



عنوان طرح:

احداث کارخانه نیمه صنعتی فرآوری آهن از منابع کم عیار

عنوان گزارش:

خلاصه نتایج آزمون های آزمایشگاهی

مجری:

جهد دانشگاهی استان کرمان

تابستان ۱۴۰۰

مقدمه

با توجه به برنامه ریزی انجام شده در افق ۱۴۰۴، میزان تولید فولاد در کشور ۵۵ میلیون تن برآورد شده است. در راستای اجرای طرح فناوریانه احداث کارخانه نیمه صنعتی فرآوری آهن از منابع کم عیار، پس از اقدامات اجرایی نظیر جانمایی کارخانه در مجاورت معدن هماتیت چشمه سفید اختیارآباد واقع در ۳۰ کیلومتری شهر کرمان، فرآیند انجام آزمایش ها از نمونه های مختلف هماتیت به منظور انجام آنالیزهای شیمیایی عیارسنجی آهن و همچنین بررسی روش مناسب فرآوری این مواد در دستور کار جهاد دانشگاهی استان کرمان قرار گرفت.

۱- روند انجام آزمون های پریارسازی سنگ معدن کم عیار آهن

آزمایش های صورت گرفته بر روی نمونه سنگ معدن آهن (بخش اعظم آن هماتیت و درصدی هم گوتیت شناسایی شد) شامل دو فاز اصلی بود. ۱- ترکیب روش های ثقلی و مغناطیسی جهت دستیابی به محصول با عیار مشخص و ۲- استفاده از فرآیند خردایش و آسیاکنی تا ابعاد ریز و استفاده از مدار چند مرحله ای جداکننده های مارپیچی جهت افزایش همزمان عیار- بازیابی محصول. در ادامه خلاصه نتایج دو فاز به صورت مجزا و تصمیم گیری نهایی بر مبنای شاخص های فنی و اقتصادی آورده شده است.

۱-۱- روش ترکیبی ثقلی - مغناطیسی

نمونه های معرف جهت آماده سازی و انجام آزمون های مورد نظر به آزمایشگاه ارسال گردید. تصاویر ذیل مراحل آماده سازی نمونه و انجام آزمایش های جدایش را نشان می دهد. شرایط کلی انجام آزمون ها به شرح ذیل می باشد:

دانه بندی ورودی اسپیرال: ۱۰۰ درصد ریزتر از ۱ میلی متر

دانه بندی ورودی اسلون: ۱۰۰ درصد ریزتر از ۱۰۰ میکرون

شدت میدان مغناطیسی: ۴۱۰۰، ۵۶۸۰ و ۶۸۱۰ گاوس



شکل ۱: فرآیند تقسیم نمونه



شکل ۲: نرمایش نمونه توسط آسیای میله ای

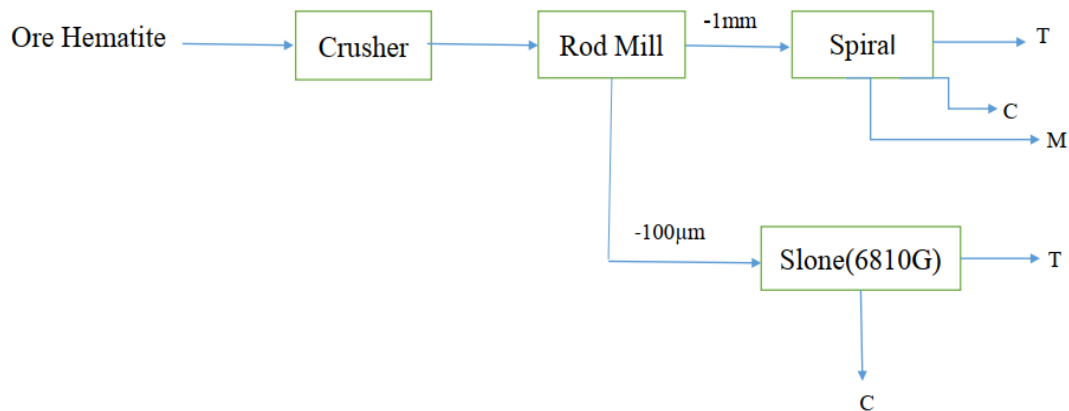


شکل ۳: سیستم جداکننده ماریچی جهت انجام تست ثقلی



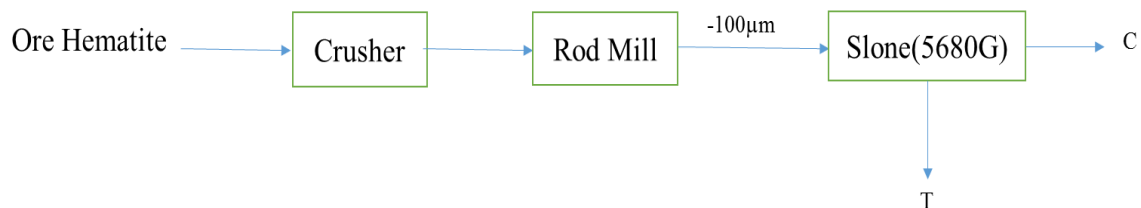
شکل ۴: جداکننده اسلون آزمایشگاهی

جزئیات آزمایش های انجام شده در شکل های ذیل آورده شده است (تعداد ۵ تست با توجه به تجربیات قبلی و برآوردهای صورت گرفته).



شکل ۵: تست شماره ۱

پس از انجام آزمایش فوق (شکل ۵)، از کنسانتره، باطله و محصول میانی تست اسپیرال؛ نمونه هایی برای انجام آنالیز عیارسنجی گرفته شد که نتایج حاصله، مقدار عیار آهن در کنسانتره را ۵۳ درصد با بازیابی ۹/۵ درصد، عیار آهن در محصول میانی ۴۳/۰۳ درصد و بازیابی ۲۳/۴ درصد و همچنین عیار باطله ۲۶/۸۶ درصد با بازیابی ۶۷ درصد را گزارش می دهد. همچنین نتایج حاصل از عیارسنجی کنسانتره تست اسلون مقدار عیار آهن را ۵۳/۰۳ درصد با بازیابی ۳۹ درصد نشان می دهد.



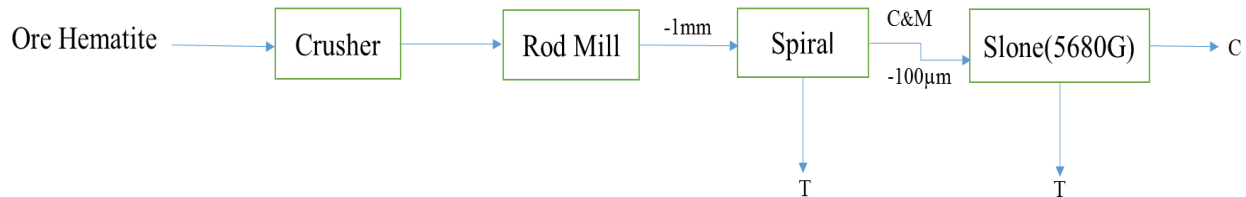
شکل ۶: تست شماره ۲

پس از اتمام آزمایش (شکل ۶)، برای انجام آنالیز عیارسنجی آهن، عملیات فیلتراسیون روی نمونه کنسانتره انجام شد که نتایج حاصل از این آزمایش مقدار عیار آهن با ۵۴/۲۵ درصد و بازیابی ۳۰ درصد، گزارش داده شد.



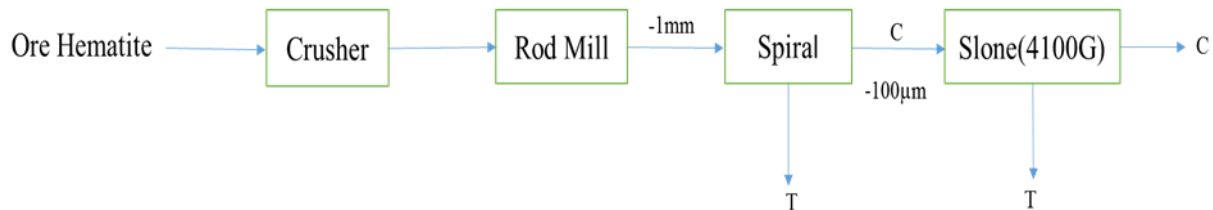
شکل ۷: تست شماره ۳

پس از انجام این آزمایش (شکل ۷) از کنسانتره، باطله و محصول میانی تست اسپیرال، نمونه هایی برای انجام آنالیز عیارسنجی گرفته شد که نتایج حاصل، مقدار عیار آهن در کنسانتره را ۵۱/۳۱ درصد با بازیابی ۱۹/۵ درصد، عیار آهن در محصول میانی ۳۶/۸ درصد و بازیابی ۲۱ درصد و همچنین عیار باطله را ۳۱ درصد گزارش می دهد. همچنین پس از انجام تست اسلون، عیار کنسانتره نهایی ۵۷/۴۸ درصد با بازیابی ۴۵ درصد بدست آمد.



شکل ۸: تست شماره ۴

در این آزمایش (شکل ۸)، تست اسلون با گاوس متفاوت از مرحله قبل انجام گرفت که نتایج آنالیز عیارسنجی آهن، عیار کنسانتره را ۵۶/۴۸ درصد با بازیابی ۴۵ درصد نشان می دهد.



شکل ۹: تست شماره ۵

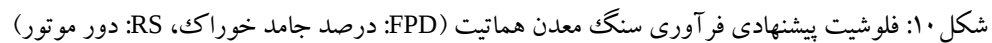
با توجه به نتایج تست اسلون روی محصول کنسانتره و میانی تست اسپیرال، برای رسیدن به عیار بالاتر، تست نهایی با استفاده از محصول کنسانتره تست اسپیرال که عیار آن ۵۱/۳۱ درصد می باشد، انجام شد (شکل ۹)، که نتایج آنالیز عیارسنجی آهن روی کنسانتره این عملیات، عیار آهن را ۶۱/۵ درصد با بازیابی ۳۵ درصد گزارش می دهد.

خلاصه ای از نتایج آزمایش های انجام شده در جدول ذیل آورده شده است.

جدول ۱: خلاصه نتایج حاصل از آزمایش های روش ترکیبی ثقلی - مغناطیسی

ردیف	روش فرآوری	عیار (درصد)	بازیابی (درصد)
۱	جداکننده مغناطیسی (۲۵۰۰ گاوس)	۰	۰
۲	اسپیرال (تست اول)	۵۲/۶۹	۹/۵
۳	اسپیرال (تست دوم)	۵۱/۳۱	۱۹/۵
۴	اسلون	تست شماره ۱ (۶۸۱۰ گاوس)	۳۹
		تست شماره ۲ (۵۶۸۰ گاوس)	۳۰
		تست شماره ۳ (۴۱۰۰ گاوس)	۴۵
		تست شماره ۴ (۵۶۸۰ گاوس)	۴۵
		تست شماره ۵ (۴۱۰۰ گاوس)	۳۵

همچنین فلوشیت اولیه بازیابی آهن از سنگ معدن هماتیت نیز با توجه به نتایج تست نهایی، پیشنهاد گردید (شکل ۱۰).



با توجه به بازیابی کم کنسانتره، طبق تجربیات قبلی استفاده از روش ثقیلی چند مرحله ای جهت افزایش راندمان کنسانتره مورد بررسی قرار گرفت. در این مرحله پس از آماده سازی نمونه سنگ معدن، آزمون های جدایش در مجموعه سری ماریچج ها انجام گرفت که روند آن در شکل های زیر آورده شده است. در این فاز دو نمونه با دانه بندی مختلف (نمونه اول: ۸۰ درصد ریزتر از ۱۵۰ میکرون و نمونه دوم: ۸۰ درصد ریزتر از ۲۵۰ میکرون) آماده شده که طبق آنالیزهای انجام گرفته عیار متوسط دو نمونه به طور تقریبی ۳۶ درصد محاسبه گردید.



شکل ۱۰: مجموعه ماریچج ها جهت انجام تست ثقلی



شکل ۱۱: آماده سازی خوراک برای انجام تست اسپیرال



شکل ۱۲: خروجی مدار اسپیرال از دیدگاه شکل ظاهری

نتایج کلی آنالیز انجام شده در خصوص دو نمونه مورد نظر در جداول ذیل آورده شده است.

جدول ۲: نتایج حاصل از آزمون جدایش ثقلی نمونه اول (زیر ۱۵۰ میکرون)

شرح	وزن (kg)	وزن تجمعی (kg)	عیار %Fe	بازیابی (فلز) (محتوی) %Fe	بازیابی وزنی %	بازیابی وزنی تجمعی %	عیار تجمعی %Fe	بازیابی تجمعی %Fe
خوراک	۷۴/۴۴		۳۵/۶۴					
کنسانتره مرحله اول	۳/۸۸	۳/۸۸	۶۱/۶۳	۹/۰۲	۵/۲۲	۵/۲۲	۶۱/۶۳	۹/۰۲
کنسانتره مرحله دوم	۴/۷۷	۸/۶۵	۵۹/۲۳	۱۰/۶۴	۶/۴۰	۱۱/۶۲	۶۰/۳۱	۱۹/۶۶
کنسانتره مرحله سوم	۴/۵۳	۱۳/۱۷	۶۱/۶۴	۱۰/۵۲	۶/۰۸	۱۷/۷۰	۶۰/۷۷	۳۰/۱۷
کنسانتره مرحله چهارم	۳/۷	۱۶/۸۷	۵۶/۶۵	۷/۹۰	۴/۹۷	۲۲/۶۷	۵۹/۸۶	۳۸/۰۷
کنسانتره مرحله پنجم	۳/۲۴	۲۰/۱۱	۵۸/۷۲	۷/۱۷	۴/۳۵	۲۷/۰۲	۵۹/۶۸	۴۵/۲۴
کنسانتره مرحله ششم	۳/۷۵	۲۳/۸۶	۴۹/۴۲	۶/۹۹	۵/۰۴	۳۲/۰۶	۵۸/۰۷	۵۲/۲۳
کنسانتره مرحله هفتم	۱/۶۹	۲۵/۵۶	۵۱/۱۳	۳/۲۶	۲/۲۷	۳۴/۳۳	۵۷/۶۱	۵۵/۴۹
میانی ۱	۶/۴۴		۳۸/۲۲	۹/۲۸	۸/۶۵			
میانی ۲	۱۹/۲۰		۳۰/۸۲	۲۲/۳۰	۲۵/۷۹			
باطله	۲۳/۲۴		۱۸/۷۶	۱۶/۴۴	۳۱/۲۲			

جدول ۳: نتایج حاصل از آزمون جدایش ثقلی نمونه دوم (زیر ۲۵۰ میکرون)

شرح	وزن (kg)	وزن تجمعی (kg)	عیار %Fe	بازیابی (فلز) (محتوی) %Fe	بازیابی وزنی %	بازیابی وزنی تجمعی %	عیار تجمعی %Fe	بازیابی تجمعی %Fe
خوراک	۷۷/۲۲		۳۷/۰۳					
کنسانتره مرحله اول	۳/۰۵	۳/۰۵	۵۹/۵۰	۶/۳۶	۳/۹۶	۳/۹۶	۵۹/۵۰	۶/۳۶
کنسانتره مرحله دوم	۳/۷۰	۶/۷۵	۶۱/۱۳	۷/۹۱	۴/۷۹	۸/۷۴	۶۰/۳۹	۱۴/۲۶
کنسانتره مرحله سوم	۳/۹۶	۱۰/۷۱	۵۹/۵۸	۸/۲۴	۵/۱۲	۱۳/۸۷	۶۰/۰۹	۲۲/۵۰
کنسانتره مرحله چهارم	۲/۶۷	۱۳/۳۸	۵۹/۲۳	۵/۵۳	۳/۴۶	۱۷/۳۲	۵۹/۹۲	۲۸/۰۳
کنسانتره مرحله پنجم	۲/۵۹	۱۵/۹۷	۵۸/۸۹	۵/۳۴	۳/۳۶	۲۰/۶۸	۵۹/۷۵	۳۳/۳۷
کنسانتره مرحله ششم	۱/۹۰	۱۷/۸۷	۵۵/۱۰	۳/۶۵	۲/۴۵	۲۳/۱۴	۵۹/۲۶	۳۷/۰۳
کنسانتره مرحله هفتم	۲/۶۹	۲۰/۵۵	۵۴/۷۵	۵/۱۴	۳/۴۸	۲۶/۶۲	۵۸/۶۷	۴۲/۱۷
کنسانتره مرحله هشتم	۸/۷۴	۲۹/۲۹	۴۲/۰۱	۱۲/۸۴	۱۱/۳۲	۳۷/۹۳	۵۳/۷۰	۵۵/۰۱
میانی ۱	۲۶/۵۷		۳۵/۳۰	۳۲/۸۰	۳۴/۴۱			
باطله	۲۱/۳۶		۲۰/۳۰	۱۵/۱۶	۲۷/۶۶			

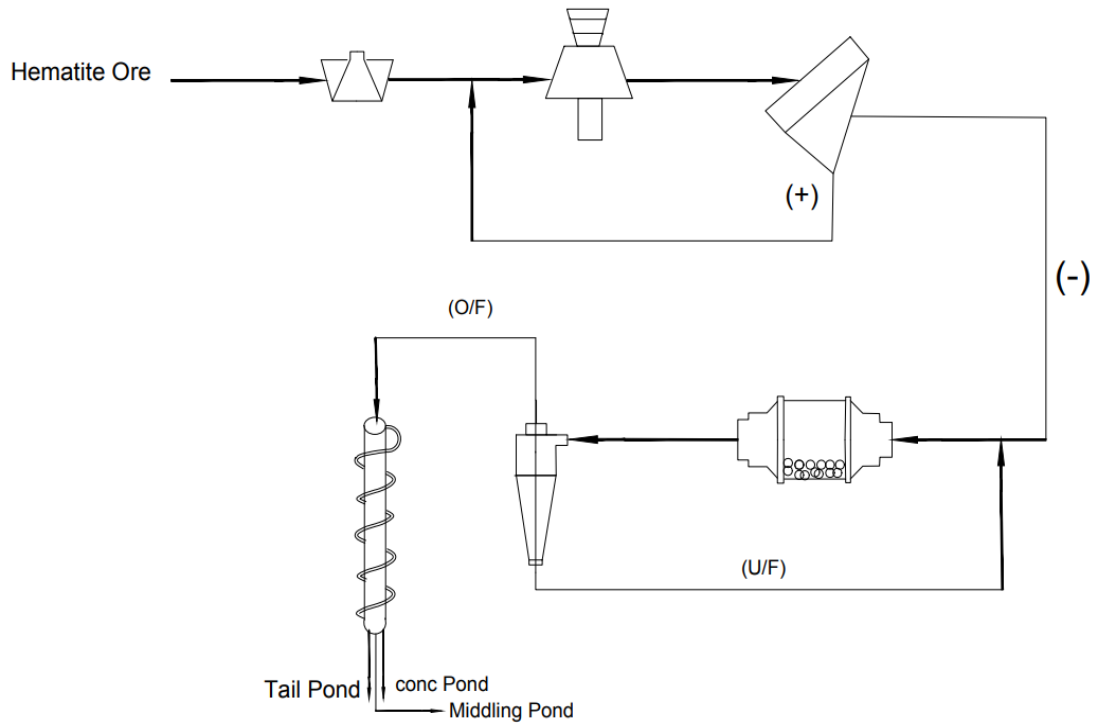
همانطور که از جداول فوق مشخص است، در خصوص نمونه ۱۵۰ میکرون می توان با راندمان بیش از ۱۷ درصد به کنسانتره ای با عیار بالای ۶۰ درصد آهن دست یافت که این مورد در خصوص نمونه ۲۵۰ میکرونی معادل ۱۳ درصد به دست آمد.

با توجه به حجم سرمایه گذاری بسیار کمتر روش ثقلی نسبت به روش ترکیبی ثقلی- مغناطیسی، و نیز با توجه به راندمان قابل قبول این روش، مدار ثقلی با استفاده از جداکننده های سری به عنوان انتخاب اول در نظر گرفته می شود. قابل ذکر است آزمون تکمیلی جهت بهینه سازی فرآیند انجام شده، که نتایج آزمایش های تیتراسیون آهن نمونه ها به شرح جدول ذیل می باشد:

جدول ۴: نتایج آزمایش های تیتراسیون آهن (زیر ۱۰۰ میکرون)

شرح	وزن (kg)	وزن تجمعی (kg)	عیار %Fe	بازیابی (فلز) (محتوی) %Fe	بازیابی وزنی %	بازیابی وزنی تجمعی %	عیار تجمعی %Fe	بازیابی تجمعی %Fe
خوراک	۵۸/۴۲		۳۸/۲۲					
کنسانتره مرحله اول	۰/۸۵	۰/۸۵	۵۷/۶۸	۲/۱۹	۱/۴۵	۱/۴۵	۵۷/۶۸	۲/۱۹
کنسانتره مرحله دوم	۱/۲۵	۲/۱۰	۵۵/۲۷	۳/۱۰	۲/۱۴	۳/۵۹	۵۶/۲۴	۵/۲۸
کنسانتره مرحله سوم	۱/۶۴	۳/۷۴	۶۱/۶۴	۴/۵۲	۲/۸۰	۶/۳۹	۵۸/۶۱	۹/۸۰
کنسانتره مرحله چهارم	۱/۵۸	۵/۳۲	۶۱/۳۳	۴/۳۵	۲/۷۱	۹/۱۰	۵۹/۴۲	۱۴/۱۵
کنسانتره مرحله پنجم	۱/۶۲	۶/۹۴	۶۲/۳۳	۴/۵۲	۲/۷۷	۱۱/۸۷	۶۰/۱۰	۱۸/۶۷
کنسانتره مرحله ششم	۲/۱۲	۹/۰۵	۶۳/۵۴	۶/۰۲	۳/۶۲	۱۵/۵۰	۶۰/۹۰	۲۴/۶۹
کنسانتره مرحله هفتم	۱/۸۴	۱۰/۸۹	۶۱/۱۳	۵/۰۴	۳/۱۵	۱۸/۶۵	۶۰/۹۴	۲۹/۷۳
کنسانتره مرحله هشتم	۱/۶۷	۱۲/۵۷	۵۹/۲۳	۴/۴۴	۲/۸۷	۲۱/۵۱	۶۰/۷۱	۳۴/۱۷
میانی ۱	۵/۱۲		۵۴/۲۴	۱۲/۴۳	۸/۷۶			
میانی ۲	۱۴/۳۸		۳۹/۶۰	۲۵/۵۱	۲۴/۶۲			
باطله	۲۶/۳۵		۲۶/۶۹	۳۱/۵۰	۴۵/۱۱			

همچنین فلوشیت نهایی بازیابی آهن از سنگ معدن هماتیت نیز با توجه به نتایج تست نهایی، پیشنهاد گردید (شکل ۱۳).



شکل ۱۳: فلوشیت نهایی فرآوری سنگ معدن هماتیت