



## بررسی کیفی آزمون خارج سازی بار در گرددش از مدار آسیاهای اولیه مجتمع سنگ آهن گل گهر

امیرپرویز مهرانی<sup>۱\*</sup>، عباس سام<sup>۲</sup>، حسن حاجی امین شیرازی<sup>۳</sup>، بهزاد یگانه<sup>۴</sup>

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد فرآوری مواد معدنی، دانشگاه شهید باهنر کرمان

(E-mail: ap\_merani@yahoo.com)

۲- استادیار بخش مهندسی معدن، دانشگاه شهید باهنر کرمان (E-mail: sam@uk.ac.ir)

۳- استادیار بخش مهندسی معدن، دانشگاه شهید باهنر کرمان

(E-mail: yegane6456@yahoo.com) ۴- کارشناس ارشد مهندسی معدن، مجتمع سنگ آهن گل گهر

### چکیده

وجود ذراتی با ابعاد بحرانی در مدارهای نرم کنی خودشکن و نیمه خودشکن همواره باعث کاهش کارایی این آسیاهای می شود. لذا خارج سازی این ذرات از مدار نرم کنی باعث افزایش کارایی نرم کنی و در نتیجه افزایش ظرفیت و تولید آسیاهای خودشکن و نیمه خودشکن می شود. خارج سازی بار در گرددش آسیاهای نیمه خودشکن کارخانه فرآوری مجتمع سنگ آهن گل گهر باعث افزایش ظرفیت و نیز افزایش تولید این مدار نرم کنی گردید. در این تحقیق اثرات این خارج سازی، بر کیفیت محصول آسیا و نیز کنسانتره تولیدی توسط جداکننده های مغناطیسی خشک این کارخانه مورد بررسی قرار گرفته است. این بررسی با استفاده از روش های آماری و توسط آزمون های "t" و "F" انجام شده است. در این بررسی، میانگین عیار آهن(Fe)، اکسید آهن(FeO)، گوگرد(S) و فسفر(P) و نیز K<sub>8</sub>، به عنوان شاخص های کیفیت محصول آسیا و کنسانتره خشک تولیدی در نظر گرفته شده است. نتایج حاصل از این آزمون ها حاکی از عدم بروز تغییرات معنی دار در شاخص های کیفی این محصولات در حین انجام آزمایش خارج سازی بار در گرددش بود. نهایتاً این نتیجه حاصل شد که خارج سازی بار در گرددش، ضمن افزایش ظرفیت آسیا و نیز نرخ تولید محصول، از دیدگاه کیفی تاثیر نامطلوبی بر فرآوری سنگ آهن ندارد.

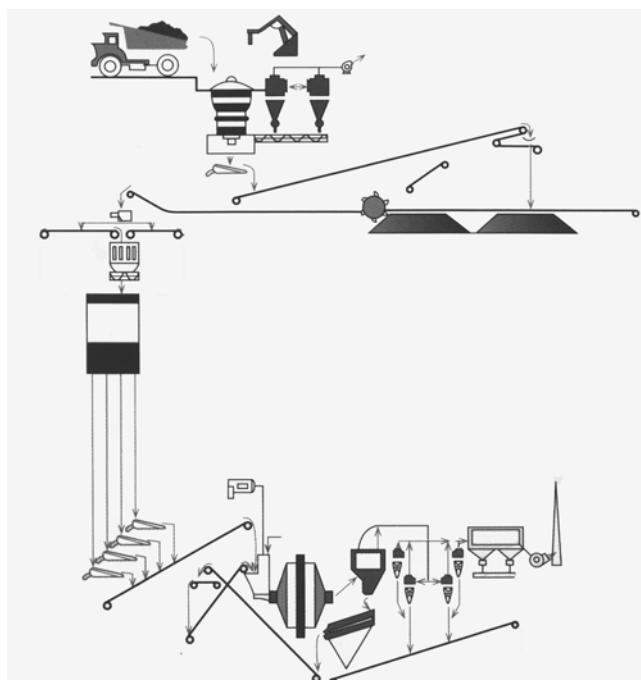
**واژه های کلیدی :** آزمون های آماری "t" و "F" ، بار در گرددش، ابعاد بحرانی، گل گهر

\* سیرجان- کیلومتر ۶۰ جاده سیرجان- شیراز- مجتمع سنگ آهن گل گهر- امور فرآوری



## مقدمه

مدار نرم کنی اولیه کارخانه فرآوری مجتمع سنگ آهن گل گهر، از سه خط نرم کنی و طبقه بندی مشابه تشکیل شده است که به صورت موازی عملیات نرم کنی و طبقه بندی را انجام می دهد. هر کدام از این سه خط شامل یک آسیای نیمه خودشکن، یک کلاسیفایر هوایی، چهار سیکلون هوایی و یک سرند دو طبقه است. خوراک ورودی به آسیا پس از نرم شدن، توسط یک سیستم مکش و دمش هوا از آسیا خارج و سپس وارد کلاسیفایر هوایی می شود. در این کلاسیفایر مواد به دو قسمت دانه درشت (ته ریز کلاسیفایر) و دانه ریز (سرریز کلاسیفایر) تقسیم می شود. سر ریز کلاسیفایر جهت طبقه بندی مجدد وارد سیکلون های هوایی شده و قسمت دانه ریز سیکلون جهت غبارگیری وارد غبار گیر های الکتروستاتیک (ESP) می شود. ته ریز کلاسیفایر نیز برای طبقه بندی بر روی یک سرند دوطبقه با دهانه های ۲۰ و ۳ میلیمتر ریخته می شود. مواد روی سرند ۲۰ میلیمتر به دلیل کیفیت نامناسب و مقدار کم از مدار خارج می شوند. ذرات زیر سرند ۲۰ و روی سرند ۳ میلیمتر به صورت بار در گردش و برای نرم کنی مجدد وارد آسیای نیمه خود شکن می شود. ذرات زیر سرند ۳ میلیمتر نیز پس از اضافه شدن ته ریز سیکلون ها، به عنوان محصول مدار نرم کنی، وارد جداکننده های مغناطیسی خشک می شود. محصول پر عیار این جداکننده ها، کنسانتره خشک به حساب می آید. نمای این مدار نرم کنی در شکل (۱) نشان داده شده است.



شکل ۱- نمای مدار نرم کنی اولیه مجتمع سنگ آهن گل گهر



ذرات با ابعاد بحرانی از لحاظ ابعادی کوچکتر از آن هستند که بتوانند نقش واسطه خردابیش را به طرز موثری در آسیاهای خودشکن و نیمه خودشکن بازی کنند و از طرف دیگر هنوز آنقدر بزرگ هستند که قطعات بزرگتر توانایی خردکردن آنها را ندارند. حال اگر کانه در این دامنه ابعادی سخت باشد، سهم ابعاد بحرانی در آسیا افزایش پیدا کرده و تجمع آنها در آسیا، کاهش شدید ظرفیت آسیا را به دنبال خواهد داشت[۱]. گزارش های متعددی حاکی از مشکلات عملیاتی و ایجاد دامنه وسیعی از نوسانات در نرخ خوراک دهی آسیاهای خودشکن، بدلیل تولید ابعاد بحرانی است[۲]. پس از گسترش سریع کاربرد آسیاهای خودشکن و نیمه خودشکن، به سرعت منافع مالی ناشی از خارج سازی ذراتی با ابعاد بحرانی در مدارهای خردابیش بویژه در نرم کنی اولیه شناخته شد. بسته به نوع ویژگی های ماده معدنی منافع تولید بالغ بر ۵۰ درصد که ناشی از خارج سازی ذرات با ابعاد بحرانی و استفاده از مدار باز نرم کنی بوده است، قابل دستیابی است[۳]. به دلیل ویژگی های ابعادی و شکل ذرات بار در گردش آسیا و نیز پایین بودن ظرفیت عملیاتی آسیاها نسبت به ظرفیت اسمی آنها، این فرضیه که ذرات بار در گردش، ذرات با ابعاد بحرانی بوده یا دست کم همپوشانی گستردۀ ای با دامنه ابعادی این ذرات دارد و این موضوع باعث کاهش کارایی آسیا می شود، قوت گرفت. لذا در چندین مرحله آزمایش خارج سازی بار در گردش از مدار نرم کنی صورت گرفت. نتایج کمی این آزمایش حاکی از افزایش قابل توجهی در ظرفیت آسیا و نرخ تولید محصول آسیا بود[۴]. در اینجا این مسئله اهمیت پیدا می کند که خارج سازی بار در گردش در کیفیت محصولات عملیات فرآوری تاثیرگذار است یا خیر؟

### روش انجام تحقیق

برای تحقیق در مورد تغییرات احتمالی در کیفیت محصولات عملیات فرآوری اعم از نرم کنی و جدایش مغناطیسی، بررسی کیفیت محصول آسیا و همچنین کیفیت کنسانتره خشک تولیدی توسط جداکننده های مغناطیسی خشک، مورد توجه قرار گرفت. این بررسی، با کمک نمونه های گرفته شده از محصول آسیای نیمه خودشکن و کنسانتره خشک تولیدی توسط جداکننده های خشک هر سه خط تولید انجام شد. در این بررسی میانگین درصد آهن(Fe)، درصد اکسید آهن(FeO)، درصد گوگرد(S)، درصد فسفر(P) و K<sub>۸۰</sub> به عنوان شاخص های کیفی مد نظر قرار داده شد. این آزمایش بر روی مدار نرم کنی خط تولید (۳)، و به مدت ۱۸ نوبت کاری (شیفت) انجام شد. کیفیت محصول آسیا و کنسانتره خشک حاصل از خط (۳) به عنوان معیار حالت خارج سازی بار در گردش از مدار نرم کنی، و کیفیت محصول آسیا و کنسانتره خشک حاصل از خطوط تولید (۱) و (۲) به عنوان معیار حالت وجود بار در گردش در مدار نرم کنی، مد نظر قرار داده شد. جدول (۱) نتایج حاصل از انجام آنالیز شیمیایی و دانه بندی بر روی محصول آسیای نیمه خودشکن خطوط تولید (۳) و (۲) را نشان می دهد. جدول (۲) نیز نتایج حاصل از انجام آنالیز شیمیایی و دانه بندی بر روی



کنسانتره خشک تولیدی توسط جداکننده های مغناطیسی خشک خطوط تولید (۳) و (۲و۱) را نشان می دهد.

جدول ۱ : نتایج آنالیز شیمیایی و دانه بندی محصول آسیاهای نیمه خودشکن

| خطوط ۱ و ۲          |       |       |        |       | خط                  |       |       |        |       | شماره نمونه |
|---------------------|-------|-------|--------|-------|---------------------|-------|-------|--------|-------|-------------|
| K <sub>A</sub> .(μ) | S(%)  | P(%)  | FeO(%) | Fe(%) | K <sub>A</sub> .(μ) | S(%)  | P(%)  | FeO(%) | Fe(%) |             |
| --                  | ۰/۱۲۰ | ۰/۱۱۸ | ۷/۸۳   | ۵۸/۸۲ | --                  | ۰/۱۲۰ | ۰/۱۱۸ | ۷/۸۳   | ۵۸/۸۲ | ۱           |
| --                  | ۰/۱۰۶ | ۰/۰۵۸ | ۱۰/۰۹  | ۵۳/۳۹ | --                  | ۰/۱۰۶ | ۰/۰۵۸ | ۱۰/۰۹  | ۵۳/۵۹ | ۲           |
| --                  | ۰/۱۵۷ | ۰/۱۱۶ | ۹/۴۸   | ۵۶/۴۹ | --                  | ۰/۱۴۸ | ۰/۱۱۶ | ۱۰/۷۵  | ۵۵/۳۲ | ۳           |
| --                  | ۰/۱۲۸ | ۰/۱۰۲ | ۱۰/۴۵  | ۵۶/۵۲ | --                  | ۰/۱۲۵ | ۰/۰۷۶ | ۱۲/۳۵  | ۵۸/۷۰ | ۴           |
| --                  | ۰/۱۲۸ | ۰/۱۰۹ | ۱۰/۳۲  | ۵۶/۴۰ | --                  | ۰/۱۰۳ | ۰/۱۱۷ | ۱۰/۱۰  | ۵۴/۷۹ | ۵           |
| ۴۶۲                 | ۰/۱۰۵ | ۰/۰۹۱ | ۹/۶۱   | ۵۶/۷۰ | ۳۷۷                 | ۰/۰۹۸ | ۰/۰۹۳ | ۹/۲۱   | ۵۴/۵۸ | ۶           |
| ۵۳۰                 | ۰/۱۰۸ | ۰/۰۹۵ | ۱۰/۰۲  | ۵۶/۵۶ | ۳۸۰                 | ۰/۰۸۲ | ۰/۱۰۶ | ۸/۸۷   | ۵۱/۷۰ | ۷           |
| ۴۳۲                 | ۰/۰۷۲ | ۰/۱۰۹ | ۸/۸۱   | ۵۶/۰۵ | ۴۳۷                 | ۰/۱۰۷ | ۰/۱۱۲ | ۸/۸۲   | ۵۳/۷۶ | ۸           |
| ۵۴۱                 | ۰/۱۴  | ۰/۱۱۲ | ۹/۷۳   | ۵۷/۷۵ | ۵۸۷                 | ۰/۱۲۴ | ۰/۱۱۷ | ۱۰/۲۴  | ۵۵/۷۶ | ۹           |
| ۷۵۷                 | ۰/۱۶۰ | ۰/۱۳۰ | ۹/۲۶   | ۵۵/۵۶ | ۶۴۳                 | ۰/۱۵۵ | ۰/۱۰۷ | ۹/۷۵   | ۵۶/۷۷ | ۱۰          |
| ۶۲۸                 | ۰/۱۳۹ | ۰/۰۷۱ | ۱۰/۰۳  | ۵۸/۲۳ | ۴۴۶                 | ۰/۱۳۳ | ۰/۱۰۲ | ۹/۸۰   | ۵۷/۰۵ | ۱۱          |
| ۷۳۲                 | ۰/۱۳۲ | ۰/۰۷۵ | ۱۰/۰۸  | ۵۶/۴۵ | ۷۰۲                 | ۰/۱۲۴ | ۰/۰۹۹ | ۱۰/۰۳  | ۵۷/۹۱ | ۱۲          |
| ۶۸۴                 | ۰/۱۹۷ | ۰/۰۸۱ | ۹/۳    | ۵۵/۰۵ | ۶۸۶                 | ۰/۱۷۲ | ۰/۰۹۲ | ۹/۱۷   | ۵۳/۷۵ | ۱۳          |
| ۷۸۹                 | ۰/۵۲۵ | ۰/۱۰۴ | ۱۱/۰۷  | ۵۹/۰۴ | ۷۰۱                 | ۰/۵۱۸ | ۰/۱۱۱ | ۱۱/۲۷  | ۵۹/۱۵ | ۱۴          |
| ۶۱۱                 | ۰/۲۰۸ | ۰/۱۰۷ | ۱۰/۹۲  | ۵۹/۲۲ | ۴۸۲                 | ۰/۱۸۱ | ۰/۰۸۲ | ۱۱/۶۶  | ۵۷/۰۳ | ۱۵          |
| ۶۵۳                 | ۰/۲۴۴ | ۰/۱۱۱ | ۱۰/۴۱  | ۵۶/۴۶ | ۴۴۶                 | ۰/۲۴۴ | ۰/۱۰۱ | ۱۰/۷۸  | ۵۶/۹۹ | ۱۶          |
| ۳۶۸                 | ۰/۳۷۱ | ۰/۰۹۵ | ۱۲/۲۱  | ۶۱/۶۲ | ۴۸۸                 | ۰/۳۸۳ | ۰/۱۰۴ | ۱۲/۳۶  | ۶۰/۶۵ | ۱۷          |
| ۴۳۸                 | ۰/۴۸۱ | ۰/۰۸۳ | ۱۴/۴۶  | ۵۶/۷۴ | ۴۲۳                 | ۰/۱۳۴ | ۰/۱۰۹ | ۱۵/۴۱  | ۵۷/۹۳ | ۱۸          |



## جدول ۲ : نتایج آنالیز شیمیایی و دانه بندی کنسانتره خشک

| خطوط ۱ و ۲          |       |       |        |       | خط ۳                |       |       |        |       | شماره نمونه |
|---------------------|-------|-------|--------|-------|---------------------|-------|-------|--------|-------|-------------|
| K <sub>A</sub> .(μ) | S(%)  | P(%)  | FeO(%) | Fe(%) | K <sub>A</sub> .(μ) | S(%)  | P(%)  | FeO(%) | Fe(%) |             |
| --                  | ۰/۰۴۷ | ۰/۰۵۳ | ۱۵/۶۳  | ۶۷/۳۹ | --                  | ۰/۰۴۶ | ۰/۰۵۳ | ۱۷/۴۶  | ۶۷/۹۰ | ۱           |
| --                  | ۰/۰۳۲ | ۰/۰۴۴ | ۱۷/۷۳  | ۶۷/۵۷ | --                  | ۰/۰۱۹ | ۰/۰۳۱ | ۱۸/۵۹  | ۶۸/۵۲ | ۲           |
| ۶۰۲                 | ۰/۰۵۶ | ۰/۰۶۳ | ۱۶/۶۸  | ۶۷/۷۲ | ۶۷۴                 | ۰/۰۴۵ | ۰/۰۵۷ | ۱۷/۷۰  | ۶۷/۸۹ | ۳           |
| ۶۴۴                 | ۰/۰۴۸ | ۰/۰۷۵ | ۱۶/۶۶  | ۶۷/۳۳ | ۶۶۹                 | ۰/۰۴۱ | ۰/۰۵۵ | ۱۷/۴۵  | ۶۷/۷۰ | ۴           |
| ۶۹۳                 | ۰/۰۴۷ | ۰/۰۵۹ | ۱۷/۲۶  | ۶۷/۳۸ | ۶۲۷                 | ۰/۰۴۶ | ۰/۰۵۳ | ۱۷/۵۰  | ۶۷/۴۹ | ۵           |
| ۵۳۱                 | ۰/۰۵۶ | ۰/۰۶۲ | ۱۶/۷۳  | ۶۷/۱۳ | ۵۵۹                 | ۰/۰۴۳ | ۰/۰۸۹ | ۱۶/۶۳  | ۶۷/۱۵ | ۶           |
| ۸۰۶                 | ۰/۰۲۳ | ۰/۰۳۲ | ۱۸/۰۵  | ۶۸/۰۸ | ۶۴۵                 | ۰/۰۲۰ | ۰/۰۴۵ | ۱۸/۲۰  | ۶۷/۸۳ | ۷           |
| ۷۵۲                 | ۰/۰۳۴ | ۰/۰۵۸ | ۱۷/۱۲  | ۶۷/۵۷ | ۶۸۰                 | ۰/۰۱۹ | ۰/۰۵۴ | ۱۸/۱۰  | ۶۷/۸۶ | ۸           |
| ۶۷۱                 | ۰/۰۴۲ | ۰/۰۵۸ | ۱۶/۳۶  | ۶۶/۳۶ | ۵۹۲                 | ۰/۰۴۶ | ۰/۰۵۱ | ۱۶/۶۳  | ۶۶/۹۹ | ۹           |
| ۷۸۰                 | ۰/۰۴۳ | ۰/۰۳۴ | ۱۸/۷۷  | ۶۸/۵۰ | ۶۹۵                 | ۰/۰۵۲ | ۰/۰۳۷ | ۱۸/۳۸  | ۶۸/۲۸ | ۱۰          |
| ۴۹۲                 | ۰/۰۵۰ | ۰/۰۶۸ | ۱۷/۰۵  | ۶۷/۳۳ | ۵۷۸                 | ۰/۰۴۴ | ۰/۰۳۹ | ۱۸/۲۹  | ۶۷/۸۰ | ۱۱          |
| ۶۴۷                 | ۰/۰۴۱ | ۰/۰۶۲ | ۱۷/۶۳  | ۶۷/۹۹ | ۴۶۲                 | ۰/۰۴۱ | ۰/۰۴۰ | ۱۸/۱۳  | ۶۷/۹۹ | ۱۲          |
| ۴۵۰                 | ۰/۰۶۴ | ۰/۰۶۳ | ۱۷/۷۰  | ۶۷/۵۲ | ۶۰۵                 | ۰/۰۶۲ | ۰/۰۴۶ | ۱۸/۵۹  | ۶۷/۶۴ | ۱۳          |
| ۷۷۵                 | ۰/۱۴۴ | ۰/۰۴۷ | ۱۹/۹۹  | ۶۷/۹۷ | ۸۰۶                 | ۰/۱۶۶ | ۰/۰۵۲ | ۲۱/۳۹  | ۶۷/۹۵ | ۱۴          |
| ۸۲۷                 | ۰/۰۸۷ | ۰/۰۴۱ | ۱۸/۶۵  | ۶۸/۰۲ | ۶۸۶                 | ۰/۰۶۳ | ۰/۰۵۱ | ۱۹/۳۷  | ۶۸/۰۸ | ۱۵          |
| ۵۸۱                 | ۰/۰۸۷ | ۰/۰۵۴ | ۱۸/۱۵  | ۶۷/۲۶ | ۶۲۲                 | ۰/۰۷۰ | ۰/۰۴۷ | ۱۸/۷۸  | ۶۷/۲۵ | ۱۶          |
| ۶۰۶                 | ۰/۰۸۵ | ۰/۰۴۶ | ۱۹/۵۱  | ۶۷/۶۱ | ۵۵۰                 | ۰/۰۹۴ | ۰/۰۴۷ | ۱۹/۸۳  | ۶۸/۵۶ | ۱۷          |
| ۴۷۶                 | ۰/۱۳۴ | ۰/۰۳۷ | ۲۱/۹۰  | ۶۷/۹۴ | ۴۹۲                 | ۰/۱۲۴ | ۰/۰۳۲ | ۲۳/۱۱  | ۶۸/۲۷ | ۱۸          |

در ادامه با تعیین میانگین و انحراف معیار هر کدام از شاخص های کیفی، به بررسی دقیق‌تر آنها پرداخته شد.  
 جداول (۳) و (۴) میانگین، انحراف معیار و واریانس هر کدام از این شاخص ها را برای محصول آسیا و کنسانتره خشک تولیدی، در دو حالت وجود و عدم وجود بار در گردش در مدار نرم کنی نشان می دهد.



جدول ۳ : میانگین، انحراف معیار و واریانس شاخص های کیفی محصول آسیاهای نیمه خودشکن

| خطوط ۱ و ۲          |       |       |         |       | خط ۳                |       |       |         |       |              |
|---------------------|-------|-------|---------|-------|---------------------|-------|-------|---------|-------|--------------|
| K <sub>λ</sub> .(μ) | S(%)  | (%) P | FeO (%) | Fe(%) | K <sub>λ</sub> .(μ) | S(%)  | P(%)  | FeO (%) | Fe(%) |              |
| ۵۸۶/۵               | ۰/۱۹  | ۰/۱۰  | ۱۰/۲۵   | ۵۷/۰۶ | ۵۲۲/۹               | ۰/۱۷  | ۰/۱۰  | ۱۰/۵۰   | ۵۶/۳۵ | میانگین      |
| ۱۳۶                 | ۰/۱۳  | ۰/۰۲  | ۱/۴۲    | ۱/۸۴  | ۱۲۳/۴               | ۰/۱۱  | ۰/۰۲  | ۱/۷۳    | ۲/۳۵  | انحراف معیار |
| ۱۸۴۹<br>۴           | ۰/۰۱۷ | ۰/۰۰۰ | ۲/۰۰۵   | ۳/۳۷۵ | ۱۵۲۲<br>۶           | ۰/۰۱۲ | ۰/۰۰۰ | ۲/۹۷۸   | ۵/۵۳۶ | واریانس      |

جدول ۴ : میانگین، انحراف معیار و واریانس شاخص های کیفی کنسانتره خشک

| خطوط ۱ و ۲          |       |       |         |       | خط ۳                |       |       |         |       |              |
|---------------------|-------|-------|---------|-------|---------------------|-------|-------|---------|-------|--------------|
| K <sub>λ</sub> .(μ) | S(%)  | P(%)  | FeO (%) | Fe(%) | K <sub>λ</sub> .(μ) | S(%)  | P(%)  | FeO (%) | Fe(%) |              |
| ۶۴۵/۸               | ۰/۰۶  | ۰/۰۵  | ۱۷/۸۷   | ۶۷/۶۵ | ۶۲۱/۴               | ۰/۰۶  | ۰/۰۵  | ۱۸/۵۶   | ۶۷/۸۴ | میانگین      |
| ۱۲۰/۸               | ۰/۰۳  | ۰/۰۱  | ۱/۵۰    | ۰/۵۳  | ۸۴/۴۱               | ۰/۰۴  | ۰/۰۱  | ۱/۶۰    | ۰/۴۳  | انحراف معیار |
| ۱۴۶۰<br>۳           | ۰/۰۰۱ | ۰/۰۰۰ | ۲/۲۴۴   | ۰/۲۷۹ | ۷۱۲۶                | ۰/۰۰۱ | ۰/۰۰۰ | ۲/۵۵۴   | ۰/۱۸۸ | واریانس      |

با بررسی جدول (۳)، شاهد کاهش ۰/۷۱ درصدی در میانگین درصد آهن، افزایش ۰/۲۵ درصدی در میانگین درصد FeO، کاهش ۰/۰۲ درصدی در میانگین درصد گوگرد، عدم تغییر در میانگین درصد فسفر و کاهشی حدود ۶۴ میکرون در میانگین اندازه K<sub>λ</sub> محصول آسیای نیمه خودشکن در حالت خارج سازی بار در گردن از مدار نرم کنی هستیم.

جدول (۴) نیز نشان دهنده افزایش ۰/۱۹ درصدی در میانگین درصد آهن، افزایش ۰/۶۹ درصدی در میانگین درصد FeO، عدم تغییر در میزان گوگرد و فسفر و کاهش ۲۴ میکرونی در K<sub>λ</sub> کنسانتره خشک تولیدی در هنگام آزمایش خارج سازی بار در گردن است.



با توجه به مطالعه عنوان شده، بجز درصد فسفر و گوگرد کنسانتره خشک و درصد فسفر محصول آسیا، سایر شاخص‌های کیفی، با خارج سازی بار در گردش از مدار نرم کنی، دچار تغییر می‌شوند. در این مرحله، بررسی تغییرات مشاهده شده اهمیت زیادی پیدا می‌کند.

### آزمون آماری "t"

برای بررسی معنی دار بودن این تغییرات، از آزمون آماری "t" استفاده می‌کنیم. از این آزمون آماری برای مقایسه بین میانگین دو نمونه کوچک استفاده می‌کنیم.

با سه فرض زیر، روشی برای مقایسه میانگین‌های نمونه‌های کوچک ارائه می‌شود [۴]:

۱- دو جمعیت مورد نظر باید تقریباً توزیع نرمال داشته باشند.

۲- واریانس دو جمعیت برابر باشد.

۳- نمونه‌ها به طور اتفاقی و مستقل برداشته شود.

چون فرض بر این است که واریانس‌های دو جمعیت برابر هستند ( $\sigma_1^2 = \sigma_2^2 = \sigma^2$ )، در نتیجه باید از اطلاعات موجود در دو نمونه برای تخمین واریانس متوسط استفاده کرد. بنابراین اگر  $s_1^2$  و  $s_2^2$  واریانس‌های دو نمونه باشند، واریانس متوسط ( $s_p^2$ ) برابر خواهد بود:

$$s_p^2 = \frac{(n_1 - 1)s_1^2 + (n_2 - 1)s_2^2}{(n_1 - 1) + (n_2 - 1)} = \frac{(n_1 - 1)s_1^2 + (n_2 - 1)s_2^2}{n_1 + n_2 - 2} \quad (1)$$

از فرض دوم خواهیم داشت:

$$s(\bar{X}_1 - \bar{X}_2) = \sqrt{\frac{s_p^2}{n_1} + \frac{s_p^2}{n_2}} = \sqrt{s_p^2 \left( \frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2} \right)} \quad (2)$$

برای مقایسه میانگین‌ها، t محاسبه شده و با t بحرانی مقایسه می‌شود.

(درجه آزادی  $n_1 + n_2 - 2$ )

$$t = \frac{(\bar{X}_1 - \bar{X}_2) - D}{\sqrt{s_p^2 \left( \frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2} \right)}} \quad (3)$$

برای اینکه بتوانیم توزیع t را برای مقایسه میانگین نمونه‌های دو جمعیت بکار ببریم، واریانس دو جمعیت باید برابر باشند.



## آزمون آماری "F"

برای مقایسه واریانس های دو جمعیت از توزیع "F" استفاده می شود که در آن:

$$F = \frac{s_1^2}{s_2^2} \quad (4)$$

که  $s_1^2$  و  $s_2^2$  واریانس های نمونه های گرفته شده از جمعیت اول و دوم است.  $s_1^2$  واریانس بزرگتر است و فرض بر این است که جمعیت ها توزیع نرمال دارند.

مقادیر F بحرانی به وسیله سه مقدار زیر تعیین می شوند [۵]:

۱- سطح معنی دار  $\alpha$

۲- درجه آزادی برای صورت  $(n_1 - 1)$

۳- درجه آزادی برای مخرج  $(n_2 - 1)$

در عمل F بحرانی که از جدول به دست می آید با F بدست آمده از فرمول (۴) مقایسه می شود. چون فرض اولیه برابر آنها بوده است، این مقایسه معتبر بودن فرض اولیه را مشخص می کند.

واریانس دو جمعیت برابر هستند  $\Rightarrow F_{\text{بحرانی}} < F_{\text{آزمایش}}$

## بحث

### مقایسه کیفیت محصول آسیا

بر اساس آنچه عنوان شد، محصول آسیای خط (۳) و خطوط (۱ و ۲) به عنوان دو جمعیت مختلف در نظر گرفته شده و بر اساس روش فوق، موضوع یکسان بودن یا متفاوت بودن میانگین های این دو جمعیت بررسی خواهد شد.

در ابتدا باید بررسی کرد که آیا واریانس های دو جمعیت یکسانند یا خیر؟

برای این بررسی از آزمون F استفاده می کنیم. با استفاده از جدول (۳) و توجه به این موضوع که  $s_1^2$  باید از  $s_2^2$  بزرگتر باشد، برای بررسی میانگین درصد FeO، محصول خط (۳) به عنوان جمعیت اول، و در بررسی میانگین درصد گوگرد و فسفر و نیز اندازه K<sub>۸.۰</sub>، محصول خطوط (۱ و ۲) به عنوان جمعیت اول به حساب می آید.

مقدار F آزمایشی از تقسیم واریانس نمونه ای جمعیت اول بر واریانس نمونه ای جمعیت دوم ( $F = \frac{s_1^2}{s_2^2}$ ) به دست می آید. F بحرانی نیز با حد اطمینان ۹۰٪ ( $\alpha = 0.10$ ) و درجات آزادی محاسبه شده، بدست می آید.

جدول (۵) مقادیر به دست آمده برای F آزمایشی و F بحرانی را نشان می دهد.



جدول ۵ : مقادیر F آزمایشی و F بحرانی (محصول آسیا)

| K₈.  | S    | P    | FeO  | Fe   |           |
|------|------|------|------|------|-----------|
| ۱/۲۱ | ۱/۴۰ | ۱/۳۶ | ۱/۴۸ | ۱/۶۴ | آزمایشی F |
| ۲/۶۹ | ۲/۲۷ | ۲/۲۷ | ۲/۲۷ | ۲/۲۷ | بحرانی F  |

همانطور که در جدول(۵) مشاهده می شود، برای تمامی پارامتر های کیفی، F آزمایشی از F بحرانی کوچکتر است. نتیجتاً در مورد تمامی پارامترها، واریانس های دو جمعیت برابر است. پس نهایتاً می توان در مورد تمام پارامترهای کیفی از آزمون توزیع t استفاده کرد.

برای استفاده از توزیع t ، ابتدا با استفاده از فرمول(۱) مقدار واریانس متوسط ( $s_p^2$ ) محاسبه و سپس با استفاده از فرمول(۳) مقدار t آزمایشی تعیین می گردد.  
فرض اولیه به قرار زیر است:

$$H_0: \mu_1 = \mu_2$$

$$H_1: \mu_1 \neq \mu_2$$

که در آن  $\mu_1$  و  $\mu_2$  به ترتیب میانگین نمونه های جمعیت های ۱ و ۲ هستند.  $H_0$  فرض اولیه مبنی بر برابری میانگین های دو جمعیت و  $H_1$  خلاف فرض اولیه است. شاخص رد  $H_0$  این است که t آزمایشی از t بحرانی بزرگتر باشد.

برای تعیین t بحرانی، از حد اطمینان  $\alpha = 0.05$ ٪ و درجه آزادی به دست آمده، استفاده می شود. در جدول (۶) مقادیر بدست آمده واریانس متوسط، t آزمایشی و t بحرانی برای هر کدام از شاخص های کیفی، نشان داده شده است.

جدول ۶ : مقادیر واریانس متوسط، t آزمایشی و t بحرانی (محصول آسیا)

| K₈.   | S     | P    | FeO  | Fe   |               |
|-------|-------|------|------|------|---------------|
| ۱۶۸۶۰ | ۰/۰۱۴ | ۰/۰۰ | ۲/۴۹ | ۴/۴۶ | واریانس متوسط |
| ۱/۲۵  | ۰/۶۰  | ۰/۵۰ | ۰/۴۷ | ۰/۰۱ | آزمایشی T     |
| ۲/۰۶  | ۲/۰۳  | ۲/۰۳ | ۲/۰۳ | ۲/۰۳ | بحرانی T      |



همانطور که از جدول (۶) مشخص است، برای تمامی شاخص های کیفی،  $t$  آزمایشی از  $F$  بحرانی کمتر است. درنتیجه در تمامی این موارد، فرض اولیه  $H$  درست بوده و میانگین های این دو جمعیت تفاوت معنی داری با یکدیگر ندارند.

### مقایسه کیفیت کنسانتره خشک تولیدی

با کمک روش مقایسه‌ی محصول آسیاها و نیز استفاده از جدول (۴)، کیفیت کنسانتره های خشک تولیدی توسط خط(۳) و خطوط (۲) نیز با یکدیگر مقایسه می شوند. نتایج مقایسه شاخص های کیفی، در جداول (۷) و (۸) آورده شده است.

جدول ۷ : آزمایشی،  $F$  بحرانی (کنسانتره خشک)

| K₄.  | S    | P    | FeO  | Fe   |           |
|------|------|------|------|------|-----------|
| ۲/۰۵ | ۰/۸۰ | ۰/۹۲ | ۱/۱۴ | ۰/۶۷ | آزمایشی F |
| ۲/۴۰ | ۲/۲۷ | ۲/۲۷ | ۲/۲۷ | ۲/۲۷ | بحرانی F  |

جدول ۸ : مقادیر واریانس متوسط،  $t$  آزمایشی و  $t$  بحرانی (کنسانتره خشک)

| K₄.   | S     | P    | FeO  | Fe   |               |
|-------|-------|------|------|------|---------------|
| ۱۰۸۶۴ | ۰/۰۰۱ | ۰/۰۰ | ۲/۴۰ | ۰/۲۳ | واریانس متوسط |
| ۰/۶۶  | ۰/۳۷  | ۱/۰۳ | ۱/۳۵ | ۱/۲۰ | آزمایشی T     |
| ۲/۰۴  | ۲/۰۳  | ۲/۰۳ | ۲/۰۳ | ۲/۰۳ | بحرانی T      |

همانگونه که در جداول (۷) و (۸) مشاهده می شود، برای تمامی شاخص های کیفی،  $F$  بحرانی از  $t$  آزمایشی بیشتر بوده و این بدان معنی است که واریانس دو جمعیت در تمام موارد یکسان هستند. در نتیجه برای مقایسه میانگین تمامی آنها می توان از توزیع " $t$ " استفاده کرد. با استفاده از روشی که توضیح داده شد،  $t$  بحرانی و  $t$  آزمایشی برای همه پارامترها محاسبه می شود. با مقایسه این دو مقدار می توان نتیجه گرفت که میانگین پارامترهای کیفی دو جمعیت فرض شده، با یکدیگر تفاوتی ندارند، چراکه در مورد تمامی شاخص ها،  $t$  بحرانی از  $t$  آزمایشی بزرگتر است.



## نتیجه گیری

با توجه به نتایج مقایسه کیفی محصول آسیا و کنسانتره خشک تولیدی، قبل و حین انجام آزمایش خارج سازی بار در گردش از مدار نرم کنی، می توان نتیجه گرفت که خارج سازی بار در گردش از مدار نرم کنی کارخانه فرآوری مجتمع سنگ آهن گل گهر، بر کیفیت محصول آسیای نیمه خودشکن و کنسانتره خشک تولیدی توسط جدا کننده های مغناطیسی خشک اثر معنی داری نمی گذارد. به دلیل این عدم تغییر و نیز با توجه به افزایش ظرفیت و افزایش تولیدی که با خارج سازی بار در گردش از این مدار نرم کنی قابل دستیابی است، می توان نتیجه گرفت که خارج سازی بار در گردش ضمن افزایش تولید، تاثیر نامطلوبی بر فرآیندهای نرم کنی و جدایش و در نتیجه بر کیفیت محصول قابل فروش کارخانه ندارد.

## تقدیر و تشکر

بدینوسیله مراتب سپاس و قدردانی خود را از کلیه همکارانی که در انجام این تحقیق همکاری و همفکری نموده اند ابراز می داریم.

## مراجع

- [۱] Bond, F.C. (۱۹۸۵) “*History of autogenous grinding*”, SME Mineral Processing Handbook, AIMM, New York, pp. ۵۷-۶۰(۳c)
- [۲] KJOS, D.M. (۱۹۸۵), “*Wet autogenous mills*” SME Mineral Processing Handbook, AIMM, New York, pp. ۶۰-۷۰(۳c)
- [۳]:O'Bryan,K., Lim, K., (۲۰۰۲), “*Selection and Sizing and Special Consideration for Pebble Crushers*”, Mineral Processing Plant Design, Practice, and Control Proceedings, SME, vol. ۱, pp. ۶۲۸-۶۳۵.
- [۴] رسولی جمنانی و دیگران، (۱۳۸۲) ”مدیریت بار در گردش مدار نرم کنی نیمه خودشکن مجتمع سنگ آهن گل گهر”， سمپوزیوم فولاد ۸۲، ص. ۲۲۱-۲۲۷.
- [۵][تریولا، ماریو، (۱۳۸۰)، ”آمار کاربردی”， چاپ سوم، انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد.