

استفاده بهینه دهلی نو از معادن سنگ آهن،  
زغالسنگ، مس، آلومینیوم و مواد باطله

## نگاهی به برنامه‌ها و اقدامات هندی‌ها برای توسعه معادن فلزی

با توجه به وسعت و عمق ثروت معدنی هند، فرصت‌های فراوری سنگ‌معدن برای به دست آوردن ارزش از استخراج معادن جدید و احیای فلزات از باطله‌های قدیمی بسیار زیاد است.

و منابع بوکسیت این کشور ۳/۸۹۶ میلیارد تن است.

آر کی شارما (RK Sharma)، مدیرکل فدراسیون صنایع معدنی هند (Federation of Indian Mineral Industries)، می‌گوید: «شما باید با هرگونه موادمعدنی که از زیر زمین به دست آورده‌اید زندگی کنید».

چالش این است که چگونه این مواد را استخراج می‌کنید، یعنی انتخاب فناوری بسته به ترکیب رسوبات. اکثر معادن هند قدیمی هستند و سال‌های زیادی است که از آن‌ها بهره‌برداری می‌شود. با این حال در سال‌های اخیر، معدنچیان تلاش کرده‌اند تا با افزایش سرمایه‌ها و دارایی‌ها در عملیات، بهره‌وری را بهبود بخشند.

«اما زمان آن فرا رسیده است که صنعت معدنکاری هند با استفاده از تجزیه و تحلیل‌ها و حسگرهای پیشرفته برای بهبود بهره‌وری بیشتر و کنترل هزینه به دنبال تحول در فناوری دیجیتال باشد. علاوه بر این، معدنچیان به ویژه کسانی که در تولید زغال‌سنگ و سنگ آهن فعالیت می‌کنند، باید سرمایه‌گذاری کافی در زمینه شستشو و بهره‌برداری، دفع باطله و بازیابی ارزش حاصل از لجن و گل‌ولای را انجام دهند.»

تاتا استیل (Tata Steel) که بخش زیادی از سنگ آهن، زغال‌سنگ

**ماهنامه پردازش:** هند از نظر وجود سه ماده معدنی زغال‌سنگ، سنگ آهن و بوکسیت بسیار غنی است. اما برخلاف دیگر کشورهای غنی از موادمعدنی مانند استرالیا، برزیل و آفریقای جنوبی، هند با یک میلیارد و ۳۹۶ میلیون نفر جمعیت دارای بازار بزرگ و رو به رشدی برای همه فلزات آهنی و غیرآهنی است که منجر به فراوری محلی بخش عمده‌ای از موادمعدنی استخراج شده می‌شود. علاوه بر این، دهلی نو تحت فشار بخش صنعت، سیاست حفظ منابع به قیمت صادرات را دنبال می‌کند.

با این حال در مورد زغال‌سنگ متالورژیکی، سوخت محلی با میزان بسیار بالای خاکستر کیفیت ضعیفی دارد و هند به طور فزاینده‌ای به واردات وابسته است. علاوه بر این سه ماده معدنی، هند دارای ذخایر قابل توجهی از سنگ معدن منگنز، کرومیت، سنگ سرب-روی و سنگ مس است.

بر اساس آخرین بررسی اداره معادن هند، منابع زغال‌سنگ هند ۳۲۶/۰۵ میلیارد تن است که شامل ۲۹۱/۰۵ میلیارد تن زغال‌سنگ غیرکوک و ۳۵ میلیارد تن زغال‌سنگ متالورژیکی است. مجموع منابع سنگ آهن ۲۷۶،۳۳ میلیارد تن، شامل ۲۲/۴۸۷ میلیارد تن سنگ هماتیت و ۱۰/۷۸۰ میلیارد تن سنگ مگنتیت است

متالورژیکی، سنگ کرومیت و سنگ منگنز را در اختیار دارد و شرکت روی هندوستان با مسوولیت محدود (Hindustan Zinc Limited)، شرکت وابسته به ودانا ریسورسز (Vedanta Resources) و دومین تولیدکننده بزرگ روی در جهان، طی چند سال گذشته در زمینه دیجیتالی شدن معدنکاری فعالیت‌هایی داشته‌اند. یکی از مقامات HZL گفت که در چند سال گذشته تحول دیجیتالی معادن زیرزمینی به بهبود بهره‌وری، کاهش هزینه و افزایش ایمنی و بازیابی چشمگیر نقره به عنوان محصول جانبی منجر شده است. شرکت تاتا استیل می‌گوید: «از برنامه‌ریزی زمین‌شناختی معادن تا عملیات، دیجیتالی شدن ما را قادر ساخته است که موادمعدنی با کیفیت مطلوب را از معادن خود استخراج کنیم. استفاده از ابزارهای دیجیتالی امکان اطمینان از ایمن ماندن افرادی که در عملیات معدن کار می‌کنند را فراهم می‌سازد.»

جی‌اس‌دبلیو استیل (JSW Steel) و جیندال استیل اند پاور (Jindal Steel & Power) که اخیراً معادن سنگ‌آهن را برای استفاده داخلی در اختیار گرفته‌اند، تغییر روش و انتقال به یک اکوسیستم معدنی دیجیتالی را برای بهره‌وری و ایمنی بیشتر در کار شایسته و با ارزش دانسته‌اند. بیشتر شرکت‌های دولتی و NMDC، بزرگ‌ترین تولیدکننده سنگ‌آهن کشور نیز در زمینه دیجیتالی شدن سرمایه‌گذاری زیادی انجام خواهند داد زیرا این شرکت تولید سالانه خود را از ۳۵ میلیون تن در حال حاضر به ۱۰۰ میلیون تن در سال‌های ۲۰۳۱-۲۰۳۰ افزایش داده است. بر اساس سیاست فولاد هند، این صنعت برای تولید ۲۵۵ میلیون تن فولاد خام در سال‌های ۲۰۳۱-۲۰۳۰ به تأمین ۴۳۷ میلیون تن سنگ‌آهن از منابع محلی نیاز دارد. به این امر باید صادرات سنگ‌آهن عیار پایین هند که عمدتاً در گوا و جاهای دیگر افزایش یافته است را هم اضافه کرد.

نیتی آیوگ (Niti Aayog)، اتاق فکر رسمی دولت هند از گفته‌های فدراسیون اتاق‌های بازرگانی و صنایع هند (FICCI) حمایت می‌کند طبق اعلام این فدراسیون، برای این که این کشور با نرخ دورقمی پایدار رشد کند سهم بخش معدن از تولید ناخالص داخلی باید دو برابر میزان فعلی که کمتر از ۳ درصد است، شود.

کارشناسان محیط‌زیست می‌گویند با افزایش تولید موادمعدنی، نهادهای نظارتی دولتی باید دقت و هوشیاری بیشتری داشته باشند تا اطمینان حاصل شود که موادزاید معادن به‌طور علمی دفع می‌شود و آب استخراجی باطله و دیگر مراکز دفع موادزاید وارد رودخانه‌ها، نهرها و زیستگاه‌های اطراف نمی‌شود و معدنکاران را تشویق کنند تا سرمایه‌گذاری کافی برای بازیابی موادمعدنی از ضایعات را انجام دهند.

### شستشوی زغال‌سنگ

این کشور برای راه‌اندازی ظرفیت بزرگ و جدید فولادسازی با استفاده از مسیر BF-BOF، به واردات روزافزون زغال‌سنگ متالورژیکی تن داد بر اساس سیاست فولاد هند بیش از ۶۵ درصد از ۳۰۰ میلیون تن ظرفیت تولید تا سال ۲۰۳۱-۲۰۳۰ بر اساس BF-BOF خواهد بود. وزارت زغال‌سنگ هند اذعان می‌کند که تنها راه برای محدود کردن افزایش سالانه واردات زغال‌سنگ، راه‌اندازی دستگاه‌های شستشوی جدید و همچنین مدرن‌سازی دستگاه‌هایی است که مدت خیلی طولانی کار می‌کنند.



### شرکت دولتی مس هندوستان با مسوولیت محدود (HCL)، که به تنهایی

مالک تمام معادن مس در هند است برنامه بلندپروازانه‌ای برای افزایش ظرفیت تولید سنگ معدن از ۳/۴ میلیون تن، ابتدا به ۱۲/۲ میلیون تن و سپس به ۲۰/۲ میلیون تن با استفاده از خدمات اپراتورهای معدن‌های خارجی دارد. از آنجا که HCL تصمیم گرفته است به جای ذوب مس در کارخانه‌های کوچک قدیمی داخلی با تمرکز بر تولید کنسانتره مس که تقاضا برای آن در داخل کشور همچنان قوی خواهد بود، عملکرد بهتری داشته باشد قرار است از حدود ۱۱۰ میلیون تن مواد باطله که طی سال‌ها در سابت‌های مختلف معادن انباشته شده است ارزش ایجاد کند

برای تأمین تقاضای کارخانه‌های فولادسازی، این کشور مجبور بود ۵۶/۹ میلیون تن زغال‌سنگ کک شو در سال ۲۰۲۰ وارد کند که ۲ درصد نسبت به مدت مشابه در سال گذشته افزایش یافته است. بهره‌وری نیروگاه‌های برق زغال‌سنگ سوز با میزان خاکستر از ۳۵ تا ۴۵ درصد در سوخت بومی به خطر می‌افتد. در نتیجه هند همچنان واردکننده اصلی زغال‌سنگ غیرکک

شو باقی مانده است. برای تأمین زغال‌سنگ متالورژیکی با کیفیت بهتر برای صنعت فولاد، شرکت زغال‌سنگ هند با مسوولیت محدود (Coal India Limited) که یک تولیدکننده اصلی و دولتی است، قرار است ۹ دستگاه شستشو نصب کند. در عین حال CIL در حال ساخت سه دستگاه شستشو برای کاهش میزان خاکستر در زغال‌سنگ غیر کک شو است. یک مقام انجمن فولاد هند گفت درحالی‌که دستگاه‌های شستشوی جدید در مراحل مختلف راه‌اندازی هستند، CIL باید «نوسازی جامع» برنامه‌ریزی شده برای اکثر ۱۲ دستگاه شستشوی خود را تسریع کند.

دو دستگاه شستشوی زغال‌سنگ کک شو دارای ظرفیت ۲۳/۶۳ میلیون تن هستند و دو کارخانه شستشوی زغال‌سنگ بدون کک شو برای ۱۱ میلیون تن طراحی شده‌اند اما با گذشت عمر مفید دستگاه‌های شستشو، تولید آن‌ها کمتر از ظرفیت مورد نظر می‌شود.

یک مقام FICCI تأکید کرد که تفاوت زیادی بین ظرفیت شستشو و تولید ۷۳۱ میلیون تن زغال‌سنگ در سال ۲۰۱۹-۲۰۲۰ وجود دارد. باطله‌های زغال‌سنگ تولیدشده در فرآیند شستشو ارزش گرمایی بالایی دارد که از ۳۷۰۰ تا ۵۳۰۰ کیلوکالری در هر کیلوگرم متغیر است. این محصول جانبی زغال‌سنگ در کارخانه‌های کک سازی برای تهیه کک سخت و نرم و در کوره‌های آجر به‌عنوان سوخت کاربرد وسیعی دارد. باطله‌های زغال‌سنگ که با زغال‌سنگ کیفیت پایین ترکیب می‌شوند در نیروگاه‌های حرارتی مورد استفاده قرار می‌گیرند. تاتا استیل در فروش باطله‌های تولیدشده در سه کارخانه شستشوی خود که به معادن زغال‌سنگ کک شو مربوط می‌شود، موفقیت تجاری به‌دست آورده است.

در همین حال، وزارت زغال‌سنگ کمیته‌ای را برای تعیین «آستانه ارزش گرمایی ناخالص دفع شستشو» تشکیل داده است و همچنین یک روش عملیاتی ایده‌آل را برای دفع ضایعات در حفره‌های معدن و سایر مناطق کم ارتفاع بدون آسیب رساندن به محیط زیست توصیه می‌کند.





## سنگ آهن

کارخانه بهیلائی (Bhilai) از شرکت سیل (SAIL) با ظرفیت ۷/۵ میلیون تن، وقتی با کمبود عرضه سنگ آهن ناشی از قدیمی شدن و تخلیه معادن دالی - راجارا (Dalli-Rajhara) در چتیسگار (Chhattisgarh) و نزدیک بودن افتتاح معادن روغات (Rowghat) با ذخایر با کیفیت بالا و ظرفیت ۵۱۱ میلیون تن مواجه می‌شود چه کاری انجام می‌دهد؟

انیربان داسگپتا (Anirban Dasgupta)، مدیر SAIL گفت: «ما در حال سازماندهی تأمین کالا از منابع متعدد در داخل سازمان با هزینه اضافی هستیم، همچنین آماده بازیافت سنگ آهن از باطله‌های انباشته شده در طول چندین دهه در دالی - راجارا هستیم.

تخمین زده می‌شود که در حوضچه باطله دالی ۱۹ میلیون تن ضایعات معادن انباشته شده است. سنگ معدن موجود در لجن ۵۴ درصد آهن دارد. اما بهره‌مندی از کیفیت بالا این است که میزان آهن را به ۶۵ تا ۶۶ درصد افزایش دهد. برای هر معدنکار، چالش مربوط به تبدیل ضایعات به ثروت و حفاظت از محیط زیست این است که قبل از هرگونه خطر تخریب دیوار اطراف، سنگ آهن را از لجن انباشته شده در طول سال‌ها در حوضچه باطله جدا کند.

ریزدانه‌های بازیابی شده در اندازه‌های خیلی کوچک قبل از استفاده در BF تفجوشی می‌شوند. تلاش می‌شود سالانه ۱/۲ میلیون تن سنگ معدن از حوضچه باطله فرآوری شود.» وزارت فولاد خواهان اجرای طرح‌های ابتکاری مشابه در سایر معادن جنبی و تجاری است.

در گزارش اداره معادن هند (IBM) آمده است که ترکیبی از فناوری‌های شستشوی عمدتاً قدیمی که در هند از آن‌ها استفاده می‌شود و تمایل کلی صنعت برای دور انداختن ریزدانه‌ها با محتوای آهن ۴۵-۵۵ درصد سالانه منجر به تولید ۱۵ میلیون تن لجن و گل ولای می‌شود که «جایی به صورت یک توده بزرگ یا در حوضچه‌های باطله» تخلیه می‌شوند.

کارشناسان محیط‌زیست به معدنکاران یادآوری می‌کنند که باید ضایعات را به ثروت تبدیل کنند تا خطر خرابی سد باطله کاهش یابد.

شارما گفت: «سال‌هاست که تصور می‌شود فولادسازان هندی از سنگ معدن با عیار ۶۲ درصد و بالاتر استفاده می‌کنند در حالی که متوسط مصرف جهان با عیار ۶۰ درصد است. به دلیل دسترسی آسان، آن‌ها خرید کلوخه معدنی را ترجیح دادند. در اینجا، نسبت کلوخه به ریزدانه تقریباً ۲۵:۷۵ است.

جای تعجب نیست که اخیراً در مارس ۲۰۱۹، این کشور ۱۶۲ میلیون تن ذخیره ریزدانه معدنی فروش نرفته داشته است.» در حقیقت،

## هند به دنبال افزایش بازده و کارایی استخراج ثروت معدنی خود است

استفاده می‌شوند. ارتباطها و شراکت‌های متعدد این شرکت با صنعت سیمان، دفع سالانه گل سرخ معادل تولید آن در سه پالایشگاه را تضمین می‌کند.

این پیشرفت باعث می‌شود هیندالکو از حادثه‌های احتمالی در مخازن باطله خلاص شود و اقتصاد دورانی را تقویت کند. ودانتا و نالکو قرار است با هیندالکو در ایجاد ارزش از ضایعات خطرناک مشارکت و همکاری کنند.

شرکت دولتی مس هندوستان با مسوولیت محدود (HCL)، که به تنهایی مالک تمام معادن مس در هند است برنامه بلندپروازانه‌ای برای افزایش ظرفیت تولید سنگ معدن از ۳/۴ میلیون تن، ابتدا به ۱۲/۲ میلیون تن و سپس به ۲۰/۲ میلیون تن با استفاده از خدمات اپراتورهای معدن‌های خارجی دارد.

از آنجا که HCL تصمیم گرفته است به جای ذوب مس در کارخانه‌های کوچک قدیمی داخلی با تمرکز بر تولید کنسانتره مس که تقاضا برای آن در داخل کشور همچنان قوی خواهد بود، عملکرد بهتری داشته باشد قرار است از حدود ۱۱۰ میلیون تن مواد باطله که طی سال‌ها در سایت‌های مختلف معادن انباشته شده است ارزش ایجاد کند.

در بزرگ‌ترین معدن این شرکت در مالانخند (Malanjkhand) در ایالت مادیا پرادش (Madhya Pradesh)، بیش از ۵۵ میلیون تن باطله حاوی طلا، نقره و ماسه سیلیسی در حوضچه‌ها نگهداری می‌شود. برنامه این است که ۳/۳ میلیون تن باطله در سال در مالانخند فرآوری شود. هنگامی که کارخانه بازیابی محصول جانبی مالانخند به‌طور کامل راه‌اندازی شود، HCL واحدهای مشابهی را در معادن دیگر در جارجند (Jharkhand) و راجستان (Rajasthan) می‌سازد تا از پسماندها درآمدزایی کند و همچنین احتمال وقوع حوادث را کاهش دهد. ☒

فولادسازانی که از گزینه استفاده از سنگ معدن با کیفیت بالا استفاده می‌کنند انتقاداتی را نیز از IBM دریافت کرده‌اند. اما اکنون همه چیز در حال تغییر است. با تخلیه سریع سنگ معدن هماتیت با کیفیت بالا این صنعت به سرعت در حال ایجاد ظرفیت برای تفجوشی ریزدانه‌ها و گندله‌ها است.

بر اساس گزارش IBM، این کشور ظرفیت تولید سالانه نزدیک به ۷۰ میلیون تن گندله را دارد که بازیگران اصلی آن جی‌اس‌دیلو، جی‌اس‌پی‌ال (JSPL)، آسلور میتال نیپون استیل (ArcelorMittal Nippon Steel) و تاتا استیل هستند. به لطف تلاش گروه‌های فولادسازی یکپارچه، ظرفیت تفجوشی به سرعت به ۱۰۰ میلیون تن نزدیک می‌شود.

## آلومینیوم و مس

هند که در سال‌های ۲۰۱۹ و ۲۰۲۰ حدود ۶/۷ میلیون تن آلومینا و ۳/۷ میلیون تن آلومینیوم تولید کرده است، چند مورد نشستی در سدهای باطله داشته که موجب انتشار گل قرمز از پالایشگاه‌ها شده است.

با فشار و اصرار دولت‌های ایالتی که پالایشگاه‌ها در ایالت‌های آن‌ها بودند برای حصول اطمینان از این که در طول موسم بارندگی‌های طولانی هند، گل سرخ سرریز نکند هر سه تولیدکننده آلومینیوم هند - هیندالکو (Hindalco)، ودانتا (Vedanta) و نالکو (Nalco) یافتن کاربردهای صنعتی برای این ماده را در اولویت قرار دادند.

هیندالکو در پیشرفت اخیرش دریافت که پسماند بوکسیت قرمز جایگزین ایده‌آلی برای مواد معدنی لائتریت و لیتومارژ است که در سیمان سازی