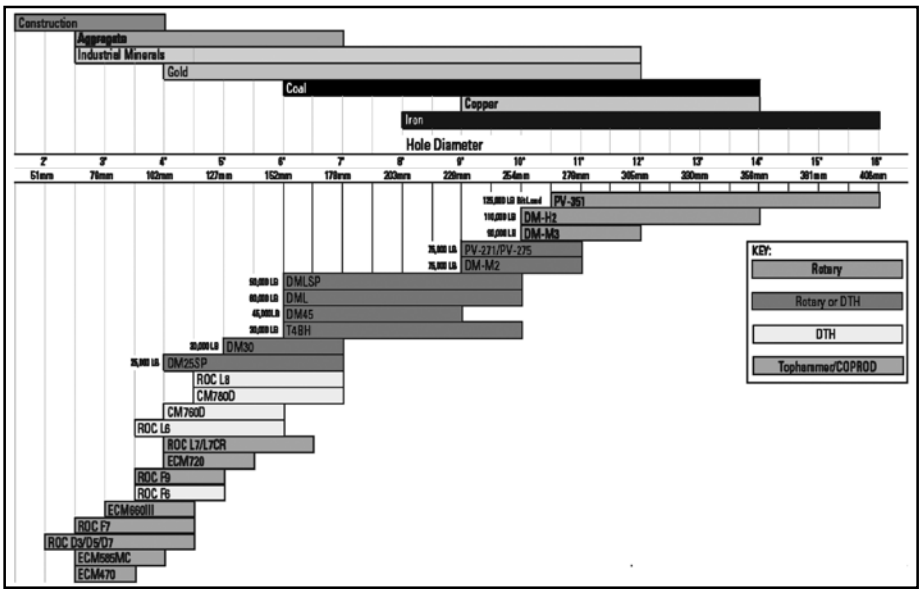
روش حفاری	چکش بالا (Tophammer)	چکش ته چال (D.T.H)	کوپراد (COPROD)	چرخشی (Rotary)
قطر حفاری مناسب (میلی‌متر)	< ۱۲۷	۱۲۷ تا ۲۰۰	۱۲۷ تا ۱۸۰	< ۲۳۰
نرخ نفوذپذیری	خوب	معمولی	خیلی خوب	معمولی
میزان انحراف چال	زیاد	خیلی کم	کم	کم
ظرفیت تولید (تن در شیفت)	خوب	معمولی	خیلی خوب	خیلی خوب
مصرف سوخت (لیتر برمتراژ حفاری)	کم	متوسط	کم	متوسط
عمر اقتصادی راد حفاری	معمولی	خوب	خیلی خوب	خوب
هزینه کم سرمایه گذاری راد حفاری	خیلی خوب	خوب	معمولی	خوب
مناسب برای شرایط زمینی سخت حفاری	معمولی	خوب	خیلی خوب	خوب
مناسب برای شرایط زمینی خوب حفاری	خیلی خوب	خوب	خوب	خوب
سادگی کار برای اپراتور	خوب	خیلی خوب	معمولی	خوب
قابلیت فلاشینگ	معمولی	خوب	خیلی خوب	خیلی خوب



شکل ۲- شکل اجزای سیستم حفاری کوپراد شامل مجموعه استرینگ، راد، ضربه زن و سرمته (Atlas Copco Booklet, 2006)



نمودار ۱-مقایسه انحراف چال در روش های مختلف حفاری (خطوط سرخ رنگ در تصویر نشانگر لایه‌بندی زمین شناسی است (Atlas Copco Booklet, 2006).



نمودار ۲- دستگاه‌های حفاری تولیدی معادن سطحی با توجه به قطر چال حفاری و روش حفاری (Atlas Copco Booklet, 2006)

References

Adhikari, G. R., 2001- Blast Design Methodology for Surface Mines,
Atlas Copco Booklet, 2006- Surface Drilling in Open Pit Mining, First edition
Atlas Copco Booklet, 2006- Surface Drilling in Quarry and Construction, Third edition
Hartman, H. L. and Mutmansky J. M., 2002- "Introductory Mining Engineering", John WileyYond Sons, New York,
Jimena, Carlas, Lopez, Taylor & Fancis, 1995- "Drilling & Blasting of Rocks", USA

Introduction of the new (COPROD) Drilling Method and its' Comparison with other Conventional Production Drilling in Surface Mines, with the Investigation of its Applicability in Iran Mines.

M. G. Ayat [1] & A. Mansuri [2]

[1] Ministry of Industries and Mines, Tehran, Iran

[2] The Research and Training Center for Occupational safety and Health Ministry of Labor and Social Affairs, Tehran, Iran

Received: 2008 February 18 Accepted: 2008 October 21

Abstract

Drilling is considered to be an inseparable part of the mine extraction operations, and so far a more appropriate method has not been substituted for these operations. There are different drilling methods which can be used in surface mining such as Rotary, Top hammer, Down the hole, and Coprod. The new drilling method that is used nowadays in surface mining in the developed countries is the Coprod. This method has been designed for drilling under hard geological conditions in surface mines, and innovation of this drilling is to overcome the drilling difficulties under the special geological conditions. In this article, by introducing the new Coprod drilling method and evaluation of its advantages and disadvantages from the technical and economical point of view compared to other conventional drilling methods, the possibility of its application in the dislocated surface mines of the country has been investigated. In addition, selection method of the appropriate mining machineries with consideration of their application in the surface mines of the country has been thoroughly studied.

Keywords: Drilling method, Coprod, Rotary Drilling, Top hammer, Down the hole, Geological conditions

For Persian Version see pages 143 to 148

* Corresponding author: M.G.Ayat; E_mail: ayat_mg@yahoo.com