

بررسی پریارسازی سنگ آهن هماتیته ریز دانه در مجتمع سنگ آهن گل گهر

سید مجید سقائیانⁱ؛ رسول حجازیⁱⁱ

چکیده

مطالعات انجام شده بر روی محصول ریزتر از ۱۲ میلی متر حاصل از خردایش و دانه بندی سنگ آهن هماتیته معدن گل گهر نشان داد که مواد فوق حاوی مقدار زیادی کانی‌های آهن دار با ارزش هستند. بر اساس نتایج مطالعات آزمایشگاهی، مداری برای پریارسازی مواد فوق طراحی شد که به عنوان اولین کارخانه تغلیظ سنگ آهن هماتیته است؛ که در آن از جداکننده های مغناطیسی شدت متوسط خشک (۳۵۰۰ گوس) ساخت شرکت فکور صنعت تهران استفاده شده است. هدف کارخانه فوق تولید محصولی با عیار آهن بیش از ۶۰/۵ درصد و بازیابی وزنی بیش از ۵۵ درصد، از خوارکی با عیار آهن ۵۴ درصد است. در این مدار، مواد پس از دانه بندی با یک سرند ۶ میلی متر، بوسیله جداکننده های مغناطیسی پریارساز گشته، به طوری که ذرات ۶-۱۲ میلی متر در یک مرحله و ذرات ریزدانه، در دو مرحله تحت جدایش قرار می گیرند. بر اساس نتایج آزمایش‌ها می‌توان با حصول بازیابی وزنی ۷۳ درصد، به محصولی با عیار آهن ۵۹/۳ درصد نائل شد. در عمل با افزایش سرعت جداکننده ها و در نتیجه کاهش جزئی بازیابی وزنی کنسانتره، عیار آهن تا بیش از ۶۰/۵ درصد افزایش یافته است. در نهایت، بررسی های اقتصادی نشان دهنده درآمد سالیانه بیش از ۱۷/۸ میلیون دلار در سال است که زمان بازگشت سرمایه کمتر از ۱۳ روز خواهد شد.

کلمات کلیدی

سنگ آهن، هماتیت، جداکننده مغناطیسی شدت متوسط، گل گهر

The Study of Processing of the Fine Hematite Iron Ore in Gol-E-Gohar Iron Ore Co.

S.M.Saghaeian, R.Hejazi

ABSTRACT

Studies on less than 12 mm product due to crushing and sizing plant of Gol-e-Gohar Iron Ore Co. showed that this material contains significant amount of valuable iron ores. Based on the carried out experimental studies, the processing flow sheet designed to upgrade iron content. This plant is known as the first hematite iron ore enrichment plant that has used dry medium intensity magnetic separators (3500 gauss) which are manufactured by Fakoor Sanat Tehran Company. The purpose of the plant is production of fine with iron content more than 60.5% and recovery by weight more than 55% from the feed with iron content of 54%. In this plant, material at first are classified by a single deck screen (6mm), then screen oversize are separated at one stage by magnetic separator, while screen undersize at two stage. Based on experimental result, a product with iron content of 59.3% and recovery by weight 73% produced. Practically, the iron content has enhanced by increasing speed of magnetic separators and little decreasing recovery by weight to more than 60.5%. Finally, economical investigations showed that annual proceeds would be 17.8 millions dollar that time of capital return would be 13 day.

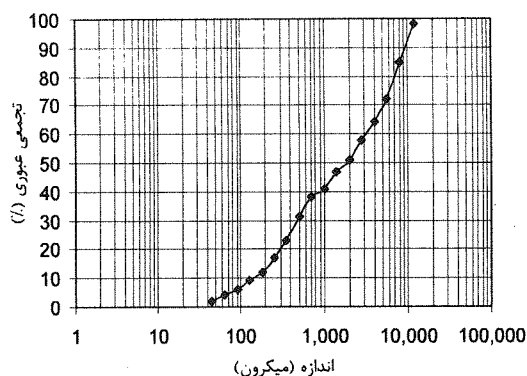
ⁱ مدیریت واحد فرآوری شرکت فکور صنعت تهران: M_Saghaeian@yahoo.com

ⁱⁱ کارشناس ارشد واحد فرآوری شرکت فکور صنعت تهران: R_hejazi12@yahoo.com

KEYWORDS

Iron Ore, Hematite, Medium Intensity Magnetic Separator, Gol-E-Gohar

همان طور که در شکل (۱) مشاهده می شود، شاخص های K_{80} و K_{50} مواد فوق به ترتیب برابر با ۷ میلی متر و ۲ میلی متر هستند و ذرات زیر ۱ میلی متر به طور متوسط در حدود ۴۰ درصد وزنی از مواد فوق را به خود اختصاص می دهند و در حدود ۲ درصد وزنی مواد فوق ابعادی بزرگتر از ۱۲ میلی متر دارند که باید در حین طراحی مد نظر قرار گیرند [۲].



شکل (۱): نمودار توزیع دانه بندی سنگ آهن هماتیته دپو شده [۲]

۲-۲- عیارسنجی نمونه

در جدول (۱) مشخصات عیار نمونه کلی مواد دپو شده زیر ۱۲ میلی متر؛ که باید مورد پریعیارسازی قرار گیرند، آورده شده است. باید اشاره کرد که مشخصات داده شده در جدول (۱)، متوسط ۱۲ نمونه تهیه شده از بخش های مختلف دپو است.

جدول (۱): مشخصات عیار سنگ آهن هماتیته زیر ۱۲ میلی متر

اندازه (میلی متر)	Fe (%)	FeO (%)	P (%)	S (%)	نسبت Fe/FeO
<12	۵۴/۱۰	۲/۱۰	۰/۱۴۵	۰/۲۷۴	۱۷/۴۵

همان طور که مشخص است، مواد فوق عیار آهن نسبتاً بالایی دارند (بیش از ۵۴ درصد) که کانی اصلی تشکیل دهنده عنصر آهن، کانی هماتیت است که این امر با توجه به بالا بودن نسبت Fe/FeO مواد ($Fe/FeO > 17$) قابل پیش بینی است.

با توجه به مطالعات صورت گرفته، دو عنصر گوگرد و فسفر به عنوان اصلی ترین عناصر مزاحم در کانسار گل گهر شناخته شده اند که مواد مربوط به ناحیه اکسیده آنومالی شماره ۱، از نظر عنصر گوگرد مشکل چندانی نداشته است؛ ولی عنصر فسفر به عنوان اصلی ترین عنصر مزاحم در این ناحیه شناخته می شود و اغلب به صورت کانی آپاتیت است [۴]. همان طور که در جدول (۱) مشخص است، مواد دپو شده زیر ۱۲ میلی متر؛ که به ناحیه اکسیده آنومالی شماره ۱ مربوط می شوند، از نظر عیار گوگرد مشکل چندانی ندارند، به طوری

۱- مقدمه

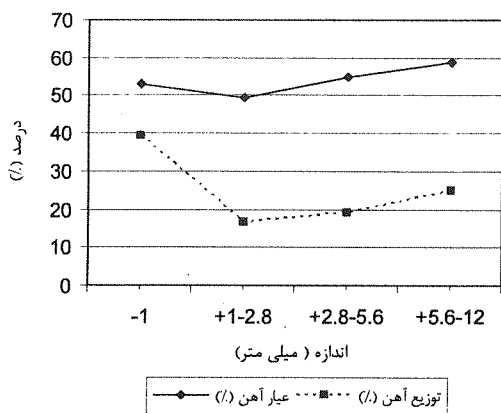
آنومالی شماره ۱ معدن سنگ آهن گل گهر متشکل از سه لایه بندی، شامل منیتیت فوقانی، ناحیه اکسیده، منیتیت تحتانی است که عمده کانی آهن دار ناحیه اکسیده از نوع هماتیت است که بخش نسبتاً قابل توجهی از این مواد نیز به علت نداشتن کیفیت مورد نیاز برای پریعیارسازی در کارخانه فرآوری موجود؛ در قسمتی از معدن انباشت شده و بوسیله کارخانه ای مورد خردایش و طبقه بندی قرار می گیرند (با توجه به این که کارخانه فرآوری برای جدایش ذرات منیتیتی طراحی شده است، فقط موادی که حاوی بیش از ۲۰ درصد ذرات منیتیتی باشند، به عنوان خوراک ورودی کارخانه فرآوری در نظر گرفته می شوند [۳]). از همان اوایل، محصول ریزتر از ۱۲ میلی متر کارخانه فوق، به علت نداشتن مشخصات مورد نظر مشتری و از طرفی به علت نبود تجهیزات جدایش مغناطیسی مناسب، به عنوان باطله در نزدیکی معدن دپو می شد؛ به همین دلیل حجم قابل ملاحظه ای از مواد را به خود اختصاص داده بود. با توجه به این که مواد دپو شده حاوی مقدار قابل ملاحظه ای کانی آهن دار با ارزش بود و از طرفی دور ریختن آنها به عنوان باطله از نظر اقتصادی نیز توجیه پذیر نبود؛ از این رو شرکت فکور صنعت تهران با پیشنهاد پریعیارسازی مواد فوق به وسیله جداکننده های مغناطیسی استوانه ای شدت متوسط خشک، به طراحی و توسعه کارخانه ای برای پریعیارسازی سنگ آهن هماتیته درشت دانه در مجتمع سنگ آهن گل گهر اقدام کرد [۱].

به منظور طراحی مدار کارخانه فوق، در ابتدا به نمونه گیری از بخش های مختلف دپو اقدام شد و به دنبال آن، توزیع دانه بندی و مشخصات شیمیایی نمونه اصلی و طبقات ابعادی مختلف تعیین گردید. در نهایت، با آزمایش های جدایش مغناطیسی به وسیله دیویس تیوپ و همچنین جداکننده مغناطیسی استوانه ای خشک روی طبقات ابعادی مختلف (در شدت میدان ۲۵۰۰ گوس)، مدار مناسب برای پریعیارسازی سنگ آهن هماتیته ریزتر از ۱۲ میلی متر پیشنهاد شد.

۲- تعیین مشخصات سنگ آهن هماتیته

۱-۲- توزیع دانه بندی

در شکل (۱) نمودار توزیع دانه بندی نمونه معرف تهیه شده از دپو سنگ آهن هماتیته زیر ۱۲ میلی متر؛ که متوسط چندین نمونه مختلف است، آورده شده است.



شکل (۲): عیار و توزیع آهن در طبقات ابعادی مختلف مواد هماتیته زیر ۱۲ میلی متر

۲-۴- آزمایش لوله دیویس روی طبقات ابعادی مختلف

به منظور بررسی وضعیت مغناطیسی و همچنین رفتار طبقات ابعادی مختلف ذرات زیر ۱۲ میلی متر در حین فرآیند پرعیارسازی به وسیله جداکننده های مغناطیسی شدت متوسط، به انجام آزمایش لوله دیویس روی طبقات ابعادی مختلف مواد فوق اقدام شد. هدف از این آزمایش تعیین حداکثر بازیابی وزنی و عیار آهن قابل حصول در حالت ایده آل بود (از آنجا که دانه بندی مواد مورد آزمایش به وسیله دیویس تیوپ باید ریزتر از ۱۵۰ میکرون باشد؛ از این رو قبل از انجام آزمایش، دانه بندی هر طبقه ابعادی با عملیات آسیا به این حد رسانیده شد).

در جدول (۴) نتایج آزمایش دیویس تیوپ بر روی نمونه کلی و همچنین طبقات ابعادی مختلف سنگ آهن هماتیته دپو شده زیر ۱۲ میلی متر آورده شده است.

همان طور که در جدول (۴) مشاهده می شود، حداکثر عیار آهن قابل حصول در هر طبقه ابعادی، بیش از ۶۸ درصد است که این امر نشان دهنده آن است که دسترسی به عیار آهن بیش از ۶۰/۵ درصد در مقیاس صنعتی امکان پذیر است؛ اما همان طور که مشخص است، بازیابی وزنی قابل حصول در هر طبقه ابعادی همواره کمتر از ۵۵ درصد است که در طبقات ابعادی ریزتر به مراتب کمتر از طبقات درشت تر می باشد، به طوری که بیشترین بازیابی وزنی به طبقه ابعادی ۱۲-۵/۶ میلی متر (۶۶٪) مربوط است و کمترین بازیابی وزنی قابل حصول نیز در طبقه ابعادی ۱۲۵-۰/۱ میکرون (۱۷٪) حاصل می شود که این امر بیانگر درصد بالای مواد غیر مغناطیسی در طبقات ابعادی ریزتر می باشد؛ اما با توجه به این که مقادیر بازیابی وزنی فوق در ایده آل ترین حالت پرعیارسازی است (دسترسی به

که عیار گوگرد آن کمتر از ۰/۳ درصد است؛ ولی عیار فسفر مواد فوق نسبتاً بالا است. با توجه به این که کانی اصلی تشکیل دهنده عنصر فسفر مواد فوق، کانی آپاتیت است و اغلب به صورت ریز دانه در زمینه هماتیت قرار دارد (در بعضی از مواقع آپاتیت در ابعاد ریزتر از ۲۰ میکرون در جدار حفره ها مشاهده می شود)، به همین دلیل کاهش عیار فسفر و گوگرد مواد فوق، مستلزم خردایش و آسیا کردن بیش از اندازه مواد به منظور آزادسازی کامل کانی آپاتیت و همچنین کانی پیریت یا پروتیت است که این امر نیز از نظر اقتصادی، با توجه به پایین بودن مقدار دپوهای فوق، مقرون به صرفه نیست. به همین جهت افزایش عیار آهن مواد فوق به میزان بیش از ۶۰/۵ درصد، بدون انجام هیچ گونه خردایش مجددی، به همراه بازیابی وزنی بیش از ۵۵ درصد؛ به عنوان اصلی ترین پارامتر در هنگام طراحی کارخانه پرعیارسازی مواد زیر ۱۲ میلی متر شناخته شدند.

۲-۳- مشخصات عیار در طبقات ابعادی مختلف

در جدول (۲) و شکل (۲) مشخصات عیار در طبقات ابعادی مختلف سنگ آهن هماتیته زیر ۱۲ میلی متر آورده شده است.

جدول (۲): مشخصات عیار در طبقات ابعادی مختلف سنگ آهن هماتیته زیر ۱۲ میلی متر

اندازه (میلی متر)	وزن (%)	عیار (%)		نسبت Fe/FeO	توزیع (%)	
		FeO	Fe		FeO	Fe
+۵/۶-۱۲	۲۳	۵۸/۸	۵/۲	۱۱/۳	۲۵/۰۲	۲۱/۳۶
+۲/۸-۵/۶	۱۹	۵۴/۷۲	۵/۰۷	۱۰/۸	۱۹/۲۴	۱۷/۲۰
+۱-۲/۸	۱۸	۴۹/۳۵	۵/۰۵	۱۱/۸	۱۶/۴۲	۱۶/۲۳
-۱	۴۰	۵۳/۱۱	۶/۳۳	۸/۴	۳۹/۳۱	۲۵/۲۱
کل	۱۰۰	۵۴/۰۵	۵/۶	۹/۷	۱۰۰	۱۰۰

همان طور که مشخص است، ذرات مربوط به طبقه ابعادی ۱۲-۵/۶ میلی متر، بیشترین عیار آهن (۵۸/۸٪) و طبقه ابعادی ۱-۲/۸ میلی متر، کمترین عیار (۴۹/۳۵٪) را دارند؛ اما بیشترین توزیع عنصر آهن به طبقه ابعادی زیر ۱ میلی متر مربوط است که این امر عمدتاً به علت درصد وزنی بالای (۴۰٪) این طبقه ابعادی است. همچنین نسبت Fe/FeO تمام طبقات ابعادی بزرگتر از ۸ است که این امر بر ماهیت اکسیده یا هماتیته بودن مواد فوق دلالت دارد.

۶- آزمایش جدایش مغناطیسی در مقیاس نیمه

صنعتی

با توجه به نتایج آنالیز سرندي، شیمیایی و همچنین نتایج آزمایش لوله دیویس روی طبقات ابعادی مختلف مواد زیر ۱۲ میلی متر سنگ آهن هماتیته، به انجام آزمایش جدایش مغناطیسی با جداکننده مغناطیسی شدت متوسط خشک (۳۵۰۰ گوس) روی مواد فوق اقدام شد (با توجه به اینکه رفتار جدایش مواد در جداکننده‌های مغناطیسی آزمایشگاهی و نیمه صنعتی تا حد خیلی زیادی مشابه می باشد و از طرفی نتایج آزمایش های نیمه صنعتی قابل اتکاتر است، به همین دلیل فقط اقدام به انجام آزمایش های نیمه صنعتی شد).

با توجه به این که هدف اصلی کارخانه مورد نظر تولید محصول، بدون انجام هیچ گونه خرید اضافی و همچنین به روش خشک (به علت کمبود آب و مشکلات عملیاتی) است، به همین جهت بر اساس نتایج مطالعات آزمایشگاهی صورت گرفته (که به آن اشاره شد)، سرندي با دهانه ۶ میلی متر برای دانه بندی بار اولیه به دو طبقه ابعادی ۱۲-۶ میلی متر و کوچکتر از ۶ میلی متر پیشنهاد شد.

در آزمایش‌های جدایش مغناطیسی صورت گرفته، ذرات مربوط به طبقه ابعادی ۱۲-۶ میلی متر، به علت این که کیفیت نسبتاً مطلوبی داشتند؛ فقط در یک مرحله، ولی ذرات $mm < 6$ به علت کیفیت پایین در دو مرحله رافر (Rougher) و کلینر (Cleaner) تحت پری‌عیارسازی قرار گرفتند تا امکان تهیه محصول نهایی با عیار بیش از ۶۰/۵ درصد و بازیابی وزنی بیش از ۵۵ درصد فراهم شود.

در جدول (۵) نتایج آزمایش جدایش مغناطیسی صورت گرفته روی طبقات ابعادی ۱۲-۶ میلی متر ارائه شده است.

جدول (۵): نتایج آزمایش جدایش مغناطیسی صورت گرفته روی طبقه ابعادی ۱۲-۶ میلی متر

مشخصات مواد	وزن (%)	عیار (%)		توزیع (%)	
		SiO ₂	Fe	SiO ₂	Fe
خوراک	۱۰۰	۵/۲۵	۵۹/۷۱	۱۰۰	۱۰۰
کنسانتره	۷۵	۲/۲۲	۶۲/۱۱	۴۶	۷۹/۳
باطله	۲۵	۱۱/۳۲	۴۹/۴۹	۵۳	۲۰/۷

همان طور که ملاحظه می شود، با یک مرحله پری‌عیارسازی ذرات ۱۲-۶ میلی متر با جداکننده مغناطیسی شدت متوسط خشک می توان به کنسانتره‌ای با عیار آهن و سیلیسی به ترتیب برابر با ۶۲/۱۱٪ و ۲/۲۲٪ دست یافت. حال آن که بازیابی وزنی کنسانتره برابر با ۷۵٪ و میزان بازیابی عناصر آهن و سیلیسی به ترتیب برابر با ۷۹/۳٪ و ۴۶٪ خواهد بود.

حداکثر عیار آهن و کمترین آلودگی، در نتیجه می توان با کاهش کیفیت محصول، مشکل بازیابی وزنی را بر طرف کرد که این امر مستلزم آزمایش های بیشتر در مقیاس آزمایشگاهی به وسیله جداکننده مغناطیسی استوانه ای شدت متوسط خشک است.

جدول (۴): نتایج آزمایش دیویس تیوپ روی نمونه کلی و طبقات ابعادی مختلف مواد دیو شده

اندازه (میلی متر)	عیار آهن (%)		بازیابی (%)	بازیابی (%)
	خوراک	کنسانتره		
+۵/۶-۱۲	۶۰/۵۵	۶۸/۹۵	۴۶	۵۲/۴
+۲/۸-۵/۶	۵۸/۹۹	۶۸/۹۶	۴۱	۴۷/۹
+۱-۲/۸	۵۴/۸۳	۶۸/۲۲	۳۸	۴۷/۳
+۰/۵-۱	۵۵/۱۱	۶۸/۵۷	۴۲	۵۲/۳
+۰/۱۲۵-۰/۵	۵۳/۷۳	۶۸/۸۹	۳۸	۴۸/۷
-۰/۱۲۵	۳۸/۷۷	۶۸/۲۳	۱۷	۲۹/۹
نمونه کلی (۰-۱۲)	۵۶/۰۱	۶۸/۵۴	۴۳	۵۲/۶

۳- جداکننده مغناطیسی شدت متوسط

وقتی یک ذره با خاصیت مغناطیسی، در یک میدان مغناطیسی غیر یکنواخت قرار می گیرد، به آن نیروی مغناطیسی معادل F_m وارد می شود که از رابطه (۱) قابل محاسبه است [۵]، [۶]:

$$\vec{F}_M = \frac{K}{\mu_0} VB \vec{\nabla} \cdot B \quad (1)$$

که در آن F_M نیروی مغناطیسی (نیوتن)، K تاثیرپذیری مغناطیسی حجمی ذرات (بدون بعد)، μ_0 نفوذپذیری مغناطیسی خلا (بدون بعد)، V حجم ذره (مترمکعب)، B القای میدان مغناطیسی خارجی (تسلا) و ∇B گرادیان میدان مغناطیسی. با کاهش اندازه و خاصیت مغناطیسی ذرات، نیروی مغناطیسی اعمالی بر ذرات کاهش می یابد. افزایش شدت و گرادیان میدان مغناطیسی گزینه های اصلی برای افزایش میدان مغناطیسی اعمالی و در نتیجه جدایش انتخابی ذرات است [۷]، [۸]. جداکننده های مغناطیسی شدت متوسط ساخت شرکت فکور صنعت، از آهنرباهایی از جنس عناصر کمیاب همچون نئودیوم (Nd) و بورن (B) ساخته شده اند و با توجه به آرایش خاص آهنرباها، قادرند میدان مغناطیسی با شدت ۳۵۰۰ گوس و گرادیان بسیار بالا فراهم کنند که این امر امکان جدایش کانی های با خاصیت مغناطیسی ضعیف (هماتیت) و همچنین ذرات مغناطیسی ریزدانه را فراهم می آورد.

همان طور که ملاحظه می شود، به علت عدم دسترسی ذرات به درجه آزادی مناسب، به میزان ۴۶ درصد از کانی سیلیس به کنسانتره راه یافته است.

در جدول (۶) نتایج آزمایش جدایش مغناطیسی صورت گرفته روی ذرات زیر ۶ میلی متر ارائه شده است.

جدول (۶): نتایج آزمایش جدایش مغناطیسی صورت گرفته روی ذرات کوچکتر از ۶ میلی متر

مرحله جدایش	مشخصات مواد	وزن (%)	عیار (%)		توزیع (%)	
			SiO ₂	Fe	SiO ₂	Fe
رافر (اولیه)	خوراک	۱۰۰	۵۱/۸۱	۱۰/۵۰	۱۰۰	۱۰۰
	کنسانتره (۱)	۷۶/۵	۵۶/۵۸	۷/۰۴	۸۲/۵	۵۱/۳
	باطله (۱)	۲۳/۵	۳۸/۷۲	۱۷/۸۱	۱۷/۵	۳۹/۷
کلینر (ثانویه)	خوراک	۱۰۰	۵۶/۵۸	۷/۰۴	۱۰۰	۱۰۰
	کنسانتره (۲)	۹۴/۹	۵۷/۴۳	۶/۶۵	۹۶/۳	۸۹/۶
	باطله (۲)	۵/۱	۴۷/۴۸	۱۲/۸۴	۳/۷	۱۰/۴
کنسانتره نهایی		۷۲/۶	۵۷/۴۳	۶/۶۵	۸۰/۴	۵۰

همان طور که ملاحظه می شود، با جدایش ذرات زیر ۶ میلی متر در دو مرحله رافر و کلینر می توان به کنسانتره ای با عیار آهن و سیلیسی به ترتیب برابر با ۵۷/۴۳٪ و ۶/۶۵٪ دست یافت. این در حالی است که بازیابی وزنی نهایی کنسانتره برابر با ۷۲/۶ درصد و همچنین بازیابی عناصر سیلیس و آهن به ترتیب برابر با ۸۰/۴٪ و ۵۰٪ خواهد بود. باید اشاره کرد که راهیابی حدود ۵۰ درصد از سیلیس به کنسانتره نهایی به علت درجه آزادی پایین ذرات فوق است.

۵- طراحی مدار کارخانه پرعیارسازی

در شکل (۳) شمایی کلی از مدار طراحی شده برای پرعیارسازی سنگ آهن هماتیتی زیر ۱۲ میلی متر آورده شده است. مواد بعد از دانه بندی با یک سرند با چشمه های ۶ میلی متر، به وسیله جداکننده های مغناطیسی شدت متوسط خشک (با شدت میدان ۳۵۰۰ گوس) پرعیار می شوند.

با توجه به این که در حدود ۴۰ درصد وزنی از مواد دپو شده را ذرات زیر ۱ میلی متر تشکیل می دهد و از آنجا که حضور ذرات فوق در بار اولیه مشکلات عدیده ای را برای عملیات دانه بندی در حالت خشک به وجود می آورد، از این رو، از سرند ۶ میلی متر برای دانه بندی بار اولیه استفاده شد تا علاوه بر کاهش مشکلات سرند؛ که اغلب ناشی از حضور ذرات ریز و نرمة است، امکان دسترسی آسان به محصولی با مشخصات مورد نظر فراهم آید.

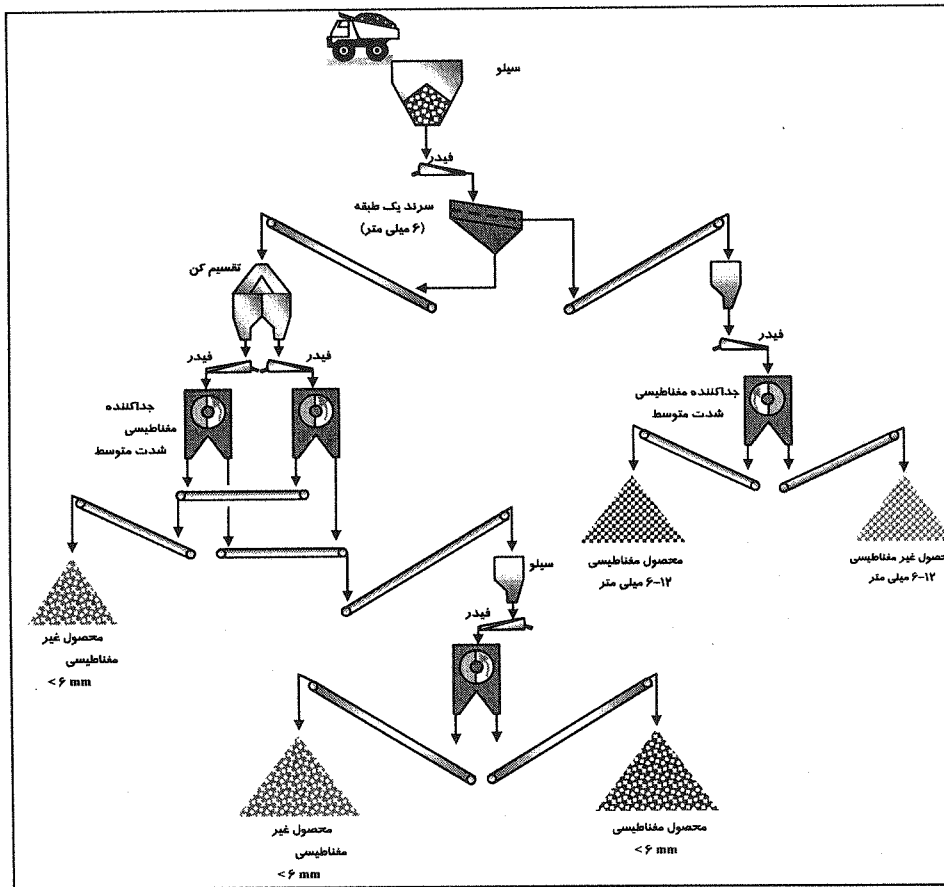
بر طبق نتایج مشخصات شیمیایی طبقات ابعادی مختلف

سنگ آهن هماتیتی دپو شده، ذرات بالای ۶ میلی متر؛ که در حدود ۲۳ درصد وزنی از بار اولیه را به خود اختصاص می دهند، دارای کیفیت مطلوب و بالاتری نسبت به طبقه ابعادی زیر ۶ میلی متر هستند. از این رو، بر اساس نتایج آزمایش های صورت گرفته، در فلوشیت پیشنهادی مواد فوق تنها در یک مرحله و به وسیله یک جداکننده مغناطیسی شدت متوسط خشک پرعیار می شوند؛ حال آن که ذرات ریزتر از ۶ میلی متر که شامل ۷۷ درصد وزنی خوراک بوده و کیفیتی پایین تری دارند، در دو مرحله رافر و کلینر پرعیارسازی می شوند؛ به طوری که ذرات ابتدا در مرحله رافر با دو جداکننده مغناطیسی خشک شدت متوسط تحت پرعیارسازی اولیه قرار می گیرند تا ضمن کاهش بخش قابل توجهی از ذرات؛ که عمدتاً نیز باطله هستند، محصول نسبتاً پرعیاری برای پرعیار سازی کلینر حاصل شود. در مرحله کلینر نیز برای جدایش ذرات زیر ۶ میلی متر از یک جداکننده مغناطیسی خشک با شدت متوسط استفاده شده است که علت این امر کیفیت نامناسب کنسانتره تولید شده در مرحله رافر می باشد.

۶- بحث و نتایج

به منظور دستیابی به یک چشم انداز کلی از کیفیت و کمیت کنسانتره هماتیتی زیر ۱۲ میلی متر؛ که در مدار پیشنهادی (شکل ۳) تولید خواهد شد، می توان با استفاده از نتایج حاصل از آزمایش های جدایش مغناطیسی صورت گرفته روی مواد مربوط به طبقات ابعادی ۱۲-۶ میلی متر و ریزتر از ۶ میلی متر؛ که در مقیاس نیمه صنعتی صورت گرفته است، به این امر ناائل شد.

در صورتی که نرخ بار ورودی به مدار برابر با ۱۸۰ t/h باشد، با توجه به این که درصد وزنی طبقات ابعادی ۱۲-۶ میلی متر و $< 6 \text{ mm}$ بار اولیه به ترتیب برابر با ۲۳ درصد و ۷۷ درصد است، در این صورت تناژ هر یک از طبقات ابعادی فوق به ترتیب برابر با ۴۱ t/h و ۱۳۹ t/h خواهند بود. در صورتی که عیار آهن متوسط طبقات ابعادی ۱۲-۶ میلی متر و $< 6 \text{ mm}$ به ترتیب برابر با ۵۳ درصد و ۵۸ درصد باشد، در این صورت مشخصات کنسانتره تولید شده برای هر یک از طبقات ابعادی فوق و همچنین کنسانتره نهایی تولید شده در مدار به ترتیب زیر خواهد بود (با توجه به این که هدف کارخانه تولید کنسانتره ای با عیار آهن بیش از ۶۰/۵ درصد و بازیابی وزنی ۵۵ درصد است، به همین دلیل فقط به بررسی این دو پارامتر پرداخته می شود):



شکل (۳): شمای کلی از فلو شیت طراحی شده برای پرعیار سازی سنگ آهن هماتیته زیر ۱۲ میلی متر

الف) طبقه ابعادی < 6 mm:

• مشخصات مواد:

• $53\% = (\%)$ عیار آهن

$139 \text{ t/h} =$ نرخ خوراک دهی

• مقادیر بازیابی وزنی و بازیابی عنصر آهن در مقیاس نیمه صنعتی:

$72.6\% (\text{Wt.}) =$ بازیابی وزنی

$80.5\% (R_{Fe}) =$ بازیابی آهن

• مشخصات کنسانتره تولید شده در مقیاس صنعتی:

$$Fe_{(Conc.)} = \frac{Fe_{(Feed)} \% \times R_{Fe} \%}{Wt. \%} = 58.76\%$$

$58.76\% =$ عیار آهن کنسانتره

بازیابی وزنی \times نرخ بار ورودی $=$ تناژ کنسانتره

$101 \text{ t/h} = 139 \times 0.726 =$ تناژ کنسانتره

ب) طبقه ابعادی ۶-۱۲ میلی متر:

• مشخصات مواد:

$58\% = (\%)$ عیار آهن

$41 \text{ t/h} =$ نرخ خوراک دهی

• مقادیر بازیابی وزنی و بازیابی عنصر آهن در مقیاس نیمه صنعتی:

$75\% (\text{Wt.}) =$ بازیابی وزنی

$79.3\% (R_{Fe}) =$ بازیابی آهن

• مشخصات کنسانتره تولید شده در مقیاس صنعتی:

$$Fe_{(Conc.)} = \frac{Fe_{(Feed)} \% \times R_{Fe} \%}{Wt. \%} = 61.33\%$$

$61.33\% =$ عیار آهن کنسانتره

بازیابی وزنی \times نرخ بار ورودی $=$ تناژ کنسانتره

$31 \text{ t/h} = 41 \times 0.75 =$ تناژ کنسانتره

ج) محصول نهایی مدار طراحی شده:

جدول (۸): قیمت تجهیزات مورد نیاز

ردیف	نام تجهیزات	تعداد	قیمت واحد (دلار)	قیمت کل (دلار)
۱	سیلو ذخیره	۱ عدد	۱۰,۰۰۰	۱۰,۰۰۰
۲	سرنده	۱ عدد	۲۳,۰۰۰	۲۳,۰۰۰
۳	فیدر	۵ عدد	۷,۰۰۰	۳۵,۰۰۰
۴	جداکننده مغناطیسی	۴ عدد	۵۵,۰۰۰	۲۲۰,۰۰۰
۵	نوار نقاله	۲۰۰ متر	۵۵۰	۱۱۰,۰۰۰
۶	سایر تجهیزات	-	۱۹۰,۰۰۰	۱۹۰,۰۰۰
جمع کل (دلار)			۵۹۸,۰۰۰	

۷-۲- برآورد درآمد حاصل از فروش کنسانتره

از آنجا که ظرفیت مدار پیشنهادی، ۱۸۰ تن بر ساعت بار ورودی در نظر گرفته شده است و با توجه به بازیابی وزنی ۵۵٪ کل مدار، می توان درآمد ناشی از فروش کنسانتره تولیدی را با توجه به حداقل قیمت داخلی کنسانتره (۳۰ دلار بر تن) محاسبه نمود که برابر است با:

$$(t/h) \times 0.55 = 99 \quad (t/h) \times 180 = \text{تناژ کنسانتره تولیدی}$$

$$\times 99 (t/h) = \text{درآمد سالیانه حاصل از فروش کنسانتره}$$

$$= 20 (\$/t) \times 300 (\text{day/year}) \times 20 (\text{h/day}) = 17,820,000 (\$/\text{year})$$

بنابراین درآمد سالیانه حاصل از فروش کنسانتره هماتیتی کارخانه فوق با در نظر گرفتن تولید سالانه ۷۹۲ هزار تن کنسانتره هماتیتی برابر با ۱۷۸۲۰,۰۰۰ میلیون دلار خواهد شد.

۷-۳- تعیین زمان بازگشت سرمایه

زمان بازگشت سرمایه تعداد سالی است که با توجه به درآمد سالیانه، هزینه سرمایه ای پوشانده شود و از تقسیم هزینه سرمایه ای بر درآمد سالیانه بدست می آید. در پروژه پرعیارسازی سنگ آهن هماتیتی ریزدانه، با احتساب حداکثر هزینه سرمایه ای ۵۹۸,۰۰۰ هزار دلار و حداقل درآمد سالیانه ۱۷۸۲۰,۰۰۰ میلیون دلار، زمان بازگشت سرمایه از تقسیم این دو مقدار، ۰/۰۳۴ سال و به عبارتی کمتر از ۱۳ روز بدست می آید.

۸- نتیجه گیری

اغلب معادن سنگ آهن هماتیتی به علت نبود تجهیزات جدایش مغناطیسی مناسب، یا بخش قابل توجهی از سنگ آهن خود را به عنوان باطله دیو می کنند و یا اینکه به عنوان یک محصول دانه بندی شده به فروش می رسانند. در این مقاله کاربرد جداکننده های مغناطیسی شدت متوسط خشک (۳۵۰۰ گوس) ساخت شرکت فکور صنعت تهران برای پرعیارسازی

$$= 0.09/3 = 1.01 \times 58/76 + 31 \times 61/33$$

$$t/h = 1.01 + 31 = 132$$

$$\frac{132}{180} = 73/3\%$$

در نهایت، چنانچه ساعات کاری روزانه ۲۰ ساعت و روزهای کاری در ماه و سال به ترتیب برابر با ۲۵ و ۳۰۰ روز فرض شود، ظرفیت ماهانه و سالانه تولید محصولات مختلف مدار پیشنهادی پس از عملیات پرعیارسازی به شرح جدول (۷) خواهد بود.

جدول (۷): میزان تولید ماهانه و سالانه کنسانتره طبقات ابعادی مختلف در مدار طراحی شده

تناژ	ذرات ۶- میلی متر		ذرات ۱۲-۶ میلی متر		محصول نهایی	
	Wt. (t)	Fe(%)	Wt. (t)	Fe(%)	Wt. (t)	Fe(%)
روزانه	۲۰۲۰	۵۸/۷۶	۶۲۰	۶۱/۳۳	۲۶۴۰	۵۹/۳
ماهانه	۵۰۵۰۰	۵۸/۷۶	۱۵۵۰۰	۶۱/۳۳	۶۶۰۰۰	۵۹/۳
سالانه	۶۰۶۰۰۰	۵۸/۷۶	۱۸۶۰۰۰	۶۱/۳۳	۷۹۲۰۰۰	۵۹/۳

همان طور که ملاحظه می شود، بر اساس نتایج و شرایط آزمایش های صورت گرفته امکان حصول به کنسانتره ای با عیار آهن برابر ۶۰/۵ درصد میسر نخواهد بود. اما با توجه به این که بازیابی نهایی مدار برابر با ۵۵ درصد پیش بینی شده است، می توان با افزایش سرعت دورانی جداکننده های مغناطیسی به ویژه در بخش جدایش ذرات ریز دانه (طبقه ابعادی زیر ۶ میلی متر)، با کاهش جزئی بازیابی وزنی کنسانتره، عیار آهن کنسانتره نهایی را تا بیش از ۶۰/۵ درصد افزایش داد.

۷- بررسی اقتصادی

۷-۱- برآورد هزینه ها

با توجه به فلو شیت ارائه شده برای پرعیارسازی سنگ آهن هماتیتی ریزدانه در مجتمع سنگ آهن گل گهر، تجهیزات عمده ای که مورد استفاده قرار می گیرند عبارت اند از: جداکننده های مغناطیسی شدت متوسط، سرنده ۶ میلی متری، سیلوی ذخیره مواد معدنی، نوار نقاله و فیدر که قیمت تجهیزات فوق در جدول (۸) نشان داده شده است. با توجه به قیمت های ذکر شده و هزینه های تجهیزات جانبی و همچنین هزینه های نصب و راه اندازی، حداکثر هزینه اختصاص داده شده برای اجرای این طرح، برابر با ۵۹۸,۰۰۰ هزار دلار است. این میزان هزینه در واقع حد بالایی از ضرایب اطمینان را در بر دارد (قیمت های فوق مربوط به سال ۱۳۸۳ می باشد).

۹- مراجع

- سنگ آهن هماتیته ریزتر از ۱۲ میلی متر مجتمع سنگ آهن گل گهر مطالعه شده است که به عنوان اولین کارخانه ای که از این جداکننده ها برای پریارسازی سنگ آهن هماتیته ریزدانه استفاده می کند، شناخته می شود. با طراحی و راه اندازی این کارخانه علاوه بر اینکه درآمد قابل توجهی عاید شرکت سنگ آهن گل گهر شد، از طرفی کاهش مشکلات زیست محیطی ناشی از انباشت این مواد را نیز به دنبال داشت. کارخانه طراحی شده دو محصول با دانه بندی ریزتر از ۶ میلی متر و ۱۲-۶ میلی متر دارد که به طور کلی محصول نهایی با عیار آهن و بازیابی وزنی به ترتیب برابر با ۶۰/۵ درصد و ۵۵ درصد؛ که قابل استفاده در کوره های بلند است، تولید می کند. بررسی های فنی و اقتصادی طرح، حاکی از افزایش حداقل درآمد سالیانه به میزان ۱۷۸۲۰،۰۰۰ میلیون دلار است که با احتساب حداکثر هزینه سرمایه ای ۵۹۸،۰۰۰ هزار دلار، زمان بازگشت سرمایه کمتر از ۱۳ روز خواهد بود.
- [۱] شرکت مهندسی کوشا معدن؛ طرح اکتشاف آنومالی شماره ۱ معدن سنگ آهن گل گهر، سیرجان، ۱۳۷۷.
- [۲] سقائیان، سید مجید؛ تحلیل نتایج آزمایش های دانه بندی و دیویس تیوپ انجام شده روی سنگ آهن هماتیته مجتمع سنگ آهن گل گهر، شرکت مهندسی فکور صنعت تهران، بهمن ۱۳۸۴.
- [۳] حجازی، رسول؛ بررسی وضعیت ذرات نرمه در کارخانه فرآوری مجتمع سنگ آهن گل گهر و راهکارهای مناسب افزایش کارایی مدار، بهرام رضایی و عباس سام، پایان نامه دوره کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی امیر کبیر، دانشکده معدن و متالورژی، پاییز ۱۳۸۴.
- [۴] مهرور اصیل، علی؛ بهبود فرآیند تولید بر اساس مطالعات کانه آرایی در کارخانه گل گهر، بهرام رضایی، پایان نامه دوره کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، دانشکده معدن و متالورژی، ۱۳۷۷.
- [۵] Svoboda J., "Magnetic Methods for Treatment of Minerals", Elsevier Pub.p,1978
- [۶] Svoboda J., Fujita T., "Recent Development in Magnetic Methods of Material Separation", Minerals Engineering, 16(2003), 785-792
- [۷] Song S., Lu S., Lopez-Valdivieso A., "Magnetic Separation of Hematite And Limonite Fines As hydrophobic Flocs from Iron Ores", Minerals Engineering 13 2002 415-422
- [۸] Mular A.L., Halbe D.N., Barratt D.J., "Mineral Processing Plant, Design, Practice And Control Proceedings", SME Pub.,2002