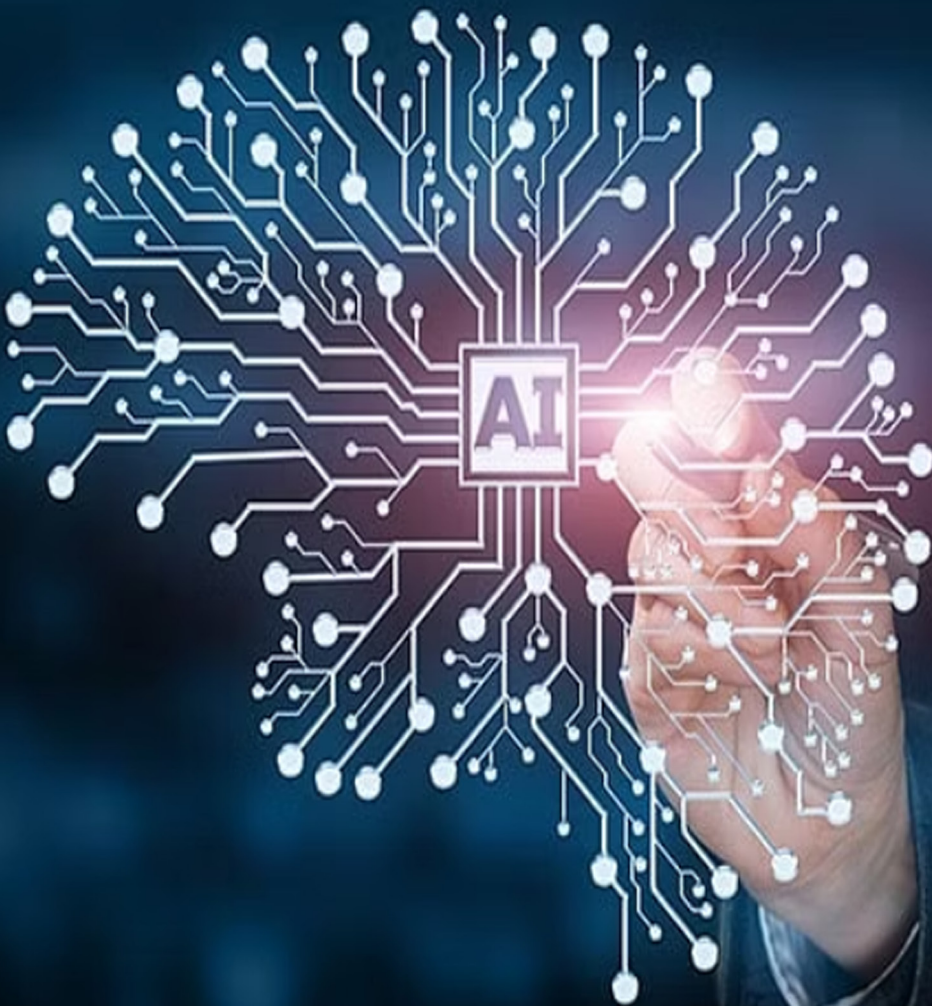


روشن سیستم‌ها ماہنامہ

شماره ۱۱۶ - خرداد ۱۴۰۵

شرکت گسترش و نو سازی معادن خاورمیانه



فهرست مطالب

۴-۷	درس آموخته ها و تجربیات اجرای اورهال کوره دابل شفت در کارخانه آهک و دولومیت ممرادکو
۸-۹	طراحی و پیاده سازی فرایند کاربردی، جهت دریافت کالاهای داغی توسط انبار در میداری
۱۰-۱۲	حفاظت رله ها و منحنی های حفاظتی در سیستم های قدرت
۱۳	کاهش خرابی شوت سه راهی با استفاده از استون بکس در ورودی مخازن خوراک کوره ها
۱۴-۱۵	بررسی سینتیک تجزیه سنگ آهک و عوامل مؤثر بر کلسیناسیون در کوره های دبل شفت
۱۶-۱۷	توسعه مدیریت در سازمان
۱۸-۲۱	استفاده از فن آوری های پیشرفته در بهبود کیفیت کنسانتره های زغال سنگ
۲۲-۲۳	بررسی عملکرد فلوتاسیون مکانیکی در فرآوری زغال سنگ ریزدانه و عوامل مؤثر بر راندمان آن
۲۴-۲۶	روش های نوین استخراج معادن زغال سنگ
۲۷	مواد منفجره جهت آتشباری معادن آمولایت چیست؟
۲۸-۲۹	روش استخراج زیرزمینی جبهه کار بلند (Long Wall Mining)
۳۰-۳۲	اهمیت و نقش مدیر معدن
۳۳-۳۴	کاربرد فناوری های نو ظهور در اکتشاف هوشمند مواد معدنی ایران
۳۵-۳۶	تحلیل ساختاری بازار مس در سال ۲۰۲۶
۳۷-۳۹	کاربرد فناوری های هوشمند، اینترنت اشیا و انرژی های تجدید پذیر در مدیریت پایدار
۴۰	اخبار

ماهانامه سیستم ها و روش ها شماره ۱۱۶ شرکت گسترش و نوسازی معادن خاورمیانه (ممرادکو)

دبیر اجرایی: معصومه قطب الدینی

همکاران این شماره:

ستاد تهران - مجتمع آهک و دولومیت - مجتمع زغالسنگ طبس،

مجتمع مس چاه موسی

شماره تماس: ۸۸۵۷۳۸۷۴ (۲۱) ۹۸+

نشانی: تهران - شهرک غرب - تقاطع بلوار خوردین و خیابان ایران زمین شمالی -

ساختمان های دوبرال - برج آرمینه - طبقه اول - واحد ۱۰۳

<http://www.memradco.midhco.com>

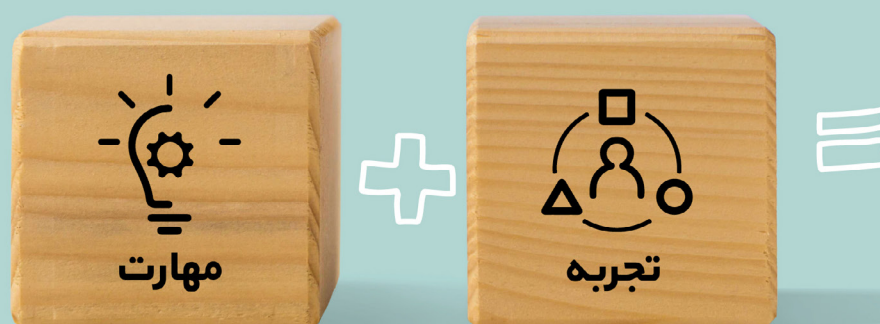
<http://instagram.com/memradco.midhco>



فریلنسرتو!

با میدلنسر

پروژه های داخلی میدکو در هر تخصصی منتظر شماست
اینجا جایی است که توانمندی های شما
به درآمد و تجربه تبدیل می شود



این پلتفرم فرصتی است برای

استفاده از توانمندی های تخصصی

انجام پروژه های داخلی

دید شده شدن تخصص در میدکو

کسب درآمد جانبی



www.midlancer.ir

درس آموخته ها و تجربیات اجرای اورهال کوره دابل شفت در کارخانه آهک و دولومیت ممرادکو

■ مهدی شهیدی پوراکیبری - رئیس بخش نگهداری و تعمیرات مجتمع تولید آهک و دولومیت (ممرادکو)



تجهیزات، تحلیل ریسک‌های فنی و عملیاتی و تصمیم‌گیری در خصوص ضرورت اجرای عملیات اورهال بود.

با توجه به محدودیت‌ها و قطعی‌های گاز در سال ۱۴۰۳، این شرایط به‌عنوان فرصتی مناسب برای انجام تعمیرات اساسی در نظر گرفته شد و اجرای عملیات اورهال کوره B در دستور کار قرار گرفت.

در همین راستا، محدوده اورهال شامل تجهیزات مکانیکی، الکتریکی، ابزار دقیق، بخش‌هایی از سازه و تجهیزات جانبی کوره تعیین و تعریف گردید.

در گام نخست، تیم تخصصی اورهال متشکل از کارشناسان و متخصصان حوزه‌های مکانیک، برق و ابزار دقیق تشکیل شد. این تیم با انجام بازدیدهای میدانی، بررسی سوابق بهره‌برداری، تحلیل گزارش‌های تعمیراتی گذشته و انجام بازرسی‌های فنی از تجهیزات، نقاط بحرانی را شناسایی و فهرست طبقه‌بندی‌شده‌ای از فعالیت‌های مورد نیاز در محدوده اورهال تهیه نمود.

نتیجه این فرایند، تدوین برنامه‌ای جامع شامل فعالیت‌های اصلی تعمیراتی، اصلاحات فنی مورد نیاز و اقدامات پیشگیرانه با هدف بهبود قابلیت اطمینان تجهیزات بود.

در ادامه، پیش‌نیازهای اجرایی هر فعالیت مورد بررسی و برنامه‌ریزی قرار گرفت. این پیش‌نیازها شامل تأمین قطعات یدکی و اقلام مصرفی، برنامه‌ریزی و تخصیص نیروی انسانی متخصص، تأمین تجهیزات و ماشین‌آلات مورد نیاز از جمله جرثقیل‌ها و تجهیزات بالابری، اجرای داربست‌بندی و تخته‌ریزی در نقاط مورد نیاز و فراهم‌سازی شرایط ایمن

با توجه به نقش حیاتی کوره‌های دابل‌شفت در فرآیند تولید آهک و تأثیر مستقیم عملکرد آن‌ها بر کیفیت و کمیت محصول نهایی، انجام اورهال دوره‌ای این تجهیزات امری ضروری و اجتناب‌ناپذیر است. اورهال با هدف حفظ و ارتقای راندمان حرارتی، افزایش قابلیت اطمینان تجهیزات، بهبود کیفیت آهک تولیدی، کاهش مصرف انرژی و افزایش پایداری فرآیند تولید انجام می‌شود. اجرای صحیح تعمیرات اساسی، علاوه بر کاهش هزینه‌های عملیاتی، موجب افزایش طول عمر مفید کوره و تجهیزات وابسته، جلوگیری از توقفات ناگهانی و کاهش ریسک‌های ایمنی و عملیاتی خواهد شد.

اورهال به‌عنوان یک اقدام پیشگیرانه و اصلاحی، با شناسایی و رفع عیوب فنی، تعویض قطعات فرسوده، بهبود وضعیت تجهیزات کنترلی و کاهش آلایندگی، نقش مهمی در استمرار تولید ایمن و پایدار ایفا می‌کند.

از سوی دیگر، ثبت دقیق و جامع تجربیات حاصل از اولین اورهال کوره‌های دابل‌شفت آهک و دولومیت از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. این فرایند، به دلیل پیچیدگی فنی و حساسیت عملیاتی، شامل مراحل متعددی است که هرگونه خطا یا کم‌کاری در اجرای آن می‌تواند منجر به بروز مشکلات جدی، توقفات مکرر و تحمیل هزینه‌های سنگین شود.

مستندسازی این تجربیات می‌تواند به‌عنوان یک منبع ارزشمند برای بهبود فرآیندهای آتی اورهال، آموزش پرسنل، پیشگیری از تکرار خطاهای گذشته و ارتقای سطح آمادگی سازمان مورد استفاده قرار گیرد. اطلاعات ثبت‌شده در زمینه چالش‌ها، راهکارها، زمان‌بندی، هزینه‌ها، نقاط قوت و ضعف تجهیزات و عملکرد تیم‌های اجرایی، در اورهال‌های بعدی موجب کاهش زمان توقف، افزایش ایمنی، بهبود کیفیت تعمیرات و بهینه‌سازی فرآیند تولید خواهد شد.

مراحل انجام عملیات اورهال کوره دابل‌شفت کارخانه آهک و دولومیت به شرح زیر انجام گردید.

۱. برنامه‌ریزی و آمادگی

در سال ۱۴۰۲ و پس از گذشت حدود پنج سال از راه‌اندازی کوره B، به منظور پایش وضعیت عملکردی تجهیزات و ارزیابی نیاز به انجام تعمیرات اساسی، به دستور مدیریت مجتمع، کمیته اورهال کوره تشکیل گردید. مأموریت اصلی این کمیته، بررسی شرایط بهره‌برداری کوره، ارزیابی میزان استهلاک



۲-۳. دراورها

دراورها از اجزای کلیدی کوره‌های دابل‌شفت محسوب می‌شوند و وظیفه تخلیه آهک پخته‌شده از کوره را بر عهده دارند. عملکرد صحیح این بخش برای جلوگیری از گرفتگی، حفظ راندمان کوره و تضمین کیفیت محصول نهایی ضروری است.

در زمان اورهال، صفحات اصلی دراورها از نظر ترک‌خوردگی، تغییر شکل و تاب‌برداشتگی بررسی شدند. همچنین وضعیت جوش‌ها، چرخ‌ها، استوپرها، سازه‌های داخلی، سیلندرها، خطوط هیدرولیک یا پنوماتیک، بین‌ها، اتصالات و سیستم‌های آب‌بندی مورد بازرسی قرار گرفت.

در بخش برق و ابزار دقیق نیز صحت عملکرد سنسورهای موقعیت، پراکسی‌ها و بوبین‌های فرمان شیرهای هیدرولیک بررسی گردید.

۲-۴. سیستم دمنده‌ها

دمنده‌ها یا بلورها نقش بسیار مهمی در تأمین هوای مورد نیاز فرآیند احتراق و کنترل جریان گازهای کوره دارند. عملکرد پایدار این تجهیزات مستقیماً بر راندمان احتراق، توزیع حرارت، کیفیت آهک تولیدی و مصرف انرژی تأثیرگذار است.

در فرآیند اورهال، پوسته بلوورها، پولی‌ها، کاورها، تسمه‌ها، فیلترهای هوا، لوزه‌گیرها،

خوردگی، تغییر شکل، نشتی، آسیب‌های ظاهری و آثار ناشی از ریزش یا تغییر شکل آجرهای نسوز مورد بررسی قرار گرفت.

۲-۲. سیستم هیدرولیک کوره

سیستم هیدرولیک یکی از بخش‌های حیاتی کوره‌های دابل‌شفت آهک است و وظیفه تأمین نیروی لازم برای عملکرد جک‌ها، ولوها، لول‌مترها، مکانیزم‌های تغذیه و سایر عملگرهای کنترلی را بر عهده دارد. دقت و پایداری عملکرد این سیستم تأثیر مستقیمی بر یکنواختی پخت، بهره‌وری کوره و کیفیت محصول نهایی دارد.



هرگونه اختلال در عملکرد سیستم هیدرولیک می‌تواند موجب توقف فرآیند، کاهش کیفیت آهک، افزایش مصرف انرژی و تحمیل هزینه‌های تعمیراتی شود. از این‌رو، در زمان اورهال، بازدید و سرویس کامل این سیستم در دستور کار قرار گرفت.

در بخش مکانیک، مخزن روغن، کیفیت و سطح روغن، فیلترها، پمپ‌های هیدرولیک، شیرهای کنترلی، سیلندرها، جک‌ها، لوله‌ها، اتصالات، فلکسیبل‌ها، ساپورت‌ها و سیستم خنک‌کننده مورد بررسی قرار گرفتند.

در بخش برق و ابزار دقیق نیز وضعیت کابل‌ها، سرکابل‌ها، اتصالات، الکتروموتورها، تخته کلم، کنتاکتورها، رله‌ها، کلیدهای حفاظتی، شینه‌ها و ترمینال‌های تابلوهای مرتبط بررسی و سرویس شد.



اتصالات لاستیکی، وضعیت روانکاری، سطح و کیفیت روغن، سایدگلاس‌ها، دما، فشار، صدا و ارتعاش تجهیزات بررسی گردید.

همچنین در بخش برق و ابزار دقیق، سلامت الکتروموتورها، وضعیت تخته کلم، اتصالات، کنتاکتورها، رله‌ها، کلیدهای حفاظتی، سافت‌استارترها و درایوهای مرتبط مورد ارزیابی قرار گرفت.

۲-۵. سیستم احتراق و اسکید گاز

سیستم احتراق شامل لنس‌ها، وارم‌آپ برنرها و اسکید گاز، یکی از حساس‌ترین بخش‌های کوره است. اسکید گاز وظیفه تنظیم، کنترل و توزیع گاز سوختی مورد نیاز لنس‌ها را بر عهده دارد و معمولاً شامل فیلترها، رگولاتورها، شیرهای کنترلی، فلو‌مترها، سنسورهای فشار و دما و تجهیزات ایمنی است.



در زمان اورهال، بدنه و اتصالات اسکید گاز از نظر خوردگی، ترک‌خوردگی، آسیب‌دیدگی و نشتی بررسی شد. همچنین وضعیت فیلترها، رگولاتورها، شیرهای کنترلی، فلو‌مترها و سایر تجهیزات مورد ارزیابی قرار گرفت.

همچنین از کلیه لنس‌ها بازدید انجام و لنس‌هایی که دچار خوردگی شده بودند تعویض گردید. تست نشتی با استفاده از محلول کف صابون انجام شد و عملکرد فیلترها، رگولاتورها، شیرهای کنترلی و ولوهای ایمنی بررسی گردید. در بخش برق و ابزار دقیق نیز مسیر گاز ایمن‌سازی شده و کابل‌ها، تجهیزات ابزار دقیق، ولو ورودی گاز، ولوهای تخلیه گاز و مدارهای کنترلی مورد بررسی قرار گرفتند.

۲-۶. سیستم انتقال مواد به کوره

اسکیپ یا بالابر اسکیپ یکی از اجزای اصلی سیستم تغذیه کوره‌های دابل‌شفت آهک



است. وظیفه اصلی این تجهیز، انتقال مواد اولیه از سطح پایین به بالای کوره جهت شارژ آن است. عملکرد ایمن و قابل اعتماد اسکپ تاثیر مستقیمی بر پایداری تغذیه کوره و ظرفیت تولید دارد.

در زمان اورهال، باکت اسکپ، سیم‌بکسل‌ها، چرخ‌ها، موتور، گیربکس، یاتاقان‌ها، سازه فلزی، ریل‌ها، سیستم بارگیری، ترمزها و سیستم روانکاری مورد بازرسی قرار گرفتند. در بخش برق و ابزار دقیق نیز تابلو تغذیه اصلی ایمن‌سازی شد و کابل‌ها، سرکابل‌ها، اتصالات، الکتروموتور اصلی، ترمزها، تخته کلم، کنتاکتورها، رله‌ها، کلیدهای حفاظتی و درایوهای کنترلی مورد بررسی قرار گرفتند.

۲-۷. سیستم غبارگیرها

سیستم غبارگیر یا بگ‌فیلتر نقش مهمی در کنترل آلایندگی، حفظ شرایط زیست‌محیطی و جلوگیری از انتشار ذرات معلق دارد. در زمان اورهال، بدنه، کانال‌ها، قیف تخلیه غبار، فن مکند، فشار منفی سیستم، کیسه‌ها، کیچ‌ها، ونتوری‌ها، سیستم پالس‌جت، اسکروکانوایر و روتاری‌ولو مورد بررسی قرار گرفتند.



در بخش برق و ابزار دقیق نیز تغذیه برق فن مکند و تابلوهای محلی ایمن‌سازی شد. سپس وضعیت کابل‌های قدرت و سیگنال، سیستم ارت، الکتروموتور فن، کنتاکتورها، رله‌های حفاظتی، فیوزها و اینورتر یا VFD فن

بررسی گردید.

۳. آماده‌سازی کوره برای اورهال

پس از برگزاری جلسات کمیته اورهال در کارخانه و انجام هماهنگی‌های لازم برای آغاز عملیات تعمیرات اساسی کوره B، تاریخ ۱۴۰۳/۰۹/۲۰ به‌عنوان زمان توقف و خاموشی کوره تعیین و اعلام گردید. در این تاریخ، فرایند تولید متوقف شده و عملیات خاموش کردن کوره مطابق با دستورالعمل‌های فنی شرکت Cimprogetti آغاز شد.

فرایند خاموش‌سازی کوره با هدف جلوگیری از ایجاد تنش‌های حرارتی در آجرهای نسوز و تجهیزات داخلی، به‌صورت کنترل‌شده و تدریجی انجام گرفت. این عملیات طی مدت هشت روز و با نظارت و اجرای پرسنل واحد تولید انجام شد و در نهایت در تاریخ ۱۴۰۳/۰۹/۲۸ کوره به‌طور کامل از مواد تخلیه گردید.

پس از اتمام فرایند تخلیه مواد، اقدامات ایمن‌سازی کوره در دستور کار قرار گرفت. در این مرحله، کوره به‌طور کامل از منابع انرژی ایزوله شد که شامل قطع جریان برق تجهیزات مرتبط، مسدودسازی خطوط گاز و اجرای الزامات ایمنی مرتبط با سیستم‌های انرژی بود.

سپس دریچه‌های ورودی و دسترسی کوره باز شد تا فرایند خنک‌شدن طبیعی کوره آغاز گردد و دمای داخلی به محدوده ایمن برای ورود پرسنل تعمیراتی برسد.

پس از رسیدن دمای داخلی به شرایط قابل قبول، بازدید اولیه از وضعیت آسترهای نسوز و اجزای داخلی کوره انجام شد. در ادامه، به منظور فراهم‌سازی دسترسی ایمن به بخش‌های مختلف داخلی کوره برای انجام بازرسی‌های دقیق‌تر و اجرای عملیات تعمیراتی، داربست‌بندی داخلی کوره انجام گرفت.

این داربست‌بندی امکان دسترسی مناسب به

تمامی نقاط مورد نیاز جهت انجام بازرسی‌های چشمی، ارزیابی وضعیت نسوزها و اجرای تعمیرات پیش‌بینی‌شده در برنامه اورهال را فراهم نمود.

۴. اجرای عملیات تعمیرات

عملیات تعمیرات و نگهداری بر اساس برنامه‌ریزی انجام‌شده و مطابق با برنامه زمان‌بندی مدون تهیه‌شده اجرا گردید. در این مرحله، کلیه فعالیت‌های تعمیراتی با در نظر گرفتن اولویت‌های تعیین‌شده، الزامات ایمنی، محدودیت‌های زمانی و هماهنگی بین واحدهای مختلف عملیاتی انجام شد. اجرای دقیق این برنامه نقش مهمی در مدیریت زمان توقف کوره، استفاده بهینه از منابع انسانی و تجهیزات، کاهش ریسک‌های اجرایی و اطمینان از انجام کامل فعالیت‌های پیش‌بینی‌شده در فرایند اورهال داشت. فعالیت‌های اجرایی اورهال شامل اقدامات مکانیکی، برقی، ابزار دقیق، اصلاحات سازه‌ای، سرویس تجهیزات جانبی، تعویض قطعات فرسوده، رفع نشتی‌ها، اصلاح مسیرها، بازرسی تجهیزات دوار، سرویس تابلوها، کالیبراسیون تجهیزات ابزاردقیق و آماده‌سازی سیستم‌ها برای تست‌های عملکردی بود.

با توجه به حجم بالای فعالیت‌ها، فهرست کامل عملیات تعمیراتی شامل ناحیه، نام تجهیز، شرح فعالیت، اولویت و نفر-ساعت مورد نیاز، در قالب جدول برنامه اجرایی اورهال تهیه و ثبت گردید.

این جدول به‌عنوان یکی از مستندات اصلی پروژه، مبنای کنترل پیشرفت، تخصیص منابع، پایش زمان‌بندی و ارزیابی عملکرد تیم‌های اجرایی قرار گرفت.

بر اساس برنامه تدوین‌شده، مجموع فعالیت‌های اورهال در نواحی اصلی شامل کوره، فید، بلور روم، غبارگیرها، اسکپ، سیستم احتراق، MCC، PCC، حمل مواد و تجهیزات ابزار دقیق تعریف شد. این

ردیف	ناحیه	نام تجهیزات	شرح فعالیت	اولویت	نفر ساعت	شیفت کاری	تاریخ شروع	تاریخ پایان	تأخیر (روز)	مدت زمان (روز)	واحد	نیاز به داربست	نیاز به جرثقیل	تاریخ اتمام	درصد پیشرفت:
۱	کوره	تاپ هابر	تعویض رولیک های تاپ هابر	۲	۶	c	۱۴۰۳/۱۱/۴	۱۴۰۳/۱۱/۴	۷	۱	مکانیک	ندارد	ندارد	۱۴۰۳/۱۱/۱۱	۹۹.۸٪
۲	کوره	کلیه جک ها	تعویض گریس کلیه تجهیزات شامل ولوها و جک های ناحیه کوره و گریس کاری مجدد آنها	۱	۵۰	a	۱۴۰۳/۱۱/۸	۱۴۰۳/۱۱/۹	۷	۲	مکانیک	ندارد	ندارد	۱۴۰۳/۱۱/۰۷	۰.۸٪
۳	کوره	کلیه ولو ها	بررسی کلیه ولوهای کوره به لحاظ پایپینگ گریسکاری داخلی	۱	۵۰	a	۱۴۰۳/۱۱/۲۰	۱۴۰۳/۱۱/۲۰	۷	۱	مکانیک	ندارد	ندارد	۱۴۰۳/۱۱/۱۹	۰.۴٪
۴	کوره	کلیه ولو ها	تعویض کلیه گریس خورهای ولوهای کوره و اطمینان از گریس کاری	۱	۲۴	a	۱۴۰۳/۱۱/۱۱	۱۴۰۳/۱۱/۱۱	۷	۱	مکانیک	ندارد	ندارد	۱۴۰۳/۱۱/۱۶	۰.۴٪
۵	کوره	تاپ هابر	بررسی نشتی ولو های باس و رفع آن	۱	۳۰	d	۱۴۰۳/۱۱/۱۱	۱۴۰۳/۱۱/۱۱	-	-	مکانیک	ندارد	دارد	۱۴۰۳/۱۱/۱۹	۰.۰٪
۶	کوره	تاپ هابر	بررسی لاینرهای داخلی مخزن ST و در صورت نیاز تعویض	۱	۵۰	a	۱۴۰۳/۱۱/۰۹	۱۴۰۳/۱۱/۰۹	۷	۳	مکانیک	ندارد	دارد	۱۴۰۳/۱۱/۰۳	۱.۳٪
۷	کوره	تاپ هابر	بررسی لاینرهای داخلی شونهای بالای کوره و در صورت نیاز تعویض	۱	۵۰	a	۱۴۰۳/۱۱/۰۳	۱۴۰۳/۱۱/۰۳	۷	۲	مکانیک	ندارد	ندارد	۱۴۰۳/۱۱/۰۳	۰.۹٪
۸	کوره	تاپ هابر	بررسی لاینرهای داخلی تاپ هابر کوره و در صورت نیاز تعویض	۲	۴۰	a	۱۴۰۳/۱۱/۰۹	۱۴۰۳/۱۱/۰۸	۷	۲	مکانیک	ندارد	ندارد	۱۴۰۳/۱۱/۰۵	۰.۸٪
۹	کوره	کلیه ولو ها	تعویض گسکت سیلیکونی ذوزنقه ای کلیه ولوها	۱	۸۰	c	۱۴۰۳/۱۱/۲۰	۱۴۰۳/۱۱/۲۰	۷	۴	مکانیک	ندارد	ندارد	۱۴۰۳/۱۱/۲۹	۱.۵٪
۱۰	کوره	کلوزر	بررسی علت گرفتگی مواد در کلوزر ولوها و رفع آن (دفتر فنی)	۱	۴۰	e	۱۴۰۳/۱۱/۱۱	۱۴۰۳/۱۱/۱۱	۷	۲	مکانیک	ندارد	ندارد	۱۴۰۳/۱۱/۰۷	۰.۸٪
۱۱	کوره	کلیه لوله ها	اجازگسی کلیه بست های پایپینگ هیدرولیک	۱	۳۲	d	۱۴۰۳/۱۱/۰۹	۱۴۰۳/۱۱/۰۹	۷	۱	مکانیک	ندارد	ندارد	۱۴۰۳/۱۱/۰۱	۰.۴٪
۱۲	کوره	لس	بازرسی کاور لس ها و در صورت نیاز تعویض کاور	۱	۶۰	d	۱۴۰۳/۱۱/۱۱	۱۴۰۳/۱۱/۱۱	۷	۳	مکانیک	ندارد	ندارد		✓
۱۳	کوره	لس	بازرسی لس ها و در صورت نیاز تعویض لس	۱	۴۰	d	۱۴۰۳/۱۱/۰۳	۱۴۰۳/۱۱/۰۳	۷	۲	مکانیک	ندارد	ندارد		✓
۱۴	کوره	ULD	تهیه لسبول بالای ولوها ULD	۱	۸۰	d	۱۴۰۳/۱۱/۰۵	۱۴۰۳/۱۱/۰۵	۷	۴	مکانیک	ندارد	ندارد	۱۴۰۳/۱۱/۰۱	۱.۵٪

فعالیت‌ها با اولویت‌های مختلف و بر اساس میزان اثرگذاری بر ایمنی، قابلیت اطمینان و پایداری تولید اجرا گردیدند.

۵. بازرسی نهایی و تست عملکرد

پس از اتمام عملیات تعمیراتی و اطمینان از تکمیل فعالیت‌های برنامه‌ریزی‌شده، کوره وارد مرحله بازرسی نهایی و تست عملکرد شد. هدف از این مرحله، اطمینان از صحت اجرای تعمیرات، عملکرد صحیح تجهیزات، عدم وجود نشتی، آماده‌بودن سیستم‌های کنترلی و ایمنی و فراهم‌بودن شرایط لازم برای راه‌اندازی مجدد کوره بود.

تست‌های عملکردی به‌صورت مرحله‌ای و با رعایت دستورالعمل‌های فنی و ایمنی انجام گرفتند.

۵-۱. تست‌های سرد

اولین بخش از تست‌های سرد، تست پایپینگ کوره بود. تست پایپینگ یکی از مراحل حیاتی در فاز بازرسی نهایی پس از اورهال کوره‌های دابل‌شفت آهک محسوب می‌شود. این تست با هدف اطمینان از یکپارچگی، آب‌بندی کامل و عملکرد صحیح سیستم‌های لوله‌کشی هوا و سایر مسیرهای مرتبط انجام می‌گیرد.

هدف اصلی از انجام این تست، شناسایی و رفع هرگونه نشتی، تضمین جریان مناسب سیالات، اطمینان از عملکرد صحیح اتصالات، ولوها و تجهیزات کنترلی و حفظ ایمنی عملیاتی کوره در زمان راه‌اندازی است.

در ادامه، تست هوای کوره انجام شد که از آن با عنوان تست نفوذ هوا یا تست تعادل هوا نیز یاد می‌شود. این تست یکی از بخش‌های مهم در ارزیابی عملکرد و بهینه‌سازی کوره‌های دابل‌شفت آهک است.

هدف اصلی این تست، شناسایی نقاط نشتی هوا در بدنه، دریچه‌ها، مسیرها و اتصالات کوره و رفع آن‌ها پیش از راه‌اندازی گرم است. وجود نشتی هوا می‌تواند تأثیر قابل توجهی

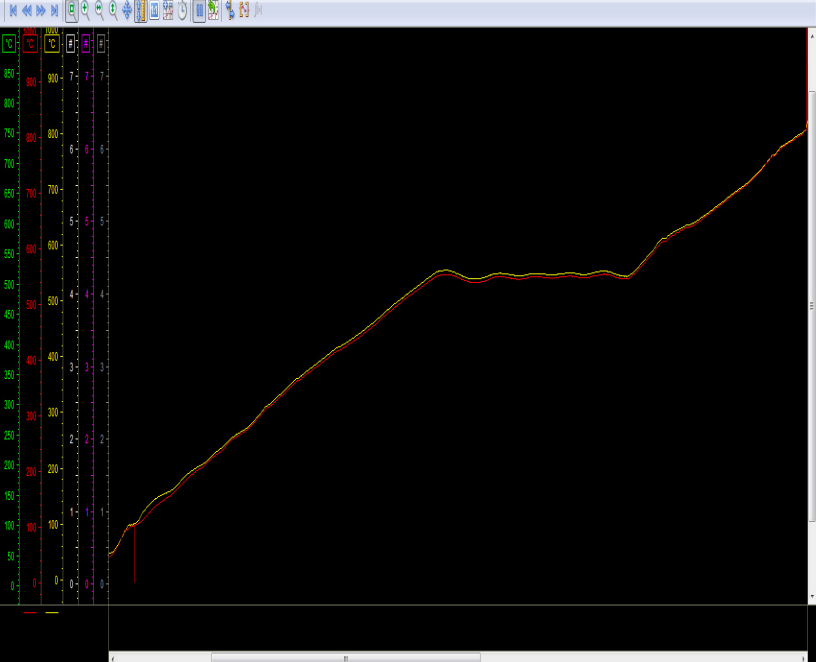


تست های گرم

بر راندمان حرارتی، کنترل فرایند، کیفیت محصول نهایی و میزان انتشار آلاینده‌ها داشته باشد. بنابراین، انجام دقیق تست هوا نقش مهمی در دستیابی به عملکرد پایدار و بهینه کوره دارد.

۵-۲. تست‌های گرم

تست گرم مرحله‌ای کلیدی در فرایند راه‌اندازی و ارزیابی عملکرد کوره دابل‌شفت آهک پس از انجام اورهال است. در این مرحله، کوره به‌صورت تدریجی تحت شرایط واقعی عملیاتی قرار می‌گیرد تا صحت عملکرد تجهیزات، پایداری فرایند احتراق و کیفیت عملکرد کلی سیستم مورد بررسی قرار گیرد. هدف اصلی از انجام تست گرم، اطمینان از عملکرد صحیح سیستم احتراق، یکنواختی



تست های سرد

توزیع حرارت در دو شفت کوره، عملکرد پایدار سیستم‌های کنترلی و دستیابی به شرایط پایدار تولید است.

در ابتدای این مرحله، عملیات گرم‌کردن کوره به‌صورت تدریجی و مطابق دستورالعمل راه‌اندازی انجام می‌شود تا از ایجاد تنش‌های حرارتی و آسیب به آجرهای نسوز جلوگیری گردد. در این فرایند، افزایش دما با نرخ کنترل‌شده انجام شده و هم‌زمان عملکرد مشعل‌ها، سیستم تأمین سوخت، دمنده‌ها و سیستم توزیع هوا پایش می‌شود.

در ادامه، پارامترهای اصلی فرایندی شامل دمای نقاط مختلف کوره، فشار داخلی، ترکیب گازهای خروجی و نسبت هوا به سوخت به‌طور مستمر اندازه‌گیری و کنترل می‌شوند. هدف از این پایش، اطمینان از پایداری احتراق، توزیع مناسب حرارت بین دو شفت و عملکرد صحیح تجهیزات کنترلی و حفاظتی است.

پس از رسیدن کوره به شرایط پایدار، عملکرد کلی آن از نظر ظرفیت تولید، یکنواختی پخت و کیفیت آهک تولیدی مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. در این مرحله، عواملی نظیر میزان کلسیناسیون، درصد باقی‌مانده کربنات کلسیم، یکنواختی محصول و پایداری شرایط عملیاتی بررسی می‌شود.

در پایان تست گرم، نتایج عملکردی کوره ثبت و تحلیل شده و در صورت نیاز، تنظیمات اصلاحی در پارامترهای عملیاتی انجام می‌گیرد تا کوره به شرایط پایدار و بهینه تولید برسد. انجام موفق این مرحله نشان‌دهنده آمادگی کامل کوره برای بهره‌برداری مستمر، ایمن و پایدار خواهد بود.

طراحی و پیاده سازی فرایند کاربردی، جهت دریافت کالاهای داغی توسط انبار در میدارپی

■ ساجد حبیبی - رئیس بخش انبار و سفارشات
مجمع تولید آهک و دولومیت (ممرادکو)

۱. تعریف کالای داغی:

به صورت کلی کالای داغی، کالایی است که در فرآیندهای مختلف مثل حمل و نقل، نگهداری در انبار یا تولید دچار خرابی، شکستگی، تغییر رنگ و یا آسیب ظاهری شده و دیگر قابل استفاده به صورت معمول نیست.

در اینجا کالای داغی به کالایی گفته می‌شود که قابل تعمیر نیست و دارای ارزش اسقاط می‌باشد. نظیر: بلبرینگ‌ها- مش‌های سرند- شفت‌ها- پولی‌ها و ...

۲. مسئله و نیاز اولیه

در فرآیندهای انبارداری و نگهداری تجهیزات صنعتی، مدیریت صحیح کالاهای داغی نقش کلیدی در شفافیت مالی و تصمیم‌گیری‌های فنی دارد. در برخی موارد، مشاهده شده است که هنگام تحویل کالای نو از انبار، کالای داغی به‌صورت رسمی تحویل داده نمی‌شود و این موضوع موجب ابهام در تحلیل علل خرابی‌ها می‌گردد.

از این رو، نیاز به تدوین و اجرای روالی مشخص برای تحویل کالای داغی هم‌زمان با تحویل کالای نو از انبار احساس می‌شود تا با ایجاد شفافیت در فرآیند، ضمن حفظ نظم و کنترل دارایی‌ها، تصمیم‌گیری‌های فنی و مالی،

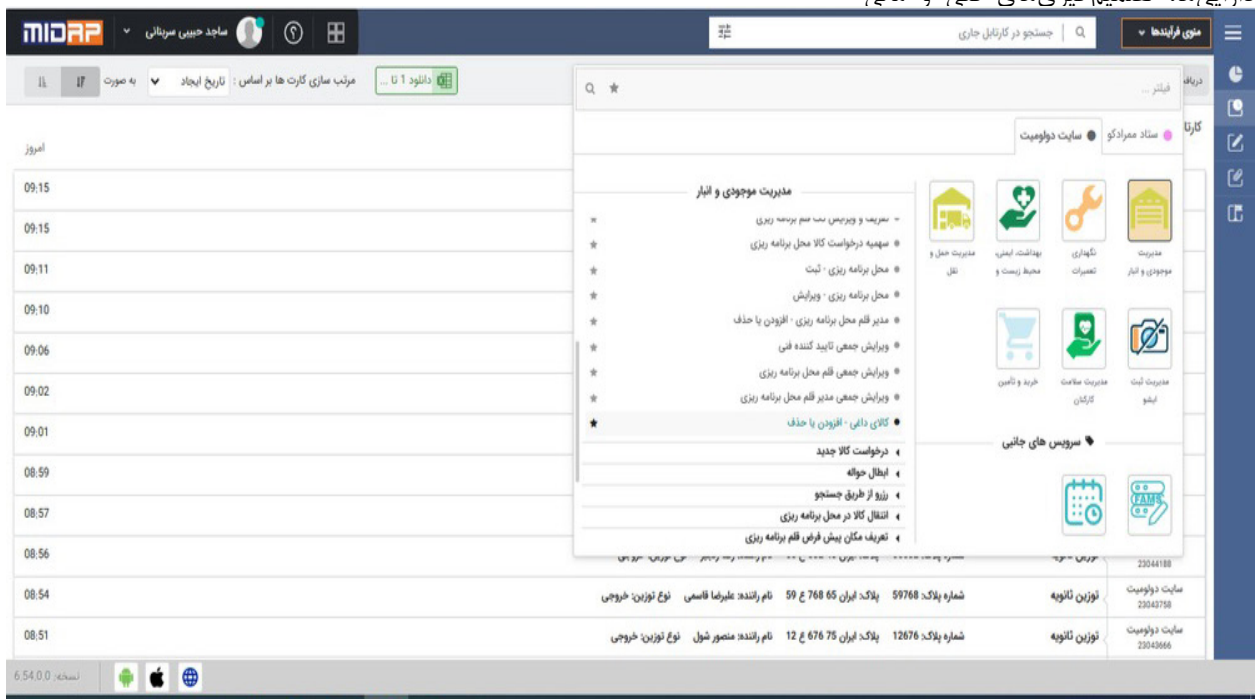


فزایش عمر تجهیزات اقدام کنند.

۲-۲- برای بررسی و تصمیم‌گیری‌های بعدی:

(به دلیل عدم کیفیت باید به تامین کننده مرجوع شود- احیا شود)

ثبت و تحویل رسمی کالای داغی در سیستم میدارپی، امکان بررسی دقیق وضعیت قطعات معیوب را فراهم می‌کند. پس از تحویل، کارشناسان فنی می‌توانند بر اساس نوع خرابی، علت آن و هزینه‌های احتمالی، تصمیم بگیرند که آیا قطعه باید



به شکل دقیق‌تری انجام گیرد.

چرا باید در زمان تحویل کالا نو از انبار
کالای داغی تحویل گرفته شود؟
تحویل کالای داغی از انبار دلایل
مدیریتی، کنترلی و مالی دارد:

۱-۲- تحویل رسمی کالای داغی باعث شفافیت و ردیابی دقیق می شود:

(چه زمان این قطعه خراب شده - چند بار در سال خرابی داریم).

تحويل رسمی کالای داغی در زمان دریافت کالای نو، این امکان را فراهم می‌سازد که فرایند خرابی و تعویض قطعات به‌صورت مستند و قابل پیگیری ثبت شود. زمانی که هر قطعه‌ی معیوب با شماره سریال یا کد فنی مشخص در سیستم انبار ثبت می‌گردد، اطلاعات دقیقی از زمان خرابی، میزان تکرار آن در طول سال، و نحوه‌ی مصرف یا تعویض به دست می‌آید.

این شفافیت نه تنها به مدیریت انبار در کنترل موجودی کمک می‌کند، بلکه برای واحدهای فنی و برنامه‌ریزی نگهداری نیز ارزش تحلیلی دارد؛ زیرا می‌توانند الگوی خرابی‌ها را شناسایی کرده و در جهت پیشگیری، نگهداری پیش‌بینانه (Preventive Maintenance) و

۲-۵-اجرای اصول ۵S:

تحويل كالای داغی و چیدمان در جای مناسب باعث نظم و آراستگی هم در محیط کارخانه و هم در محیط انبار می‌شود. تحويل منظم كالاهای داغی به انبار و نگهداری آن‌ها در محل مشخص، گامی در راستای اجرای اصول نظام آراستگی (5S) است. این اقدام موجب نظم، ایمنی و زیبایی در محیط کار می‌شود و ضمن تسهیل دسترسی به قطعات معیوب، از انباشت اقلام غیرضروری در محیط کارخانه جلوگیری می‌کند. در نتیجه، علاوه بر بهبود بهره‌وری و فضای کاری، تصویر حرفه‌ای و سازمان‌یافته‌ای از محیط کارخانه ارائه می‌گردد.

مشخص کردن اینکه چه کالایی نیاز به دریافت داغی دارد با واحد دفتر فنی می باشد.

با توجه به نیازهای مطرح شده در بالا، در سیستم میدارپی روال مشخصی برای فرآیند تحویل کالای داغی وجود نداشت. در نتیجه، تحویل این کالاها (که توسط دفتر فنی تعیین می‌شدند) به صورت دستی و از طریق فرم‌های اکسل انجام می‌گرفت. این شیوهی دستی، احتمال بروز خطا را افزایش می‌داد، امکان گزارش‌گیری دقیق را محدود می‌کرد و از شفافیت کافی در روند ثبت و پیگیری اطلاعات برخوردار نبود.

۳. ایده و پیشنهاد:

- به دنبال نیازهای گفته شده در بالا و همچنین برای ارسال گزارشات به مدیریت بر آن شدیم تا این روال در سیستم میدارپی راه اندازی شود.
- در ابتدا این ایده در جلسات مشترک داخلی مطرح شد و پس از گرفتن تاییدات لازم در جلساتی با حضور پشتیبان‌های سیستم میدارپی مطرح و پس از حصول نتیجه از طریق ایشو ثبت و به پشتیبان ارسال شد که تمامی موارد مالی و فرایندهای سیستمی چک شود و در به روز رسانی اعمال شود.

٤. هدف:

شفافیت، کنترل و گزارش‌گیری از ارقام
داغی تحویلی به انبار در زمان تحویل
کالای نو.

۵. مسیر اجرا و همکاری‌ها

- جلسات متعدد داخلی
- جلسات با پشتیبان میدارپی
- در نهایت ثبت ایشو نیازمندی و ارسال به تیم پشتیبانی فناپ جهت بررسی مراحل سیستمی و راه اندازی

۶. نتیجه و دستاوردها

• پس از گذشت چند ماه بعد از به‌روزرسانی طرح پیشنهادی مطابق روند درخواستی در میدارپی ایجاد شد که در سطح کل میدکو قابل دسترسی می‌باشد.

حفاظت رله‌ها و منحنی‌های حفاظتی در سیستم‌های قدرت



■میرحسام امیرمهرانی - سرپرست برق و ابزار دقیق مجتمع تولید آهک و دولومیت (ممرادکو)

چکیده

سیستم‌های قدرت به دلیل گستردگی شبکه و ارزش بالای تجهیزات، همواره در معرض انواع خطاها از جمله اتصال کوتاه، اضافه‌بار، اتصال زمین، اضافه ولتاژ و کاهش ولتاژ قرار دارند. در صورت عدم تشخیص و حذف سریع این خطاها، خسارات مالی قابل توجهی به تجهیزات وارد شده و پایداری شبکه به خطر می‌افتد. رله‌های حفاظتی به عنوان مهم‌ترین تجهیزات حفاظتی وظیفه تشخیص شرایط غیرعادی و صدور فرمان قطع برای کلیدهای قدرت را بر عهده دارند. عملکرد صحیح رله‌ها به انتخاب مناسب نوع حفاظت، تنظیم صحیح پارامترها و هماهنگی زمانی بین تجهیزات حفاظتی وابسته است. در این مقاله ضمن معرفی انواع حفاظت‌های متداول، منحنی‌های عملکرد رله‌های اضافه‌جریان و روش تنظیم آن‌ها مورد بررسی قرار می‌گیرد.

۱- مقدمه

هدف اصلی سیستم حفاظت، جداسازی سریع و انتخابی بخش معیوب شبکه بدون ایجاد اختلال در قسمت‌های سالم است. یک سیستم حفاظتی مناسب باید دارای ویژگی‌های مختلفی باشد از جمله این می‌توان به سرعت عملکرد بالا، قابلیت اطمینان زیاد، حساسیت مناسب، قدرت انتخاب (Selectivity)، پایداری در شرایط عادی و سادگی تنظیم و نگهداری اشاره نمود. یکی از تجهیزات با اهمیت در این حوزه رله‌ی حفاظتی است. رله حفاظتی وسیله‌ای است که کمیت‌های الکتریکی مانند جریان، ولتاژ، فرکانس، امپدانس یا توان را اندازه‌گیری کرده و در صورت خروج این کمیت‌ها از محدوده

مجاز، فرمان قطع را صادر می‌کند.

۲- انواع حفاظت در سیستم‌های قدرت (Over Current Protection)

رله اضافه جریان متداول‌ترین نوع حفاظت در شبکه‌های توزیع و صنعتی است. این رله زمانی عمل می‌کند که جریان عبوری از مقدار تنظیم شده بیشتر شود. شرط عملکرد آن به صورت زیر است:

$$I_{fault} > I_{pickup}$$

جریان خطا : I_{fault}

جریان تنظیم شده رله : I_{pickup}

این حفاظت برای مواردی چون اتصال کوتاه سه فاز، اتصال دو فاز، اضافه بار شدید و اتصال زمین (در برخی کاربردها) بسیار مناسب است. این حفاظت از حفاظت‌های بسیار با اهمیت بوده که در صورت رخ داد باید حتما علت وقوع مشخص و رفع گردد.

۲-۲ حفاظت اتصال زمین (Earth Fault Protection)

در بسیاری از خطاها تنها یک فاز با زمین اتصال پیدا می‌کند. در این حالت جریان باقیمانده از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$I_0 = \frac{I_A + I_B + I_C}{3}$$

و یا

$$3I_0 = I_A + I_B + I_C$$

اگر مقدار این جریان از مقدار تنظیم شده

بیشتر شود، رله زمین فرمان قطع صادر می‌کند. این حفاظت نسبت به حفاظت اضافه جریان حساس‌تر است.

۲-۳ حفاظت دیفرانسیل

(Differential Protection)

این حفاظت بیشتر برای تجهیزاتی بسیار با اهمیت همچون ترانسفورماتورها، ژنراتورها، باسبارها و غیره به کار می‌رود. اساس عملکرد آن قانون جریان کیرشهف است. در واقع طبق این قانون اگر یک تجهیز در مدار را به عنوان یک گره در نظر بگیریم جمع جبری جریان‌های ورودی به آن با جمع جبری جریان‌های خروجی از آن کاملاً برابر خواهد بود. بر همین اساس در صورتی که اختلاف این دو جریان عددی به غیر از صفر باشد حفاظت دیفرانسیل عمل خواهد کرد.

در حالت عادی:

$$\sum I_{ورودی} = \sum I_{خروجی}$$

اکنون اگر جریان دیفرانسیل را به صورت زیر تعریف کنیم

$$I_d = |\sum I_{in} - \sum I_{out}|$$

اگر

$$I_d > I_{set}$$

باشد رله عمل می‌کند. از مهم‌ترین مزایای این حفاظت، سرعت بسیار بالا و انتخاب‌پذیری مناسب است.

۲-۴ حفاظت فاصله (Distance Protection) در خطوط انتقال از رله دیستانس استفاده می‌شود. این رله امپدانس ظاهری خط را اندازه می‌گیرد.

$$Z = \frac{V}{I}$$

که جریان و ولتاژ از تجهیزات اندازه‌گیری دریافت می‌شود. در هنگام وقوع اتصال کوتاه، به دلیل افزایش ناگهانی جریان خط امپدانس اندازه‌گیری شده به شدت کاهش می‌یابد. به همین دلیل اگر

$$Z < Z_{set}$$

باشد رله فرمان قطع صادر می‌کند. ۲-۵ حفاظت اضافه ولتاژ و کاهش ولتاژ اگر ولتاژ از مقدار مجاز بیشتر یا کمتر شود، رله عمل خواهد کرد. شرط عملکرد:

$$V > V_{set}$$

یا

$$V < V_{set}$$

این حفاظت در ژنراتورها، بانک‌های خازنی و موتورهای الکتریکی کاربرد فراوانی دارد.

۳- منحنی‌های حفاظتی زمان_جریان

یکی از مهم‌ترین ویژگی‌های رله‌های اضافه جریان، منحنی زمان_جریان است. این منحنی بیان می‌کند که هرچه جریان خطا بیشتر باشد، زمان عملکرد رله کمتر خواهد بود. به این نوع عملکرد، منحنی زمان معکوس گفته می‌شود. شکل کلی رابطه به صورت زیر است:

$$t(I) = K \left(\frac{\frac{A}{B}}{\left(\frac{I}{I_s}\right) - 1} + C \right)$$

که در آن:

زمان عملکرد رله (t):

جریان خطا (I):

جریان تنظیم (Is):

ضریب زمانی (K):

ضرایب منحنی (A,B,C):

۴- انواع منحنی‌های استاندارد

در استاندارد آمریکا IEEE، همچنین استاندارد IEC 60255 و ESB با مشخص کردن ضرایب بالا چندین منحنی به عنوان منحنی‌های استاندارد معرفی شده اند که تشریح کامل این منحنی ها در ادامه بیان گردیده است.

استاندارد ANSI/IEEE

در این استاندارد ضرایب معادله تعریف شده در بخش ۳ مطابق جدول ذیل تعریف میشود.

منحنی	A=α	B=β	C=γ	زمان ریست Rt
نسبتاً معکوس یا Moderately Inverse	0.107	0.20	0.0231	1.07
نرمال معکوس یا Normally Inverse	5.95	2.0	0.18	5.95
خیلی معکوس یا Very Inverse	3.985	2.0	0.095	3.985
شدیداً معکوس یا Extremely Inverse	5.91	2.0	0.0345	5.91
معکوس کوتاه مدت یا Short Time Inverse	$3.56e^{-3}$	0.02	$1.95e^{-2}$	0.356
معکوس کوتاه مدت سریع یا Short Time Very Inverse	1.9925	2.0	0.0475	1.992

استاندارد IEC

در این استاندارد پارامتر C همیشه برابر صفر است. بقیه ضرایب برای منحنی های مختلف در نظر گرفته شده در این استاندارد در جدول ذیل بیان گردیده است.

منحنی	A=α	B=β	زمان ریست Rt
استاندارد معکوس یا Standard Inverse	0.14	0.02	9.7
خیلی معکوس یا Very Inverse	13.5	1.0	13.5
شدیداً معکوس یا Extremely Inverse	80.0	2.0	80.0
معکوس بلند مدت یا Long Time Inverse	135.0	1.0	135.0
معکوس کوتاه مدت یا Short Time Inverse	0.05	0.04	0.5

۵- مثال منحنی حفاظتی زمان_جریان

فرض کنید جریان نامی یک فیدر برابر ۲۰۰ آمپر باشد.

جریان راه‌اندازی:

$$I_{pickup} = 1.25 \times 200 = 250A$$

اگر جریان خطا برابر ۱۰۰۰ آمپر باشد:

$$\frac{I}{I_s} = 4$$

با انتخاب منحنی Standard Inverse و TMS=۰.۲، زمان عملکرد از رابطه استاندارد محاسبه می‌شود که تقریباً برابر ۰.۸۵ ثانیه خواهد بود

۶- تنظیم رله‌های حفاظتی

تنظیم صحیح رله شامل سه پارامتر اصلی است.

۶-۱ جریان راه‌اندازی (Pickup)

ابتدا میبایست جریان راه‌اندازی را مشخص کنیم، که معمولاً از رابطه روبه رو انتخاب می‌شود:

$$I_{pickup} = (1.2 \sim 1.5) \times I_{load}$$

۶-۲ ضریب زمانی (TMS)

این پارامتر سرعت عملکرد رله را تعیین می‌کند. هرچه TMS کوچکتر باشد، زمان عملکرد کمتر خواهد بود. این پارامتر در منحنی جریان_زمان برابر همان پارامتر K میباشد.

۶-۳ هماهنگی حفاظتی

هدف این است که نزدیک‌ترین رله به محل خطا ابتدا عمل کند. اختلاف زمانی بین دو رله متوالی معمولاً برابر است با:

$$CTI = T_{upstream} - T_{downstream} = 0.2 \sim 0.4$$

که به آن Coordination Time Interval گفته می‌شود.

۷- مثالی واقعی از تنظیمات مربوط به رله ها در کارخانه

در پست کارخانه آهک و دولومیت مشابه کارخانه‌های دیگر از رله ها مختلف برای حفاظت استفاده شده است. به عنوان مثال در تابلو ورودی پست از رله VAMP255 با حفاظت‌های جریان، اضافه ولتاژ، کاهش ولتاژ، ارت فالت و سنکرون چک استفاده شده است که تمامی پارامترهای مربوط به این حفاظت ها در جدول زیر بیان گردیده است.

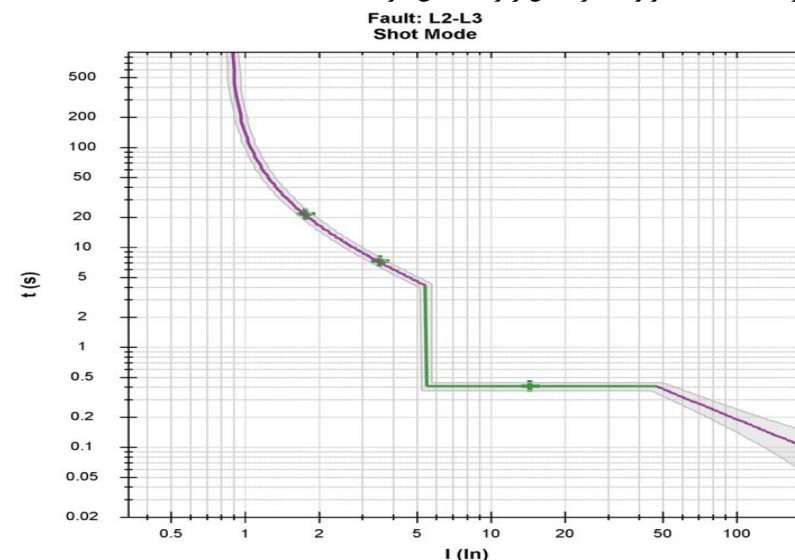
Voltage:	Stage 1			Stage 2		
	V Pickup	Curve Type	Time	V Pickup	Curve Type	Time
Under Voltage:	80%	DT	4 S	70%	DT	2 S
Over voltage:	115%	DT	4 S	119%	DT	2 S

Current:	Stage 1			Stage 2		
	I Pickup	Curve Type	Time	I Pickup	Curve Type	Time
Over Current :	87	IEC-LTI	0.18	550	DT	0.4 S
Earth Over Current :	30	IEC-NI	0.3	300	DT	0.4 S

همچنین تست رله‌های می‌بایست به صورت دوره‌ای انجام شود که نتایج این تست نیز در جدول زیر بیان گردیده است.

Test Results :						
Test type	V Test	I Test (A)	T nom (s)	Tact (s)	Dev %	Results
L1-L2L-L3	78%	**	4	4.006	0.15	PASSED
L1-L2L-L3	116%	**	4	4.004	0.1	PASSED
L1-L2L-L3	120%	**	2	2.004	0.2	PASSED
L1-L2L-L3	**	1.76	21.11	21.12	0.01	PASSED
L1-L2L-L3	**	3.52	7.091	7.114	0.33	PASSED
L1-L2L-L3	**	13.77	0.4	0.3996	-0.1	PASSED
L-E	**	1.2	3.009	3.019	0.34	PASSED
L-E	**	2.4	1.494	1.508	0.94	PASSED
L-E	**	9.08	0.4	0.4172	4.3	PASSED

همچنین منحنی جریانی به همراه نقاط تست مربوطه در شکل زیر مشخص گردیده است.



۸- نتیجه گیری

رله‌های حفاظتی نقش اساسی در تأمین امنیت و پایداری سیستم‌های قدرت ایفا می‌کنند. انتخاب نوع حفاظت متناسب با تجهیزات، تعیین صحیح جریان راه‌اندازی، تنظیم ضریب زمانی و انتخاب منحنی مناسب، مهم‌ترین عوامل در عملکرد صحیح سیستم حفاظتی هستند. منحنی‌های زمان-جریان استاندارد IEC امکان هماهنگی مؤثر بین رله‌های مختلف را فراهم کرده و از قطع غیرضروری قسمت‌های سالم شبکه جلوگیری می‌کنند. با گسترش شبکه‌های هوشمند و استفاده از رله‌های دیجیتال، روش‌های نوین بهینه‌سازی و تنظیم تطبیقی رله‌ها نیز اهمیت روزافزونی یافته و به افزایش قابلیت اطمینان و انعطاف‌پذیری سیستم‌های قدرت کمک شایانی می‌کنند.

کاهش خرابی شوت سه راهی با استفاده از استون باکس در ورودی مخازن خوراک کوره ها

■ سعید حسنی خردمند- سرپرست مکانیک
مجمع تولید آهک و دولومیت (ممرادکو)



برای کاهش شدت ضربه‌ی مستقیم، از یک قطعه به نام استون‌باکس (Stone Box) پیش از شوت سه‌راهی استفاده شود. استون باکس در واقع یک محفظه‌ی مقاوم با طراحی خاص و متریال ضدسایش که قبل از نقطه‌ی برخورد نهایی سنگ‌ها قرار می‌گیرد و وظیفه‌ی آن جذب و کاهش انرژی جنبشی مواد در حال سقوط است. این قطعه باعث می‌شود سنگ‌ها پیش از رسیدن به شوت، به صورت تدریجی انرژی خود را از دست داده و با سرعت و نیروی بسیار کمتر به شوت برخورد کنند. طراحی و نصب این استون‌باکس با در نظر گرفتن ویژگی‌های مواد، دبی، و شرایط هندسی محل انجام شد.

خوشبختانه نصب این قطعه بدون نیاز به تغییرات عمده در ساختار موجود امکان‌پذیر بود.

از نتایج نصب این قطعه میتوان به موارد زیر اشاره کرد:

- پس از نصب استون‌باکس، خرابی شفت شوت سه‌راهی به‌طور کامل برطرف شد در بازه‌ی زمانی چندماهه پس از اجرا، هیچ موردی از شکست شفت یا آسیب به شوت گزارش نشده است.

-همچنین بررسی‌های دوره‌ای نشان دادند که خود استون‌باکس نیز مقاومت بسیار خوبی در برابر ضربه داشته و نیاز به نگهداری خاصی ندارد.

- این اقدام نه تنها باعث افزایش پایداری سیستم و کاهش توقفات خط تولید شده، بلکه از نظر اقتصادی نیز صرفه‌جویی قابل توجهی در هزینه‌های نگهداری، قطعات یدکی و نیروی انسانی به همراه داشته است.

محل و نحوه ریزش در این بخش از خط تولید، سنگ‌های معدنی پس از عبور از مسیر انتقال، به داخل شوت سه‌راهی ورودی مخازن خوراک سقوط می‌کنند. این ریزش عمودی و مستقیم با انرژی بالا، موجب برخورد شدید سنگ‌ها به بدنه‌ی شوت و شفت متصل به آن می‌شد. نتیجه‌ی این برخوردها، وارد آمدن تنش زیاد به شفت و در نهایت شکست آن در فواصل زمانی کوتاه بود. با توجه به تکرار این خرابی، نیاز به توقف خط، تعویض شفت، صرف زمان و هزینه‌ی تعمیرات و ایجاد اختلال در تأمین خوراک کوره‌ها به یک مشکل جدی و مستمر تبدیل شده بود.

پس از بررسی‌های فنی و تحلیل شرایط دینامیکی ریزش سنگ، تصمیم بر آن شد که

در صنایع معدنی و فولادی، یکی از چالش‌های رایج در سیستم‌های انتقال مواد، برخورد شدید سنگ‌ها یا مواد معدنی با تجهیزات مکانیکی در مسیر انتقال است. این برخوردها به‌ویژه در نقاطی که تغییر مسیر یا تقسیم مواد اتفاق می‌افتد (نظیر شوت‌ها، داکت‌ها و دهانه‌های ورودی تجهیزات) می‌تواند باعث بروز آسیب‌های مکانیکی مکرر شود و ضمن ایجاد توقفات ناخواسته، هزینه‌های تعمیر و نگهداری را به شکل قابل توجهی افزایش دهد.

در یکی از خطوط تولید، با مشکلی مداوم در بخش ورودی مخازن خوراک کوره‌ها مواجه بودیم شکستگی بدنه شوت و بریده شدن مکرر شفت شوت سه راهی بود که با بررسی



نصب استون‌باکس



بررسی سینتیک تجزیه سنگ آهک و عوامل مؤثر بر کلسیناسیون در کوره‌های دبل شفت



■ مقدار منصوری - سرپرست تولید
مجتمع تولید آهک و دولومیت (ممرادکو)

چکیده:

کلسیناسیون سنگ آهک یکی از مهم‌ترین فرایندهای تولید آهک زنده است که عملکرد آن تحت تأثیر عواملی نظیر انتقال حرارت، سینتیک واکنش، نفوذ گاز دی‌اکسید کربن و ویژگی‌های ساختاری سنگ آهک قرار دارد. در این مقاله، رفتار تجزیه حرارتی نمونه‌های کروی و استوانه‌ای سنگ آهک در شرایط کنترل‌شده آزمایشگاهی بررسی شده است. کاهش وزن و دمای داخلی نمونه‌ها به‌صورت همزمان اندازه‌گیری شد و ضریب سرعت واکنش برای سنگ آهک‌هایی با منشأهای زمین‌شناسی مختلف تعیین گردید. نتایج نشان داد که ضریب سرعت واکنش در محدوده ۰,۰۰۳ تا ۰,۰۱۲ متر بر ثانیه تغییر می‌کند که بیانگر تفاوت قابل توجه رفتار کلسیناسیون حتی در سنگ آهک‌هایی با ترکیب شیمیایی مشابه است. همچنین مشخص شد افزایش بیش از حد دمای ناحیه پخت می‌تواند با ایجاد زینترشدگی، کاهش تخلخل و محدود شدن خروج CO₂، کیفیت محصول نهایی را کاهش دهد. یافته‌های این پژوهش اهمیت توجه همزمان به ویژگی‌های سنگ آهک و شرایط انتقال حرارت و جرم را در بهره‌برداری بهینه از کوره‌های دبل‌شفت نشان می‌دهد.

۱. مقدمه

سنگ آهک (CaCO₃) یکی از مهم‌ترین مواد اولیه صنایع مختلف است و پیش از مصرف، بخش عمده آن در کوره‌های شفت و دوار تحت فرآیند کلسیناسیون قرار می‌گیرد. در این فرآیند، کربنات کلسیم بر اثر دریافت انرژی حرارتی تجزیه شده و ضمن آزادسازی گاز دی‌اکسید کربن (CO₂)، آهک زنده (CaO) تولید می‌شود.

این واکنش گرماگیر، پایه تولید آهک در صنایعی مانند فولاد، متالورژی، ساختمان، صنایع شیمیایی و ... است. فرآیند کلسیناسیون تنها یک واکنش شیمیایی ساده نیست، بلکه مجموعه‌ای از پدیده‌های انتقال حرارت، انتقال جرم و واکنش شیمیایی را به‌صورت همزمان شامل می‌شود. مهم‌ترین مراحل این فرآیند عبارت‌اند از:

- انتقال حرارت از گازهای داغ به سطح سنگ آهک
- هدایت حرارت از سطح به داخل ذره
- تجزیه حرارتی کربنات کلسیم در جبهه واکنش

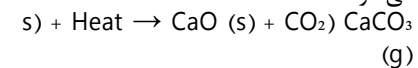
- نفوذ گاز CO₂ از میان لایه متخلخل آهک

- انتقال CO₂ از سطح سنگ به جریان گاز

هر یک از این مراحل می‌تواند سرعت کلی کلسیناسیون را کنترل کند و بر کیفیت محصول نهایی اثرگذار باشد.

۲. مدل تجزیه سنگ آهک (Decomposition Model)

تجزیه سنگ آهک یک واکنش گرماگیر و توپوشیمیایی (Topochemical Reaction) است که مطابق رابطه زیر انجام می‌شود:



برای تحلیل این فرآیند، از مدل هسته در حال انقباض (Shrinking Core Model) استفاده می‌شود.

در این مدل فرض می‌شود:

- ذره دارای شکل هندسی منظم (کره یا استوانه) است.
- ترکیب شیمیایی و ساختار داخلی سنگ یکنواخت است.
- گرما به‌صورت متقارن به ذره منتقل می‌شود.
- واکنش از سطح خارجی آغاز شده و به‌تدریج به سمت مرکز پیشروی می‌کند.
- در طول فرآیند کلسیناسیون، لایه خارجی ذره به آهک زنده تبدیل می‌شود، در حالی که هسته مرکزی همچنان از کربنات کلسیم تشکیل شده است. مرز میان این دو ناحیه، جبهه واکنش نامیده می‌شود و با پیشرفت واکنش به سمت مرکز حرکت می‌کند؛ به همین دلیل این مدل با عنوان «هسته در حال انقباض» شناخته می‌شود.
- مطالعات میکروسکوپ الکترونی (SEM) نشان داده‌اند که واکنش ابتدا از لبه‌های بلورهای کلسیت آغاز می‌شود. بنابراین سطح واقعی واکنش اندکی بیشتر از سطح هندسی ذره است و این اختلاف در محاسبه ضریب سرعت واکنش لحاظ می‌شود.

۳. روش آزمایش

برای بررسی رفتار کلسیناسیون، نمونه‌های کروی و استوانه‌ای با قطر ۲۰ تا ۵۰ میلی‌متر تهیه و در یک کوره آزمایشگاهی تحت دمای ثابت و فشار جزئی ثابت CO₂ کلسینه شدند.

در طول آزمایش، دو پارامتر اصلی به‌صورت پیوسته اندازه‌گیری شد:

- کاهش وزن نمونه‌ها
 - دمای داخلی نمونه‌ها
- با استفاده از این داده‌ها، سرعت پیشرفت جبهه واکنش و ضریب سرعت واکنش برای سنگ آهک‌های مختلف محاسبه شد.

۴. نتایج و بحث

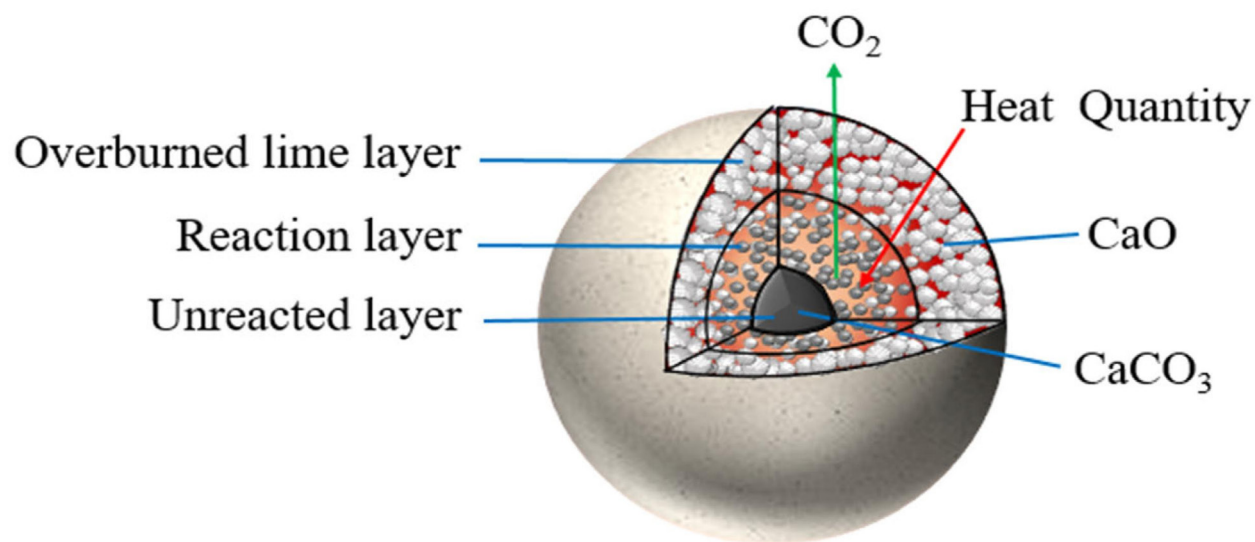
نتایج نشان داد که ضریب سرعت واکنش سنگ آهک، بسته به منشأ زمین‌شناسی آن، بین ۰,۰۰۳ تا ۰,۰۱۲ متر بر ثانیه متغیر است؛ یعنی اختلافی در حدود چهار برابر میان نمونه‌های مختلف مشاهده شد. همچنین مشخص شد ضرایب سرعت واکنش گزارش‌شده توسط سایر پژوهشگران، که با استفاده از پودر سنگ آهک اندازه‌گیری شده‌اند، در همین محدوده قرار دارند. این موضوع اعتبار نتایج به‌دست‌آمده را تأیید می‌کند.

نکته مهم آن است که دو سنگ آهک با ترکیب شیمیایی تقریباً یکسان، اما با منشأ زمین‌شناسی متفاوت، می‌توانند رفتار کلسیناسیون کاملاً متفاوتی داشته باشند. علت این تفاوت را باید در ویژگی‌های ریزساختاری، تخلخل، هدایت حرارتی و سینتیک واکنش جست‌وجو کرد، نه صرفاً در آنالیز شیمیایی.

۵. کاربرد نتایج در کوره‌های دبل‌شفت

نتایج این پژوهش اهمیت ویژه‌ای برای بهره‌برداری از کوره‌های دبل‌شفت دارد. در عمل ممکن است کارخانه در بازه‌های زمانی مختلف از سنگ آهک استخراج‌شده از معادن متفاوت استفاده کند. حتی اگر آنالیز شیمیایی این سنگ‌ها تقریباً یکسان باشد، اختلاف در ضریب سرعت واکنش می‌تواند باعث تغییر در موارد زیر شود:

- کیفیت آهک تولیدی
 - مقدار CO₂ باقیمانده در محصول
 - میزان مصرف سوخت
 - توزیع دمای داخل کوره
 - راکتیویته آهک
- بنابراین، ثابت بودن دمای ناحیه پخت، دبی گاز و زمان Reverse الزاما به معنای ثابت ماندن کیفیت محصول نیست؛ زیرا ویژگی‌های ذاتی سنگ آهک نیز نقش تعیین‌کننده‌ای در فرآیند کلسیناسیون دارند.



۶. عوامل کنترل‌کننده کلسیناسیون

بر اساس نتایج این پژوهش، سرعت کلسیناسیون تحت تأثیر پنج عامل اصلی قرار دارد:

- انتقال حرارت از گاز به سطح سنگ
- هدایت حرارت در لایه آهک
- سینتیک واکنش تجزیه کربنات کلسیم
- نفوذ گاز CO₂ در منافذ آهک
- انتقال جرم CO₂ از سطح سنگ به جریان گاز

به همین دلیل ممکن است دو کلوخه با

ابعاد یکسان، اما از دو معدن متفاوت، رفتار کاملاً متفاوتی در داخل کوره داشته باشند.

۷. جمع‌بندی

نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که کیفیت آهک تولیدی تنها تابع دمای ناحیه پخت نیست، بلکه تعادل میان انتقال حرارت، انتقال جرم، ساختار متخلخل آهک و سرعت واکنش شیمیایی نقش تعیین‌کننده‌ای در فرآیند کلسیناسیون دارد.

افزایش بیش از حد دمای ناحیه پخت، اگرچه ممکن است در نگاه نخست موجب

تسریع فرآیند شود، اما در عمل می‌تواند با ایجاد زینترشدگی در لایه آهک، کاهش تخلخل و محدود شدن خروج CO₂، سرعت ادامه واکنش را کاهش دهد و در نهایت آهک با پخت بیش از حد (Overburnt) و راکتیویته پایین تولید کند.

بنابراین، بهره‌برداری بهینه از کوره‌های دبل‌شفت مستلزم شناخت دقیق ویژگی‌های سنگ آهک مصرفی و تنظیم شرایط عملیاتی متناسب با رفتار واقعی آن است، نه صرفاً افزایش دمای کوره.



توسعه مدیریت در سازمان

چکیده:

توسعه مدیریت یکی از ارکان اساسی موفقیت و پایداری سازمان‌ها در محیط رقابتی و پرتحول امروز به شمار می‌رود. سازمان‌هایی که به طور مستمر در مسیر ارتقای توانمندی‌های مدیریتی خود حرکت میکنند بهتر می‌توانند با تغییرات محیطی نیازهای ذی‌نفعان پیشرفت فناوری و پیچیدگی‌های بازار سازگار شوند توسعه مدیریت تنها به آموزش مهارت‌های فردی مدیران محدود نمی‌شود، بلکه مجموعه‌ای از اقدامات نظام‌مند مانند بهبود ساختارهای تصمیم‌گیری تقویت رهبری نهادینه‌سازی یادگیری سازمانی استفاده از فناوری‌های نوین و ایجاد فرهنگ نوآوری را در بر می‌گیرد. این مقاله با رویکردی توصیفی و تحلیلی مفهوم توسعه مدیریت اهمیت آن در سازمان روش‌ها و ابزارهای اجرایی نقش فناوری و تحول دیجیتال و نیز چالش‌ها و راهکارهای پیش رو را بررسی می‌کند. یافته‌های این بررسی نشان می‌دهد که توسعه مدیریت، علاوه بر افزایش کارایی و اثر بخشی سازمان موجب ارتقای انگیزش کارکنان بهبود کیفیت تصمیم‌گیری افزایش انعطاف‌پذیری و تقویت مزیت رقابتی می‌شود. در نهایت پیشنهاد می‌شود سازمان‌ها توسعه مدیریت را به عنوان یک فرآیند پیوسته راهبردی و سرمایه محور در نظر گرفته و آن را در سطوح مختلف ساختاری و رفتاری پیاده‌سازی کنند.

مقدمه:

در دنیای امروز سازمان‌ها با محیطی مواجه اند که به سرعت در حال تغییر است. جهانی شدن تحولات فناورانه تغییر انتظارات مشتریان فشارهای رقابتی و پیچیدگی‌های اقتصادی و اجتماعی همگی موجب شده‌اند که مدل‌های سنتی مدیریت کارایی گذشته را نداشته باشند. در چنین شرایطی صرف داشتن منابع مالی نیروی انسانی یا ساختار رسمی برای موفقیت سازمان کافی نیست؛ بلکه کیفیت مدیریت و توانایی مدیران در هدایت هماهنگی و تصمیم‌گیری عامل تعیین‌کننده در پیشرفت یا عقب ماندگی سازمان محسوب می‌شود.

توسعه مدیریت به معنای برنامه‌ریزی و اجرای مجموعه‌ای از اقدامات برای افزایش دانش مهارت نگرش و شایستگی‌های مدیران و همچنین بهبود فرآیندهای مدیریتی در سازمان است. این مفهوم هم جنبه فردی دارد و هم جنبه سازمانی؛ یعنی از یک سو بر رشد قابلیت‌های مدیران تمرکز می‌کند و از سوی دیگر به اصلاح ساختارها نظام‌ها و فرهنگ سازمانی می‌پردازد. امروزه سازمان‌های موفق توسعه مدیریت را نه یک فعالیت مقطعی بلکه یک رویکرد بلندمدت برای ارتقای عملکرد و تضمین بقا و رشد می‌دانند.

هدف این مقاله ارائه تصویری جامع از توسعه مدیریت در سازمان و تبیین ابعاد مختلف آن

است. در این راستا، ابتدا مفهوم توسعه مدیریت توضیح داده میشود، سپس اهمیت آن در سازمان‌ها مورد بررسی قرار می‌گیرد. در ادامه روش‌ها و ابزارهای کاربردی توسعه مدیریت معرفی می‌شود و نقش فناوری و تحول دیجیتال در این فرآیند تحلیل خواهد شد. در پایان نیز چالش‌های موجود و راهکارهای پیشنهادی ارائه می‌شود.

مفهوم توسعه مدیریت:

توسعه مدیریت به مجموعه فعالیت‌هایی اطلاق می‌شود که با هدف افزایش توانمندی مدیران و ارتقای کیفیت عملکرد مدیریتی در سازمان انجام می‌شود. این توسعه می‌تواند شامل آموزش رسمی کوچینگ منتورینگ یادگیری تجربی گردش شغلی مشارکت در پروژه‌های بین بخشی استفاده از بازخوردهای عملکردی باشد. در واقع توسعه مدیریت فراتر از آموزش‌های تئوریک است و بر کاربرد مهارت‌ها در موقعیت‌های واقعی سازمانی تأکید دارد.

از منظر نظری توسعه مدیریت ترکیبی از سه حوزه اصلی است دانش مهارت و نگرش دانش به فهم مفاهیم اصول و نظریه‌های مدیریتی اشاره دارد؛ مهارت به توانایی به کارگیری این دانش در عمل مربوط می‌شود؛ و نگرش نیز شامل ارزش‌ها، باورها و رفتارهایی است که سبک مدیریت را شکل می‌دهد. بنابراین مدیری که صرفاً از دانش نظری برخوردار است لزوماً مدیر اثربخشی نخواهد بود مگر آنکه بتواند دانش خود را در تعامل با کارکنان حل مسئله تصمیم‌گیری و هدایت سازمان به کار گیرد.

از دیدگاه سازمانی توسعه مدیریت بخشی از سرمایه‌گذاری بر سرمایه انسانی است. سازمان‌ها از طریق این فرآیند می‌کوشند مدیرانی تربیت کنند که نه تنها در شرایط عادی بلکه در شرایط بحرانی نیز توان هدایت سازمان را داشته باشند. همچنین توسعه مدیریت به ایجاد جانشین‌پروری شناسایی استعدادهای مدیریتی و آماده‌سازی رهبران



■ حسن خلیلی - مدیر معدن طیس

مجتمع فرآوری و معدنی زغالسنگ طیس(ممرادکو)

آینده کمک میکند.

اهمیت توسعه مدیریت در سازمان:

توسعه مدیریت از جنبه‌های مختلف برای سازمان اهمیت دارد و می‌تواند بر عملکرد کلی آن تأثیر عمیقی بگذارد. نخست آنکه مدیران توانمند قادرند تصمیم‌های دقیق‌تر، سریع‌تر و مبتنی بر شواهد اتخاذ کنند. در سازمان‌هایی که تصمیم‌گیری ضعیف است منابع هدر می‌رود تعارض‌ها افزایش می‌یابد و بهره‌وری کاهش پیدا می‌کند. در مقابل مدیرانی که از مهارت تحلیل برنامه‌ریزی و کنترل برخوردارند می‌توانند اهداف سازمان را به شکلی مؤثرتر محقق سازند.

دوم اینکه توسعه مدیریت موجب افزایش انگیزش و رضایت کارکنان می‌شود. رفتار مدیران نقش مستقیمی در ایجاد فضای کاری مثبت دارد. مدیری که مهارت ارتباطی عدالت‌ورزی، گوش دادن فعال و رهبری مؤثر دارد می‌تواند اعتماد کارکنان را جلب کرده و مشارکت آن‌ها را افزایش دهد. در چنین شرایطی تعهد سازمانی و بهره‌وری نیروی انسانی نیز تقویت می‌شود.

سوم توسعه مدیریت به سازمان کمک می‌کند تا با تغییرات محیطی سازگار شود. محیط کسب و کار امروز پر از عدم قطعیت است و سازمان‌ها ناگزیرند پیوسته خود را با شرایط جدید تطبیق دهند. مدیرانی که برای مدیریت تغییر آموزش دیده‌اند بهتر می‌توانند مقاومت سازمانی را کاهش دهند و فرآیند تحول را هدایت کنند.

چهارم توسعه مدیریت نقش مهمی در ارتقای نوآوری و یادگیری سازمانی دارد. سازمانی که مدیران آن از تفکر خلاق پذیرش ایده‌های نو و حمایت از یادگیری برخوردارند آمادگی بیشتری برای خلق مزیت رقابتی پایدار خواهد داشت. به همین دلیل توسعه مدیریت نه تنها برای بهبود عملکرد جاری بلکه برای تضمین آینده سازمان نیز ضروری است.

روشها و ابزارهای توسعه مدیریت:

برای توسعه مدیریت در سازمان روش‌ها و ابزارهای متنوعی وجود دارد که بسته به نوع سازمان سطح مدیران و اهداف راهبردی می‌توان از آن‌ها استفاده کرد. یکی از رایج‌ترین روش‌ها آموزش‌های رسمی مدیریتی است. این آموزش‌ها می‌توانند شامل دوره‌های دانشگاهی کارگاه‌های تخصصی سمینارها و دوره‌های ضمن خدمت باشند. آموزش رسمی به مدیران کمک می‌کند تا با مفاهیم نوین مدیریت رهبری برنامه‌ریزی منابع انسانی مالی و بازاریابی آشنا شوند.

روش دیگر کوچینگ و منتورینگ است. در کوچینگ فردی متخصص با طرح پرسش‌های هدفمند و بازخورد سازنده مدیر را در مسیر رشد فردی و حرفه‌ای همراهی می‌کند. منتورینگ نیز بر انتقال تجربه از مدیران با تجربه‌تر به مدیران جوان‌تر متمرکز است. این دو روش به ویژه در توسعه مهارت‌های رفتاری و رهبری بسیار مؤثرند.

گردش شغلی و مأموریت‌های بین‌بخشی نیز از ابزارهای کاربردی توسعه مدیریت محسوب می‌شوند. این اقدامات به مدیران امکان می‌دهند تا با واحدهای مختلف سازمان آشنا شوند، نگاه سیستمی پیدا کنند و درک بهتری از ارتباط میان بخش‌ها به دست آورند. علاوه بر این، مشارکت در پروژه‌های واقعی و مسئله‌محور باعث می‌شود که مدیران مهارت تصمیم‌گیری حل مسئله و کار تیمی را در عمل تجربه کنند.

ارزیابی عملکرد و بازخورد ۳۶۰ درجه نیز از ابزارهای مهم توسعه مدیریت است. این روش‌ها به مدیران کمک می‌کنند تا نقاط قوت و ضعف خود را از دیدگاه همکاران زیردستان هم‌تایان و مافوق‌ها بشناسند. هنگامی که بازخوردها به صورت حرفه‌ای و مستمر ارائه شوند، زمینه برای بهبود واقعی فراهم می‌شود.

در کنار این موارد ایجاد فرهنگ یادگیری سازمانی نیز اهمیت فراوان دارد. سازمانی که مطالعه تبادل تجربه یادگیری از خطاها و اشتراک دانش را تشویق می‌کند بستر مناسبی برای رشد مدیریت فراهم می‌سازد. بنابراین توسعه مدیریت صرفاً با برگزاری دوره‌های آموزشی محقق نمی‌شود، بلکه نیازمند محیطی حمایتی و یادگیرنده است.

نقش فناوری و تحول دیجیتال:

فناوری و تحول دیجیتال در سال‌های اخیر چهره مدیریت سازمانی را دگرگون کرده‌اند. ابزارهای دیجیتال امکان دسترسی سریع‌تر به اطلاعات تحلیل داده‌های پیچیده و تصمیم‌گیری دقیق‌تر را فراهم کرده‌اند. در چنین فضایی مدیران باید علاوه بر مهارت‌های سنتی از سواد دیجیتال و توانایی کار با سامانه‌های اطلاعاتی نیز برخوردار باشند.

یکی از مهم‌ترین اثرات فناوری بر توسعه مدیریت تسهیل آموزش و یادگیری است. امروزه دوره‌های آنلاین، وبینارها، پلتفرم‌های یادگیری الکترونیکی و منابع دیجیتالی

فرصت‌های گسترده‌ای برای توسعه مهارت‌های مدیریتی فراهم کرده‌اند. این ابزارها انعطاف‌پذیری بالایی دارند و امکان یادگیری مستمر را بدون محدودیت زمانی و مکانی فراهم می‌سازند.

از سوی دیگر تحول دیجیتال موجب افزایش شفافیت و سرعت در فرآیندهای مدیریتی شده است. سیستم‌های اطلاعات مدیریت داشبوردهای تحلیلی و ابزارهای هوش تجاری به مدیران کمک می‌کنند تا عملکرد سازمان را به صورت لحظه‌ای پایش کرده و بر اساس داده‌های واقعی تصمیم بگیرند. این موضوع به کاهش خطاهای انسانی و افزایش اثربخشی مدیریتی منجر می‌شود.

همچنین فناوری‌های نوین شیوه‌های همکاری و ارتباط درون سازمانی را تغییر داده‌اند. کار از راه دور تیم‌های مجازی و ارتباطات برخط نیازمند سبک‌های جدید رهبری هستند. مدیران باید بتوانند در محیط‌های دیجیتال نیز اعتمادسازی کنند عملکرد کارکنان را ارزیابی نمایند و انسجام تیمی را حفظ کنند. بنابراین توسعه مدیریت در عصر دیجیتال مستلزم آمادگی برای پذیرش فناوری و به روزرسانی مداوم مهارت‌های مدیریتی است.

چالش‌ها و راهکارها:

با وجود اهمیت فراوان توسعه مدیریت اجرای آن در بسیاری از سازمان‌ها با چالش‌هایی همراه است. یکی از مهم‌ترین چالش‌ها مقاومت در برابر تغییر است. برخی مدیران یا کارکنان ممکن است توسعه مدیریت را تهدیدی برای موقعیت یا عادت‌های کاری خود بدانند و در برابر برنامه‌های جدید مقاومت کنند. برای مقابله با این مشکل باید فرهنگ سازمانی به گونه‌ای شکل گیرد که یادگیری و تغییر به عنوان ارزش تلقی شود.

چالش دیگر کمبود منابع مالی و زمانی است. سازمان‌ها گاهی به دلیل فشارهای عملیاتی فرصت کافی برای اجرای برنامه‌های توسعه مدیریت ندارند. در این شرایط لازم است توسعه مدیریت در برنامه راهبردی سازمان گنجانده شود و به صورت مرحله‌ای و اولویت‌بندی شده اجرا گردد. استفاده از آموزش‌های کوتاه مدت آنلاین و مبتنی بر نیاز واقعی می‌تواند راهکاری مؤثر باشد.

نبود ارزیابی اثربخشی نیز از دیگر مشکلات رایج است. بسیاری از سازمان‌ها برنامه‌های آموزشی متعددی برگزار می‌کنند، اما شاخص روشنی برای سنجش نتایج آن ندارند. برای رفع این نقص باید پیش و پس از اجرای برنامه‌های توسعه معیارهایی مانند بهبود عملکرد رضایت کارکنان کیفیت تصمیم‌گیری و کاهش خطاها اندازه‌گیری شود.

از سوی دیگر عدم تناسب برنامه‌های توسعه با نیاز واقعی سازمان نیز می‌تواند اثربخشی آن را کاهش دهد. برنامه‌های توسعه مدیریت باید متناسب با مأموریت اندازه صنعت و سطح بلوغ سازمان طراحی شوند. نسخه‌های عمومی و غیرکاربردی معمولاً نتیجه مطلوبی به همراه

ندارند. بنابراین تحلیل نیاز آموزشی و مدیریتی پیش از اجرای هر برنامه ضروری است. در نهایت تعهد و حمایت مدیریت ارشد از عوامل کلیدی موفقیت در توسعه مدیریت است. اگر مدیران عالی سازمان خود به یادگیری و توسعه باور نداشته باشند سایر سطوح نیز انگیزه کافی برای مشارکت نخواهند داشت. از این رو الگوسازی مدیران ارشد می‌تواند نقشی تعیین‌کننده در موفقیت این فرآیند داشته باشد.

نتیجه‌گیری:

توسعه مدیریت در سازمان یک ضرورت راهبردی و نه صرفاً یک فعالیت آموزشی است. در شرایطی که سازمان‌ها با تغییرات سریع رقابت فزاینده و پیچیدگی‌های روزافزون مواجه‌اند، تنها سازمان‌هایی می‌توانند پایدار بمانند و رشد کنند که به طور مستمر توان مدیریتی خود را ارتقا دهند. توسعه مدیریت با تقویت دانش مهارت و نگرش مدیران به بهبود تصمیم‌گیری افزایش بهره‌وری تقویت انگیزش کارکنان ارتقای نوآوری و افزایش سازگاری سازمان با محیط کمک می‌کند.

برای دستیابی به این هدف استفاده همزمان از روش‌هایی مانند آموزش رسمی کوچینگ منتورینگ گردش شغلی ارزیابی عملکرد و یادگیری سازمانی ضروری است. همچنین فناوری و تحول دیجیتال فرصت‌های جدیدی برای یادگیری تحلیل و مدیریت اثربخش فراهم کرده‌اند که نباید از آن‌ها غفلت شود. با وجود چالش‌هایی مانند مقاومت در برابر تغییر کمبود منابع و نبود ارزیابی مناسب می‌توان با برنامه‌ریزی دقیق حمایت مدیریت ارشد و طراحی مبتنی بر نیاز بر این موانع غلبه کرد.

در مجموع توسعه مدیریت یک فرآیند مداوم پویا و چند بعدی است که موفقیت بلندمدت سازمان را تضمین می‌کند سازمانی که به رشد مدیران خود اهمیت می‌دهد در واقع بر آینده خود سرمایه‌گذاری می‌کند.

فهرست منابع:

- ۱- رضاییان، علی، اصول مدیریت، تهران، سمت
- ۲- رابینز استیفن پی و کولترمری مدیریت ترجمه فارسی تهران نشر ادیبان روز
- ۳- دراگر پیتر مدیریت برای قرن بیست و یکم ترجمه فارسی تهران سازمان مدیریت صنعتی
- ۴- هرسی پل بلانچارد کنت و جانسون دویی مدیریت رفتار سازمانی و رهبری ترجمه فارسی تهران نشر آموزش
- ۵- رضاییان، امیر، مدیریت منابع انسانی تهران: سمت

San Francisco: Berrett-Koehler
Managing Mintzberg, H-
New York: Harper & Row .The Practice
of Management .Drucker, P. F۷-
Boston: Pearson .Leadership in
Organizations .Yukl, G۸-
Armstrong's Handbook of Human
Resource Management .Armstrong, M ۹-

۱۰- مقالات و منابع عمومی در حوزه توسعه مدیریت، رهبری سازمانی، یادگیری سازمانی و تحول دیجیتال

استفاده از فن آوری های پیشرفته در بهبود کیفیت کنسانتره های زغال سنگ



■ مصطفی غلامی - مدیر کارخانه مجتمع فرآوری و معدنی زغالسنگ طبس (ممرادکو)

معرفی کلی موضوع

زغال سنگ به عنوان یکی از منابع مهم انرژی و مواد خام صنعتی، نقش حیاتی در اقتصاد جهانی ایفا می کند. با افزایش نیاز به انرژی و توسعه صنایع مختلف، تقاضا برای زغال سنگ با کیفیت بالا نیز افزایش یافته است.

کنسانتره های زغال سنگ، که شامل زغال سنگ فرآوری شده با خلوص بالا هستند، در صنایع متعددی از جمله فولادسازی، تولید برق و صنایع شیمیایی مورد استفاده قرار می گیرند.

اهمیت بهبود کیفیت کنسانتره های زغال سنگ

بهبود کیفیت کنسانتره های زغال سنگ از اهمیت بسیاری برخوردار است. زغال سنگ با کیفیت بالا دارای محتوای انرژی بیشتری است، که منجر به افزایش بهره وری و کاهش هزینه ها می شود. همچنین، استفاده از زغال سنگ با کیفیت بالاتر می تواند میزان انتشار آلاینده ها را کاهش دهد و تأثیرات زیست محیطی منفی را کم کند. از سوی دیگر، فرآوری و بهبود کیفیت زغال سنگ می تواند به کاهش ناخالصی ها و افزایش خلوص مواد منجر شود، که در نهایت به تولید محصولات با کیفیت بالاتر و افزایش رقابت پذیری صنایع می انجامد.

هدف مقاله

هدف از این مقاله بررسی و تحلیل استفاده از فناوری های پیشرفته در بهبود کیفیت کنسانتره های زغال سنگ است. در این مقاله به معرفی و ارزیابی فناوری های نوین جداسازی و فرآوری زغال سنگ، مقایسه آن ها با روش های سنتی، بررسی مطالعات موردی و ارائه چالش ها و موانع پیش رو پرداخته خواهد شد. همچنین، با نگاهی به آینده، توصیه هایی برای پژوهش ها و توسعه های آتی در این حوزه ارائه خواهد شد. این مقاله به دنبال آن است که نشان دهد چگونه استفاده از فناوری های پیشرفته می تواند به بهبود

فلوتاسیون

فلوتاسیون یکی از روش های شناور سازی است که برای جداسازی مواد معدنی با ارزش از مواد باطله استفاده می شود. در این فرآیند، مواد معدنی با استفاده از مواد شیمیایی خاص به سطح آب می آیند و از باطله ها جدا می شوند. فلوتاسیون به دلیل کارایی بالا و توانایی در جداسازی ذرات ریز، به طور گسترده ای در صنعت زغال سنگ مورد استفاده قرار می گیرد. این روش می تواند به طور موثری زغال سنگ با کیفیت بالا و خلوص بیشتر تولید کند.

سایر روش های جداسازی

علاوه بر جداسازی مغناطیسی و فلوتاسیون، روش های دیگری نیز برای جداسازی و فرآوری زغال سنگ وجود دارند که از جمله آن ها می توان به جداسازی گرانشی، جداسازی الکترواستاتیکی و جداسازی با استفاده از نانو فناوری اشاره کرد. هر یک از این روش ها دارای مزایا و معایب خاص خود هستند و بسته به نوع زغال سنگ و شرایط معدن، ممکن است به کار گرفته شوند.



فناوری های ارتقاء کیفیت روش های کاهش ناخالصی ها

یکی از اهداف مهم در فرآوری زغال سنگ، کاهش ناخالصی ها و افزایش خلوص زغال سنگ است. فناوری های مختلفی برای کاهش ناخالصی ها به کار می روند که شامل فرایندهای شیمیایی، بیولوژیکی و فیزیکی می شوند. به عنوان مثال، استفاده از مواد شیمیایی خاص برای حذف گوگرد و فلزات سنگین، یا استفاده از باکتری ها برای تجزیه مواد آلی ناخواسته، می تواند به بهبود کیفیت زغال سنگ منجر شود.

تکنیک های بهینه سازی عملکرد

تکنیک های بهینه سازی عملکرد شامل مجموعه ای از فرایندها و روش ها است که هدف آن ها افزایش بهره وری و کارایی در فرآوری زغال سنگ است. این تکنیک ها ممکن است شامل استفاده از الگوریتم های پیشرفته برای کنترل فرآیند، بهینه سازی شرایط عملیاتی، استفاده از حسگرهای پیشرفته برای مانیتورینگ مداوم و بهبود فرایندهای مکانیکی و شیمیایی باشند. هدف از این تکنیک ها افزایش بازده و کاهش هزینه ها و زمان فرآوری است.

استفاده از فناوری های پیشرفته در جداسازی و فرآوری زغال سنگ می تواند به بهبود کیفیت کنسانتره های زغال سنگ منجر شود و از این طریق، کارایی و پایداری صنایع مرتبط را افزایش دهد.

مقایسه فناوری های سنتی و پیشرفته بررسی مزایا و معایب هر روش فناوری های سنتی مزایا:

سادگی و قابلیت دسترسی: فناوری های سنتی مانند جداسازی گرانشی و شستشوی زغال سنگ به تجهیزات پیچیده نیاز ندارند و به راحتی قابل اجرا هستند.

هزینه پایین: این روش ها معمولاً هزینه های کمتری نسبت به فناوری های پیشرفته دارند. نگهداری و تعمیرات آسان: تجهیزات مورد استفاده در فناوری های سنتی به طور معمول ساده تر و آسان تر برای تعمیر و نگهداری هستند.

معایب:

کارایی پایین تر: فناوری های سنتی در جداسازی مواد با خلوص بالا و کاهش ناخالصی ها به اندازه فناوری های پیشرفته موثر نیستند.

مصرف انرژی بیشتر: بسیاری از روش های سنتی به دلیل کارایی پایین تر نیاز به انرژی بیشتری دارند.

تأثیرات زیست محیطی بیشتر: روش های سنتی اغلب باعث تولید بیشتر باطله و آلودگی محیط زیست می شوند.

فناوری های پیشرفته

مزایا:

کارایی بالاتر: فناوری های پیشرفته مانند فلوتاسیون و جداسازی مغناطیسی به دلیل

توانایی بالا در جداسازی و افزایش خلوص زغال سنگ، کارایی بیشتری دارند.

کاهش ناخالصی ها: این فناوری ها توانایی حذف موثرتر ناخالصی ها را دارند که منجر به تولید زغال سنگ با کیفیت بالاتر می شود. صرفه جویی در مصرف انرژی: بسیاری از فناوری های پیشرفته بهینه سازی شده اند تا مصرف انرژی کمتری داشته باشند.

معایب:

هزینه بالا: هزینه های اولیه برای نصب و راه اندازی فناوری های پیشرفته بالاست.

نیاز به تخصص فنی: استفاده از این فناوری ها نیاز به دانش و تخصص فنی بیشتری دارد.

نگهداری و تعمیرات پیچیده: تجهیزات پیشرفته نیاز به نگهداری و تعمیرات دقیق تری دارند که ممکن است هزینه های بیشتری را به همراه داشته باشد.

کارایی و بهره وری فناوری های سنتی:

کارایی این فناوری ها معمولاً پایین تر است و نمی توانند به اندازه فناوری های پیشرفته مواد با کیفیت بالا تولید کنند.

فرآوری زغال سنگ با استفاده از روش های سنتی ممکن است زمان بیشتری ببرد و نیاز به مراحل اضافی برای دستیابی به خلوص مناسب داشته باشد.

فناوری های پیشرفته:

فناوری های پیشرفته توانایی جداسازی مواد با دقت بالاتر و بهره وری بیشتری دارند. این روش ها می توانند به طور موثری زمان فرآوری را کاهش دهند و منجر به تولید زغال سنگ با کیفیت بالاتر در زمان کوتاه تر شوند.

هزینه ها و صرفه جویی اقتصادی

فناوری های سنتی:

هزینه های اولیه و عملیاتی کمتری دارند، اما به دلیل کارایی پایین تر ممکن است هزینه های عملیاتی بلندمدت بیشتری داشته باشند.

استفاده از فناوری های سنتی ممکن است منجر به مصرف بیشتر انرژی و مواد شیمیایی شود که هزینه های عملیاتی را افزایش می دهد.

فناوری های پیشرفته:

هزینه های اولیه برای نصب و راه اندازی بالاست، اما به دلیل کارایی و بهره وری بالاتر، هزینه های عملیاتی کمتری در طولانی مدت دارند.

استفاده از فناوری های پیشرفته می تواند به کاهش مصرف انرژی و مواد شیمیایی منجر شود که در نهایت باعث صرفه جویی اقتصادی می شود.

این فناوری ها ممکن است به دلیل توانایی در تولید زغال سنگ با کیفیت بالاتر، درآمد بیشتری را برای تولیدکنندگان فراهم کنند.

به طور کلی، با توجه به مزایا و معایب هر دو روش، استفاده از فناوری های پیشرفته در فرآوری زغال سنگ می تواند در بلندمدت به

بهبود کیفیت، افزایش بهره وری و صرفه جویی اقتصادی منجر شود.

مثال های عملی از کاربرد فناوری های پیشرفته در معادن زغال سنگ

۱. **مطالعه موردی:** استفاده از فناوری فلوتاسیون در معدن زغال سنگ زونگولداک، ترکیه

در معدن زغال سنگ زونگولداک در ترکیه، فناوری فلوتاسیون برای افزایش خلوص زغال سنگ استفاده شده است. این فناوری توانسته است به طور قابل توجهی محتوای خاکستر و گوگرد را کاهش دهد.

نتایج و دستاوردها:

کاهش محتوای خاکستر از ۲۰% به ۱۰% کاهش محتوای گوگرد از ۲% به ۰.۵% افزایش ارزش گرمایی زغال سنگ بهبود شرایط زیست محیطی به دلیل کاهش انتشار آلاینده ها

۲. **مطالعه موردی:** استفاده از فناوری جداسازی مغناطیسی در معدن زغال سنگ گرین ریور، آمریکا

در معدن زغال سنگ گرین ریور در آمریکا، از فناوری جداسازی مغناطیسی برای حذف مواد معدنی ناخواسته مانند پیریت و سایر مواد سنگین استفاده شده است.

نتایج و دستاوردها:

حذف موثر مواد معدنی سنگین و ناخالصی ها افزایش خلوص زغال سنگ تا ۹۵% کاهش هزینه های فرآوری و افزایش بهره وری بهبود کیفیت زغال سنگ برای استفاده در صنایع مختلف

۳. **مطالعه موردی:** استفاده از نانو فناوری در معدن زغال سنگ کوئینزلند، استرالیا

در معدن زغال سنگ کوئینزلند در استرالیا، از نانو فناوری برای افزایش سطح تماس بین زغال سنگ و عوامل جداسازی استفاده شده است. این فناوری به افزایش خلوص زغال سنگ کمک کرده است.

نتایج و دستاوردها:

افزایش سطح تماس و بهبود فرآیند جداسازی کاهش محتوای خاکستر تا ۸% افزایش بهره وری و کاهش مصرف مواد شیمیایی

کاهش هزینه های عملیاتی و بهبود سودآوری معدن

۴. **مطالعه موردی:** استفاده از الگوریتم های بهینه سازی در معدن زغال سنگ شنسی، چین

در معدن زغال سنگ شنسی در چین، از الگوریتم های بهینه سازی برای بهبود فرآیندهای تولید و جداسازی استفاده شده است. این الگوریتم ها توانسته اند به بهبود کارایی و کاهش هزینه ها کمک کنند.

نتایج و دستاوردها:

- بهبود کارایی فرآیندهای تولید و جداسازی تا ۲۰%

- کاهش هزینه های عملیاتی به دلیل بهینه سازی

- مصرف انرژی و مواد
- افزایش تولید زغال سنگ با کیفیت بالا
- بهبود شرایط ایمنی و کاهش حوادث در معدن

این مطالعات موردی نشان می‌دهند که استفاده از فناوری‌های پیشرفته در معادن زغال سنگ می‌تواند به بهبود کیفیت، افزایش بهره‌وری و کاهش هزینه‌ها منجر شود. همچنین، این فناوری‌ها می‌توانند به کاهش تأثیرات زیست‌محیطی و بهبود شرایط کاری در معادن کمک کنند.

چالش‌ها و موانع در استفاده از فناوری‌های پیشرفته در فرآوری زغال سنگ

مشکلات فنی

پیچیدگی فناوری:

فناوری‌های پیشرفته مانند فلوئاسیون، جداسازی مغناطیسی و نانو فناوری نیاز به تجهیزات پیچیده و تخصصی دارند. نصب، تنظیم و نگهداری این تجهیزات به مهارت‌ها و دانش‌های تخصصی نیاز دارد که ممکن است در بعضی مناطق در دسترس نباشد.

نگهداشت و تعمیرات:

نگهداشت و تعمیرات تجهیزات پیشرفته می‌تواند چالش‌برانگیز و هزینه‌بر باشد. به خصوص زمانی که قطعات یدکی نیاز به واردات دارند یا تکنسین‌های متخصص در دسترس نباشند.

سازگاری با فرآیندهای موجود:

ادغام فناوری‌های جدید با فرآیندهای سنتی و موجود ممکن است زمان‌بر و پیچیده باشد. نیاز به تغییر و تطبیق فرآیندها می‌تواند باعث توقف تولید و افزایش هزینه‌ها شود.

مسائل زیست‌محیطی

مدیریت پسماندها:

فرآیندهای پیشرفته ممکن است پسماندهای جدیدی تولید کنند که نیاز به مدیریت و دفع دارند. برخی از این پسماندها ممکن است خطرناک باشند و نیاز به روش‌های خاصی برای دفع داشته باشند.

مصرف انرژی:

برخی از فناوری‌های پیشرفته نیاز به انرژی بیشتری برای عملکرد دارند. افزایش مصرف انرژی می‌تواند به افزایش انتشار گازهای گلخانه‌ای و دیگر آلاینده‌ها منجر شود.

آلودگی آب و خاک:

استفاده از عوامل شیمیایی در فرآیندهای پیشرفته مانند فلوئاسیون می‌تواند باعث آلودگی منابع آب و خاک شود. دفع صحیح و مدیریت مواد شیمیایی اهمیت زیادی دارد تا از تأثیرات منفی بر محیط زیست جلوگیری شود.

موانع اقتصادی و مالی

هزینه‌های ابتدایی:

نصب و راه‌اندازی تجهیزات پیشرفته نیاز به سرمایه‌گذاری اولیه بالایی دارد. بسیاری از معادن به دلیل محدودیت‌های مالی نمی‌توانند این هزینه‌ها را تأمین کنند.

بازگشت سرمایه طولانی مدت:

بازگشت سرمایه در بعضی از فناوری‌های پیشرفته ممکن است زمان‌بر باشد. بنابراین، در شرایط اقتصادی نامناسب یا عدم اطمینان، معادن ممکن است تمایل کمتری به سرمایه‌گذاری در این فناوری‌ها داشته باشند.

ریسک‌های اقتصادی:

نوسانات قیمت زغال سنگ و عدم اطمینان از بازار ممکن است معادن را از سرمایه‌گذاری در فناوری‌های جدید باز دارد. در صورتی که بازگشت سرمایه تضمین نشود، ریسک مالی افزایش می‌یابد.

استفاده از فناوری‌های پیشرفته در فرآوری زغال سنگ می‌تواند چالش‌برانگیز باشد؛ اما با توجه به پتانسیل‌های بالای این فناوری‌ها در بهبود کیفیت، بهره‌وری و کاهش هزینه‌ها، مدیریت درست این چالش‌ها و موانع می‌تواند به سودآوری بلندمدت و بهبود شرایط زیست‌محیطی کمک کند. معادن باید با استفاده از راهکارهای مناسب و مشاوره با کارشناسان تخصصی بهترین راهکارها را برای غلبه بر این چالش‌ها و موانع انتخاب کنند.

آینده‌پژوهی و توصیه‌ها در فناوری‌های فرآوری زغال سنگ

نانو فناوری:

انتظار می‌رود که نانو فناوری نقش مهم‌تری در بهبود فرآوری زغال سنگ ایفا کند. با توسعه نانو مواد و نانو کاتالیست‌ها، می‌توان به بهبود عملکرد جداسازی و حذف آلاینده‌ها دست یافت و فرآیندهای شیمیایی را تسریع کرد.

هوش مصنوعی و اتوماسیون:

استفاده از هوش مصنوعی، یادگیری ماشین و اتوماسیون در فرآوری زغال سنگ به منظور بهبود کارایی، کاهش هزینه‌ها و پیشگیری از خطاهای انسانی گسترش خواهد یافت. این تکنولوژی‌ها می‌توانند بهینه‌سازی فرآیندها، پیش‌بینی خرابی‌ها و تحلیل داده‌ها را تسهیل کنند.

حسگرهای پیشرفته و اینترنت اشیا (IoT):

ترکیب حسگرهای پیشرفته و اینترنت اشیا می‌تواند نظارت و کنترل دقیق‌تری بر فرآیندهای فرآوری زغال سنگ فراهم کند. این تکنولوژی‌ها امکان جمع‌آوری داده‌های لحظه‌ای و تحلیل آن‌ها برای بهبود تصمیم‌گیری‌ها را فراهم می‌کنند.

فناوری‌های سبز:

توسعه و استفاده از فناوری‌های سبز و کم‌کربن در فرآوری زغال سنگ افزایش خواهد یافت. این شامل استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر، کاهش ضایعات و بهبود کارایی انرژی است.

بیوتکنولوژی:

پیشرفت‌های بیوتکنولوژی می‌تواند به بهبود فرآیندهای بیولوژیکی در حذف آلاینده‌ها کمک کند. میکروارگانیسم‌های جدید و مهندسی شده می‌توانند به تجزیه و حذف موادی مانند گوگرد و فلزات سنگین کمک

کنند.

پیشنهادات برای پژوهش‌های آینده

تحقیقات میان‌رشته‌ای:

تشویق به تحقیقات میان‌رشته‌ای بین مهندسی مواد، شیمی، بیوتکنولوژی، و علوم داده برای توسعه راهکارهای نوآورانه و جامع در فرآوری زغال سنگ.

بهینه‌سازی فرآیندهای موجود:

تحقیقات برای بهینه‌سازی و بهبود فرآیندهای فعلی مانند فلوئاسیون، جداسازی مغناطیسی و الکترواستاتیک به منظور افزایش کارایی و کاهش هزینه‌ها.

مدیریت پسماند و آلودگی:

توسعه روش‌های نوین و کاملاً امن برای مدیریت و دفع پسماندهای فرآوری زغال سنگ و کاهش تأثیرات زیست‌محیطی.

اقتصاد و هزینه:

مطالعات جامع برای بررسی سودآوری بلندمدت فناوری‌های پیشرفته و ارزیابی سرمایه‌گذاری‌ها بر اساس تحلیل‌های اقتصادی جامع.

مدیریت انرژی:

تحقیق در زمینه روش‌های کاهش مصرف انرژی در فرآوری زغال سنگ و استفاده از منابع انرژی تجدید پذیر.

توصیه‌هایی برای صنعت

سرمایه‌گذاری در تحقیق و توسعه:

معادن و صنایع فرآوری زغال سنگ باید بخش قابل توجهی از سرمایه‌گذاری‌های خود را به تحقیق و توسعه اختصاص دهند تا بتوانند از پیشرفت‌های علمی و فنی بهره‌مند شوند و رقابت‌پذیری خود را افزایش دهند.

آموزش و ارتقاء نیروی کار:

سرمایه‌گذاری در آموزش و ارتقاء مهارت‌های نیروی کار برای کار با فناوری‌های پیشرفته و پیچیده ضروری است. این شامل آموزش‌های تخصصی و پیوسته برای تکنسین‌ها و مهندسان است.

همکاری با دانشگاه‌ها و موسسات تحقیقاتی:

ایجاد همکاری‌های نزدیک با دانشگاه‌ها و موسسات تحقیقاتی به منظور استفاده از دانش و تکنولوژی‌های نوین می‌تواند به بهبود فرآوری زغال سنگ کمک کند.

پذیرش و تطبیق با فناوری‌های جدید:

صنایع باید آمادگی پذیرش و تطبیق با فناوری‌های جدید را داشته باشند. این شامل ایجاد زیرساخت‌های لازم و پذیرش تغییرات در فرآیندهای کاری است.

ترویج پایداری:

توجه به مسائل زیست‌محیطی و پیاده‌سازی شیوه‌های پایدار در فرآوری زغال سنگ می‌تواند به بهبود تصویر عمومی صنعت و کاهش تأثیرات منفی زیست‌محیطی کمک کند. این شامل کاهش مصرف آب، انرژی و مواد شیمیایی مخرب است.

ترکیب این رویکردها و توصیه‌ها می‌تواند به ارتقاء سطح فناوری و بهره‌وری در فرآوری



کاهش هزینه‌ها:

در درازمدت، فناوری‌های پیشرفته هزینه‌های تعمیر و نگهداری و مصرف انرژی را کاهش می‌دهند، و به همین دلیل قادر به ایجاد صرفه‌جویی‌های اقتصادی چشمگیری خواهند بود.

بهبود کیفیت زندگی:

کاهش انتشار آلاینده‌ها و مدیریت بهتر پسماندها به سلامت محیط زیست و بهبود کیفیت زندگی جوامع محلی کمک می‌کند.

نوآوری و تحقیق و توسعه:

پذیرش فناوری‌های پیشرفته زمینه‌های جدیدی از تحقیق و توسعه را باز می‌کند و فرصت‌های نوآورانه برای بهبود مستمر فرآیندها و محصولات فراهم می‌سازد.

چشم‌انداز نهایی

آینده فرآوری زغال سنگ در گرو پذیرش و ادغام فناوری‌های پیشرفته با فرآیندهای موجود است. با توجه به چالش‌های زیست‌محیطی و اقتصادی، نیاز به رویکردهای نوآورانه و پایدار بیش از پیش احساس می‌شود. سرمایه‌گذاری در تحقیق و توسعه، ارتقاء تخصص نیروی کار، و همکاری نزدیک با موسسات تحقیقاتی می‌تواند به ایجاد تغییرات مثبت و پایدار کمک کند.

در چشم‌انداز نهایی، انتظار می‌رود که فناوری‌های پیشرفته نقش عمده‌ای در بهبود کیفیت و بهره‌وری فرآوری زغال سنگ ایفا کنند. واحدهای صنعتی که به موقع به این تغییرات عکس‌العمل نشان دهند و با استفاده از رویکردهای نوین، چالش‌ها را به فرصت تبدیل کنند، در بازارهای رقابتی آینده موفق‌تر خواهند بود.

ایجاد توازن بین رشد اقتصادی و حفظ محیط زیست می‌تواند مسیر پایدار و موفق‌تری برای صنعت زغال سنگ ترسیم کند. این چشم‌انداز نه تنها از دیدگاه اقتصادی بلکه از دیدگاه اجتماعی و زیست‌محیطی نیز دارای اهمیت است و به سوی آینده‌ای سبزتر و پایدارتر رهنمون خواهد شد.

منابع و مراجع:

در نگارش این مقاله، از مجموعه‌ای از منابع علمی، پژوهشی و صنعتی استفاده شده است. این منابع شامل تحقیقات دانشگاهی، مقالات مجلات علمی، کنفرانس‌ها و نشریات صنعتی و تکنولوژیکی هستند. در ادامه، برخی از منابع مهم مورد استفاده قرار گرفته آورده شده‌اند:

مقالات مجلات علمی:

X. Liu, Y. Zhang, et al. (2020): "Advancements in Coal Beneficiation Technologies", Journal of Cleaner Production, Vol. 250, pp. 125-119.
J. Smith, A. Brown (2019): "Nanotechnology Applications in Coal Processing: Benefits and Challenges", Applied Nanoscience, Vol. 9, Issue 2, pp. 97-89.

تحقیقات دانشگاهی و پایان‌نامه‌ها:

P. K. Gupta (2018): "Characterization and Beneficiation of Coal with Advanced Techniques", Doctoral Dissertation, Indian Institute of Technology.
M. Hernandez (2021): "Electrostatic Separation of Minerals in Coal Processing", Master's Thesis, University of Queensland.

کنفرانس‌ها و سمینارها:

Proceedings of the International Conference on Coal Processing (ICCP 2019): "Recent Innovations in Coal Separation Techniques", held in Denver, USA.
10th World Coal Summit (WCS 2020): "Role of AI and Machine Learning in Enhancing Coal Productivity", held in Beijing, China.

نشریات صنعتی و تکنولوژیکی:

Coal International: A series of articles on "Advanced Coal Cleaning Technologies", Issues from 2019 to 2021.
Mining Magazine: December 2020 Edition, featuring "Case Studies on Magnetic and Flotation Separation Techniques".

کتاب‌ها و فصل‌های کتاب:

R. Tarasov, S. Kapsura (2017): "Modern Technologies for Coal Processing", Springer, Chapters 8-5.
A. Singh, R. Kumar (2020): "Advanced Separation Processes in Coal Industry", Elsevier, pp. 145-101.

گزارش‌ها و اسناد تحقیقاتی:

World Coal Association (WCA) Report (2019): "Global Advances in Coal Processing Technologies and Best Practices".
US Department of Energy (DOE) Report (2020): "Innovations in Coal Beneficiation and Environmental Impact Mitigation"

بررسی عملکرد فلوتاسیون مکانیکی در فرآوری زغال سنگ ریزدانه و عوامل موثر بر راندمان آن

چکیده:

فلوتاسیون مهم ترین روش فرآوری زغال سنگ ریزدانه در صنایع زغال شویی محسوب می شود. این فرآیند بر پایه تفاوت خواص سطحی ذرات زغال سنگ و مواد معدنی باطله عمل کرده و امکان بازیابی ذراتی را فراهم می کند که توسط روش های ثقلی قابل استحصال نیستند. در این پژوهش، اصول عملکرد سلول های فلوتاسیون مکانیکی، نقش مواد شیمیایی مصرفی و تأثیر پارامترهای عملیاتی بر بازیابی و کیفیت کنسانتره مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج مطالعات صنعتی نشان می دهد کنترل دقیق اندازه ذرات، دبی هوا، سرعت همزن و مصرف کلکتور می تواند منجر به افزایش بازیابی و کاهش خاکستر کنسانتره شود.

کلیدواژه ها: فلوتاسیون، زغال سنگ، فرآوری مواد معدنی، بازیابی، خاکستر، سلول مکانیکی

Mechanical Flotation

Performance in Fine Coal Processing Abstract Mechanical Botation is the most widely used technique for recovering pne coal particles in coal preparation plants. The process relies on differences in surface properties between coal particles and mineral matter. This paper reviews the Botation mechanism, Botation reagents, operating parameters and performance indicators affecting coal recovery and concentrate quality. Results indicate that particle size distribution, air Bow rate, impeller speed and reagent dosage significantly influence Botation efficiency and product quality. Keywords: Coal Flotation, Coal Preparation, Fine Coal Recovery, Mechanical Flotation Cell, Froth Flotation .

۱. مقدمه

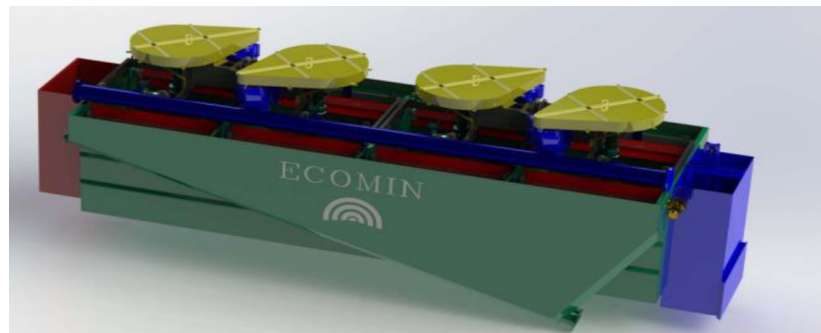
در دهه های اخیر افزایش مکانیزاسیون معادن و استفاده گسترده از تجهیزات خردایش موجب افزایش تولید ذرات ریزدانه زغال سنگ شده است. از آنجا که راندمان روش های ثقلی در ابعاد کمتر از ۰.۵ میلی متر کاهش می یابد، فلوتاسیون به عنوان مؤثرترین فناوری بازیابی این ذرات شناخته می شود. در بسیاری از کارخانه های زغال شویی، بیش از ۲۰ درصد خوراک در محدوده قابل فلوتاسیون قرار دارد و بخش قابل توجهی از ارزش اقتصادی محصول نهایی وابسته به عملکرد صحیح مدار فلوتاسیون است.



■ جعفر معظم آبادی - رئیس بخش عملیات کارخانه مجتمع فرآوری و معدنی زغال سنگ طبس (ممرادکو)

۲. اصول تئوری فلوتاسیون زغال سنگ

فلوتاسیون فرآیندی فیزیک و شیمیایی است که بر مبنای اختلاف خواص سطحی مواد عمل می کند. در این روش، ذرات آب گریز زغال سنگ به حباب های هوا متصل شده و به سطح پالپ منتقل می شوند. خوراک فلوتاسیون از طریق پمپ به مخازن



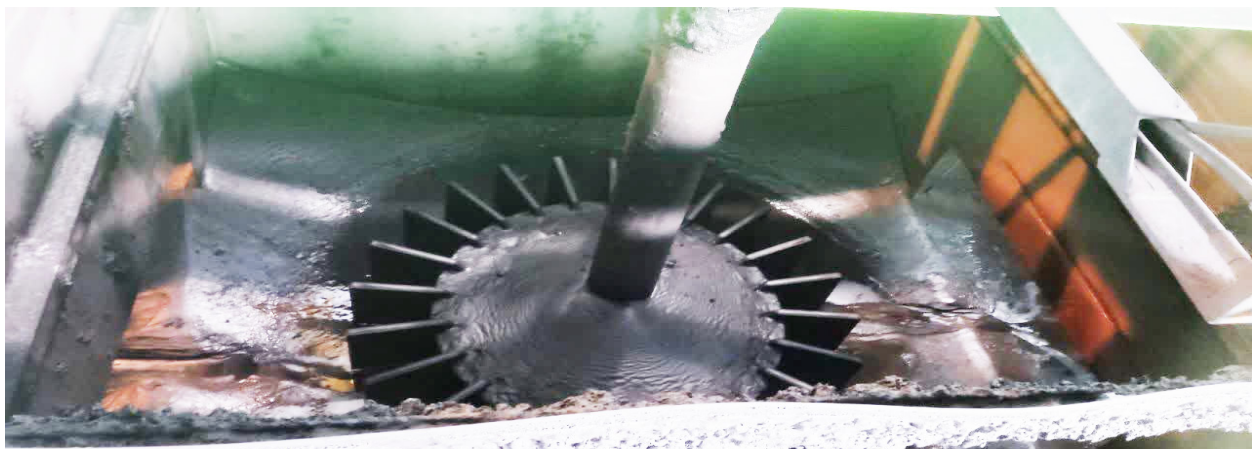
۳. ساختمان سلول فلوتاسیون مکانیکی

اجزای اصلی سلول عبارتند از: - مخزن پالپ - روتور - استاتور - سیستم هوادهی - پاروی جمع آوری کف روتور با سرعت بالا ضمن معلق نگه داشتن ذرات، هوا را به حباب های ریز تبدیل می کند. اندازه حباب ها نقش تعیین کننده ای در احتمال برخورد و اتصال ذرات دارد.

۴. مواد شیمیایی مصرفی

۴-۱ کلکتورها کلکتورها باعث افزایش آب گریزی سطح زغال سنگ می شوند. ۴-۲ کف سازها کف سازها باعث ایجاد کف پایدار هستند

خوراک سلول های فلوتاسیون فرستاده می شود. در این مخازن مواد شیمیایی مورد نیاز فرآیند فلوتاسیون (کلکتور و کفساز) متناسب با تناژ جامد در خوراک فلوتاسیون به آن اضافه می شود. این فرآیند توسط دو ردیف سلول فلوتاسیون مکانیکی انجام می گیرد. ابتدا یک مرحله توسط سلول های رافر عمل پرعیارسازی انجام می گیرد و سر ریز این بخش وارد سلول های کلینر شده و دوباره تحت فلوتاسیون قرار می گیرد و پرعیارتر می شود. کف تولید شده در فرآیند فلوتاسیون که حاوی محصول زغال سنگ ریز دانه است، جمع شده و برای آبگیری به واحد آبگیری انتقال می دهد. مراحل اصلی فرآیند عبارتند از: - برخورد ذره با حباب - اتصال ذره به حباب - انتقال به سطح پالپ - تشکیل کف - جمع آوری کنسانتره



۴-۳ تنظیم کننده ها جهت کنترل pH و کاهش شنواری مواد مزاحم مورد استفاده قرار می گیرن.

۵. عوامل مؤثر بر عملکرد فلوتاسیون

۵-۱ اندازه ذرات بهترین عملکرد فلوتاسیون معمولاً در محدوده ۴۵ تا ۳۰۰ میکرون مشاهده می شود. ۵-۲ دبی هوا

افزایش دبی هوا تا حد بهینه موجب افزایش سطح تماس حباب و ذره می شود، اما مقادیر بیش از حد باعث ناپایداری کف خواهد شد. ۵-۳ سرعت همزن سرعت همزن باید به گونه ای انتخاب شود که: - ته نشینی رخ ندهد. - حباب ها تخریب نشوند. - اختلاط یکنواخت ایجاد شود.

۵-۴ درصد جامد پالپ محدوده مطلوب در اکثر مدارهای صنعتی: ۱۰ تا ۲۰ درصد وزنی

۶. شاخص های ارزیابی عملکرد بازیابی که در آن R: بازیابی (%). F: وزن خوراک، C: وزن کنسانتره، f: عیار خوراک، c: عیار

کنسانتره راندمان جدایش که در آن: R_c: بازیابی ماده مفید - R_t: بازیابی مواد باطله است.

۷. چالش های عملیاتی

مهم ترین مشکلات مدارهای فلوتاسیون زغال سنگ عبارتند از:

- اکسیداسیون سطح زغال سنگ - حضور رس های ریزدانه - نوسان کیفیت خوراک - افزایش رطوبت کنسانتره - مصرف بالای مواد شیمیایی

۸. فناوری های نوین

فناوری های جدید شامل: - فلوتاسیون ستونی - سلول جیمسون - میکرو حباب ها - کنترل هوشمند کف - بینایی ماشین و هوش مصنوعی هستند که موجب افزایش بازیابی و کاهش هزینه های بهره برداری شده اند.

۹. نتیجه گیری

فلوتاسیون مکانیکی ستون اصلی بازیابی زغال سنگ ریزدانه در صنایع زغال شویی است. عملکرد این فرآیند تحت تأثیر عوامل متعددی از جمله اندازه ذرات، دبی هوا، سرعت همزن و نوع مواد شیمیایی قرار دارد. بهینه سازی این پارامترها می تواند موجب

افزایش بازیابی، کاهش خاکستر کنسانتره و بهبود عملکرد اقتصادی کارخانه شود. توسعه فناوری های نوین و سامانه های کنترل هوشمند نیز چشم انداز روشنی برای ارتقای بهره وری این فرآیند فراهم کرده است

منابع

1. Wills, B.A., Finch, J.A. Mineral Processing Technology, 8th Edition, 2016.
2. Fuerstenau, M.C. Froth Flotation: A Century of Innovation, 3. 2007.
3. Yoon, R.H. Coal Flotation Technology, SME Publications.
4. Klimpel, R.R. Flotation Reagents Handbook.
5. Osborne, D.G. Coal Preparation Technology.
6. Honaker, R.Q., Luttrell, G.H. Fine Coal Processing Technologies.
7. Arnold, B.J., Aplan, F.F. Coal Flotation Mechanisms.
8. Gupta, A., Yan, D.S. Mineral Processing Design and Operation.
9. Jameson, G.J. Advances in Flotation Technology.
10. International Journal of Coal Preparation and Utilization, Selected Papers.



■ فضل الله قاسمی - رئیس بخش عملیات معدن ۷ طیس مجتمع فرآوری و معدنی زغالسنگ طیس(ممرادکو)

چکیده

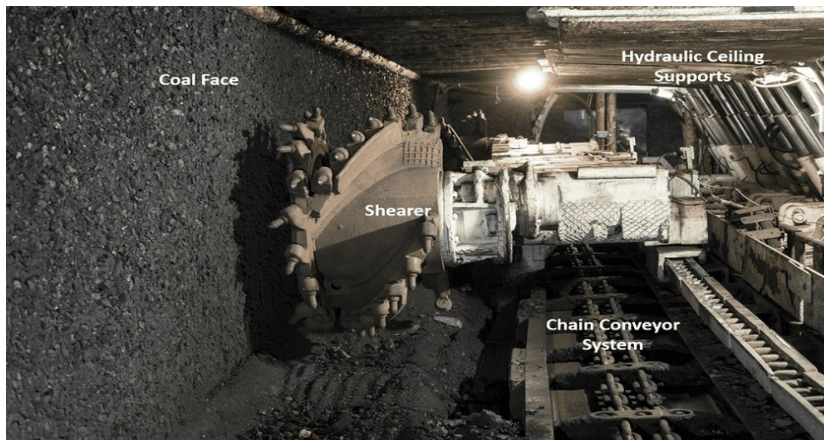
صنعت استخراج زغال سنگ در دهه های اخیر دستخوش تحولات اساسی شده است. فشارهای محیط زیستی، الزامات ایمنی، رقابت اقتصادی و پیشرفت های چشمگیر در فناوری، دست به دست هم داده اند تا سیستم سنتی این صنعت را به کلی دگرگون سازند. روش های نوین استخراج، با بهره گیری از اتوماسیون، هوش مصنوعی، سامانه های سنجش از دور و مواد منفجره هوشمند، نه تنها بهره وری را به طور قابل توجهی ارتقا داده اند، بلکه میزان آسیب های انسانی و زیست محیطی را نیز به شدت کاهش داده اند. این مقاله به بررسی جامع روش های پیشرفته استخراج زغال سنگ از جمله استخراج جبهه کار طولانی (Longwall Mining)، گازی سازی زیرزمینی زغال سنگ (UCG)، استخراج با فشار آب و فناوری های رباتیک می پردازد. همچنین چالش های پیش رو، فرصت های نوآوری و چشم انداز آینده این صنعت مورد تحلیل قرار می گیرد.

کلیدواژه ها: استخراج زغال سنگ، Longwall Mining، گازی سازی زیرزمینی، اتوماسیون معدن، روباتیک، ایمنی معدن، محیط زیست

۱. مقدمه: از بیل و کلنگ تا ربات

زغال سنگ، با سهم تقریبی ۲۷ درصد از تأمین انرژی اولیه جهان، همچنان نقشی محوری در اقتصاد جهانی ایفا می کند. بر اساس آمار آژانس بین المللی انرژی (IEA)، سالانه بیش از ۸ میلیارد تن زغال سنگ در جهان استخراج می شود که بخش قابل توجهی از آن به تولید برق، فولاد و سایر صنایع سنگین اختصاص دارد. با این حال، شیوه های سنتی استخراج

روش های نوین استخراج معادن زغال سنگ



روش استخراج لانگ وال

همواره با خطرات جانی، تخریب گسترده محیط زیست و هزینه های عملیاتی بالا همراه بوده اند.

انقلاب صنعتی چهارم، موجی از فناوری های نوین را به سمت صنایع معدنی هدایت کرده است. از دستگاه های حفاری CNC و سامانه های مکان یابی دقیق GPS تا پهپادهای مجهز به سنسورهای چندطیفی و هوش مصنوعی برای پیش بینی شکست سازه ها، فناوری به بخش جدایی ناپذیری از عملیات معدنکاری مدرن تبدیل شده است. تحول اساسی در این حوزه را می توان در محورهای زیر خلاصه کرد:

-گذار از استخراج دستی و نیمه مکانیزه به سامانه های کاملاً خودکار
-جایگزینی روش های مخرب با رویکردهای دقیق و کم آسیب
-بهره گیری از داده های بزرگ برای بهینه سازی بهره وری و کاهش ریسک
-یکپارچه سازی سامانه های مانیتورینگ در تمام مراحل استخراج
در این مقاله، مهم ترین روش های نوین استخراج زغال سنگ به تفصیل معرفی و ارزیابی می شوند. هدف، ارائه یک تصویر جامع از وضعیت کنونی و مسیر آتی این صنعت در سطح جهانی است.

۲. روش های نوین استخراج زیرزمینی

۲.۱ استخراج به روش جبهه کار طولانی (Longwall Mining)

استخراج جبهه کار طولانی، پیشرفته ترین و پربازده ترین روش استخراج زیرزمینی زغال سنگ در جهان محسوب می شود. در این روش، یک پنل وسیع از زغال سنگ (معمولاً ۱۵۰ تا ۴۰۰ متر عرض و ۱ تا ۵ کیلومتر طول) با استفاده از یک شیلدر (Shearer) غول پیکر به صورت مداوم برش داده می شود. پیشرفته ترین نسل این دستگاه ها، مجهز به سنسورهای آنالوگ و دیجیتال، دوربین های

۳. فناوری های نوین در استخراج روباز

۳.۱ ماشین آلات خودران و رباتیک

استخراج روباز (Surface Mining) نیز از موج اتوماسیون بی نصیب نمانده است. از ۳۰۰ تن، که شرکت هایی چون Komatsu و Caterpillar پیشگام تولید آن ها هستند، امروزه در بزرگ ترین معادن روباز جهان در حال عملیات هستند. این کامیون ها با ترکیب GPS دقیق، رادار و بینایی ماشین، قادرند به صورت کاملاً مستقل مسیرهای از پیش تعریف شده را طی کنند.

مراحل استخراج معادن روباز

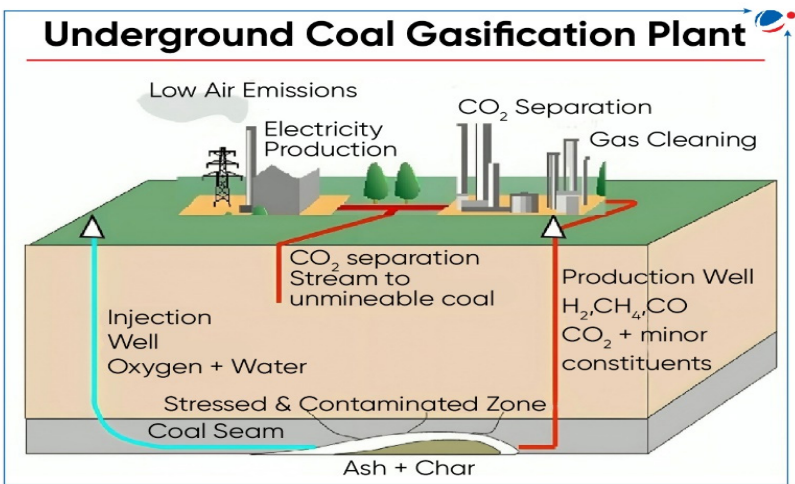
علاوه بر کامیون ها، بیل های مکانیکی خودکار و سیستم های حمل و نقل باری خودران نیز در حال گسترش هستند. شرکت Rio Tinto در معادن Pilbara استرالیا، یکی از اولین و موفق ترین پیاده سازی های سیستم کاملاً خودران را انجام داده که به کاهش هزینه های عملیاتی تا ۱۵ درصد و کاهش تصادفات به میزان ۸۰ درصد منجر شده است.

۳.۲ پهپادهای معدنی و سنجش از دور

کاربرد پهپادها در صنعت معدن، انقلابی در روش های نقشه برداری، پایش و بازرسی ایجاد کرده است. پهپادهای مجهز به دوربین های سبب بعدی می توانند در زمانی کمتر از یک ساعت، مدل های سبب بعدی دقیق از سطح معدن با دقت میلیمتری تهیه کنند؛ کاری که با روش های سنتی هفته ها وقت می برد. فراتر از نقشه برداری، پهپادهای چندطیفی قادرند غلظت متان و سایر گازهای خطرناک را از فاصله دور اندازه گیری کنند. همچنین سنسورهای حرارتی می توانند نقاط داغ ناشی از احتراق خودبه خودی زغال را در مراحل اولیه شناسایی کنند. این قابلیت از اهمیت فوق العاده ای برای پیشگیری از آتش سوزی و انفجار برخوردار است.



نمایی روش استخراج اتاق و پایه



گازی سازی زغال در زیر زمین

در معدن کاری مدرن، نگهداری پیشگیرانه (Predictive Maintenance) تجهیزات ماشین آلات سنگین و تحلیل آبی داده های ارتعاش، دما، فشار روغن و جریان الکتریکی، الگوریتم های یادگیری ماشین می توانند خرابی های احتمالی را هفته ها پیش از وقوع پیش بینی کنند.

شرکت BHP در معادن زغال سنگ استرالیا گزارش داده است که پیاده سازی سیستم های Predictive Maintenance مبتنی بر هوش مصنوعی، هزینه های نگهداری را تا ۲۵ درصد کاهش داده و از توقف های غیرمنتظره تجهیزات تا ۷۰ درصد جلوگیری کرده است. این اعداد در مقیاس یک معدن بزرگ، به صرفه جویی ده ها میلیون دلار در سال برابر است.

۴.۲ مدل سازی بلوکی پیشرفته

و برنامه ریزی استخراج

نرم افزارهای مدل سازی بلوکی نظیر GEOVIA و Leapfrog، با پردازش داده های حفاری اکتشافی، مدل های سبب بعدی دقیقی از توزیع ذخایر زغال سنگ در زیر زمین می سازند. این مدل ها، پایه برنامه ریزی بلندمدت استخراج را تشکیل می دهند. الگوریتم های بهینه سازی، با در نظر گرفتن قیمت زغال، هزینه های عملیاتی، محدودیت های ژئوتکنیکی و الزامات زیست محیطی، بهینه ترین ترتیب و روش استخراج را تعیین می کنند.

۴.۳ اینترنت اشیاء و معادن هوشمند

مفهوم «معدن هوشمند» (Smart Mine) بر اساس یکپارچه سازی تمامی اجزای عملیاتی از طریق شبکه های اینترنت (Internet of Things) بنا شده است. در این مدل، هر قطعه از تجهیزات، هر کارگر (از طریق تجهیزات پوشیدنی)، و هر نقطه از معدن از طریق سنسورها به یک سیستم مرکزی متصل است. مرکز کنترل یکپارچه می تواند در هر لحظه، موقعیت و وضعیت همه چیز را

۳.۳ انفجار هوشمند و الکترونیکی

سیستم های چاشنی الکترونیکی (Electronic Detonators) با دقت زمانی در حد میلی ثانیه، جایگزین چاشنی های سنتی شده اند. این دستگاه ها امکان برنامه ریزی دقیق زمان بندی انفجار در هر حفره را به صورت مستقل فراهم می کنند که به کاهش چشمگیر لرزش زمین، کنترل بهتر ابعاد سنگ شکسته شده و بهینه سازی مصرف مواد منفجره منجر می شود.

نرم افزارهای طراحی انفجار نظیر ShotPlus و JKSimBlast، با تحلیل مدل های زمین شناسی سبب بعدی، بهینه ترین الگوی حفاری و انفجار را پیشنهاد می دهند. این رویکرد، نه تنها کارایی را بالا می برد بلکه آلودگی صوتی و لرزش های مضر برای ساختارهای مجاور را به حداقل می رساند.

۴.۱ هوش مصنوعی و داده محوری در مدیریت معدن

۴.۱ سیستم های پیش بینی

و نگهداری پیشگیرانه

یکی از مهم ترین کاربردهای هوش مصنوعی

به صورت آنی رصد کند.

شبکه‌های بی‌سیم صنعتی نسل پنجم با پهنای باند بالا و تأخیر زیر یک میلی‌ثانیه، زیرساخت ارتباطی این انقلاب دیجیتال را فراهم می‌کنند. شرکت‌هایی مثل Sony و Ericsson، راه‌حل‌های اختصاصی شبکه خصوصی ۵G برای معادن ارائه داده‌اند که کارایی و قابلیت اطمینان عملیات را به شکل معناداری بهبود می‌بخشد.

هوشمند سازی استخراج از معادن زغالسنگ

۵. ایمنی پیشرفته و ملاحظات زیست محیطی

۵.۱ فناوری‌های پیشرفته ایمنی

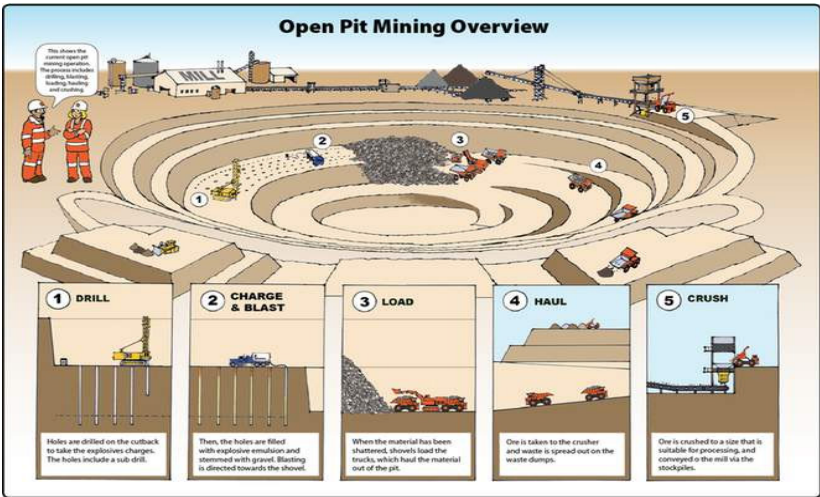
سیستم‌های تنفسی فردی نسل جدید، مجهز به سنسورهای تشخیص گازهای سمی، امکان پایش سلامت هر کارگر به صورت مداوم را فراهم می‌کنند. حسگرهای توزیع‌شده متان (با حساسیت ۱ ppm) در سراسر تونل‌ها نصب شده‌اند که در صورت افزایش غلظت، به صورت خودکار سیستم‌های تهویه را فعال و در صورت لزوم تجهیزات را متوقف می‌کنند. فناوری‌های شناسایی پایداری سقف تونل، از جمله سیستم‌های بولت هوشمند (Smart Roof Bolts) مجهز به سنسورهای کشش، با پیش‌اطبار به اپراتور از وقوع ریزش سقف جلوگیری می‌کنند. این سیستم‌ها در کنار کمربندهای ایمنی مبتنی بر UWB (Ultra-Wideband) که موقعیت دقیق کارگران را تا ۳۰ سانتیمتر ردیابی می‌کنند، منظومه‌ای جامع از ایمنی پیشگیرانه را تشکیل می‌دهند.

۵.۲ کاهش اثرات زیست‌محیطی

فناوری‌های مدیریت آب اسیدی معادن (AMD - Acid Mine Drainage) با بهره‌گیری از بیوراکتورهای باکتریایی و سیستم‌های تصفیه پیشرفته، از آلودگی منابع آبی جلوگیری می‌کنند. سیستم‌های کنترل گرد و غبار با استفاده از پخش مه آب به فشار بالا در نقاط منبع، انتشار ذرات معلق ریز را تا ۹۰ درصد کاهش می‌دهند.

توپوگرافی‌سازی و احیای معادن متروک با استفاده از تکنیک‌های زمین‌شناسی و کشاورزی مدرن، جنبه مهمی از مسئولیت‌پذیری اجتماعی شرکت‌های معدنی شده است. فناوری‌های ترمیم زمین شامل کمپوست‌سازی بیولوژیکی خاک، کاشت گونه‌های بومی و مدیریت هیدرولوژی حوضه آبریز، می‌توانند اکوسیستم‌های تخریب‌شده را طی ده تا بیست سال بازسازی کنند.

مناسب برای	هزینه	ایمنی	بهره‌وری	روش
لایه های ضخیم	متوسط	بالا	بسیار بالا	Long wall Mining
ذخایر عمیق	پایین	خیلی بالا	بالا	UCG
لایه‌های نازک	پایین	بالا	متوسط	اتاق و پایه مکانیزه
ذخایر سطحی	متوسط	بالا	خیلی بالا	رو باز خودران



مراحل استخراج معادن روباز

۶. مقایسه تطبیقی روش‌ها

جدول زیر مقایسه‌ای از اصلی‌ترین روش‌های نوین استخراج ارائه می‌دهد:

۷. چالش‌ها و چشم‌انداز آینده

علیرغم پیشرفت‌های بسیار زیاد، صنعت استخراج زغال‌سنگ با چالش‌های جدی روبرو است. بزرگ‌ترین معضل، تناقض بین نیاز فوری به انرژی در کشورهای در حال توسعه و فشارهای روزافزون برای کاهش انتشار کربن است. توافق‌نامه پاریس و اهداف خنثی‌سازی کربن سال ۲۰۵۰، فشار مضاعفی بر صنعت وارد می‌کنند.

با این حال، دو حوزه فناوری می‌توانند پیوند میان زغال‌سنگ و آینده پایدار را برقرار کنند: اول، فناوری‌های ذخیره‌سازی و بازگیری کربن که امکان استفاده از زغال‌سنگ با اثر کربنی بسیار پایین را فراهم می‌کنند؛ و دوم، تبدیل زغال‌سنگ به محصولات ارزش‌تری مانند گرافن، نانولوله‌های کربنی و زغال فعال که بازارهای جدیدی با ارزش افزوده بسیار بالا ایجاد می‌کنند.

در افق ده تا پانزده‌ساله، می‌توان انتظار داشت که معادن کاملاً خودکار با حضور صفر یا حداقل کارگر در محیط‌های خطرناک، به استاندارد صنعت تبدیل شوند.

۸. نتیجه‌گیری

صنعت استخراج زغال‌سنگ در آستانه تحولی عمیق و پیچیده قرار دارد. روش‌های نوین از یک سو بهره‌وری اقتصادی و ایمنی را به شکل بی‌سابقه‌ای ارتقا می‌دهند و از سوی دیگر، با ابزارهای فناورانه سعی در کاهش اثرات

زیست‌محیطی دارند.

روش جبهه کار بلند هوشمند، گازی‌سازی زیرزمینی، اتوماسیون کامل با رباتیک و هوش مصنوعی، و سامانه‌های مانیتورینگ IoT محوری‌ترین فناوری‌هایی هستند که چهره این صنعت را دگرگون می‌کنند.

مستلزم سرمایه‌گذاری همزمان در تحقیق و توسعه فناوری، آموزش نیروی انسانی ماهر، به‌روزرسانی چارچوب‌های قانونی و نظارتی، و تقویت همکاری‌های بین‌المللی است. ایران به‌عنوان دارنده ذخایر قابل‌توجه زغال‌سنگ، فرصت استثنایی دارد تا با اتخاذ رویکردهای نوین، از این ذخایر به‌شکلی بهینه، ایمن و مسئولانه بهره‌برداری کند.

منابع و مراجع:

World Coal Association (2024). Coal Facts 2024. London: WCA Publications
 IEA – International Energy Agency (2024). Coal 2024: Analysis and Forecast to 2029. Paris: OECD/IEA-2
 3Szymański, P., & Kramek, M. (2023). «Automation and Robotics in Underground Coal Mining.» Mining Engineering Journal, 128–112, (4)75
 4Blinderman, M. S., & Bhakta, A. C. (2022). Underground Coal Gasification: Theory and Practice. Oxford Academic Press
 5Komatsu Mining Corp. (2024). Longwall Automation Systems – Technical Reference Guide. Milwaukee: Komatsu
 6BHP Group (2023). FY2023 Sustainability Report. Melbourne: BHP
 7Hartman, H. L., & Mutmansky, J. M. (2022). Introductory Mining Engineering (3rd ed.). Hoboken: Wiley
 8Rio Tinto (2024). Autonomous Haulage System – Performance Review 2024. London: Rio Tinto

مواد منفجره جهت آتشباری معادن

■ صادق کرمی اول -رئیس بخش مهندسی معدن
 مجتمع فراوری و معدنی زغالسنگ طیس(ممرادکو)



آمولایت چیست؟

آمولایت یک ماده منفجره صنعتی است که در برخی عملیات معدنی و عمرانی برای شکستن سنگ و تسهیل حفاری/استخراج به کار می‌رود. این ماده معمولاً برای استفاده در محیط‌های کنترل‌شده و توسط افراد آموزش‌دیده طراحی می‌شود، نه برای کاربردهای عمومی.

ویژگی‌های کلی

- **صنعتی و پر قدرت:** برای تولید انرژی انفجاری در عملیات مهندسی کاربرد دارد.
- **کاربرد معدن‌کاری:** بیشتر در آتشباری معادن و تخریب کنترل‌شده سنگ استفاده می‌شود.
- **حساس به شرایط نگهداری و حمل:** معمولاً نیازمند رعایت مقررات سخت‌گیرانه است.

• **استفاده با سامانه‌های محرک:** در سطح کلی، برای فعال شدن به محرک/چاشنی نیاز دارد.

کاربردهای رایج

- استخراج مواد معدنی از سنگ‌های سخت
- حفاری و خردایش کنترل‌شده

- برخی پروژه‌های راه‌سازی و عمرانی سنگین نکات ایمنی مهم
- نگهداری، حمل و مصرف آن فقط باید طبق مقررات رسمی و توسط افراد مجاز انجام شود.
- عواملی مثل رطوبت، ضربه، جرقه، الکتریسیته ساکن و جریان‌های ناخواسته می‌توانند خطر ساز باشند.

- در محیط معدن، کنترل منطقه، فاصله ایمن، و هماهنگی تیمی بسیار مهم است.
- تفاوت با چاشنی
- آمولایت: ماده اصلی انفجاری/بار اصلی
- چاشنی: وسیله‌ای برای تحریک یا آغاز واکنش

آمولایت در مقابل ANFO (مقایسه کلی و غیر عملی)

ویژگی	آمولایت (Ammolite)	ANFO (Ammonium Nitrate Fuel Oil)
ماهیت	ماده منفجره صنعتی، غالباً پودری یا دانه‌ای، فرمولاسیونهای متنوع	مخلوطی ساده از نیترات آمونیوم (به صورت گرانول) و نفت/روغن سوخت (Fuel Oil)
کاربرد اصلی	انفجارهای مهندسی، معدنکاری (به ویژه در مواردی که نیاز به قدرت انفجار خاصی باشد)	انفجارهای مهندسی، معدنکاری، حفاریهای بزرگ، تخریب (به عنوان یک ماده منفجره ارزان و پرکاربرد)
قدرت/انرژی	بسته به فرمولاسیون، میتواند قدرت انفجار بالاتری نسبت به ANFO داشته باشد (نیاز به مشخصات فنی)	قدرت انفجار نسبتاً خوب و قابل قبول برای کاربردهای عمومی، اما معمولاً کمتر از برخی مواد تخصصی
سرعت انفجار	بسته به فرمولاسیون، میتواند متغیر باشد.	سرعت انفجار نسبتاً پایینتر (حدود 3000-4500 متر بر ثانیه)
حساسیت	معمولاً با چاشنی قویتری (مانند چاشنی الکتریکی یا غیرالکتریکی) راهاندازی میشود.	نسبتاً پایدار و کمحساسیت، اما برای انفجار به چاشنی قوی نیاز دارد.
هزینه	معمولاً گرانتر از ANFO به دلیل فرمولاسیون پیچیده‌تر و تخصصیتر.	بسیار ارزان و مقرون‌به‌صرفه، یکی از دلایل پرکاربرد بودن آن.
ساختار شیمیایی	فرمولاسیونهای متنوعی دارد که ممکن است شامل نیترات آمونیوم، سوخت و مواد افزودنی دیگر باشد.	نیترات آمونیوم (94 درصد) + نفت / روغن سوخت (6 درصد)
ملاحظات ایمنی	نیازمند رعایت پروتکل‌های دقیق نگهداری، حمل و راهاندازی؛ حساسیت به شوک و اصطکاک بسته به نوع.	نسبتاً ایمن در حمل و نقل؛ اما مخلوط آن باید با دقت تهیه شود و در برابر منابع اشتعال محافظت شود.

روش استخراج زیرزمینی جبهه کار بلند (Long Wall Mining)

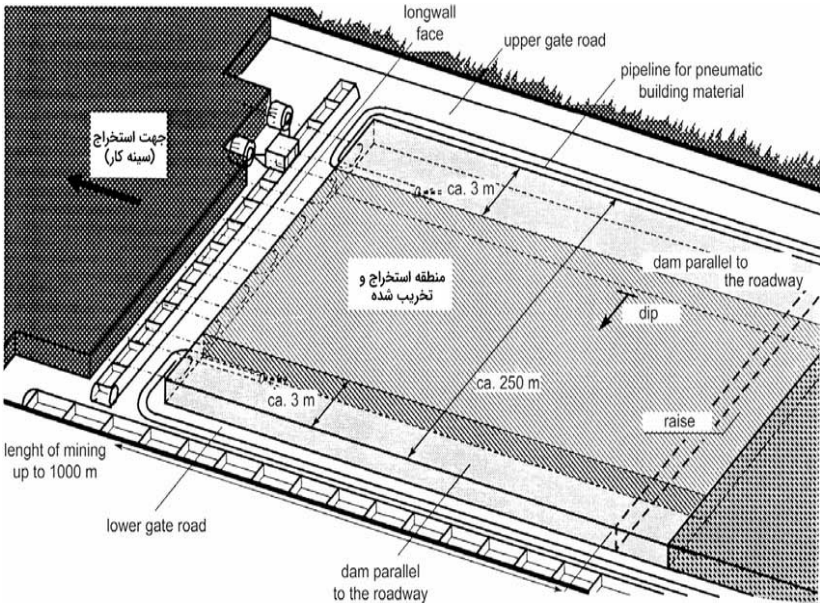
■ احمد ابراهیمی - مسئول گروه پیشروی معدن
مجمع فرآوری و معدنی زغالسنگ طبس(ممرادکو)

نمونه بارز این شیوه استخراج در کشور ایران در جبهه کارهای معادن می‌توان مشاهده و مطالعه نمود. کلمه لانگ بلند یا طولانی (Long) بودن جبهه کار و وال (Wall) منظور همان سینه کار می‌باشد. این شیوه استخراج نسبت به سایر روش‌های دیگر نگهداری شده معروف‌تر و پرتیرین‌تر است، لذا مطالب در تشریح آن عمده‌تر خواهد بود. وقتی که شیوه جبهه کار بلند ابداع گردید، صرفاً برای استخراج لایه‌های زغال‌سنگ طراحی شده بود. پس از اصلاح یک سری علوم در این روش و اضافات دیگر توانستند، موادمعدنی فلزی نظیر اورانیوم و طلا را نیز با این دوئل استخراج کنند. در سال ۱۹۶۱، در ناحیه سن جوئن ایالت یوتا در آمریکا کمپانی معدن کاری هکلا) عملیات جبهه کار بلند (رادن) را تمرین نمود. البته این قدمت ۴۸ ساله تنها تاریخ چه شروع و دقیق این سیستم استخراج نمی‌باشد.

لایه‌هایی که ضخامت آن‌ها از ۳ تا ۸ فوت و زاویه شیب کمتر از ۱۲ درجه، همچنین عمقی بالای ۳۰۰۰ فوت داشته باشند. این شیوه استخراج را می‌توان در آن‌ها به کار برد. ویژگی مهم دیگری که بایستی در مشخصات زمین ساختی لایه باشد نازک بودن کمر بالا و ضعیف بودن و قابلیت ریزش کردن آن بعد از تخلیه ماده معدنی است. بدین ترتیب عمل ریزش کمر بالا (باطله سقف) بایستی با پسروری روی جبهه کار بدون هیچ مقاومت یا تاخیری در پشت پایه‌های موقت نگهدارنده انجام گیرد.

شکل (۱) نمای عملیات استخراج به روش جبهه کار بلند پایه‌های موقت مربوط به (استال) و (دود) از سری گزارشات سازمان معدنکاری ایالات متحده آمریکا در سال ۱۹۵۴ را نشان می‌دهد. بر خلاف کمر بالا که بایستی شل و قابل ریزش باشد، کمر پایین لایه معدنی (باطله کف) بایستی به قدری محکم باشد که تجهیزات نگهدارنده (موقت) بر اثر فشار سقف و نیروی هیدرولیک (پایه‌ها) به زمین کف کارگاه فرو نرود (نشست نکنند). از طرفی تجهیزات دیگر استخراج قادر باشند به راحتی تردد نمایند. چون روش جبهه کار بلند تعداد زیادی پایه‌های هیدرولیکی جهت نگهداری موقت لازم دارد جزء سیستم‌های استخراج با حفاظ مصنوعی محسوب می‌شود و از طرفی چون تخریب سقف در پشت سر الزامی است. به این دلیل سهمی را هم از روش‌های استخراج ریزشی (تخریبی) به خود اختصاص داده است.

شکل (۱) - نمای از روش استخراج جبهه کار بلند
در روش جبهه کار بلند، تولید زغال‌سنگ یا



شکل (۱) - نمای از روش استخراج جبهه کار بلند

انواع روشهای جبهه کار بلند و عملیات اصلی در آنها			
مکانیزه	نیمه مکانیزه	ساده	
رنده، شیر	چالزنی و آتشکاری	پیکور	روش کندن
AFC	AFC	ناو زنجیری، نیروی نقل	حمل و نقل کارگاهی
نگهدارنده‌های قدرتی	تک پایه‌های فلزی	پایه‌های چوبی و فلزی	نگهداری
تخریب	پر کردن، تخریب، به هم رسیدن سقف و کف	پر کردن، تخریب، به هم رسیدن سقف و کف	کنترل سقف

هر کانی تحت استخراج دیگر در امتداد خط جبهه کار بلند (طول) واقع می‌شود و جبهه طولی در حقیقت دیوارماده معدنی می‌باشد، که بین ۲ ورودی محفظه دار (پانلی) محصور می‌گردد. جبهه کارهای بلند با دیوارهای ماده معدنی، معمولاً طولی بین ۲۰۰ تا ۶۰۰ فوت را در کارگاه به خود اختصاص می‌دهد. طول ۱۰۰۰ فوت و بیشتر هم در برخی سینه کارهای بلند تمرین شده است.

تاریخچه معدنکاری نشان می‌دهد که روش استخراج جبهه کار بلند در اواخر قرن ۱۷ میلادی (حدود ۳۵۰ سال پیش) در ناحیه زغال‌سنگ اشروپشایر در انگلستان بنیاد شده است. روش جبهه کار بلند مدور برای سال‌های متمادی ادامه داشته است.

همان طوری که قبلاً گفته شد شیوه جبهه کار بلند وجه مشترکی از روش‌های تخریبی دارد. برای تأمین این هدف پایه‌های هیدرولیکی یا همان حفاظ‌های مکانیکی یا قدرتی طوری طراحی می‌شود که پس از هر پیشروی سقف باطله از پشت کانایه حفاظ فوراً بشکند و ریزش کند. این عمل قسمت عمده وزن طبقات پوشش را که سوار بر حفاظ‌ها هستند با مواد ریزش شده پر می‌کند و نیرو در ناحیه تخریب و بر روی مواد تخریب شده اعمال خواهد شد.

به این ترتیب چرخه پیشروی (جبهه) و (حفاظ) و (ریزش) ادامه خواهد یافت. بعد از هر ریزش بر اثر از بین رفتن نیروی تیر مانند در طول سقف، فشارهای روی جبهه کار کاهش می‌یابد و بنابراین محیط ایمن تری برای کار به دست داده می‌شود

سبک‌های روش جبهه کار بلند

روش جبهه کار بلند دارای سه سبک عمده به شرح زیر می‌باشد:

۱. سبک پس رو (Retreat)
۲. سبک پیش رو- پس رو (-Advance Retreat)
۳. سبک پس روی تناوبی (Alternating retreat)

سبک پیش رو - پس رو:

در این سبک عمل استخراج با انجام پیشروی در دو ورودی پانلی پی در پی صورت می‌گیرد. جبهه طولانی در بین این دو ورودی پس روی خواهد کرد. نمای سبک پیش رو - پس رو در شکل (۶) نمایش داده شده است.

در این شکل ورودی‌های شماره ۱ و ۲ به صورت پیش رو حرکت می‌کنند و جبهه کار بلند به صورت پس رو جهت می‌گیرد، که در ظاهر هر دو ورودی و جبهه کار بلند به صورت همسو پیشروی می‌کنند. در سمت چپ شکل (۶) یک طول ۳۰۰۰ فوتی بین ورودی اصلی و ورودی که تجهیزات معدن در آن سوار می‌شود باقی‌می‌ماند.

سبک استخراج پیش رو - پس رو در موارد زیر به کار می‌رود:

الف) موقعی که پیش روی ورودی پانل عقب افتاده باشند و نتوانند برای پسروری جبهه

کار دراز تکمیل شود.

ب) موقعی که پیش بینی در استخراج ماده معدنی و برآورد هزینه‌ها متضمن تأخیر در استخراج نشود.

ج) وقتی که شرایط زمین شناسی و فیزیکی در ناحیه معدنکاری محدود کننده تعداد ورودی‌ها باشد یا به عبارت دیگر تعدد ورودی‌ها مسئله ساز باشد.

سبک پیش رو- پس رو از روش پس رو گرانتر تمام می‌شود، زیرا فرار راه‌ها، تونل‌های حمل و نقل و تهویه به بازرسی دقیق تر و نگهداری بیشتری نیاز دارند، تا سعی شود مسدود نشوند و استخراج متوقف نگردد. همچنین مستلزم ضربه ایمنی بیشتری برای افراد و ماشین آلات در حال کار می‌باشد.

ناو زنجیری از جمله تجهیزات باربری معادن محسوب می‌شود که بویژه در مسیرهای پیشروی مورد استفاده قرار گرفته و سرعت و حجم انتقال مواد حفاری شده از سینه کار به نوار نقاله‌های خروجی معدن را به میزان چشمگیری افزایش می‌دهد. این قابلیت نه تنها استهلاک نیروی انسانی معدن را کاهش داده بلکه موجب سرعت گرفتن فرایند پیشروی معادن، کاهش زمان دسترسی به استخراج و افزایش راندمان تولید می‌شود. ناو زنجیری که یکی از تجهیزات پرکاربرد عملیات پیشروی معادن است، به صورت خرید خارجی تأمین می‌شود.

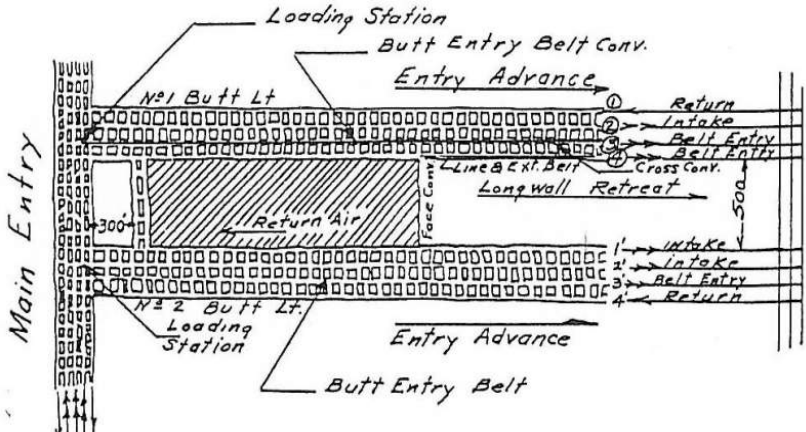
مزایای استفاده از نوار نقاله زنجیری

نوار نقاله زنجیری مزایای ویژه‌ای دارد که استفاده از آن را مناسب و به‌صرفه می‌کند. از مزایای آن می‌توان به موارد زیر اشاره کرد.

- **دوام بالا:** نوار نقاله زنجیری به دلیل ساختار مقاوم خود برای جابجایی مواد سنگین، ساینده و داغ بسیار مناسب بوده و عمر طولانی دارد.

- **انعطاف‌پذیری در طراحی:** این سیستم قابلیت استفاده در مسیرهای مستقیم، منحنی یا شیب‌دار را داشته و متناسب با نیازهای مختلف طراحی می‌شود.

- **ظرفیت بالا:** نوار نقاله زنجیری توانایی انتقال حجم زیادی از مواد را در واحد زمان فراهم کرده و برای صنایع سنگین ایده‌آل است.



- **نگهداری آسان:** طراحی ساده این سیستم نیاز به تعمیرات پیچیده را کاهش داده و نگهداری آن هزینه‌بر نیست.

- **قابلیت کار در شرایط سخت:** این سیستم در برابر گردوغبار، رطوبت و دماهای بالا مقاوم بوده و در محیط‌های خشن به‌خوبی عمل می‌کند.

معایب استفاده از نوار نقاله زنجیری

در کنار مزایای ویژه‌ای که این نوار نقاله‌ای دارد، معایبی نیز وجود دارد. مانند:

- **هزینه اولیه بالا:** ساخت و نصب نوار نقاله زنجیری به دلیل استفاده از مواد مقاوم و طراحی پیچیده، گران‌تر از برخی سیستم‌های دیگر است.

- **وزن زیاد:** ساختار فلزی این سیستم سنگین بوده و نیاز به پایه‌های مستحکم و زیرساخت قوی دارد.

- **سرعت محدود:** سرعت پایین این سیستم برای مواد شکننده یا ظرفیت مناسب نبوده و ممکن است کارایی را کاهش دهد.

- **سروصدا:** حرکت زنجیر در این سیستم معمولاً سروصدای زیادی تولید کرده و در محیط‌های حساس مشکل‌ساز است.

- **نیاز به روانکاری:** برای کاهش سایش و افزایش عمر زنجیر، نیاز به روانکاری مداوم وجود دارد که هزینه نگهداری را افزایش می‌دهد.

ظرفیت انتقال مواد در نوار نقاله

زنجیری

ظرفیت انتقال مواد در نوار نقاله زنجیری به عوامل متعددی وابسته است. عرض و طول زنجیر تأثیر مستقیمی بر ظرفیت دارد؛ زنجیرهای عریض‌تر امکان جابجایی مواد بیشتری را فراهم می‌کنند.

سرعت زنجیر، که معمولاً بین ۰٫۱ تا ۰٫۵ متر بر ثانیه است، و نوع ماده (چگالی و اندازه ذرات) نیز بر میزان ظرفیت اثر می‌گذارند. زاویه شیب مسیر نیز مهم است؛ شیب‌های تندتر ظرفیت را کاهش می‌دهند.

به طور کلی، این سیستم‌ها می‌توانند از چند تن تا چند صد تن در ساعت مواد جابجا کنند. برای مثال، در معادن بزرگ، نوار نقاله‌های زنجیری قادر به انتقال تا ۱۰۰۰ تن مواد معدنی در ساعت هستند.

اهمیت و نقش مدیر معدن



■ محسن صادقی - رئیس بخش عملیات معدن ۵B مجتمع معدنی و فرآوری زغالسنگ طیس (ممرادکو)

منابع مالی و ملاحظات زیست محیطی نیز می گردد. اما چگونه می توان یک معدن را به درستی مدیریت کرد؟ چه چالش هایی در این مسیر وجود دارد و چگونه می توان آن ها را برطرف کرد؟

مدیریت معدن چیست و چرا اهمیت دارد؟

مدیریت معدن به فرآیند برنامه ریزی، سازماندهی، هدایت و کنترل تمامی فعالیت های مرتبط با استخراج و بهره برداری از معادن گفته می شود. این فعالیت ها شامل اکتشاف، استخراج، پردازش مواد معدنی، مدیریت نیروی انسانی، تأمین تجهیزات و رعایت استانداردهای زیست محیطی است. مدیریت صحیح معدن، باعث افزایش بهره وری، کاهش هزینه ها و به حداقل رساندن خطرات مرتبط با فعالیت های معدنی می شود. اهمیت مدیریت معدن در این است که بدون یک برنامه ریزی دقیق و اجرای صحیح فرایندهای معدنکاری، نه تنها ذخایر معدنی به درستی استخراج نمی شوند، بلکه هزینه های اضافی و خطرات ناشی از کار در معادن نیز افزایش پیدا می کند. مدیران معدن باید به عوامل مختلفی از جمله موقعیت معدن، شرایط زمین شناسی، تکنولوژی های موجود و نیروی انسانی توجه داشته باشند تا بتوانند بهترین روش های استخراج را به کار گیرند. یکی از جنبه های مهم مدیریت معدن، کنترل مسائل ایمنی و بهداشت شغلی است، زیرا کار در معادن همواره با خطراتی مانند ریزش، انفجار، گازهای سمی و آسیب های جسمانی همراه است. با اجرای صحیح استانداردهای ایمنی و استفاده از تجهیزات مناسب، می توان از بروز حوادث جلوگیری کرد و شرایط کاری بهتری برای کارکنان معدن فراهم نمود. مدیریت معدن همچنین نقش کلیدی در



حفاظت از محیط زیست دارد. فعالیت های معدنی ممکن است موجب آلودگی خاک، آب و هوا شوند، به همین دلیل اجرای سیاست های زیست محیطی مانند بازسازی معادن پس از بهره برداری، کنترل پسماندها و کاهش آلاینده ها بسیار حائز اهمیت است. مدیریت صحیح در این بخش، باعث کاهش اثرات منفی معدنکاری بر محیط زیست و افزایش پایداری معادن می شود. به طور کلی، مدیریت معدن یک فرآیند چندبعدی است که موفقیت آن مستلزم هماهنگی بین بخش های مختلف از جمله مهندسی معدن، برنامه ریزی مالی، تأمین تجهیزات، نیروی انسانی و رعایت ملاحظات ایمنی و زیست محیطی است. هرچه مدیریت معدن اصولی تر انجام شود، میزان تولید و بازدهی اقتصادی معدن بالاتر رفته و از هدر رفت منابع جلوگیری می گردد.

اصول کلیدی مدیریت معدن

مدیریت معدن شامل مجموعه ای از فرایندهای مهم و کلیدی است که اجرای صحیح آن ها تأثیر مستقیمی بر بهره وری، ایمنی و سودآوری پروژه های معدنی دارد. مدیران معدن باید تمامی جنبه های فنی، مالی، عملیاتی و زیست محیطی را در نظر بگیرند تا عملیات استخراج و بهره برداری به بهترین شکل ممکن انجام گیرد. در ادامه، به مهم ترین اصول مدیریت معدن پرداخته می شود.

۱- برنامه ریزی استراتژیک

- برنامه ریزی یکی از مهم ترین اصول در مدیریت معدن است، زیرا تعیین می کند که عملیات معدنکاری در چه بازه زمانی و با چه میزان منابع انجام گیرد. - برنامه ریزی استراتژیک شامل تحلیل ذخایر معدنی، تعیین روش های استخراج، ارزیابی

ریسک ها و پیش بینی هزینه های عملیاتی است. این فرآیند به مدیران کمک می کند تا تصمیمات بهتری بگیرند و از هدر رفت منابع جلوگیری شود.

- بدون برنامه ریزی مناسب، ممکن است استخراج مواد معدنی با مشکلاتی مانند کمبود تجهیزات، تأخیر در پروژه و افزایش هزینه های غیرضروری مواجه شود.

۲-مدیریت نیروی انسانی

- نیروی انسانی یکی از مهم ترین سرمایه های یک معدن است و مدیریت صحیح آن تأثیر مستقیمی بر بهره وری دارد. مدیران معدن باید بر روی آموزش، ایمنی و ایجاد انگیزه در کارکنان تمرکز کنند تا عملکرد تیم عملیاتی بهینه گردد.

- یکی از بخش های مهم مدیریت نیروی انسانی، بهبود ایمنی کارکنان معدن است، زیرا کار در معادن دارای خطرات بالایی مانند ریزش تونل، گازهای سمی و حوادث ناشی از تجهیزات سنگین است.

- آموزش مداوم کارکنان، استفاده از تجهیزات ایمنی و نظارت دقیق بر فرایندهای کاری، باعث کاهش حوادث و افزایش کارایی کارگران خواهد شد.

۳-مدیریت تجهیزات و ماشین آلات

- در یک معدن، استفاده از ماشین آلات و تجهیزات سنگین ضروری است و بدون نگهداری مناسب آن ها، عملیات استخراج دچار اختلال خواهد شد. مدیریت تجهیزات شامل انتخاب ماشین آلات مناسب، تعمیر و نگهداری پیشگیرانه و ارتقاء فناوری های مورد استفاده در معدن است.

- یکی از چالش های اصلی در مدیریت تجهیزات، تأمین قطعات یدکی و انجام سرویس های دوره ای است که اگر به درستی انجام نشود، هزینه های عملیاتی معدن افزایش خواهد یافت.

- مدیران معدن باید از نرم افزارهای پیشرفته مدیریت ماشین آلات استفاده کنند تا اطلاعات دقیقی از عملکرد تجهیزات، میزان مصرف سوخت و هزینه های نگهداری به

دست آورند.

۴- مدیریت مالی و اقتصادی

- کنترل هزینه ها و تأمین منابع مالی برای اجرای پروژه های معدنی، یکی از مهم ترین اصول مدیریت معدن است. بدون یک برنامه ریزی مالی دقیق، هزینه های استخراج ممکن است از میزان درآمد معدن فراتر رود و معدن دچار ضرر مالی شود.

- مدیران باید هزینه های مربوط به خرید تجهیزات، حقوق کارکنان، هزینه های استخراج و نگهداری را بررسی کرده و با استفاده از راهکارهای مناسب، میزان سودآوری معدن را افزایش دهند.

- همچنین، جذب سرمایه گذاران و تأمین منابع مالی برای توسعه معادن جدید، بخش مهمی از مدیریت مالی معدن به شمار می رود.

۵- مدیریت زیست محیطی و پایداری

- فعالیت های معدنی تأثیر زیادی بر محیط زیست دارند و اگر به درستی مدیریت نشوند، می توانند موجب آلودگی آب، هوا و خاک شوند. مدیران معدن باید برنامه های جامعی برای کاهش اثرات زیست محیطی معدنکاری داشته باشند.

- اجرای برنامه های بازسازی معادن پس از پایان بهره برداری، استفاده از روش های استخراج کم آلاینده و کنترل پسماندهای صنعتی، از جمله راهکارهای مدیریت زیست محیطی در معادن است.

- همچنین، با استفاده از تکنولوژی های نوین مانند بازیافت آب و کاهش انتشار گازهای گلخانه ای، می توان اثرات منفی معدنکاری بر محیط زیست را به حداقل رساند.

چالش های اصلی مدیریت معدن

مدیریت معدن یک فرآیند پیچیده و چندبعدی است که با چالش های متعددی روبه رو می شود. این چالش ها می توانند بر عملکرد کلی معدن تأثیر گذاشته و منجر به کاهش بهره وری، افزایش هزینه ها و مشکلات زیست محیطی شوند. مدیران معدن باید این چالش ها را شناسایی کرده و با راهکارهای



مناسب، تأثیر آن ها را کاهش دهند. در ادامه، مهم ترین چالش های مدیریت معدن بررسی می شود.

۱- چالش های فنی و عملیاتی

- یکی از چالش های اصلی در مدیریت معدن، انتخاب روش مناسب برای اکتشاف و استخراج مواد معدنی است. هر معدن شرایط زمین شناسی خاص خود را دارد و استفاده از روش های نادرست می تواند باعث کاهش راندمان و افزایش هزینه ها شود.

- مشکلات فنی مرتبط با ماشین آلات سنگین، مانند خرابی های مکرر یا عدم دسترسی به قطعات یدکی، می تواند بهره وری عملیات را کاهش دهد. نگهداری و تعمیرات پیشگیرانه یکی از راهکارهای مهم برای جلوگیری از توقف فعالیت های معدنی است.

- عدم دسترسی به فناوری های نوین و نبود تجهیزات پیشرفته در برخی معادن، یکی دیگر از چالش های مدیریتی است که می تواند باعث کاهش سرعت و دقت در استخراج شود.

۲- چالش های اقتصادی و مالی

- نوسانات قیمت مواد معدنی در بازار جهانی، یکی از بزرگ ترین چالش های اقتصادی برای مدیران معدن است. کاهش ناگهانی قیمت مواد معدنی می تواند بر سودآوری معدن تأثیر منفی گذاشته و سرمایه گذاری های جدید را با مشکل مواجه کند.

- هزینه های بالای تأمین و نگهداری تجهیزات، نیروی انسانی و حمل و نقل مواد معدنی، از دیگر چالش های اقتصادی در معدنکاری است. مدیران باید استراتژی های مالی مناسبی برای کاهش هزینه ها و افزایش بهره وری داشته باشند.

- دسترسی به منابع مالی و سرمایه گذاری های جدید نیز یک چالش مهم محسوب می شود. شرکت های معدنی باید بتوانند سرمایه گذاران را متقاعد کنند که پروژه های معدنی آن ها سودآور و دارای توجیه اقتصادی است.

۳- چالش های زیست محیطی

- فعالیت های معدنی اثرات مخربی بر محیط

زیست دارند، از جمله آلودگی هوا، خاک و منابع آبی. مدیران معدن باید تدابیری برای کاهش این اثرات اتخاذ کنند تا مطابق با استانداردهای زیست محیطی عمل کنند.

- حفظ منابع طبیعی و اجرای برنامه های بازسازی معادن پس از پایان بهره برداری، یکی دیگر از چالش های اساسی در مدیریت معادن است. در بسیاری از کشورها، معادن ملزم به اجرای برنامه های احیای زمین و کاهش آلاینده ها هستند.

- با افزایش نظارت های دولتی و فشارهای سازمان های محیط زیستی، شرکت های معدنی باید از فناوری های کم آلاینده و روش های پایدارتر برای استخراج استفاده کنند.

۴- چالش های نیروی انسانی

- کمبود نیروی کار ماهر در صنعت معدن یکی از مشکلات جدی است که می تواند بهره وری را کاهش دهد. مدیران معدن باید به آموزش و توسعه مهارت های کارکنان توجه ویژه ای داشته باشند.

- شرایط کاری سخت در معادن، از جمله دماهای بالا، محیط های خطرناک و ساعات کاری طولانی، می تواند باعث کاهش انگیزه و راندمان نیروی کار شود. ایجاد شرایط کاری بهتر و بهبود ایمنی، یکی از راه های رفع این چالش است.

- رعایت استانداردهای ایمنی و پیشگیری از حوادث کار، یکی دیگر از چالش های مهم در مدیریت نیروی انسانی در معادن است. هرگونه سهل انگاری در این زمینه می تواند باعث حوادث جدی و حتی مرگ و میر در معادن شود.

راهکار های بهینه سازی مدیریت معدن

مدیریت کارآمد معدن نیازمند برنامه ریزی دقیق، بهره گیری از فناوری های نوین و اجرای سیاست های بهینه سازی در بخش های مختلف است. چالش های موجود در مدیریت معدن از جمله هزینه های بالا، مسائل زیست محیطی و مشکلات فنی، می توانند با به کارگیری راهکارهای علمی و تکنولوژیک کاهش یابند. در ادامه برخی از مهم ترین راهکارهای بهینه سازی مدیریت معدن بررسی می گردد.

۱- استفاده از فناوری های نوین

- یکی از بهترین روش ها برای بهینه سازی مدیریت معدن، بهره گیری از فناوری های نوین مانند هوش مصنوعی، اینترنت اشیا و تحلیل داده های بزرگ است. این فناوری ها می توانند میزان بهره وری را افزایش داده و هزینه های عملیاتی را کاهش دهند.

- استفاده از پهپادها برای نقشه برداری دقیق معادن، سنسورهای هوشمند برای پایش شرایط محیطی و نرم افزارهای مدیریت داده، از جمله راهکارهایی هستند که می توانند در بهینه سازی فرآیندهای معدنی نقش مؤثری داشته باشند.

- اتوماسیون و رباتیک نیز در سال های اخیر نقش مهمی در بهبود عملکرد معادن ایفا کرده اند، به طوری که بسیاری از معادن بزرگ از ماشین آلات خودکار برای حفاری و استخراج استفاده می کنند.

۲- بهینه سازی فرایند های عملیاتی

- مدیریت صحیح و بهینه سازی فرآیندهای عملیاتی، نقش مهمی در افزایش بهره وری معدن دارد. برنامه ریزی دقیق برای استخراج، استفاده از روش های کارآمد حفاری و بهینه سازی حمل و نقل مواد معدنی، می تواند تأثیر زیادی بر کاهش هزینه ها داشته باشد.

- انتخاب صحیح روش های استخراج با توجه به نوع ذخایر معدنی و شرایط زمین شناسی، یکی از اقدامات مهم در بهینه سازی فرآیندهای عملیاتی است. استفاده از روش های ترکیبی، مانند استخراج روباز در کنار روش های زیرزمینی، می تواند بهره برداری از ذخایر را به حداکثر برساند.

- همچنین، بهینه سازی فرآیندهای نگهداری و تعمیرات ماشین آلات معدنی، از طریق اجرای برنامه های تعمیر و نگهداری پیشگیرانه، می تواند از خرابی های ناگهانی جلوگیری کند و هزینه های اضافی را کاهش دهد.

۳- مدیریت بهتر نیروی انسانی

- نیروی انسانی یکی از مهم ترین عوامل تأثیرگذار در مدیریت معدن است و افزایش بهره وری آن ها، تأثیر مستقیمی بر عملکرد کلی معدن دارد. با اجرای برنامه های آموزشی،

ارائه دوره های مهارت افزایی و بهبود شرایط کاری، می توان کارایی کارکنان را افزایش داد.

- افزایش انگیزه در میان کارکنان معدن، از طریق ارائه پاداش های عملکردی، بهبود محیط کاری و ایجاد فرصت های رشد، می تواند تأثیر مثبتی بر بهره وری داشته باشد.

- همچنین، اجرای سیستم های مدیریت ایمنی برای کاهش خطرات کاری و حفظ سلامت کارکنان، می تواند باعث کاهش حوادث شغلی و افزایش کارایی نیروی انسانی گردد.

۴- به کارگیری مدل های اقتصادی پایدار

- مدیریت صحیح هزینه ها و ایجاد مدل های اقتصادی پایدار، یکی از راهکارهای کلیدی برای بهینه سازی معدنکاری است. شرکت های معدنی باید علاوه بر کاهش هزینه های غیرضروری، به دنبال جذب سرمایه گذاران و تأمین مالی مناسب برای اجرای پروژه های خود باشند.

- اجرای طرح های بهره وری انرژی، کاهش مصرف سوخت و استفاده از انرژی های تجدیدپذیر در معادن، می تواند هزینه های عملیاتی را به میزان قابل توجهی کاهش دهد.

- همچنین، استفاده از نرم افزارهای مدیریت مالی و تحلیل هزینه ها، می تواند به مدیریت کمک کند تا دید بهتری نسبت به وضعیت مالی پروژه های معدنی خود داشته باشند و تصمیمات بهتری اتخاذ کنند.

مقایسه مدیریت معدن روباز و زیر زمینی

مدیریت معدن در معادن روباز و زیرزمینی تفاوت های اساسی دارد که بر روش های استخراج، هزینه ها، ایمنی و تأثیرات زیست محیطی تأثیرگذار است. در جدول زیر، تفاوت های کلیدی بین این دو نوع معدن بررسی شده است.

کلام آخر

. مدیریت معدن فرآیندی پیچیده اما حیاتی برای موفقیت در بهره برداری از منابع معدنی است. با استفاده از فناوری های نوین، آموزش نیروی انسانی و بهینه سازی فرآیندها، می توان چالش های این حوزه را مدیریت کرد

مورد مقایسه	معادن روباز	معادن زیرزمینی
هزینه های عملیاتی	کمتر به دلیل عدم نیاز به تونلزنی و سیستمهای تهویه پیچیده	بیشتر به دلیل هزینههای بالای حفاری، تهویه و نگهداری تونلها
ایمنی	ایمنتر، به دلیل دسترسی آسانتر و تهویه طبیعی	خطرات بالاتر، شامل ریزش تونلها و مشکلات تهویه
تأثیرات زیستمحیطی	بیشتر به دلیل تخریب سطح زمین و آلودگی هوا	کمتر، اما خطر آلودگی آبهای زیرزمینی وجود دارد
دسترسی به ذخایر معدنی	محدود به ذخایر سطحی و کمعمق	امکان استخراج ذخایر عمیق و غنیتر
میزان استخراج مواد معدنی	بیشتر به دلیل سهولت حفاری و بارگیری	کمتر به دلیل محدودیتهای فضا و ایمنی
نوع تجهیزات مورد استفاده	ماشینآلات بزرگ مانند بیل مکانیکی و دامپتراک	دستگاههای حفاری کوچکتر و سیستمهای نوار نقاله

کاربرد فناوری های نوظهور در اکتشاف هوشمند مواد معدنی ایران: فرصت ها، چالش ها و راهبردهای پیشرفت پایدار

■ رضا معزی نسب - سرپرست بخش زمین شناسی و اکتشاف مجتمع مس چاه موسی (ممرادکو)



چکیده

اکتشاف مواد معدنی به‌عنوان زیربنای اصلی توسعه بخش معدن، نقشی راهبردی در تأمین مواد اولیه صنایع، رشد اقتصادی و افزایش تاب‌آوری ملی ایفا می‌کند. در دهه‌های اخیر، پیشرفت فناوری‌های نوظهور از جمله هوش مصنوعی، یادگیری ماشین، سنجش‌ازدور، کلان‌داده‌ها و سیستم‌های پیشرفته اطلاعات جغرافیایی، تحولی اساسی در شیوه‌های اکتشاف مواد معدنی در سطح جهان ایجاد کرده است. این فناوری‌ها با افزایش دقت تحلیل داده‌ها، کاهش عدم قطعیت، صرفه‌جویی در زمان و هزینه و بهینه‌سازی تصمیم‌گیری، امکان‌گذار از اکتشاف سنتی به اکتشاف هوشمند را فراهم ساخته‌اند.

ایران با برخورداری از تنوع زمین‌شناسی کم‌نظیر، کمرندهای متالوژنی فعال و ذخایر غنی معدنی، ظرفیت بالایی برای بهره‌گیری از این فناوری‌ها در راستای پیشرفت پایدار دارد. با این حال، چالش‌هایی نظیر پراکندگی داده‌های اکتشافی، محدودیت زیرساخت‌های فناوریانه، ضعف آموزش تخصصی و نبود سیاست‌گذاری منسجم، مانع بهره‌برداری کامل از این ظرفیت‌ها شده است. این مقاله با رویکردی تحلیلی به بررسی نقش فناوری‌های نوظهور در توسعه اکتشاف هوشمند مواد معدنی ایران پرداخته و ضمن تبیین فرصت‌ها و چالش‌های موجود، راهبردهایی برای هم‌راستاسازی اکتشاف معدنی با آینده پیشرفت کشور ارائه می‌دهد.

واژه‌های کلیدی: اکتشاف مواد معدنی، فناوری‌های نوظهور، اکتشاف هوشمند، سنجش‌ازدور، هوش مصنوعی، پیشرفت پایدار، ایران

۱. مقدمه

بخش معدن همواره یکی از ارکان اصلی توسعه اقتصادی و صنعتی کشورها به شمار می‌رود و موفقیت آن وابستگی مستقیمی به کیفیت و دقت فعالیت‌های اکتشافی دارد. اکتشاف مواد معدنی به دلیل ماهیت پیچیده زمین‌شناسی، عدم قطعیت‌های ذاتی و هزینه‌های بالای عملیات میدانی، همواره با ریسک‌های قابل‌توجهی همراه بوده است.

روش‌های سنتی اکتشاف، هرچند نقش مهمی در کشف ذخایر معدنی ایفا کرده‌اند، اما در مواجهه با ذخایر پنهان، عمیق و پیچیده کارایی محدودی دارند. در چنین شرایطی، فناوری‌های نوظهور با ایجاد امکان تحلیل داده‌محور و هوشمند، مسیر جدیدی برای افزایش بهره‌وری و کاهش ریسک در اکتشاف مواد معدنی فراهم کرده‌اند. بررسی ظرفیت‌های به‌کارگیری این فناوری‌ها در ایران، به‌ویژه در چارچوب گفتمان پیشرفت و اقتصاد دانش‌بنیان، ضرورتی انکارناپذیر است.

۲. تحول اکتشاف مواد معدنی در پرتو فناوری‌های نوظهور

فناوری‌های نوظهور در سال‌های اخیر موجب تغییر بنیادین در فرآیند اکتشاف مواد معدنی شده‌اند. بهره‌گیری از الگوریتم‌های هوش مصنوعی و یادگیری ماشین امکان تحلیل هم‌زمان داده‌های زمین‌شناسی، ژئوفیزیکی و ژئوشیمیایی را فراهم کرده و شناسایی الگوهای پنهان مرتبط با کانی‌سازی را تسهیل نموده است. این رویکرد باعث افزایش دقت پیش‌بینی مناطق امیدبخش معدنی و کاهش خطاهای انسانی در تفسیر داده‌ها می‌شود. از سوی دیگر، سنجش‌ازدور و تصاویر ماهواره‌ای چندطیفی و فراطیفی، ابزار قدرتمندی برای شناسایی دگرسانی‌های سطحی، ساختارهای زمین‌شناسی و نواحی مستعد کانی‌زایی در مقیاس‌های منطقه‌ای فراهم آورده‌اند. ترکیب این داده‌ها با سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی پیشرفته و تحلیل‌های کلان‌داده، زمینه‌ساز توسعه اکتشاف هوشمند و داده‌محور در صنعت معدن شده است.

۳. ظرفیت‌ها و فرصت‌های ایران در اکتشاف هوشمند

ایران از منظر زمین‌شناسی در یکی از مهم‌ترین کمرندهای متالوژنی جهان قرار گرفته و تنوع بالای ذخایر فلزی و غیرفلزی، این کشور را به یکی از بازیگران بالقوه مهم در بازار جهانی مواد معدنی تبدیل کرده است. به‌کارگیری فناوری‌های نوظهور در اکتشاف مواد معدنی می‌تواند منجر به افزایش نرخ کشف ذخایر جدید، به‌ویژه ذخایر پنهان و عمیق، و کاهش وابستگی به روش‌های پرهزینه و کم‌بازده سنتی شود. علاوه بر این، توسعه اکتشاف هوشمند می‌تواند نقش مؤثری در تقویت شرکت‌های دانش‌بنیان معدنی، ایجاد اشتغال تخصصی و ارتقای جایگاه ایران در زنجیره ارزش جهانی مواد معدنی ایفا کند. این امر هم‌راستا با اهداف کلان پیشرفت کشور و توسعه اقتصاد مقاومتی است.

۴. چالش‌های پیش‌روی توسعه اکتشاف هوشمند در ایران

با وجود ظرفیت‌های قابل‌توجه، توسعه اکتشاف هوشمند در ایران با چالش‌هایی جدی مواجه است. یکی از مهم‌ترین موانع، پراکندگی و عدم یکپارچگی داده‌های اکتشافی و محدودیت دسترسی به داده‌های معتبر و به‌روز است. همچنین، کمبود زیرساخت‌های محاسباتی پیشرفته و ضعف در به‌کارگیری فناوری‌های دیجیتال در سازمان‌های معدنی، روند گذار به اکتشاف هوشمند را کند کرده است. از سوی دیگر، آموزش‌های دانشگاهی و مهارتی در حوزه معدن دیجیتال هنوز به‌طور کامل متناسب با نیازهای روز صنعت توسعه نیافته و این موضوع منجر به شکاف مهارتی میان دانش‌آموختگان و نیازهای واقعی بخش معدن شده است. نبود سیاست‌گذاری منسجم و چارچوب‌های حقوقی مشخص برای مدیریت داده‌ها و فناوری‌های نوین نیز از دیگر چالش‌های اساسی این حوزه محسوب می‌شود.

۵. راهبردهای هم‌راستاسازی اکتشاف معدنی با آینده پیشرفت کشور

برای بهره‌گیری مؤثر از فناوری‌های نوظهور در اکتشاف مواد معدنی و تحقق پیشرفت پایدار، اتخاذ رویکردی جامع و راهبردی ضروری است. ایجاد پایگاه‌های ملی یکپارچه داده‌های معدنی، توسعه زیرساخت‌های پردازش داده و حمایت از پژوهش‌های کاربردی در حوزه معدن دیجیتال می‌تواند نقش کلیدی در این مسیر ایفا کند. همچنین، تقویت تعامل میان دانشگاه‌ها، مراکز پژوهشی، پارک‌های علم و فناوری و بخش خصوصی، زمینه‌ساز انتقال دانش و بومی‌سازی فناوری‌های نوظهور خواهد بود. توجه به آموزش نیروی انسانی متخصص و بازنگری در برنامه‌های آموزشی مهندسی معدن، از دیگر الزامات تحقق اکتشاف هوشمند در کشور است.

۶. نتیجه‌گیری

فناوری‌های نوظهور این ظرفیت را دارند که اکتشاف مواد معدنی ایران را از رویکردهای سنتی و پرریسک به سمت اکتشاف هوشمند، دقیق و پایدار هدایت کنند. بهره‌گیری هدفمند از این فناوری‌ها می‌تواند ضمن کاهش هزینه‌ها و ریسک‌ها، نقش مؤثری در افزایش امنیت مواد اولیه، توسعه اقتصاد دانش‌بنیان و تحقق آینده پیشرفت کشور ایفا نماید. تحقق این هدف مستلزم سیاست‌گذاری هوشمند، سرمایه‌گذاری در زیرساخت‌های فناوریانه و تربیت نیروی انسانی متخصص است. در صورت تحقق این شرایط، بخش



A. (2020). Digital transformation of mineral exploration. SEG Technical Program Expanded Abstracts. Moon, C. J., Whateley, M. K. G., & Evans, A. M. (2006). Introduction to Mineral Exploration. Blackwell Publishing. Porwal, A., Carranza, E. J. M., & Hale, M. (2010). A hybrid fuzzy weights-of-evidence model for mineral prospectivity mapping. Natural Resources Research, 211-191, (3)19. Sillitoe, R. H. (2010). Porphyry copper systems. Economic Geology, (1)105 41-3. Singer, D. A., & Menzie, W. D. (2010). Quantitative mineral resource assessments: An integrated approach. Economic Geology, 482-469, (3)105. Sun, T., Li, H., & Zhang, Y. (2021). Application of deep learning in mineral prospectivity mapping: A case study. Journal of Geochemical Exploration, 106770, 226. Xiong, Y., Zuo, R., & Carranza, E. J. M. (2018). Mapping mineral prospectivity using random forest and support vector machine: A case study. Ore Geology Reviews, -729, 95 746. Zhang, S., Carranza, E. J. M., & Li, Z. (2019). Geochemical anomaly identification and mineral prospectivity mapping using machine learning methods. Ore Geology Reviews, 102996, 111.

مراجع:

Bonham-Carter, G. F. (1994). Geographic Information Systems for Geoscientists: Modelling with GIS. Pergamon Press. Carranza, E. J. M. (2011). Geochemical anomaly and mineral prospectivity mapping. Elsevier. Cracknell, M. J., & Reading, A. M. (2014). Geological mapping using remote sensing data: A comparison of bve machine learning algorithms, their response to variations in the spatial distribution of training data and the use of spectral indices. Ore Geology Reviews, 77-62, 59. Guo, Z., Wang, L., & Chen, Y. (2022). Big data analytics and artificial intelligence in mineral exploration: Opportunities and challenges. Resources Policy, 102279, 74. Harris, J. R., Grunsky, E. C., Behnia, P., & Corrigan, D. (2015). Data integration for mineral exploration: An overview of methods and challenges. Geochemistry: Exploration, Environment, Analysis, 15-1, (1)15. Liu, Y., Wu, L., & Li, J. (2020). Machine learning methods applied to mineral exploration: A review. Computers & Geosciences, 104550, 144. McCafferty, A., Jones, M., & Porwal,

معدن می‌تواند به یکی از پیشران‌های اصلی پیشرفت ایران در دهه‌های آینده تبدیل شود. با توجه به یافته‌های این پژوهش، توسعه اکتشاف هوشمند مواد معدنی در ایران مستلزم اتخاذ مجموعه‌ای از اقدامات هماهنگ در سطوح سیاست‌گذاری، فناوریانه و آموزشی است. نخست، پیشنهاد می‌شود یک نظام ملی یکپارچه مدیریت داده‌های اکتشافی ایجاد شود که امکان تجمیع، استانداردسازی و دسترسی کنترل‌شده به داده‌های زمین‌شناسی، ژئوفیزیکی و ژئوشیمیایی را برای پژوهشگران و فعالان بخش معدن فراهم سازد. چنین سامانه‌ای می‌تواند بستر اصلی توسعه تحلیل‌های مبتنی بر هوش مصنوعی و یادگیری ماشین در اکتشاف مواد معدنی باشد و از دوباره‌کاری و اتلاف منابع جلوگیری کند. در سطح فناوریانه، پیشنهاد می‌شود سرمایه‌گذاری هدفمند در توسعه زیرساخت‌های پردازش داده، محاسبات پیشرفته و فناوری‌های سنجش‌ازدور افزایش یابد تا امکان تحلیل حجم بالای داده‌های اکتشافی در مقیاس‌های منطقه‌ای و ملی فراهم شود. در این راستا، حمایت از شرکت‌های دانش‌بنیان فعال در حوزه معدن دیجیتال و ایجاد مشوق‌های اقتصادی برای بومی‌سازی فناوری‌های نوظهور می‌تواند نقش مؤثری در کاهش وابستگی فناوریانه و ارتقای توان داخلی ایفا کند.

از منظر آموزشی و منابع انسانی، بازنگری در برنامه‌های درسی مهندسی معدن با تأکید بر آموزش مهارت‌های مرتبط با داده‌کاوی، سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی پیشرفته، هوش مصنوعی و سنجش‌ازدور ضروری به نظر می‌رسد. همچنین، برگزاری دوره‌های تخصصی کوتاه‌مدت برای مهندسان شاغل در بخش معدن می‌تواند به کاهش شکاف مهارتی و تسریع فرآیند گذار به اکتشاف هوشمند کمک کند.

در حوزه حکمرانی و سیاست‌گذاری، پیشنهاد می‌شود چارچوب‌های حقوقی و مقرراتی مشخصی برای مدیریت داده‌های معدنی،

تحلیل ساختاری بازار مس در سال ۲۰۲۶: تقابل کسری عرضه ساختاری با تقاضای جهش یافته ناشی از گذار انرژی



■ فرزاد رحیمی - مسئول گروه شیفیت عملیات کارخانه کاند مس (ممرادکو)
■ رضا معزی نسب - سرپرست بخش زمین شناسی و اکتشاف معدن مس چاه موسی (ممرادکو)



چکیده

بازار جهانی مس در سال ۲۰۲۶ از یک وضعیت مازاد دوره‌ای به کسری ساختاری 150000 متریکی تنی تغییر وضعیت می‌دهد. این چرخش ناشی از تلاقی محرک‌های قدرتمند تقاضا (به ویژه الکتریکی‌سازی جهانی و زیرساخت‌های هوش مصنوعی) با موانع عمیق و زمان‌بر در توسعه عرضه اولیه است. گروه بین‌المللی مطالعات مس (ICSG) پیش‌بینی خود را بازنگری کرده و انتظار رشد شدیداً کند ۰.۹ درصدی تولید مس پالایش‌شده را در برابر رشد ۲.۱ درصدی تقاضای جهانی دارد. این تفاوت نشان‌دهنده یک «تنگنای پالایش» است که در آن، کمبود کنسانتره باکیفیت و ظرفیت مؤثر ذوب، مانع از تبدیل مواد معدنی به مس نهایی می‌شود. در نتیجه، تحلیلگران اجماعاً یک چشم‌انداز صعودی را پیش‌بینی کرده‌اند که قیمت متوسط مس در بورس لندن (LME) را در محدوده 10000 تا 12000 دلار به ازای هر تن در سال ۲۰۲۶ تثبیت خواهد کرد. مس به وضوح به یک دارایی راهبردی بحرانی تبدیل شده است که قیمت آن دیگر صرفاً تابع چرخه‌های ساخت‌وساز چین نیست، بلکه متأثر از سرمایه‌گذاری‌های زیرساختی بلندمدت در گذار انرژی و توسعه زیرساخت‌های دیجیتال جهانی است. کلمات کلیدی: مس، کسری ساختاری، گذار انرژی، هوش مصنوعی، تنگنای پالایش، ریسک

۱- مقدمه

مس، به عنوان سومین فلز پرمصرف در جهان، در حال ورود به یک فاز جدید در سال ۲۰۲۶ است. اهمیت مس دیگر محدود به کاربردهای سنتی و صنعتی نیست، بلکه به واسطه نقش محوری آن در الکتریکی‌سازی جهانی و انقلاب هوش مصنوعی، به یک ماده معدنی استراتژیک و حیاتی تبدیل شده است. [1]. این گزارش به تحلیل دلایل اصلی تغییر توازن بازار به سمت کسری عرضه، پیش‌بینی‌های قیمتی مرتبط، و شناسایی موانع ساختاری عرضه می‌پردازد [2].

۲- شرح مسئله

بازار مس در آستانه سال ۲۰۲۶ با چند چالش متضاد مواجه است:

۱-۲- جهش تقاضای ساختاری: تقاضای مس دیگر از چرخه‌های اقتصادی کوتاه‌مدت پیروی نمی‌کند، بلکه توسط دو مگاترند بلندمدت هدایت می‌شود: ۱-۱- گذار انرژی: مس یک عنصر اساسی در خودروهای برقی (BEV) و زیرساخت‌های تجدیدپذیر (خورشیدی و بادی) است. تقاضای مس مرتبط با خودروهای برقی تا سال ۲۰۳۵ دو برابر خواهد شد. کارشناسان مس را «گلوگاه راهبردی گذار انرژی جهانی» توصیف کرده‌اند [3,4].

۲-۱-۲- هوش مصنوعی و مراکز داده: مراکز داده هوش مصنوعی، که به دلیل رسانایی عالی مس از آن برای کابل‌کشی، بایس‌بارها و خنک‌سازی استفاده می‌کنند، تقاضای سالانه متوسطی حدود 400000 تن مس در دهه آینده ایجاد خواهند کرد. این مقدار به تنهایی پتانسیل دو تا سه برابر کردن کسری پیش‌بینی شده ICSG برای ۲۰۲۶ را دارد [5,6].

۲-۲- موانع ساختاری عرضه: توانایی

تولیدکنندگان برای پاسخ به پیچیدگی‌های قیمتی بالا به دلایل زیر تقریباً غیرممکن است.

۲-۲-۱- کاهش عیار سنگ معدن: عیار متوسط مس در سطح جهانی حدود ۲۵ درصد در ده سال اخیر کاهش یافته است. این به معنای افزایش شدید در هزینه‌های انرژی و عملیاتی و در نتیجه افزایش هزینه نهایی بلندمدت است [7].

۲-۲-۲- تأخیر در توسعه پروژه‌ها: میانگین زمان لازم برای راه‌اندازی یک معدن جدید از زمان کشف، حدود ۱۷ سال است. بنابراین، افزایش قیمت در سال ۲۰۲۶ تا قبل از سال ۲۰۳۰ یا دیرتر منجر به عرضه جدید نخواهد شد. [8].

۲-۳-۲- ریسک‌های غیرفنی: اصلی‌ترین عامل تأخیر در پروژه‌های معدنی، مشکلات اخذ مجوز است که در ۴۵ درصد موارد تأخیر نقش دارد. الزامات ESG مانند: (تأسیسات آب‌شیرین‌کن) مستقیماً هزینه‌ها را افزایش داده و بازدهی پروژه‌ها را کاهش می‌دهند [9].

۳- تحلیل نتایج

۳-۱- تراز بازار و کسری ساختاری تنگنای عرضه: رشد تولید معدنی (3.2 درصد) در سال ۲۰۲۶ بسیار بالاتر از رشد تولید پالایش‌شده (0.9 درصد) است. این شکاف نشان می‌دهد که مشکل در دسترسی به کنسانتره باکیفیت و محدودیت در ظرفیت ذوب و پالایش است که به آن تنگنای پالایش می‌گویند [10,11].



جدول ۱- گروه بین‌المللی مطالعات مس (ICSG) پیش‌بینی کلیدی خود را بازنگری کرده است [4.12].

۲-۳- پیش‌بینی قیمت ۲۰۲۶

جدول ۲- اجماع نهادهای مالی بزرگ بر تثبیت قیمت در محدوده صعودی [13].

۳-۳- عوامل تقویت‌کننده قیمت
● **اهرم کلان اقتصادی:** کاهش احتمالی نرخ بهره جهانی منجر به تضعیف دلار شده، که به طور معمول تقاضا و فشار صعودی بر قیمت مس را افزایش می‌دهد.

● **افزایش کف قیمت:** افزایش هزینه نهایی بلندمدت (LRMC) ناشی از کاهش عیار و افزایش هزینه‌های انرژی، به عنوان یک کف قیمتی ساختاری عمل کرده و مانع از کاهش شدید قیمت می‌شود. قیمت‌های بالای 10000 دلار/تن برای توجیه اقتصادی سرمایه‌گذاری‌های عظیم مورد نیاز ضروری است.

● **سناریوی گاو نر (15000 دلار/تن):** در صورت تشدید همزمان اختلالات شدید عرضه، مداخلات سیاستی (مانند تعرفه‌ها) و تسریع غیرمنتظره در تقاضای هوش مصنوعی، رسیدن به قیمت 15000 دلار/تن محتمل است [14].

۴- نتیجه‌گیری

بازار مس در سال ۲۰۲۶ در یک نقطه عطف تاریخی قرار دارد و از یک کالای چرخه‌ای به یک دارایی استراتژیک تبدیل می‌شود.
جمع‌بندی تحلیلی: کسری ۱۵۰ هزار تنی پیش‌بینی‌شده توسط ICSG نتیجه افزایش شدید تقاضای ساختاری (گذار انرژی و هوش مصنوعی) ناتوانی عرضه اولیه در پاسخگویی سریع به دلیل موانع زمین‌شناسی، عملیاتی و حکمرانی (ESG) است. با توجه به زمان ۱۷ ساله برای توسعه یک معدن جدید، بازار مجبور است قیمت را به سمت قیمت القایی حرکت دهد، که این امر با اجماع قیمتی 11000 دلار به ازای هر تن در سال ۲۰۲۶ مطابقت دارد.

توصیه راهبردی:

● **مدیریت ریسک‌های ESG:** شرکت‌ها باید ریسک‌های مقرراتی و اخذ مجوز را به عنوان بزرگترین موانع عرضه در نظر بگیرند. ادغام سرمایه‌گذاری‌های ضروری (مانند تأسیسات آب‌شیرین‌کن) برای جلوگیری از تأخیرهای ۲ تا ۳ ساله حیاتی است.
● **سرمایه‌گذاری در فرآوری:** با توجه به تنگنای پالایش، سرمایه‌گذاری هدفمند در افزایش ظرفیت‌های ذوب و پالایش باید در اولویت باشد.
● **ارزیابی به عنوان دارایی راهبردی:** مس باید به عنوان یک دارایی بلندمدت راهبردی با چشم‌انداز رشد پایدار، فراتر از حباب چرخه‌ای، در نظر گرفته شود.

منابع:

1.Slower production growth will push copper market to dePcit in 2026

جدول 1- گروه بین‌المللی مطالعات مس (ICSG) پیش‌بینی کلیدی خود را بازنگری کرده است [12.4].

تفسیر	۲۰۲۶ (پیش‌بینی ICSG)	۲۰۲۵ (بازنگری شده)	شاخص کلیدی
تنگنای عرضه کنسانتره	0.9 درصد	3.4 درصد	رشد تولید پالایشده
تقاضای ساختاری بالا	2.1 درصد رشد	-	مصرف جهانی (تقاضا)
چرخش بحرانی به سمت کسری ساختاری	کسری 150	مازاد ۱۷۸	تراز بازار (هزار تن)

جدول 2- اجماع نهادهای مالی بزرگ بر تثبیت قیمت در محدوده صعودی [۱۳].

تفسیر بنیادین	پیش‌بینی قیمت متوسط (۲۰۲۶ دلار/تن)	مؤسسه تحلیلگر
تحت تأثیر کسری ساختاری	10000 تا 12000 دلار	اجماع LME
اختلالات معدنی و تقاضای پایدار	11313 دلار	Bank of America (BofA)
در شرایط کسری جهانی ۱۶۰,۰۰۰ تن	11000 دلار	J.P. Morgan
پیش‌بینی برای سال آینده	11000 دلار	Citibank

https://me.smenet.org/slower-production-growth-will-push-copper-market-to-dePcit-in-2026-says-icsg/

2.Copper Price Forecast 2026: Analysts Issue Bullish Outlook Amid Supply Shortage, https://www.devere-group.com/copper-price-forecast-2026-analysts-issue-bullish-outlook-amid-supply-shortage/

3.Bank of America projects copper price to surge past 11,000\$ in 2026 - MINING.COM, https://www.mining.com/bank-of-america-projects-copper-price-to-surge-past-11000-in2026-/

4.ICSG: Copper market will be in dePcit by 2026 due to slower production growth., https://energynews.oedigital.com/mineral-resources/08/10/2025/icsg-copper-market-will-be-in-dePcit-by-2026-due-to-slower-production-growth

5.Copper Mining and Vehicle Electrification | IEF Report, https://www.ief.org/reports/copper-mining-and-vehicle-electrification

6.Data Centers» Copper Hunger: How AI is Driving a Looming Supply Crunch?, https://carboncredits.com/data-centers-copper-hunger-how-ai-is-driving-a-looming-supply-crunch/

7.Central Copper Resources & Gold: Essential Insights For 2026 - Farmonaut, https://farmonaut.com/mining/central-copper-resources-gold-essential-insights-for2026-

8.Analysis-New copper demand drivers from US, India as China juggernaut slows - KFGO, https://kfgo.com/19/10/2025/analysis-new-copper-demand-drivers-from-us-india-as-china-juggernaut-slows/9.Decreasing Ore Grades in Global Metallic Mining: A Theoretical Issue or a Global Reality?, https://www.mdpi.com/36/4/5/9276-2079

10.How Copper Supply DePcits Are Reshaping the Critical Minerals Landscape - Crux Investor, https://www.cruxinvestor.com/posts/how-copper-supply-dePcits-are-reshaping-the-critical-minerals-landscape

11.2025 Copper Supply Disruption Crisis: Causes and Global Impact -Discovery Alert, https://discoveryalert.com.au/news/copper-supply-disruption-crisis-2025-challenges-impact/

12.Evaluating ESG impact on project costs | Case study | PRI, https://www.unpri.org/listed-equity/evaluating-esg-impact-on-project-costs/157.

13.Emerging markets exerting more control over strategic minerals | Maplecroft, https://www.maplecroft.com/products-and-solutions/geopolitical-and-country-risk/insights/emerging-markets-exerting-more-control-over-strategic-minerals/

14.Copper scrap demand set to rise in 2026 - Recycling International, https://recyclinginternational.com/markets/non-ferrous-metals-recycling-markets/copper-scrap-demand-set-to-rise-in62080/2026-/

کاربرد فناوری های هوشمند، اینترنت اشياء و انرژی های تجدید پذیر در مدیریت پایدار انرژی و آب در صنایع انرژی بر با تاکید بر معادن

رضا معزی نسب - سرپرست بخش زمین شناسی و اکتشاف مجتمع مس چاه موسی (ممرادکو)



چکیده

صنایع انرژی‌بر، به ویژه معادن، در خط مقدم چالش‌های مرتبط با مصرف بالای انرژی و آب قرار دارند. این صنایع با بهره‌برداری از منابع طبیعی، حجم عظیمی از انرژی را مصرف کرده و مقادیر قابل توجهی آب را در فرآیندهای استخراج، فرآوری و حمل‌ونقل به کار می‌گیرند، که این امر منجر به نگرانی‌های زیست‌محیطی، ناپایداری منابع و افزایش هزینه‌های عملیاتی می‌شود. در مواجهه با این چالش‌ها، تحول دیجیتال و پذیرش فناوری‌های نوین، رویکردی ضروری برای دستیابی به مدیریت پایدار و بهینه انرژی و آب محسوب می‌شود. این مقاله به بررسی عمیق نقش فناوری‌های هوشمند، اینترنت اشیا (IoT)، سیستم‌های سایبری-فیزیکی (CPS) و انرژی‌های تجدیدپذیر در ارتقاء مدیریت انرژی و آب در صنایع انرژی‌بر، با تمرکز ویژه بر بخش معدن، می‌پردازد. هدف اصلی این پژوهش، ارائه چارچوبی مفهومی برای یکپارچه‌سازی این فناوری‌ها به منظور افزایش بهره‌وری، کاهش مصرف منابع، بهینه‌سازی عملکرد و ارتقاء پایداری زیست‌محیطی در این صنایع است. روش‌شناسی پژوهش بر تحلیل محتوای اسناد، مدل‌سازی و تحلیل تطبیقی متکی است. یافته‌های کلیدی نشان می‌دهند که ادغام IoT برای جمع‌آوری داده‌های بلادرنگ، هوش مصنوعی (AI) برای پیش‌بینی و بهینه‌سازی، و انرژی‌های تجدیدپذیر برای تأمین انرژی پاک، می‌تواند تحولی بنیادین در عملیات معدنی ایجاد کند. نوآوری اصلی این مقاله در ارائه یک مدل مفهومی جامع است که ارتباط متقابل بین فناوری‌های هوشمند، انرژی‌های تجدیدپذیر و مدیریت یکپارچه آب را در بستر صنایع انرژی‌بر، به‌ویژه معادن، تبیین می‌نماید. این رویکرد نویدبخش ایجاد راهکارهای کارآمد برای مواجهه با چالش‌های قرن بیست و یکم در بخش منابع است.

واژگان کلیدی: مدیریت هوشمند انرژی، اینترنت اشیا، صنعت معدن، انرژی‌های تجدیدپذیر، مدیریت منابع آب.

۱- مقدمه

صنایع انرژی‌بر، از جمله بخش‌های کلیدی مانند نفت و گاز، پتروشیمی، فولاد و معدن، ستون فقرات اقتصاد جهانی را تشکیل می‌دهند. با این

حال، این صنایع به دلیل ماهیت فرآیندهای خود، با چالش‌های فزاینده‌ای در زمینه مصرف انرژی و آب روبرو هستند. حجم بالای مصرف انرژی در این بخش‌ها، وابستگی شدید به سوخت‌های فسیلی و تأثیرات زیست‌محیطی ناشی از انتشار گازهای گلخانه‌ای، نگرانی‌های جهانی را در خصوص امنیت انرژی و تغییرات اقلیمی تشدید کرده است (IEA, 2023). به موازات آن، دسترسی به منابع آب شیرین، به ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک که بسیاری از معادن در آن واقع شده‌اند، به طور فزاینده‌ای محدود و پرهزینه شده است. عملیات معدنی، از استخراج و جابجایی مواد تا فرآوری و دفع باطله، مقادیر قابل توجهی آب را مصرف می‌کنند که این امر می‌تواند منجر به کمبود منابع آبی محلی، تخریب زیست‌محیطی و ایجاد تنش‌های اجتماعی شود (Smith & Jones, 2021).

در این شرایط، ضرورت تحول دیجیتال و پذیرش فناوری‌های هوشمند در صنایع انرژی‌بر اجتناب‌ناپذیر شده است. هوشمندسازی، که شامل به‌کارگیری ابزارهای پیشرفته مانند اینترنت اشیا (IoT)، هوش مصنوعی (AI)، کلان‌داده (Big Data)، بلاک‌چین و سیستم‌های سایبری-فیزیکی (CPS) است، پتانسیل ایجاد انقلابی در نحوه مدیریت منابع انرژی و آب را داراست. این فناوری‌ها امکان جمع‌آوری، تحلیل و استفاده از حجم عظیمی از داده‌ها را فراهم می‌آورند که پیش از این غیرممکن بود. این امر منجر به درک عمیق‌تر از الگوهای مصرف، شناسایی فرصت‌های بهینه‌سازی، پیش‌بینی دقیق‌تر نیازها و امکان واکنش بلادرنگ به تغییرات و ناهنجاری‌ها می‌شود (Gupta, 2022).

با وجود پیشرفت‌های قابل توجه در زمینه هوشمندسازی در صنایع مختلف، شکاف‌های پژوهشی قابل توجهی، به ویژه در زمینه ادغام جامع فناوری‌های هوشمند، انرژی‌های تجدیدپذیر و مدیریت یکپارچه آب در صنایع انرژی‌بر، به ویژه در بخش معدن، همچنان وجود دارد. بسیاری از مطالعات بر یک یا چند جنبه خاص تمرکز کرده‌اند، در حالی که یک رویکرد یکپارچه که تمام این عناصر را در بر گیرد، کمتر مورد بررسی قرار گرفته است. انگیزه اصلی این تحقیق، پر کردن این شکاف پژوهشی و ارائه یک چارچوب عملیاتی برای صنایع انرژی‌بر، با تمرکز بر بخش معدن، است تا بتوانند ضمن کاهش چشمگیر مصرف انرژی و آب، بهره‌وری عملیاتی خود را افزایش داده و تعهدات زیست‌محیطی خود را برآورده سازند. اهمیت امنیت انرژی، پایداری منابع و بهره‌وری عملیاتی، همواره در اولویت صنایع انرژی‌بر قرار

داشته است. در دنیای امروز، این اولویت‌ها با الزامات زیست‌محیطی و فشار فزاینده برای کاهش ردپای کربن و مصرف منابع، گره خورده‌اند. هوشمندسازی، با فراهم آوردن قابلیت‌های پیشرفته برای نظارت، کنترل و بهینه‌سازی، ابزاری قدرتمند برای دستیابی به این اهداف چندوجهی است. این مقاله با بررسی عمیق فناوری‌های نوین و تأکید بر کاربرد آن‌ها در بخش معدن، گامی در جهت تبیین مسیر پیش رو برای دستیابی به صنایع معدنی پایدارتر و مسئولیت‌پذیرتر در قبال محیط زیست برمی‌دارد.

۲- مروری بر پژوهش‌های پیشین

مرور ادبیات پژوهشی در زمینه هوشمندسازی مدیریت انرژی و آب، نشان‌دهنده رشد چشمگیر تحقیقات در سال‌های اخیر است، اما همچنان شکاف‌های مهمی در زمینه کاربرد جامع این فناوری‌ها در صنایع انرژی‌بر، به ویژه در بخش معدن، وجود دارد. تحقیقات متعددی در سطح جهانی بر نقش فناوری‌های نوین در مدیریت هوشمند انرژی تمرکز کرده‌اند. مطالعات بین‌المللی اخیر کاربرد گسترده اینترنت اشیا (IoT) را برای جمع‌آوری داده‌های بلادرنگ از نقاط مختلف مصرف انرژی، از جمله سنسورها، تجهیزات و سیستم‌های کنترلی، مورد تأکید قرار داده‌اند (Wang et al., 20۲۰). این داده‌ها سپس توسط الگوریتم‌های هوش مصنوعی (AI) و یادگیری ماشین (ML) برای تحلیل الگوهای مصرف، شناسایی فرصت‌های صرفه‌جویی و پیش‌بینی نیازهای آتی انرژی مورد استفاده قرار می‌گیرند (Chen et al., 2021). کلان‌داده (Big Data) نیز نقش حیاتی در پردازش حجم عظیم داده‌های تولید شده ایفا می‌کند و امکان استخراج بینش‌های ارزشمند را فراهم می‌آورد (Li & Zhang, 2019). علاوه بر این، مفهوم دیجیتال‌دوقلو (Digital Twin) به عنوان یک مدل مجازی از یک سیستم فیزیکی، قابلیت شبیه‌سازی، آزمایش سناریوهای مختلف و بهینه‌سازی عملکرد سیستم در یک محیط امن و بدون ریسک را فراهم می‌آورد (Sun et al., 2022). سیستم‌های مدیریت انرژی (EMS) با ادغام این فناوری‌ها، قادر به ایجاد پلتفرم‌های جامع برای نظارت، کنترل و بهینه‌سازی مصرف انرژی در مقیاس صنعتی هستند.

در حوزه مدیریت منابع آب، تحقیقات مشابهی در حال انجام است. IoT با استقرار سنسورهای هوشمند در شبکه‌های توزیع آب، منابع ذخیره و نقاط مصرف، امکان نظارت لحظه‌ای بر جریان، فشار، کیفیت آب و سطح مخازن را فراهم می‌آورد (Kumar et al., 2023). استفاده از AI برای تحلیل داده‌های جمع‌آوری

شده، به شناسایی نشتی‌ها، پیش‌بینی تقاضا، مدیریت کیفیت آب و بهینه‌سازی فرایندهای تصفیه کمک می‌کند

(Rodriguez et al., 2021). فناوری‌های پیشرفته تصفیه و بازیافت آب، از جمله غشاهای نانو، اسمز معکوس (RO) و تصفیه الکتروشیمیایی، در حال توسعه و به‌کارگیری برای کاهش وابستگی به منابع آب شیرین و ارتقاء قابلیت بازچرخانی آب هستند (Fouad et al., 2022). در صنایع انرژی‌بر، به ویژه در بخش معدن، مدیریت هوشمند آب برای کاهش مصرف، تصفیه پساب‌های آلوده و اطمینان از رعایت استانداردهای زیست‌محیطی از اهمیت بالایی برخوردار است (Brown & Green, 2020).

صنعت معدن، به عنوان یکی از انرژی‌برترین صنایع، توجه فزاینده‌ای را به خود جلب کرده است. پژوهش‌های اخیر نشان داده‌اند که IoT می‌تواند برای نظارت بر مصرف انرژی تجهیزات حفاری، تهویه، حمل‌ونقل و فرآوری در معادن استفاده شود (Rahman et al., 2022). AI و ML برای بهینه‌سازی زمان‌بندی عملیات، کاهش زمان بیکاری تجهیزات و بهبود الگوی مصرف انرژی در فرایندهای سنگ‌شکن و تغلیظ مورد استفاده قرار می‌گیرند (Kim & Lee, 2023). همچنین، استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر، مانند پنل‌های خورشیدی و توربین‌های بادی، برای تأمین بخشی از انرژی مورد نیاز معادن، به ویژه در مناطق دورافتاده، مورد بررسی قرار گرفته است (Zhang, 2022). با این حال، ادغام جامع این فناوری‌ها با مدیریت آب در عملیات معدنی، که اغلب شامل چالش‌های پیچیده‌ای مانند مدیریت آب‌های زیرزمینی، استفاده از آب در فرایند فلوئاسیون و مدیریت باطله‌های آبی است، کمتر مورد کاوش عمیق قرار گرفته است.

شکاف اصلی در ادبیات پژوهشی، عدم وجود یک چارچوب جامع و یکپارچه است که به طور همزمان به مدیریت هوشمند انرژی و آب در صنایع انرژی‌بر، با تمرکز بر بخش معدن، بپردازد. بسیاری از مطالعات، یا بر مدیریت انرژی تمرکز دارند یا بر مدیریت آب، و کمتر به هم‌افزایی بین این دو حوزه با بهره‌گیری از فناوری‌های نوین پرداخته شده است. همچنین، ادغام انرژی‌های تجدیدپذیر با سیستم‌های هوشمند مدیریت انرژی و آب در معادن، یک زمینه پژوهشی نسبتاً بکر است. پژوهش حاضر با ارائه یک مدل مفهومی یکپارچه، که ادغام AI، IoT، سیستم‌های سایبری-فیزیکی و انرژی‌های تجدیدپذیر را برای مدیریت همزمان انرژی و آب در معادن مورد بررسی قرار می‌دهد، سعی در پر کردن این شکاف دارد. این تحقیق به دنبال ارائه راهکارهایی عملیاتی برای دستیابی به پایداری و بهره‌وری در این صنایع حیاتی است.

۳- فناوری‌های نوین در مدیریت انرژی صنایع

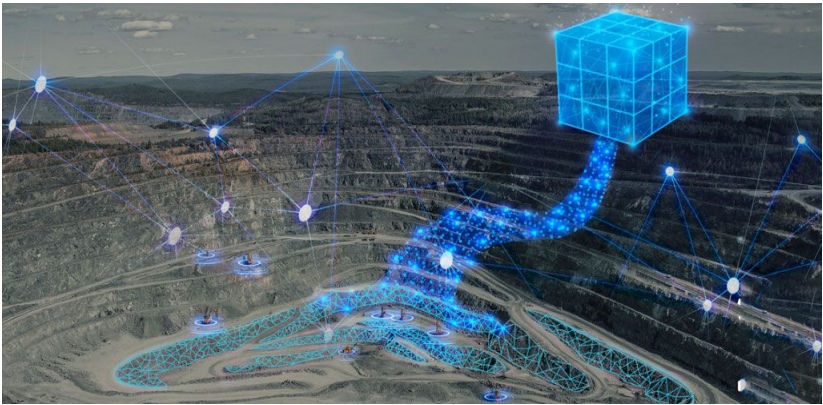
مدیریت انرژی در صنایع انرژی‌بر، به ویژه

در بخش معدن، همواره با چالش‌هایی نظیر مصرف بالا، هزینه‌های زیاد، و اثرات زیست‌محیطی همراه بوده است. ظهور فناوری‌های نوین، مسیری جدید را برای ارتقاء قابل توجه این فرایندها گشوده است. این فناوری‌ها قابلیت‌های بی‌سابقه‌ای را برای جمع‌آوری، تحلیل و استفاده بهینه از داده‌ها فراهم می‌آورند که منجر به افزایش بهره‌وری، کاهش هدررفت و دستیابی به اهداف پایداری می‌شود.

IoT نقش محوری در تحول دیجیتال مدیریت انرژی ایفا می‌کند. با استقرار شبکه‌ای از سنسورها، دستگاه‌های متصل و عملگرها در سراسر تأسیسات صنعتی، داده‌های حیاتی از نقاط مختلف مصرف، از جمله پمپ‌ها، کمپرسورها، سیستم‌های تهویه، کوره ها، و تجهیزات پردازش مواد، به صورت بلادرنگ جمع‌آوری می‌شوند. این داده‌ها شامل پارامترهایی مانند مصرف برق،

از پیک مصرف را فراهم می‌آورند. به عنوان مثال، در یک معدن، AI می‌تواند زمان‌بندی استفاده از کامیون‌های حمل مواد را به گونه‌ای تنظیم کند که مصرف انرژی به حداقل برسد یا سیستم تهویه را بر اساس غلظت گازهای موجود در تونل‌ها به صورت خودکار تنظیم کند.

پردازش و تحلیل کلان‌داده‌ها، که حجم، سرعت و تنوع بالایی دارند، برای دستیابی به مدیریت جامع انرژی حیاتی است. پلتفرم‌های کلان‌داده قابلیت ذخیره‌سازی، پردازش و تحلیل مقادیر عظیمی از داده‌های حاصل از سنسورهای IoT، سیستم‌های SCADA، گزارش‌های تولید و سایر منابع را دارند. این تحلیل‌ها می‌توانند روندهای بلندمدت، گلوگاه‌های بهره‌وری و فرصت‌های بهبود مستمر را آشکار سازند (Zhang, 2019). سیستم‌های مدیریت انرژی (EMS) پلتفرم‌های نرم‌افزاری جامعی هستند که این فناوری‌ها را در یک چارچوب منسجم



ادغام می‌کنند. یک EMS پیشرفته می‌تواند شامل ماژول‌هایی برای نظارت بر مصرف، مدیریت بار، بهینه‌سازی فرایند، پیش‌بینی تولید، و ادغام با منابع انرژی تجدیدپذیر باشد. این سیستم‌ها امکان کنترل متمرکز و خودکار را برای دستیابی به اهداف بهره‌وری انرژی در مقیاس سازمانی فراهم می‌آورند.

دیجیتال‌دوقلو، یک مدل مجازی پویا از یک دارایی یا فرایند فیزیکی است که از طریق داده‌های بلادرنگ از حسگرهای IoT تغذیه می‌شود. این فناوری امکان شبیه‌سازی دقیق رفتار سیستم فیزیکی را در زمان واقعی فراهم می‌آورد (Sun et al., 2022). در مدیریت انرژی، دیجیتال‌دوقلوه‌ها می‌توانند برای آزمایش سناریوهای مختلف عملیاتی، ارزیابی تأثیر تغییرات در پیکربندی تجهیزات، و بهینه‌سازی پارامترهای عملکردی بدون ایجاد اختلال در عملیات واقعی استفاده شوند. به عنوان مثال، یک دیجیتال‌دوقلو از یک کارخانه فرآوری مواد معدنی می‌تواند برای شبیه‌سازی تأثیر تغییر سرعت نوار نقاله یا تنظیمات فرکانس درایو موتورها بر مصرف انرژی استفاده شود. این رویکرد، ریسک را کاهش داده و به تصمیم‌گیری مبتنی بر شواهد کمک می‌کند. در صنعت نفت و گاز، IoT و AI برای

بهینه‌سازی فرایندهای حفاری، تولید و پالایش، کاهش مصرف انرژی در پمپ‌ها و کمپرسورها، و پیش‌بینی خرابی تجهیزات حیاتی استفاده می‌شوند. در پتروشیمی، این فناوری‌ها برای کنترل دقیق دما و فشار در راکتورها، بهینه‌سازی مصرف بخار و کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای به کار می‌روند. در صنعت فولاد، EMS های هوشمند برای مدیریت مصرف انرژی در کوره‌ها، نورد و سایر فرایندهای تولید استفاده می‌شوند. در بخش معدن، که موضوع اصلی این تحقیق است، این فناوری‌ها پتانسیل زیادی برای کاهش مصرف انرژی در سیستم‌های تهویه، پمپاژ، حمل‌ونقل، حفاری و فرآوری دارند. پیاده‌سازی این فناوری‌ها نه تنها به کاهش هزینه‌ها کمک می‌کند، بلکه نقش مهمی در دستیابی به اهداف پایداری زیست‌محیطی ایفا می‌کند.

۴- کاربرد انرژی‌های تجدیدپذیر و ذخیره‌سازی انرژی

نقش انرژی‌های تجدیدپذیر در کنار فناوری‌های هوشمند، عنصری کلیدی در دستیابی به مدیریت پایدار انرژی در صنایع انرژی‌بر، از جمله معادن، محسوب می‌شود. وابستگی سنتی به سوخت‌های فسیلی، علاوه بر مسائل زیست‌محیطی، هزینه‌های متغیر و ریسک‌های مربوط به نوسانات قیمت را به همراه دارد. ادغام منابع انرژی پاک و فناوری‌های ذخیره‌سازی، امکان دستیابی به استقلال انرژی، کاهش انتشار کربن و بهبود پایداری عملیاتی را فراهم می‌آورد.

انواع مختلفی از انرژی‌های تجدیدپذیر، بسته به موقعیت جغرافیایی و شرایط اقلیمی، می‌توانند در صنایع انرژی‌بر مورد استفاده قرار گیرند:

انرژی خورشیدی: در بسیاری از مناطق معدنی، به ویژه در مناطق کویری، تابش خورشیدی قابل توجهی وجود دارد. نصب مزارع فتوولتائیک (PV) می‌تواند بخشی از نیازهای برق صنایع معدنی، از جمله روشنایی، سیستم‌های تهویه، پمپ‌های آب و تجهیزات پردازش را تأمین کند (Gupta, 2022).

انرژی بادی: در مناطقی که بادهای پایدار دارند، توربین‌های بادی می‌توانند منبعی مطمئن برای تولید برق باشند. این توربین‌ها را می‌توان به صورت مجزا یا در ترکیب با سایر منابع نصب کرد.

انرژی زمین‌گرمایی: در مناطقی با فعالیت زمین‌گرمایی بالا، می‌توان از این منبع برای تولید برق یا تأمین حرارت فرایندی استفاده نمود.

منابع هیبرید: اغلب، ترکیب چندین منبع انرژی تجدیدپذیر (مانند خورشیدی و بادی) همراه با یک منبع پشتیبان، مانند دیزل ژنراتور یا سیستم ذخیره‌سازی باتری، بهترین راه حل برای اطمینان از پایداری تأمین انرژی است. این سیستم‌های هیبریدی، انعطاف‌پذیری بالایی را در برابر تغییرات در دسترسی بودن منابع تجدیدپذیر فراهم می‌کنند. ادغام انرژی‌های تجدیدپذیر با عملیات

معدنی نیازمند برنامه‌ریزی دقیق و استفاده از فناوری‌های هوشمند است:

شبکه‌های هوشمند (Smart Grids): ایجاد شبکه‌های برق هوشمند در سایت‌های معدنی، امکان مدیریت بهینه جریان انرژی بین منابع تولید، سیستم ذخیره‌سازی و مصرف‌کنندگان را فراهم می‌کند. این شبکه‌ها می‌توانند تقاضا را بر اساس تولید انرژی تجدیدپذیر و قیمت برق در زمان واقعی تنظیم کنند.

مدیریت هوشمند بار: با استفاده از سیستم‌های IoT و AI، می‌توان مصرف انرژی تجهیزات پرمصرف را در زمان‌هایی که تولید انرژی تجدیدپذیر بالاست، افزایش داد (به عنوان مثال، پمپاژ آب به مخازن بالا دست در زمان تابش شدید خورشید) و در زمان‌هایی که تولید کم است، آن را کاهش داد.

تأمین انرژی در مناطق دورافتاده: بسیاری از معادن در مناطق دورافتاده واقع شده‌اند که دسترسی به شبکه برق سراسری دشوار یا پرهزینه است. در این مناطق، سیستم‌های هیبریدی انرژی تجدیدپذیر با ذخیره‌سازی، راه حلی اقتصادی و پایدار برای تأمین انرژی ارائه می‌دهند.

۵- نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که استفاده از فناوری‌های هوشمند در صنعت معدن می‌تواند تأثیر قابل توجهی در بهبود مدیریت انرژی و آب داشته باشد. یکی از مهم‌ترین مزایای استفاده از این فناوری‌ها امکان پایش لحظه‌ای مصرف منابع است. حسگرهای هوشمند و سیستم‌های اینترنت اشیا قادر هستند داده‌های مربوط به مصرف انرژی تجهیزات معدنی، پمپ‌های آب و سیستم‌های فرآوری مواد معدنی را به صورت مستمر جمع‌آوری کنند.

تحلیل این داده‌ها با استفاده از الگوریتم‌های پیشرفته می‌تواند الگوهای مصرف انرژی را شناسایی کرده و فرصت‌های بهینه‌سازی را مشخص کند. برای مثال، در بسیاری از معادن بخش قابل توجهی از مصرف انرژی مربوط به تجهیزات خردایش و آسیاب است. استفاده از سیستم‌های هوشمند کنترل فرایند می‌تواند عملکرد این تجهیزات را بهینه کرده و مصرف انرژی را کاهش دهد. از سوی دیگر، مدیریت منابع آب نیز یکی از چالش‌های مهم در صنعت معدن محسوب می‌شود. در بسیاری از عملیات معدنی، آب برای فرایندهای مختلفی مانند شستشو، فلوئاسیون و کنترل گرد و غبار مورد استفاده قرار می‌گیرد. استفاده از سیستم‌های پایش هوشمند می‌تواند به شناسایی نقاط اتلاف آب کمک کرده و امکان بازیافت و استفاده مجدد از آب را افزایش دهد.

همچنین نتایج نشان می‌دهد که استفاده از تحلیل کلان‌داده و مدل‌های پیش‌بینی می‌تواند به مدیران معادن در برنامه‌ریزی بهتر مصرف منابع کمک کند. این فناوری‌ها قادر هستند بر اساس داده‌های تاریخی و شرایط عملیاتی آینده، میزان مصرف انرژی و آب را پیش‌بینی کرده و راهکارهایی برای بهینه‌سازی

مصرف ارائه دهند.

مدیریت پایدار انرژی و آب یکی از چالش‌های اساسی در صنعت معدن است که تأثیر قابل توجهی بر هزینه‌های عملیاتی و اثرات زیست‌محیطی فعالیت‌های معدنی دارد. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که استفاده از فناوری‌های هوشمند می‌تواند نقش مهمی در بهبود مدیریت منابع در معادن ایفا کند. فناوری‌هایی مانند اینترنت اشیا، تحلیل داده‌های بزرگ و هوش مصنوعی امکان جمع‌آوری، تحلیل و مدیریت مؤثر داده‌های عملیاتی را فراهم کرده و زمینه را برای اتخاذ تصمیمات مدیریتی بهینه فراهم می‌کنند.

بر اساس یافته‌های این پژوهش می‌توان نتیجه گرفت که توسعه معادن هوشمند می‌تواند به کاهش مصرف انرژی، افزایش بهره‌وری تجهیزات و بهبود مدیریت منابع آب منجر شود. همچنین ادغام فناوری‌های دیجیتال با سیستم‌های مدیریت منابع می‌تواند گامی مهم در جهت تحقق اهداف توسعه پایدار در صنعت معدن باشد. در نهایت پیشنهاد می‌شود که در پژوهش‌های آینده مطالعات تجربی و موردی در معادن واقعی انجام شود تا اثرات عملی استفاده از فناوری‌های هوشمند در مدیریت منابع به طور دقیق‌تر ارزیابی شود.

۶- منابع

Azapagic, A. (2004). Developing a framework for sustainable development indicators for the mining and minerals industry. Journal of Cleaner Production. Dong, L., Shu, W., & Li, X. (2015). Application of digital technologies in mining industry. International Journal of Mining Science and Technology. Hilson, G., & Murck, B. (2000). Sustainable development in the mining industry. Resources Policy. Lee, J., Bagheri, B., & Kao, H. (2015). A cyber-physical systems architecture for Industry 4.0based manufacturing systems. Manufacturing Letters. Zhou, K., Liu, T., & Zhou, L. (2016). Industry 4.0: Towards future industrial opportunities and challenges. Computer Networks. Wang, S., Wan, J., Li, D., & Zhang, C. (2016). Implementing smart factory of Industry 4.0. International Journal of Distributed Sensor Networks. Lasi, H., Fettke, P., Kemper, H., Feld, T., & Hoffmann, M. (2014). Industry 4.0. Business & Information Systems Engineering. Manyika, J., et al. (2015). The Internet of Things: Mapping the value beyond the hype. McKinsey Global Institute. Jeschke, S., Brecher, C., Song, H., & Rawat, D. (2017). Industrial Internet of Things. Springer. Kamble, S., Gunasekaran, A., & Sharma, R. (2018). Analysis of Industry 4.0 adoption. Computers in Industry.



پروژه میدلنسر وارد فاز عملیاتی شد

در راستای استقرار پلتفرم میدلنسر در هلدینگ میدکو، نخستین مجموعه پروژه های درون سازمانی بر روی این پلتفرم منتشر شده و امکان مشارکت کارکنان در اجرای پروژه ها فراهم شده است.

میدلنسر به عنوان بستری برای همکاری پروژه محور میان شرکت های هلدینگ میدکو، با هدف بهره گیری مؤثر از ظرفیت های تخصصی موجود در خانواده بزرگ میدکو طراحی شده است. در این پلتفرم، شرکت ها می توانند نیازها و پروژه های خود را ثبت کنند و کارکنان علاقه مند نیز بر اساس تخصص و توانمندی های خود برای همکاری در پروژه ها اعلام آمادگی نمایند.

انتشار پروژه های اولیه بر روی پلتفرم، گامی مهم در ورود میدلنسر به فاز عملیاتی محسوب می شود. این مرحله فرصتی را فراهم کرده است تا کارکنان علاوه بر مسئولیت های جاری خود، در پروژه های تخصصی سایر شرکت های گروه نیز مشارکت کرده و دانش، تجربه و مهارت های خود را در سطح هلدینگ به اشتراک بگذارند.

پیش بینی می شود با افزایش تعداد پروژه های ثبت شده و مشارکت گسترده تر کارکنان، میدلنسر به یکی از ابزارهای مؤثر در توسعه سرمایه انسانی، تقویت همکاری های بین شرکتی و افزایش بهره وری در سطح هلدینگ تبدیل شود.

از تمامی کارکنان متخصص و علاقه مند دعوت می شود با مراجعه به پلتفرم میدلنسر، ضمن تکمیل پروفایل تخصصی خود، پروژه های فعال را مشاهده کرده و از فرصت های همکاری موجود بهره مند شوند.

برای مشاهده پروژه های فعال و استفاده از امکانات پلتفرم، از طریق لینک:

www.midlancer.ir یا اسکن QR کد درج شده در این صفحه اقدام نمایید.



بازدید میدانی معاونت سرمایه انسانی ستاد میدکو از مجتمع زغالسنگ طیس (کارخانه و معادن زغال شرکت ممرادکو) ۱۴۰۵/۰۲/۲۹



برگزاری دوره آشنایی مفهومی با الگوی تعالی سازمانی ویژه مدیران ستاد هلدینگ میدکو (۱۴۰۵/۰۲/۲۵)



برگزاری دوره آشنایی مفهومی با الگوی تعالی سازمانی ویژه کارشناسان ستاد هلدینگ میدکو (۱۴۰۵/۰۳/۱۷)



حضور همکاران امور سیستم ها و روش ها در شرکت های ذیل به منظور ارزیابی پیشرفت برنامه های سیستم ها و روش ها:



- شرکت فولاد زرند ایرانیان، مجتمع تولید کنسانتره و گندله سازی زرند (۱۴۰۵/۰۲/۰۶)



- شرکت فولاد زرند ایرانیان، مجتمع کک سازی و پالایشگاه زرند (۱۴۰۵/۰۳/۱۱)



- شرکت کارآوران صنعت خاورمیانه، مجتمع معدن سنگ آهن سیرجان (۱۴۰۵/۰۲/۲۳)