IMIDRO

IRANIAN MINES AND MINING INDUSTRIES DEVELOPMENT
AND RENOVATION ORGANIZATION

سازمان توسعه و نوسازی معادن و صنایع معدنی ایران

بررسی و انجام مطالعات تطبیقی شاخص های (متالورژیکی، فنی، اقتصادی، قانونی و زیست محیطی) واحد فرآوری سیار مستقر در مرکز تحقیقات فرآوری مواد معدنی ایران بر مبنای مطالعات آزمایشگاهی و نیمه صنعتی بر روی نمونه بوکسیت

(گزارش مدیریتی)

شماره قرارداد: ۹۷۳۷

دانشگاه بین المللی امام خمینی (ره)
دکتر رحمان احمدی

اسفند ۱۴۰۰

بسم الله الرحمن الرحیم

چکیده طرح

در این طرح، ابتدا، بررسی جامع معادن و محدوده های معدنی بوکسیت ایران و دنیا، تهیه نقشه های GIS و بلوک بندی معادن بوکسیت فعال و غیر فعال مقیاس کوچک در دستور کار قرارگرفته است. در ادامه، معرفی شرکت ها و کشورهای سازنده تجهیزات فرآوری سیار (کلیه مواد معدنی و بوکسیت) و نیز مزایا و معایب احتمالی روشهای فرآوری سیار و همچنین کلیه روش های فرآوری ماده معدنی بوکسیت در دنیا و ایران (روش های ثقلی، مغناطیسی، فلوتاسیون و لیچینگ) با تأکید بر استفاده از روش سیکلون واسطه سنگین مطالعه و ارزیابی شده است. بررسی و تطبیق شاخص های (متالورژیکی، فنی، اقتصادی و زیست محیطی) واحد سیار سیکلون واسطه سنگین از دیگر مواردی است که در این طرح به آن پرداخته شده است. در پایان، دستورالعمل لازم راه اندازی واحد فرآوری سیارسیکلون واسطه سنگین و بررسی فنی و اقتصادی طرح تدوین و ارائه گردید. با بررسی نقشه راه های ریلی و همچنین خطوط انتقال نیروی کشور در محیط GIS و همچنین بلوک بندی معادن فعال و غیر فعال بوکسیت (تعداد ۱۱ بلوک) بر اساس میزان ذخیره و فواصل جغرافیایی، مشخص گردید که در کلیه بلوک ها ضمن امکان تأمین ماده معدنی جهت فرآوری، به علت نزدیکی به زیر ساخت های حمل و نقل و نیرو و ماهیت کوچک مقیاس بودن معادن بوکسیت، پتانسیل قابل ملاحظه ای برای راه اندازی واحدهای سیار فرآوری بویژه سیکلون واسطه سنگین وجود دارد. بر اساس بررسی های انجام شده، کارخانه های مختلف فرآوری بوکسیت در دنیا در کشورهایی نظیر چین، برزیل، هندوستان، مجارستان، یوگسلاوی و آمریکا از روش هایی نظیر پرعیارسازی ثقلی (سیکلون واسطه سنگین)، مغناطیسی، فلوتاسیون و خردایش انتخابی استفاده می کنند. اما از آنجا که عمده ذخایر معادن بوکسیت دنیا در مقایسه با ذخایر بوکسیت ایران (مجموع ذخیره حدود ۸۰ میلیون تن) بسیار بالاتر می باشد، کمتر از روش های سیار فرآوری جهت پرعیارسازی آن استفاده شده است. در حالیکه، استفاده از روش سیار واسطه سنگین در ایران بواسطه ذخایر متعدد وکوچک بوکسیت (در محدود چند هزار تن تا حدود ۱۰ میلیون تن) در استان های مختلف از دیدگاه اقتصادی و کاهش هزینه های حمل و نقل، بسیار حیاتی است. بر مبنای نتایج بررسی های این طرح، در شرایط کنونی، غیر از شرکت آلومینای جاجرم که بصورت محدود با روش خردایش (سنگ شکنی) انتخابی به پرعیارسازی بوکسیت می پردازد، در سایر معادن بوکسیت ایران، فعالیت خاصی در این ارتباط صورت نمی گیرد. با توجه به نتایج آزمایش های انجام شده تحت شرایط امکانسنجی اولیه، آزمایشگاهی و نیمه صنعتی بر روی حدود ۱۰ معدن بوکسیت ایران، امکان تولید کنسانتره بوکسیت با شاخص های مورد نظر خوراک شرکت آلومینا نظیر عیار Al_2O_3، درصد ناخالصی سیلیس و میزان مدول (Al_2O_3/SiO_2) با روش سیکلون واسطه سنگین سیار و ثابت وجود دارد. از جمله معیارهای مورد نیاز جهت راه اندازی واحدهای سیار سیکلون واسطه سنگین به مواردی نظیر تأمین ذخیره حداقل ۲ سال، میزان ذخیره بوکسیت حداقل ۱۵۰ هزار تن، الزامات زیست محیطی مشابه واحدهای ثابت، لزوم وجود معادن با عیار Al_2O_3 معادل ۳۲ درصد و بالاتر به شرط نداشتن پیچیدگی خاص کانی شناسی، ظرفیت بهینه سیکلون واسطه سیار (یا مدولار) بین ۱۰ تا ۵۰ تن بر ساعت، محدوده عیار ناخالصی سیلیس بین ۱۵ تا ۲۰ درصد، ابعاد عرضی تجهیزات ۳٫۵ و ارتفاعی ۴٫۵ متر و فاصله معادن بیش از ۵۰ کیلومتر اشاره نمود. بر اساس بررسی فنی و اقتصادی اولیه انجام شده با کمک نرم افزار کامفار، هزینه سرمایه گذاری برای اجرای طرح پرعیارسازی توسط سیکلون واسطه سنگین سیار با ظرفیت بوکسیت ۱۵۳۶۰۰ تن در سال (۲۰ تن در ساعت)، حدود ۲۱۵،۳۷۶ میلیون ریال تعیین گردید. در این ارتباط، نرخ بازده داخلی واحد سیار، معادل ۷۲ درصد با ارزش خالص فعلی ۱۷۵،۳۶۳ میلیون ریال برآورد شد که با در نظر داشتن نرخ سود سپرده حداکثر ۲۲ درصد بانک‌ها، بسیار قابل توجه بوده و اجرای طرح، کاملاً توجیه پذیر خواهد بود..

کلمات کلیدی: سیکلون واسطه سنگین، واحد سیار، معادن کوچک مقیاس بوکسیت، پیش امکانسنجی اقتصادی

فهرست مطالب

مقدمه ۵
روش و مراحل تحقیق ۵
معادن و ذخایر و تولید بوکسیت در دنیا ۶
معادن و ذخایر بوکسیت در ایران ۷
روش جدایش واسطه سنگین (DMS) سیار ۸
واحدهای سیار و مدولار (مزایا و معایب) ۹
مزیت های واحدهای سیار فرآوری ۹
معایب واحدهای سیار فرآوری ۱۰
شاخص ها و معیارهای انتخاب واحد فرآوری سیار سیکلون واسطه سنگین ۱۱
شاخص های متالورژیکی عیار و ذخیره معادن بوکسیت در واحدهای سیار فرآوری ۱۱
شاخص های فنی و اقتصادی ۱۱
ابعاد تجهیزات، میزان جابجایی تجهیزات، مسیرهای دسترسی ۱۱
ویژگی ساختاری و بنایی واحدهای سیار ۱۲
تسهیلات و تأمین هزینه های سرمایه ای ۱۲
واحدهای تأمین نیرو (تأسیسات برق) ۱۲
خدمات و امکانات جانبی و رفاهی ۱۳
استهلاک و ارزش باقیمانده تجهیزات واحدهای سیار و ثابت ۱۳
شاخص ها و ضوابط قانونی و زیست محیطی واحدهای فرآوری سیار ۱۳
تدوین دستور العمل بکارگیری واحدهای فرآوری سیار برای معادن کوچک مقیاس بوکسیت ۱۴
معیار عیار Al_2O_3 جهت راه اندازی واحد سیار سیکلون واسطه سنگین ۱۴
معیار ذخیره معدن بوکسیت و ظرفیت دستگاه سیار سیکلون واسطه سنگین ۱۵
معیار ناخالصی های موجود بوکسیت جهت دستگاه سیار سیکلون واسطه سنگین ۱۵
معیار ابعاد واحد سیار سیکلون واسطه سنگین و فاصله حمل و نقلی ۱۶
بررسی فنی و اقتصادی طرح راه اندازی واحد سیار سیکلون واسطه سنگین ۱۶
نتیجه گیری و پیشنهادات ۱۷
نتیجه گیری ۱۷
پیشنهادات ۱۸
منابع ۱۸

مقدمه

در شرایط کنونی کشور، جهت تأمین آلومینا بعنوان خوراک اصلی کارخانجات آلومینیوم سازی، نیاز به ۶ میلیون تن کنسانتره بوکسیت در سال می باشد. این در حالی است که تنها حدود ۱ میلیون تن در سال در داخل کشور تولید می گردد و مابقی از کشورهای دیگر وارد می شود. جهت جبران این میزان بوکسیت، نیاز به استخراج و فرآوری این ماده معدنی از ذخایر کوچک مقیاس می باشد. وجود معادن کوچک مقیاس بوکسیت با ذخایر محدود، لزوم استفاده از واحدهای سیار (موبایل) فرآوری مواد معدنی را اجتناب ناپذیر کرده است. احداث واحدها و کارخانجات فرآوری ثابت برای معادن با ذخیره کم، بواسطه هزینه- های بالای حمل و نقل از معدن به کارخانه و هزینه های سرمایه گذاری، چالش‌های مربوط به تأمین زیرساخت‌های لازم، تملک زمین و مسائل زیست‌محیطی، مقرون به صرفه نمی باشد. واحدهای فرآوری سیار، بواسطه امکان پذیری حمل و تغییر جانمایی تجهیزات، تعدیل در هزینه‌های تولید کنسانتره، کاهش هزینه های مصرف انرژی و آب و امنیت بالاتر، امکان فرآوری و ایجاد ارزش افزوده در معادن کوچک مقیاس را میسر خواهند ساخت. استفاده از واحدهای سیار با نصب بر روی تریلر یا کانتینر برای هر معدن کوچک به تنهایی یا برای چند معدن با تجمیع مواد استخراج شده ممکن می باشد.

روش و مراحل تحقیق

در طرح حاضر، ابتدا اطلاعات جامع و کاملی از کلیه معادن بوکسیت ایران و دنیا تهیه و ارائه شده است. در ارتباط با معادن کوچک مقیاس، این اطلاعات عمدتاً شامل میزان ذخیره (اسمی و قطعی)، موقعیت جغرافیایی، زیرساخت های موجود (راههای دسترسی، برق، آب و ...)، عیار و فاصله جغرافیایی با سایر معادن بوکسیت می باشد. بلوک بندی معادن بر اساس فواصل جغرافیایی، بررسی زیر ساخت های نیرو، خطوط شبکه ریلی و ذخیره معادن فعال و غیر فعال نیز با هدف بکار گیری سیستم های فرآوری سیار مورد

بررسی قرار گرفته است. علاوه بر این، بررسی کشورهای بهره مند از روش فرآوری سیار مواد معدنی و مزایا و معایب احتمالی آن نیز صورت گرفته است. ضمناً امکانپذیری استفاده از روش های سیار فرآوری با توجه به اطلاعات کسب شده برای معادن کم عیار و با ذخیره محدود بوکسیت ایران ارائه شده است. در ادامه، روش های مختلف فرآوری ماده معدنی بوکسیت در دنیا و ایران با تأکید بر استفاده از روش واسطه سنگین (سیکلون واسطه سنگین) مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفته است. معرفی خصوصیات واحد سیار سیکلون واسطه سنگین مستقر در مرکز تحقیقات فرآوری مواد معدنی ایران به همراه فعالیت های و تجارب امکانسنجی جدایش- مایع سنگین و آزمایش های مخروط اریکسون از دیگر مواردی است که در این گزارش به آن پرداخته شده است. بررسی و تطبیق شاخص های (متالورژیکی، فنی، اقتصادی، قانونی و زیست محیطی) واحد سیار سیکلون واسطه سنگین و تدوین دستورالعمل لازم برای اجرای سیستم موبایل معادن کوچک مقیاس بوکسیت به همراه بررسی فنی و اقتصادی یک طرح سیار سیکلون واسطه سنگین بخش پایانی این طرح را تشکیل می دهد.

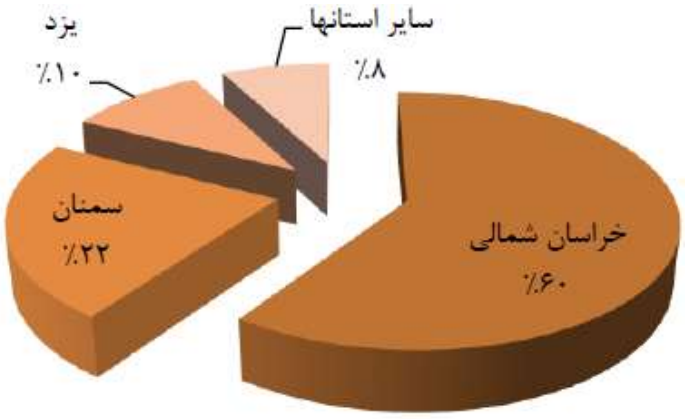
معادن و ذخایر و تولید بوکسیت در دنیا

بر اساس اعلام سازمان های بین المللی مجموع ذخایر قطعی بوکسیت و آلومینا (اکسید آلومینیوم) در جهان در سال ۲۰۱۸ حدود ۳۰ میلیارد تن برآورد شده است، که بخش عمده آن در کشور گینه نو با ۷۴۰۰ میلیون تن (معادل ۲۴/۷ درصد کل ذخایر دنیا) و استرالیا ۶۲۰۰ میلیون تن و ویتنام با ۳۷۰۰ میلیون تن بوکسیت قرار دارد.[۱]. بر اساس آخرین آمار رسمی منتشر شده در سال ۲۰۱۸ حدود ۳۸۶ میلیون تن بوکسیت در جهان تولید شده است. بزرگترین تولیدکنندگان بوکسیت در جهان، کشورهای استرالیا و چین و گینه بوده اند. استرالیا در سال ۲۰۱۸ در حدود ۲۹ درصد از تولیدات جهانی(معادل ۹۵،۹ میلیون تن) را در اختیار داشته و کشورهای چین و برزیل به ترتیب با ۷۰ و ۵۹،۶ میلیون تن تولید(معادل با ۲۱ و ۱۸ درصد) در

جایگاه دوم و سوم قرار گرفته اند. کشور ایران در این سال با تولیدی معادل ۸۶۶ هزار تن، سهم ۰/۲۶ درصدی و رتبه ۱۷ را در این زمینه به خود اختصاص داد[۲].

معادن و ذخایر بوکسیت در ایران

ذخایر و معادن بوکسیت در کشور چندان گسترده و زیاد نمی باشند. کمبود کنسانتره بوکسیت بعنوان ماده اولیه آلومینا یکی از چالش های اساسی صنعت آلومینیوم سازی کشور محسوب می شود که در سال های اخیر منجر به واردات پودر آلومینا به کشور شده است. به طوری که در سال ۱۳۹۸، بیش از ۵۰۰ هزار تن پودر آلومینا وارد کشور گردید. بر اساس ،۰ بیش از ۹۰ درصد ذخایر بوکسیت ایران همانند میزان تولید آن در سه استان خراسان شمالی، سمنان و یزد واقع شده اند و سایر استان ها کمتر از ۱۰ درصد از ذخایر آن را در خود جای داده اند. سهم استان خراسان شمالی و سمنان به ترتیب ۶۰ و ۲۲ درصد برآورد شده است[۲].



سهم استان های کشور از ذخایر بوکسیت[۳].

در شرایط فعلی، نیاز بوکسیت کشور تنها از طریق معادن جاجرم بعنوان بزرگ‌ترین معادن شناخته شده در ایران و چند معدن مهم دیگر تأمین می‌شود. در ایران، ذخایر بوکسیت بیشتر از نوع کارستی است. این ذخایر

از نوع مدیترانه‌ای با ترکیب کانی‌شناسی دیاسپور ـ بوهمیت است که در مناطق ایران مرکزی، البرز و زاگرس جای گرفته‌اند[۳].

روش جدایش واسطه سنگین(DMS) سیار

دستگاه جداکننده واسطه سنگین- DMS [۱]که به عنوان جداکننده واسطه سنگین نیز شناخته می شود، روشی است که در آن از یک واسطه با چگالی بالا جهت جدایش مواد با وزن مخصوص های متفاوت استفاده می گردد. مخلوط این واسطه در آب، بستری مناسب برای جدایش مواد معدنی سنگین تر از سبک تر فراهم می سازد. در این روش، مواد سبک، شناور و مواد سنگین، ته نشین می شوند. بسیاری از کارخانه های فرآوری از این تکنولوژی استفاده می کنند. زیرا هم قابل انعطاف است و هم برای محدوده متغیری از خوراک ورودی مناسب است و در نتیجه سودآوری قابل توجهی به همراه دارد. استفاده صحیح از تکنولوژیهای واسطه سنگین می تواند منجر به بهبود بازیابی کانی ها شود. به طور معمول از فروسیلیس(برای جدایش در چگالی بالاتر) و یا مگنتیت (برای زغال) جهت تنظیم چگالی محیط جدایش استفاده می شود[۴].

در دنیا با توجه به اینکه ذخایر بوکسیت بر خلاف کشور ما از میزان ذخیره قابل توجه و عیار مناسب تری برخوردار هستند، کمتر از سیستم سیار جداکننده واسطه سنگین جهت فرآوری بوکسیت استفاده شده است. ذخایر بوکسیت در چین، عمدتاً دارای کیفیت بالا بوده و به همین خاطر از روش سینترینگ بجای روش بایر برای بوکسیت های با مدول زیر ۱۰ استفاده می نمایند. چین با ذخیره بالغ بر ۸۷۰ میلیون تن و هند با ذخیره ای حدود ۳۷۰ میلیون تن دارای ذخایر قابل توجه بوکسیت می باشند. در حالیکه بزرگترین ذخیره بوکسیت ایران که مربوط به منطقه جاجرم می باشد تنها دارای حدود ۲۳ میلیون تن بوکسیت است. سایر

[۱] Dense Medium Separator

معادن بوکسیت ایران دارای ذخایر کم و بطور متوسط در حد ۲ تا ۵ میلیون تن می باشند. استفاده از جداکننده های واسطه سنگین بطور محدود در کشور هند نیز گزارش شده است.

واحدهای سیار و مدولار (مزایا و معایب)

واحدهای سیار در بخش های خردایش، دانه بندی و فرآوری مواد معدنی، قابلیت جابجایی با تریلر، نصب و جداسازی را دارا می باشند. این واحدها و تجهیزات در جاده ها و فواصل بین معادن، بدون نیاز به سرمایه گذاری در احداث ساختمان، زیر ساخت ها و سایر موارد لازم برای کارخانه های ثابت، قابل حمل و نقل می باشند. معمولاً این واحدها در ابعاد و اشکال مناسب با شرایط ترافیکی ساخته می شوند تا امکان جابجایی و انتقال آنها در خیابانها و جاده های عمومی وجود داشته باشد. ظرفیت واحدهای سیار بین ۵۰ تا ۱۰۰۰ تن در روز متغییر است. عموماً در مکان هایی که فاصله معدن تا واحد فرآوری بیش از ۵۰ کیلومتر باشد، استفاده از واحدهای سیار، مطلوب خواهد بود[۴].

مزیت های واحدهای سیار فرآوری

یکی از مزیت های مهم بکارگیری از واحدهای فرآوری سیار و موبایل، اقتصادی شدن فعالیت معادن کوچک مقیاس و با عیارکم می باشد که عموماً به دلایل نیاز به هزینه های سنگین سرمایه ای و تجهیزات و زیر ساخت ها، غیر فعال شده اند. افزایش هزینه حامل های سوخت و انرژی در شرایط کنونی باعث افزایش قابل توجه در هزینه های حمل و نقل شده است. در برخی موارد، هزینه حمل ماده معدنی تا کارخانه فرآوری چندین برابر ارزش نهفته آن است. در این موارد با کاهش هزینه های حمل و نقل، امکان فرآوری کانسنگ معادن کوچک مقیاس با عیار متوسط فراهم می شود و لذا استفاده از کارخانه های فرآوری سیار توجیه اقتصادی پیدا کرده و به بهره وری مناسب منجر می شود[۵]. مزیتهای واحدهای فرآوری سیار عبارتند از[۶]:

- انتقال دستگاهها توسط ماشین های حامل نظیر تریلر، نصب و راه اندازی سریع و آسان کارخانه در کمترین زمان ممکن، انعطاف پذیری در بهره برداری از ذخایر کوچک معدنی
- بهره برداری آسان ذخایر با خصوصیت پراکندگی زیاد
- مناسب برای معادن با دسترسی نامناسب و صعب العبور
- ریسک سرمایه گذاری پایین و افزایش بازدهی کوتاه مدت، عدم نیاز به سرمایه گذاری بالا در بهره برداری از معدن
- کاهش هزینه های حمل ماده معدنی، قابلیت جابجایی آسان کارخانه به معادن اطراف
- قابلیت کاربرد تا ظرفیت ۵۰۰۰ تن در روز
- عدم نیاز به تست های پایلوت (جهت اعمال تغییرات در حین کار)

در کارخانجات ثابت، با توجه به ظرفیت های بالا، جهت بهینه سازی حین عملیات، عموماً نیاز است ابتدا در مقیاس کوچکتر آزمایشگاهی یا نیمه صنعتی آزمایش هایی صورت گیرد، سپس نتایج آن در مقیاس صنعتی بررسی شود. ولی در واحدهای سیار که عمدتاً دارای ظرفیت های کم هستند، به راحتی امکان تغییر پارامترها جهت دستیابی به بهترین شرایط در حین کار نیز وجود دارد.

- عدم نیاز به امکانات زیربنایی نظیر برق و آب صنعتی
- امکان تغییر چیدمان تجهیزات جهت بررسی عملکرد های متفاوت در سیستم های پیچیده تر واحدهای سیار
- سهولت تعمیرات و امکان تأمین سریع قطعات یدکی دستگاه
- کاهش خسارت به زیربناهای اساسی کشور(محیط زیست و جاده ها)
- عدم نیاز به فونداسیون پیچیده و سنگین جهت استفاده از دستگاه ها

معایب واحدهای سیار فرآوری

واحدهای سیار فرآوری مواد معدنی از جمله سیکلون واسطه سنگین علی رغم مزیت های ذکر شده دارای معایبی نیز هستند [۶]. از جمله این معایب می توان به موارد زیر اشاره نمود:

- ظرفیت کم تجهیزات واحدهای سیار، محدودیت ابعادی تجهیزات بویژه در بعد عرضی، مشکلات ترافیکی حمل و نقل و احتمال بروز حوادث جاده ای و عدم امکان استفاده برای مدارهای پیچیده
- قوانین حمل و نقل جاده ای، محدودیت هایی برای اندازه تجهیزات قابل حمل در جاده ها ایجاد می کند. حداکثر عرض ۳,۵ متر و ارتفاع ۴,۵ متر و اسکورت وسایل نقلیه نیز موردنیاز است. علاوه بر این، تعدادی از زیرگذرها در ایران وجود دارد که حجم تجهیزاتی که می توانند از آن عبور کنند را محدود می سازد.
- جابجایی و تخلیه با استفاده از جرثقیل های سنگین، هزینه قابل توجهی در بر دارد که اینگونه جابجایی ها در واحدهای سیار فرآوری بوکسیت باید در طول عمر پروژه کاهش یابد.

شاخص ها و معیارهای انتخاب واحد فرآوری سیار سیکلون واسطه سنگین

شاخص های بسیار زیادی در انتخاب واحد سیار بجای واحدهای ثابت و کارخانجات فرآوری جهت پرعیارسازی معادن کوچک از جمله بوکسیت مؤثر هستند. از جمله این معیارها و شاخص ها می توان به شاخص های متالورژیکی، فنی، اقتصادی، قانونی و زیست محیطی اشاره نمود که در ادامه به اختصار به این موارد پرداخته می شود.

شاخص های متالورژیکی عیار و ذخیره معادن بوکسیت در واحدهای سیار فرآوری

اولین معیار مهم برای بهره برداری از معادن کوچک مقیاس بوکسیت به روش سیار این است که یک ذخیره مشخص باید حداقل ۲ سال قابل بهره برداری باشد، تا اطمینان حاصل شود که هزینه های انتقال و جابجایی تجهیزات و پرسنل پوشش داده می شود و از لحاظ اقتصادی در یک حداقل دوره زمانی پایدار است.

شاخص های فنی و اقتصادی

ابعاد تجهیزات، میزان جابجایی تجهیزات، مسیرهای دسترسی

قوانین حمل و نقل جاده ای، محدودیت هایی برای اندازه تجهیزات قابل حمل در جاده ها ایجاد می کند. حداکثر عرض ۳,۵ متر و ارتفاع ۴,۵ متر و اسکورت وسایل نقلیه نیز موردنیاز است. علاوه بر این، تعدادی از زیرگذرها در ایران وجود دارد که حجم تجهیزاتی که می توانند از آن عبور کنند را محدود می سازد. جابجایی و تخلیه با استفاده از جرثقیل های سنگین، هزینه قابل توجهی در بر دارد که اینگونه جابجایی ها در واحدهای سیار فرآوری بوکسیت باید در طول عمر پروژه کاهش یابد. اگر در حال حاضر دسترسی به جاده در منطقه مورد نظر امکان پذیر نیست باید در هزینه سرمایه ای، هزینه ساخت جاده به ازای هر کیلومتر نیز محاسبه گردد و در محاسبات اقتصادی لحاظ شود. در مواردی که فاصله حمل و نقل بیش از ۵۰ کیلومتر است، از لحاظ اقتصادی استفاده از کارخانه های قابل حمل مطلوب است[۴].

ویژگی ساختاری و بنایی واحدهای سیار

فعالیتهای عمرانی موردنیاز برای یک کارخانه سیار بسیار متفاوت از یک کارخانه ثابت است. طراحی کارخانه های سیار علاوه بر مفاهیم مطرح برای سیستم های مدولار باید شامل تسهیل جابجایی، حمل و نقل، تخلیه و ساخت سایت باشد. طراحی انجام شده برای کارخانه های سیار، باید این فعالیتها را تسهیل کند و دارای نوآوری نیز باشد[۴]. الزامات عمرانی(ساخت و ساز) باید به حداقل برسد، به طوری که ماژولهای کارخانه بتوانند در یک محل تمیز (یا صاف) و فشرده با حداقل کارهای ساختمانی قرار داده شود.

تسهیلات و تأمین هزینه های سرمایه ای

جهت راه اندازی واحدهای فرآوری سیار، بررسی نرخ قابل قبول بازگشت سرمایه و کارایی اقتصادی بسیار حائز اهمیت می باشد. ذخیره قطعی، اقتصادی بودن استخراج، مسیرهای دسترسی، تعداد معادن بوکسیت در شعاع ۳۰-۵۰ کیلومتری و عوامل مهم دیگر در ارزیابی فنی و اقتصادی واحدهای سیار حیاتی می باشند. بانک ها عموماً در دادن تسهیلات به واحدهای ثابت و کارخانه ها نسبت به طرح های کوچک و سیار راغب تر هستند. زیرا طول عمر کوتاه بهره برداری، گزینه های کمتری را برای کاهش ریسک اقتصادی در اختیار بهره بردار می گذارد[۴].

واحدهای تأمین نیرو(تأسیسات برق)

کارخانه های سیار فرآوری برای راه اندازی، نیاز به تأمین نیرو دارند و این تأمین نیرو می تواند توسط واحدهای تأمین نیرو مثل ژنراتورها انجام شود. به عنوان مثال، کارخانه های برق با واحدهای ۰/۵ تا ۱۰ مگاوات و یک اتاق کنترل مرکزی برای سالهای زیادی در کارخانه های طلا استفاده می شد. در این موارد، ژنراتورها درون یک محفظه و روی یک بستر بتنی ساده قرار می گیرند و ایستگاهها بدون اپراتور هستند[۴].

خدمات و امکانات جانبی و رفاهی

برای راه اندازی واحدهای سیار نیاز به تأمین برخی از خدمات جانبی و رفاهی وجود دارد که از مهمترین آنها می- توان به تأمین آب، سدهای باطله، خدمات آزمایشگاهی، خدمات رفاهی و ... اشاره کرد.

استهلاک و ارزش باقیمانده تجهیزات واحدهای سیار و ثابت

بر اساس بررسی اطلاعات و سوابق موجود داخلی و خارجی، معمولاً پس از اتمام دوره فعالیت، ارزش تجهیزات یک واحد سیار به مراتب بیشتر از ارزش تجهیزات واحدهای ثابت می باشد. یکی از دلایل این امر، طولانی بودن عمر پروژه های ثابت است که منجر به فرسوده شدن آن می گردد. تجهیزات تخریب شده در واحدهای ثابت یا به عنوان آهن قراضه و یا اینکه تحت عنوان تجهیزات دست دوم به فروش می رسد. در صورتی که برای یک کارخانه قابل حمل در شرایط کنونی، ارزش کارخانه در هنگام فروش ۸۰ درصد از هزینه های سرمایه ای اولیه را پوشش می دهد و "قابلیت فروش" بالایی دارد[۴].

شاخص ها و ضوابط قانونی و زیست محیطی واحدهای فرآوری سیار

نظر به اینکه مواد مصرفی و فرآیندهای تولید و فرآوری مواد معدنی در واحدهای فرآوری ثابت و سیار متفاوت نمی- باشد، لذا دستورالعمل های زیست محیطی مربوط به بهره برداری کارخانه های ثابت برای کارخانه های سیار قابل تعمیم است. بنابراین، می توان به ضوابط زیست محیطی فعالیتهای معدنی در این حوزه رجوع نمود. انتخاب محل مناسب برای استقرار واحدهای فرآوری ثابت و سیار از جمله موارد مهمی است که در راه اندازی پروژه ها تأثیر بنیادی دارد. احداث واحدهای فرآوری ثابت با هدف بهره برداری بلند مدت، در محلی مناسب انجام می- گیرد که پتانسیل های لازم برای صنایع بالادستی و زیردستی آن نیز وجود داشته باشد. این در حالی است که واحدهای فرآوری سیار غالباً در طی دو سال جابجا می شوند و برخی از معیارهایی که در مکان یابی کارخانه های فرآوری ثابت مورد توجه است، در مورد کارخانه های سیار از تأثیر کمتری برخوردار هستند[۴].

تدوین دستور العمل بکارگیری واحدهای فرآوری سیار برای معادن کوچک مقیاس بوکسیت

ماده معدنی بوکسیت در ایران در هر سه زون ساختاری البرز (پرمین ژوراسیک)، ایران مرکز (تریاس و یا ژوراسیک زیرین) و زاگرس (کرتاسه بالایی) تشکیل شده است. بزرگترین معدن بوکسیت در ایران معدن بوکسیت جاجرم با بیش از ۲۲ میلیون تن ذخیره ماده معدنی می باشد که در جنوبی ترین بخش البرز شرقی قرار گرفته است[۷].

با بررسی های و مطالعات انجام شده در این تحقیق، تدوین دستورالعمل های مربوطه جهت بکارگیری و راه اندازی واحدهای سیار فرآوری سیکلون واسطه سنگین در ایران، با در نظر داشتن شاخص هایی نظیر عیار ماده معدنی بوکسیت، میزان ذخیره معادن بوکسیت، مسیرهای دسترسی و میزان ناخالصی های موجود الزامی می باشد.

معیار عیار Al_2O_3 جهت راه اندازی واحد سیار سیکلون واسطه سنگین

بر اساس مطالعات پرعیارسازی در شرایط امکانسنجی وآزمایشگاهی (معادن بوکسیت قزوین) و نیمه صنعتی (سیکلون واسطه سنگین معادن تاش کم عیار، تاش پرعیار، گل بینی ۱، تاگوئی ۲، دشت ده غربی یزد) بر روی حداقل ۱۰ معدن بوکسیت ایران، معادن با عیار Al_2O_3 حداقل ۳۲ درصد و بالاتر به شرط نداشتن پیچیدگی خاص کانی شناسی، به راحتی با روش سیکلون واسطه سنگین قابلیت پرعیارسازی برای اکسید آلومینیوم را دارا می باشند. هرچند، افزایش عیار اکسید آلومینیوم در مقایسه با کاهش عیار سیلیس قابل توجه نمی باشد. بنابراین، از آنجا که در مکانیسم و روش جدایش از نظر فنی، تفاوتی بین روش سیار و فرآوری واحد ثابت وجود ندارد، این عیار برای واحد های سیار و موبایل نیز قابل تعمیم می باشد.

معیار ذخیره معدن بوکسیت و ظرفیت دستگاه سیار سیکلون واسطه سنگین

برای راه اندازی واحدهای سیار، همانگونه که ذکر شده، ذخیره موجود حداقل باید برای فعالیت دو سال آن واحد کافی باشد. با توجه به ظرفیت واحدهای سیار سیکلون واسطه سنگین از جمله سیکلون واسطه سنگین سیار مرکز تحقیقات فرآوری مواد معدنی ایران معادل ۱۰ تن بر ساعت و با فرض فعالیت سه شیفت دستگاه و ۳۲۰ روز کاری در سال، میزان خوراک مورد نیاز برای یک واحد سیار معادل ۷۶۸۰۰ تن طی یک سال خواهد بود. از آنجا که ذخیره مورد نیاز بایستی برای دو سال کافی باشد، لذا حداقل حدود ۱۵۳۶۰۰ تن ماده معدنی بوکسیت برای راه اندازی یک واحد سیکلون واسطه سنگین نیاز است. بازه ظرفیت دستگاه سیکلون واسطه سنگین برای استفاده در واحدهای سیار و یا مدولار ۱۰ تا ۵۰ تن بر ساعت مناسب خواهد بود. در صورت مشکل در حمل و نقل سیستم سیار با ظرفیت بالا، می توان از دو یا تعداد بیشتری از واحد مذکور بطور موازی استفاده نمود.

علاوه بر این، میزان ذخیره معادن کوچک مقیاس بوکسیت برای استفاده از سسیستم سیار فرآوری با روش سیکلون واسطه سنگین ضمن تأمین خوراک دو سال باید کمتر از ۱۵۰۰۰۰ تن نباشد. ذخیره کمتر، منجر به استفاده از دستگاههای کوچکتر و با ظرفیت کمتر می گردد. این امر، ضمن افزایش زمان تولید، غیر اقتصادی شدن فرآیند را به دنبال خواهد داشت.

معیار ناخالصی های موجود بوکسیت جهت دستگاه سیار سیکلون واسطه سنگین

از ناخالصی های مهم همراه ماده معدنی بوکسیت، سیلیس بصورت فعال و کوارتز می باشد. بر اساس نتایج بدست آمده از فعالیت های پرعیارسازی بوکسیت حداقل ۱۰ نمونه از کانسنگ های ایران، میانگین کاهش عیار سیلیس در کنسانتره آزمایشگاهی با روش مایع سنگین حدود ۱۶ درصد (۱۵,۹۴ درصد) و میانگین کاهش عیار سیلیس در کنسانتره نیمه صنعتی با روش سیکلون واسطه سنگین حدود ۳ درصد (۳,۳۴ درصد) می باشد. عیار سیلیس در خوراک و کنسانتره در مقیاس آزمایشگاهی به ترتیب ۲۶,۰۶ و ۱۰,۱۳ درصد و

در مقیاس نیمه صنعتی به ترتیب ۱۳,۵۰ و ۱۰,۱۶ درصد اندازه گیری شده است. از آنجا که معیار سیلیس محتوی خوراک ورودی به کارخانه آلومینای جاجرم ۱۲ تا ۱۲,۵ درصد لحاظ شده است و نیز امکان کاهش ۳ درصدی سیلیس توسط دستگاه سیکلون واسطه سنگین در مقیاس نیمه صنعتی بنابراین، بهترین خوراک قابل استفاده توسط سیکلون واسطه سنگین سیار و ثابت بایستی در محدود ۱۵ تا ۲۰ درصد سیلیس داشته باشد.

معیار ابعاد واحد سیار سیکلون واسطه سنگین و فاصله حمل و نقلی

قوانین حمل و نقل جاده ای، محدودیت هایی برای اندازه تجهیزات قابل حمل در جاده ها ایجاد می کند. حداکثر عرض ۳,۵ متر و ارتفاع ۴,۵ متر و اسکورت وسایل نقلیه نیز موردنیاز است. علاوه براین، تعدادی از زیرگذرها در ایران وجود دارد که حجم تجهیزاتی که می توانند از آن عبور کنند را محدود می سازد. جابجایی و تخلیه با استفاده از جرثقیل های سنگین، هزینه قابل توجهی در بر دارد که اینگونه جابجایی ها در واحدهای سیار فرآوری بوکسیت باید در طول عمر پروژه کاهش یابد.

بررسی فنی و اقتصادی طرح راه اندازی واحد سیار سیکلون واسطه سنگین

با اجرا و احداث واحد سیار، هزینه حمل سنگ از معادن بوکسیت بلوک ۳ و یا معادن مشابه آن به کارخانه ثابت و همچنین هزینه‌های مربوط به ساختمان و فوندانسیون‌های عمرانی حذف و این امر سبب اقتصادی تر شدن پروژه می‌گردد. هزینه سرمایه گذاری برای اجرای طرح واسطه سنگین سیار با ظرفیت ورودی ۱۵۳۶۰۰ تن در سال، در حدود ۲۱۵،۳۷۶ میلیون ریال برآورد گردید. نرخ بازده داخلی در طرح فرآوری با روش سیار سیکلون واسطه سنگین، معادل ۷۲ ٪ با ارزش خالص فعلی ۱۷۵۳۶۳ میلیون ریال برآورد شد که با توجه به نرخ سود سپرده حداکثر ۲۲ ٪ بانک‌ها، بسیار قابل توجه بوده و طرح کاملا توجیه اقتصادی دارد.

نتیجه گیری و پیشنهادات

نتیجه گیری

- بررسی محدوده‌ها و زیرساخت های موجود نظیر شبکه جاده ای، ریلی و برق در بلوک های معادن تقسیم شده، حاکی از فواصل جغرافیایی مناسب، نزدیکی به زیر ساخت ها و مکفی بودن میزان ذخایر جهت استفاده از واحدهای سیار فرآوری بوکسیت معادن کوچک مقیاس ایران می باشد. فراوانی معادن کوچک با عیار نامناسب در کشور و همچنین دورافتاده بودن این معادن، امکان تأمین زیرساختهای مناسب برای احداث کارخانه های ثابت را سخت نموده است.
- از نظر تعداد سازنده های تجهیزات معدنی، پتانسیل مناسبی برای ساخت و توسعه واحدهای سیار و مدولار در کشور وجود دارد و این موضوع شرایطی را فراهم می کند که فرآوری معادن کوچک مقیاس بوکسیت از شرایط مناسبی برخوردار باشد. در زمینه ساخت واحدهای فرآوری سیار از جمله سیکلون واسطه سنگین، دانش کمی وجود دارد و تعداد کمی از شرکتها مانند مرکز تحقیقات فرآوری مواد معدنی ایران، شرکت قادر صنعت زاگرس و کانی فرآوران تهران موفق به طراحی و ساخت واحدهای مدولار و سیار سیکلون واسطه سنگین و خردایش، آسیاکنی و فلوتاسیون شده اند.
- بر اساس بررسی های انجام شده، کارخانه های مختلف فرآوری بوکسیت در دنیا در کشورهایی نظیر چین، برزیل، هندوستان، مجارستان، یوگسلاوی و آمریکا از روش های نظیر پرعیارسازی ثقلی (سیکلون واسطه سنگین)، مغناطیسی، فلوتاسیون و خردایش انتخابی استفاده می کنند. اما از آنجا که عمده ذخایر معادن بوکسیت دنیا در مقایسه با ذخایر بوکسیت ایران (کل ذخیره حدود ۸۰ میلیون تن) بسیار بالا می باشد، کمتر از روش های سیار فرآوری جهت پرعیارسازی آن استفاده شده است. در حالیکه، استفاده از روش سیار واسطه سنگین در ایران بواسطه ذخایر متعدد بوکسیت با ذخایر کوچک (در محدود چند هزار تن تا حدود ۱۰ میلیون تن) در استان های مختلف از دیدگاه اقتصادی و کاهش هزینه های حمل و نقل، بسیار حیاتی است.
- بر اساس نتایج بررسی های امکانسنجی جدایش (مایع سنگین)، آزمایشگاهی (مخروط اریکسون) و آزمایش های پرعیارسازی نیمه صنعتی (سیکلون واسطه سنگین) بر روی حدود ۱۰ معدن بوکسیت ایران، امکان تولید کنسانتره بوکسیت با شاخص های مورد نظر خوراک شرکت آلومینا نظیر عیار Al_2O_3، درصد ناخالصی سیلیس و میزان مدول (Al_2O_3/SiO_2) با روش سیکلون واسطه سنگین سیار و ثابت وجود دارد.
- در راستای بکار گیری از سیکلون واسطه سنگین سیار، معیارها و دستورالعمل هایی جهت استفاده بهینه از این روش نیاز خواهد بود. از جمله این معیارها که در طرح حاضر تدوین شده است می توان به مواردی نظیر تأمین ذخیره حداقل ۲ سال، میزان ذخیره بوکسیت حداقل ۱۵۰ هزار تن، الزامات زیست محیطی مشابه واحدهای ثابت، لزوم معادن با عیار Al_2O_3 ۳۲ درصد و بالاتر به شرط نداشتن پیچیدگی خاص کانی شناسی، ظرفیت بهینه سیکلون واسطه سیار بین ۱۰ تا ۵۰ تن بر ساعت، محدوده ناخالصی سیلیس بین ۱۵ تا ۲۰ درصد، ابعاد عرضی تجهیزات ۳,۵ و ارتفاعی ۴,۵ متر و فاصله معادن بیش از ۵۰ کیلومتر اشاره نمود.

- بر اساس بررسی فنی و اقتصادی انجام شده با کمک نرم افزار کامفار، هزینه سرمایه گذاری برای اجرای طرح واسطه سنگین سیار با ظرفیت ورودی ۱۵۳۶۰۰ تن در سال (۲۰ تن در ساعت)، در حدود ۲۱۵،۳۷۶ میلیون ریال برآورد گردید. نرخ بازده داخلی در طرح فرآوری با روش سیار سیکلون واسطه سنگین، معادل ۷۲ ٪ با ارزش خالص فعلی ۱۷۵۳۶۳میلیون ریال برآورد شد که با توجه به نرخ سود سپرده حداکثر ۲۲ ٪ بانک‌ها، بسیار قابل توجه بوده و طرح کاملا توجیه اقتصادی دارد.

پیشنهادات

- ✓ استفاده از تجارب کشورهایی نظیر چین، استرالیا و هند در زمینه ساخت تجهیزات فرآوری سیار
- ✓ انجام مطالعات و برآورد دقیق تر ذخایر بوکسیتی کشور
- ✓ مطالعات تکمیلی GIS با هدف بلوک بندی معادن بوکسیت و راه اندازی واحد سیار فرآوری برای هر بلوک

منابع

[1]. دانشور،ع، ثمرین، سید مهدی، سیاح، محمد امین، بررسی خصوصیات کانسارهای بوکسیت کشور ایران،سومین کنفرانس ملی علوم مهندسی،۱۳۹۸، کد COI مقاله: NESC03-033.

[2].گزارش آماری وضعیت بوکسیت در ایران با همکاری مرکز آمار ایران، ، شماره۴، تابستان ۹۹، پایگاه داده های علوم زمین، کارگروه نقشه راه.

[3] مرکز آمار ایران . ۱۳۹۸ . وزارت صنعت ، معدن و تجارت . گزارش شماره ۶۳.

[4]. شکور شهابی، رضا، "تدوین برنامه احیاء معدن و فعال سازی ذخایر کوچک ایران بر مبنای تحلیل و تجارب جهانی و توسعه فرآوری موبایل مواد معدنی، شرکت تهیه و تولید مواد معدنی ایران، ۱۳۹۹.

[5] Abbi Buxton, Responding to the challenge of artisanal and small-scale mining How can knowledge networks help? Available online: https://pubs.iied.org/sites/default/files/pdfs/migrate/16532IIED.pdf, London, 2013.

[6] S. J. Mallo, Mitigating the Activities of Artisanal and Small-Scale Miners in Africa: Challenges for Engineering and Technological Institutions, International Journal of Modern Engineering Research (IJMER) www.ijmer.com Vol.2, Issue.6, Nov-Dec. 2012 pp-4714-4725 ISSN: 2249-6645.

[7] ناصری، م .۱۳۸۲ . کانی شناسی و ژئوشیمی بوکسیت جاجرم (با نگرش بر قابلیتها و محدودیتها در کاربرد صنعتی)، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده علوم پایه، دانشگاه فردوسی مشهد.

Abstract

In this project, at first, complete information about bauxite mines and mining areas of Iran and the world, preparation of GIS maps and blocking of active and inactive small-scale bauxite mines have been examined. Next, the introduction of companies and countries manufacturing mobile processing equipment (all minerals and bauxite) as well as the possible advantages and disadvantages of mobile processing methods as well and all bauxite mineral processing methods in the world and Iran (gravity, magnetic, flotation and Leaching) has been evaluated with emphasis on the use of heavy media cyclone method. Investigation and implementation of indicators (metallurgical, technical, economic and environmental) of the heavy media mobile cyclone unit is another issue that has been addressed in this project. In the end, the necessary instructions for setting up a heavy media cyclone processing unit and a pre-feasibility study of the project were developed and presented. By examining the railway road map and also the country's power transmission lines in GIS environment as well as blocking active and inactive bauxite mines (11 blocks) based on the amount of storage and geographical distances, it was determined that in all blocks while providing feed for processing, due to the proximity to the transport and power infrastructure and the small scale nature of the bauxite mines, there is considerable potential for the commissioning of mobile processing units and heavy media cyclones. According to studies, various bauxite processing plants in the world in countries such as China, Brazil, India, Hungary, Yugoslavia and the United States use methods such as gravity concentration methods (heavy media cyclone), magnetic, flotation and selective crushing. But since the major reserves of bauxite mines in the world are very high compared to the bauxite reserves of Iran (total reserves of about 80 million tons), less mobile processing methods have been used to upgrade it. Whereas, the use of heavy media mobile method in Iran is very important from an economic point of view and reducing transportation costs due to the numerous and small-scale reserves of bauxite (in the range of several thousand tons to about 10 million tons) in different provinces. Based on the results of the studies of this project, in the current situation, except for Jajarm Alumina Company, which use bauxite upgrading by selective crushing method, no other activity is carried out in this field in other bauxite mines in Iran. According to the results of laboratory and pilot-plant scale experiments on about 10 bauxite mines in Iran, the possibility of producing bauxite concentrate with the desired feed index of Alumina company such as Al_2O_3 grade, percentage of silica impurity and modulus (Al_2O_3 / SiO_2) with a heavy media-mobile and fixed- cyclone method. In order to use a heavy media-mobile cyclone, criteria and instructions will be needed for the optimal use of this method. Among these criteria, which have been developed in the present project, can be items such as providing at least 2 years of storage, bauxite storage of at least 150 thousand tons, environmental requirements similar to fixed units, the need for mines with Al_2O_3 grade 32% and above with no Specific mineral complexity, optimal capacity of heavy media-mobile cyclone between 10 to 50 tons per hour, range of silica impurities between 15 to 20%, cross-sectional dimensions of equipment 4.5 and height 3.5 meters and mining distance more than 50 km. Based on the pre-feasibility study conducted with the help of Kamfar software, the investment cost for the implementation of the mobile heavy media cyclone project with a bauxite capacity of 156,300 tons per year was estimated at about 130,326 million rials. In this regard, the internal rate of return of the mobile unit was equivalent to 76% with a net present value of 118,000 million rials, which is very significant considering the interest rate up to 22% of banks, and the implementation of the plan is fully justified.

Key Words: Heavy media cyclone, Mobile unite, small scale bauxite mines, Pre-feasibility study

IMIDRO
IRANIAN MINES AND MINING INDUSTRIES DEVELOPMENT
AND RENOVATION ORGANIZATION

Investigation and comparative studies of indicators (metallurgical, technical, economic, legal and environmental) of mobile processing unit located in Iran Mineral Processing Research Center based on laboratory and pilot-plant scale studies on bauxite samples

(Management report)

Contract Number: 9737

Imam Khomeini International University (IKIU)
Dr. Rahman Ahmadi

February 2021