



طراحی و ساخت تجهیز سنگ جوری پیشرفته به منظور جداسازی کرومیت

معصومه قربانی^۱، شاهین مصراوغلی^{۲*}

۱- دانشجوی دکتری، دانشکده فنی و مهندسی، گروه مهندسی معدن، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم تحقیقات، تهران، ایران.

۲- استادیار، دانشکده فنی و مهندسی، گروه مهندسی معدن، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم تحقیقات، تهران، ایران.

* تهران، صندوق پستی ۱۴۵۱۵/۷۷۵، s.mesroghli@srbiau.ac.ir

اطلاعات مقاله

چکیده

مقاله پژوهشی کامل

دریافت: ۱۷ اردیبهشت ۱۴۰۱

داوری اولیه: ۲۸ خرداد ۱۴۰۱

پذیرش: ۱۵ تیر ۱۴۰۱

کلیدواژه‌گان:

سنگ جوری پیشرفته

جدایش فیزیکی

کرومیت

کارایی جدایش

سنگ جوری به‌عنوان یک مرحله مؤثر در فرآیند فرآوری مواد معدنی مطرح است و نتایج محدودی در این زمینه گزارش شده است. با به‌کارگیری این روش که در طبقه بندی جدایش‌های فیزیکی قرار می‌گیرد، صرفه‌جویی قابل‌توجهی در انرژی و افزایش تولید صورت می‌پذیرد. سنگ جوری در سه مرحله ورودی به سنگ‌شکن اولیه، خروجی از سنگ‌شکن اولیه و ورودی به جداکننده‌های ثقلی مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این پروژه، جداسازی کرومیت با طراحی و ساخت دستگاه سنگ جوری انجام شده است. بدین منظور ابتدا کانی‌ها توسط اسکنر سه‌بعدی تصویربرداری شده و پس از ایجاد ابر نقاط، حجم قطعه سنگ مربوطه به دست می‌آید و بر اساس آن قطر معادل قطعه سنگ تعیین می‌شود. سپس قطعات سنگ بر روی نوار نقاله دستگاه ساخته شده قرار گرفته و توسط حسگر لودسل، جرم هر کانی روی نوار نقاله در حال حرکت اندازه‌گیری می‌شود و جرم مخصوص کانی تعیین می‌گردد. در نهایت با توجه به ابعاد و شروط مشخص شده، از مدل مربوط به هر فراکسیون مقدار عیار قطعه سنگ مشخص شده و بر اساس حد مشخص شده برای عیار، به بخش کنسانتره (جز با ارزش) یا باطله (جز فاقد ارزش) هدایت می‌شود. نتایج به‌دست‌آمده نشان داد که کرومیت منطقه سبزواری با عیار ۱۶/۲۶ درصد و کانی‌های مزاحم همراه پس از ورود به دستگاه سنگ جوری طراحی شده، کنسانتره اولیه‌ای معادل کرومیت ۱۱/۳۳ درصد و بازیابی ۹۲/۸۳ درصد تولید نمود.

Design and construction of advanced sorting in order to chromite segregation

Masumeh Ghorbani, Shahin Mesroghli*

Department of Mining Engineering, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

* P.O.B. 14515/775 Tehran, Iran, s.mesroghli@srbiau.ac.ir

Article Information

Original Research Paper
Received: 7 May 2022
First Decision: 18 June 2022
Accepted: 6 July 2022

Keywords:

Advanced ore sorting
Physical separation
Chromite
Separation efficiency

Abstract

Ore sorting proposed as an important step in the ore dressing of chromite processing and limited results have been reported in this field. By using this method, which is included in the classification of physical separations, significant energy savings and increased production are made. In this project, the separation of chromite has been accomplished by designing and building an ore sorting device. For this purpose, minerals are first imaged by a 3D scanner, and after creating a cloud of points, the volume of the corresponding stone piece is obtained, and based on that, the equivalent diameter of the stone piece is determined. Then ores placed on the device's conveyor and the mass of each pieces are measured by load cell sensor and the density of minerals determined. Finally, according to the size and specified conditions of each fraction, the grade of stone pieces determined and based on the specified limit for grade, it is directed to the concentrate section (valuable part) or tailings (non-valuable part). The obtained results illustrated that the Sabzevar chromite with a grade of 26.16 percent with gauge minerals after ore sorting, produces an initial concentrate with 33.11 and 83.92 percent of the grade and recovery respectively.

۱- مقدمه

انرژی الکتریکی مصرف می‌کند [۲]. انرژی مورد نیاز در طول فرآیند خردایش و آسیابانی طبق رابطه باند با معکوس رادیکال ابعاد محصولات افزایش می‌یابد و لذا عمده‌ی انرژی در طول فرآیند خردایش مربوط به بخش آسیابانی برای تولید محصول مناسب به عنوان خوراک بخش فلوتاسیون و مراحل جدایش بعدی است. در بسیاری از صنایع فلزی (به خصوص فلزات مقاوم یا Refractory) بخش آسیا حدود ۶۰ درصد هزینه‌های کلی

انرژی مورد نیاز برای استخراج فلز با ارزش از درون یک کانسنگ و تهیه کنسانتره بخش قابل توجهی از هزینه‌های تولید فلز را به خود اختصاص می‌دهد. به طور متوسط در صنعت معدن‌کاری حدود ۴۴ درصد از مصرف الکتریسیته به بخش خردایش و آسیابانی اختصاص می‌یابد [۱]. در چرخه فرآوری، عملیات کاهش ابعاد به تنهایی حدود 150×10^9 Kwh

Please cite this article using:

برای ارجاع به این مقاله از عبارت ذیل استفاده نمایید:

M. Ghorbani, Sh. Mesroghli, Design and construction of advanced sorting in order to chromite segregation, Iranian Journal of Manufacturing Engineering, Vol. 9, No. 3, pp. 11- 17, 2022 (in Persian). <https://www.doi.org/10.22034/IJME.2022.157664>

مربوط به انرژی مصرفی را به خود اختصاص می‌دهد. کاهش عیار حد و افزایش مصرف انرژی باعث می‌شود که تولید فلز از کانسنگ بسیار گران تمام شود. بنابراین باید به دنبال شناخت راه‌های کاهش مصرف انرژی در طول فرآیند خردایش بود. فلزات پایه اغلب دارای عیار حد پایین ۱ درصد هستند و بسیاری از موادی که در پروسه خردایش وارد می‌شوند فاقد ارزش اقتصادی هستند که انرژی صرف همه این مواد شده و در نهایت مواد گانگ یا باطله پس از انجام عملیات خردایش و عمدتاً پس از فلوتاسیون و یا سایر روش‌های جدایش از مسیر خارج می‌شوند که این مواد باعث درگیر شدن بخش‌های مختلف از مسیر فرآوری و در نهایت تولید باطله که به لحاظ اقتصادی در بازار قابل فروش نیست، می‌شود. بنابراین سنگ-جوری به عنوان یک تکنولوژی برای کاهش مقدار خوراک به مدارهای آسیاکنی شناخته می‌شود [۳]. حذف مقادیر زیادی باطله قبل از هرگونه هزینه اضافی سرمایه‌گذاری و هزینه عملیاتی در دستور کار این روش قرار دارد. در ساده‌ترین حالت دستگاه‌های سنگ‌جوری از یک سنسور، پردازشگر و یک بازوی طبقه‌بندی کننده تشکیل شده‌اند [۴]. در سده‌های گذشته سنگ‌جوری به طریق دستی بر روی سنگ‌هایی که از لحاظ ظاهری شناخته شده بودند انجام می‌گرفت. در حالی که تکنولوژی‌های پیشرفته تنها به سطح اکتفا نمی‌کنند و خواص ذاتی سنگ را نیز مورد بررسی قرار داده و در نهایت اقدام به طبقه‌بندی می‌نمایند [۵].

برگمن در سال ۲۰۱۱ انواع سنسورهایی که امروزه در طبقه‌بندی مبتنی بر سنسور استفاده می‌شوند را به سنسورهای نوری، نزدیک مادون قرمز، انتقال پرتو ایکس و الکترومغناطیس تقسیم بندی نمود. همچنین پیشرفت‌های تکنولوژیکی در سنسورها را در افزایش توان تولید تجهیزات سنگ جوری اتوماتیک و کشف روش‌های طبقه‌بندی مبتنی بر سنسورها در صنایع معدنی را مورد توجه قرار داده است [۶].

دالم و همکاران در سال ۲۰۱۴ کاربرد سنگ جوری اتوماتیک مبتنی بر سنسور را مورد ارزیابی قرار داده و عنوان نمودند که با حذف کانی‌های گانگ به کاهش هزینه‌های فرآوری کانه‌های درشت کمک می‌کنند. با این حال، سنگ جوری به کمک سنسورها هنوز یک تکنولوژی نوظهور با کاربردهای ثابت‌شده‌ی محدود محسوب می‌شود [۷].

لیزارد و همکاران در سال ۲۰۱۴ پی بردند که انتقال پرتو ایکس که انرژی انتقال داده‌شده از داخل یک نمونه را آنالیز می‌کند، در طبقه‌بندی سنگ‌ها سودمند است. وقتی پرتوهای

ایکس از داخل یک ماده عبور می‌کنند، جذب‌شده، بازتابیده شده یا انتقال داده می‌شوند؛ میزان پرتوهای ایکس انتقال داده‌شده از میان نمونه به‌شدت به چگالی اتمی ماده بستگی دارد. بنابراین، عناصر چگال‌تر (معمولاً کانه) انرژی پرتو ایکس بیشتری نسبت به عناصر سبک‌تر (معمولاً گانگ) جذب می‌کنند. جمع‌آوری سیگنال‌های پرتوهای ایکس عبور داده‌شده در دو سطح انرژی مختلف به سنسور اجازه می‌دهد که تأثیر ضخامت مواد بر انتقال پرتو ایکس را تقلیل دهد. چنین سنسورهایی که برای طبقه‌بندی کانه استفاده می‌شوند، با نام سنسورهای انتقال پرتو ایکس با انرژی مضاعف (دی‌ای-ایکس آر تی) شناخته می‌شوند. سنگ‌جورهای مبتنی بر پرتوهای ایکس تمام محتوای سنگ‌های مجزا را می‌آزمایند و نیازی نیست مواد به‌طور استثنایی خشک یا تمیز شوند، و هیچ جهت‌گیری خاصی برای شناسایی کانه توسط سنسور لازم نیست. این ابزارها مشابه اسکنرهای پرتو ایکس در نقاط بازرسی امنیتی فرودگاه‌ها، لابه لای سنگ‌های مورد آزمایش را مشاهده می‌کنند و نیازی به تکیه بر روش‌های اتفاقی و امید به نمونه‌گیری کافی از سطح سنگ برای داشتن نمونه نماینده از محتوای آن ندارند [۸].

بالانتین و همکاران در سال ۲۰۱۵ نشان دادند که ظرفیت یک طبقه‌بندی کننده با افزایش ابعاد سنگ افزایش می‌یابد. بنابراین، بهترین جای نصب آن‌ها پایین‌دست سنگ‌شکن‌های اولیه یا ثانویه یا جریان‌هایی با ابعاد یکسان مثل مدارهای قلو-سنگ در مدارهای خردایش نیمه خودشکن و بالادست آسیاها است [۹].

اشتینرنت در سال ۲۰۱۵ نشان داد که شناسایی نقطه مناسب در یک فرآیند برای به‌کارگیری دستگاه‌های سنگ جوری بسیار مهم است. با توجه به اینکه این دستگاه‌ها باطله را خارج می‌کنند، باید در ابتدایی‌ترین نقاط ممکن فلوشیت نصب شوند تا هزینه‌های انرژی، مواد شیمیایی، و ظرفیت را با توجه به اینکه باطله به هر نحو دیگری از مدار حذف خواهد شد، به حداقل برسانند [۱۰].

۲- مواد و روش‌ها

نمونه کانی مورد نظر، از معدن سبزووار واقع در استان خراسان جنوبی و از خروجی سنگ‌شکن فکی (سنگ‌شکن اولیه) تهیه گردید. نوار نقاله عرض ۴۰ سانتی‌متر ساخت شرکت سه‌پند به همراه استراکچر تهیه و در تابلو برق مربوطه اینورتر LG قرار داده شد. سنسور لودسل مورد استفاده قرار گرفت. همچنین

سپس در هر فراکسیون ذراتی که دارای چگالی‌های مختلف بودند مورد آنالیز قرار گرفته و درصد هر یک از عناصر تشکیل دهنده مشخص شد.

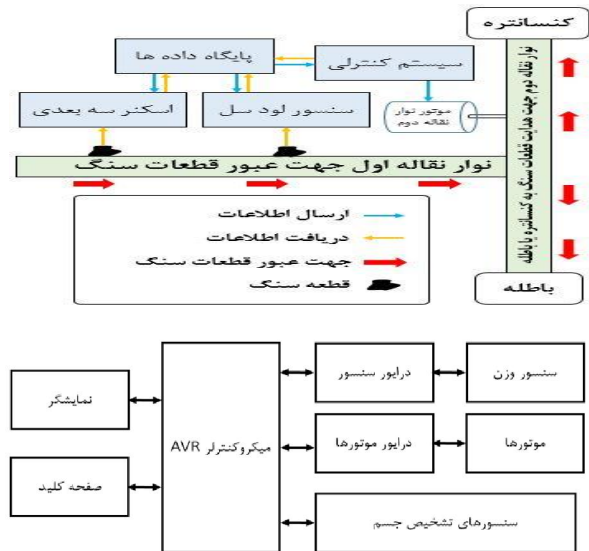


Fig. 2 A schematic of how the device works and how it interacts with different parts and image processing algorithm

شکل ۲ شماتیکی از عملکرد دستگاه و نحوه ارتباط بخش‌های مختلف آن و الگوریتم پردازش تصویر

سپس با استفاده از درصد‌های محاسبه‌شده در هر فراکسیون رابطه بین عیار کرومیت با چگالی کرومیت رابطه بدست آمد و در پایگاه داده‌های دستگاه ذخیره گردید که بر اساس آن مقدار عیار محتوی هر قطعه سنگ تعیین شد. سپس با استفاده از نرم‌افزار DX10 نرمال بودن نمونه‌ها تصدیق و داده‌های مربوط به هر بخش آنالیز شده و در نهایت مدل ریاضی مربوط به هر فراکسیون به صورت جداگانه محاسبه شد و بر اساس رابطه بدست آمده برای هر فراکسیون مقدار عیار محتوی هر قطعه سنگ تعیین شده و با توجه به اینکه عیار بالای ۲۰ به عنوان کنسانتره و عیار پایین ۲۰ به عنوان باطله در نظر گرفته شد، نمونه به دو بخش باطله و کنسانتره تقسیم شد، این عیار به عنوان پیش فرض انتخاب شده است و با انجام آزمایشات می‌توان بهترین حد جدایش برای دستیابی به بهترین عیار و بازیابی را تعیین نمود.

۳- نتایج و بحث

با توجه به اینکه صحت تقسیم بندی در این روش بسیار مهم است لذا به منظور نیل به این هدف نیازمند انجام آنالیز بر روی تمام ذرات یک فراکسیون می‌باشیم از آنجا که جامعه آماری

ماژول و سنسور لودسل (۱-۰ کیلوگرم)، ورودی آنالوگ و Plc data, HMS 4.3 inch kinco, رله finder24 VDC, شیر کتابی پنوماتیکی Air TAK, باکس تابلو برق ۵۳/۳۵، فیوز LS، داگت، ریل، سیم و پرچ تهیه شد.

در این مطالعه چگالی کانی موردنظر نیز محاسبه گردید. نمونه کانی موردنظر پس از توزین توسط ترازوی دیجیتال (مدل PA214C ساخت شرکت OHUS) توسط دستگاه سنگ‌شکن فکی آزمایشگاهی (مدل IKH.B1) خردایش شد. ۵۰٪ از نمونه خرد شده با استفاده از یک سری سرندي که شرح آن در ادامه آمده است، دانه‌بندی شد. نتایج آنالیز سرندي به دست آمده در هر مرحله به دقت توزین و جهت انجام آزمایش‌های بعدی طبقه‌بندی و کدگذاری شد. در مرحله بعد و در فراکسیون بندی‌های مختلف، کانی ابتدا توسط اسکنر سه بعدی (مدل nub3d) پردازش و ابر نقاط نمونه کانی کرومیت تشکیل شد. سپس توسط برنامه CAD متصل به پردازشگر، حجم کانی‌ها به دست آمد. پس از این مرحله در سیستم PLC به هریک از کانی‌ها کد اختصاص یافته و حجم آن ثبت شد. سپس کانی‌ها به ترتیب و به صورت بر خط و بافاصله از روی نوار نقاله عبور نموده و جرم هریک تعیین شد. نمایی از دستگاه ساخته شده و اجزاء آن در شکل ۱ نشان داده شده است.

سپس از فرمول چگالی که برای سیستم تعریف شده چگالی هریک به دست آمد.

$$\rho = \frac{m}{v} \quad (1)$$

که در آن ρ چگالی قطعه سنگ بر حسب g/cm^3 ، m جرم قطعه سنگ بر حسب g و v حجم قطعه سنگ بر حسب cm^3 می‌باشند.

در ابتدا محصول سنگ‌شکن فکی در فراکسیون‌های مختلف طبقه‌بندی شد و مطابق شکل ۲ پس از محاسبه حجم توسط اسکنر سه بعدی قطر معادل هر یک از فراکسیون‌ها تعیین شد.

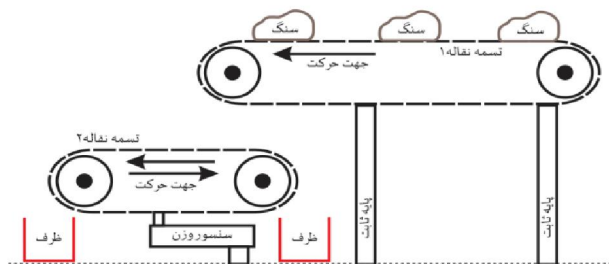


Fig.1 A view of the device and its various parts

شکل ۱ نمایی از دستگاه ساخته شده و قسمت‌های مختلف آن

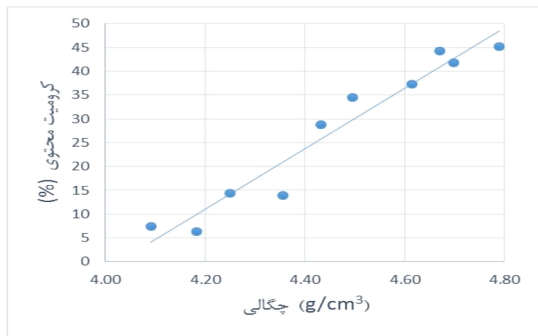


Fig. 5 The plotting of the analyte values for chromite samples versus density for fraction number three

شکل ۵ رسم مقادیر حاصل از آنالیز برای نمونه‌های کرومیت در مقابل چگالی برای فراکسیون سوم

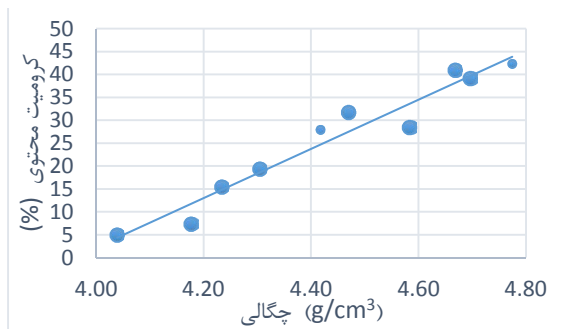


Fig. 6 The plotting of the analyte values for chromite samples versus density for fraction number four

شکل ۶ رسم مقادیر حاصل از آنالیز برای نمونه‌های کرومیت در مقابل چگالی برای فراکسیون چهارم

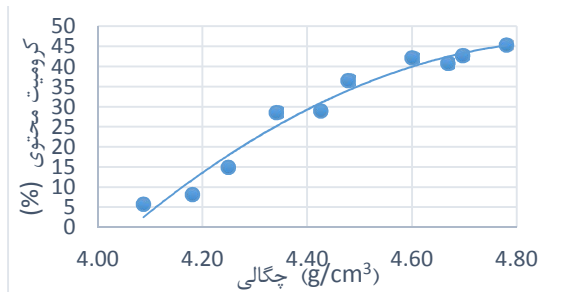


Fig. 7 The plotting of the analyte values for chromite samples versus density for fraction number five

شکل ۷ رسم مقادیر حاصل از آنالیز برای نمونه‌های کرومیت در مقابل چگالی برای فراکسیون پنجم

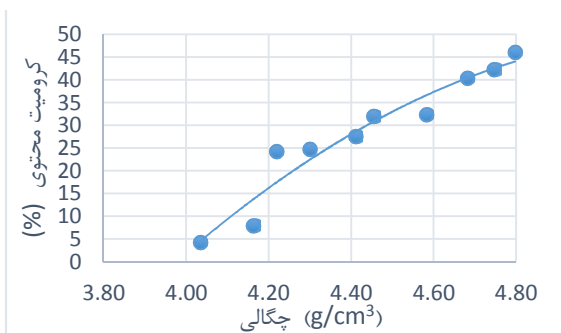


Fig. 8 The plotting of the analyte values for chromite samples versus density for fraction number six

شکل ۸ رسم مقادیر حاصل از آنالیز برای نمونه‌های کرومیت در مقابل چگالی برای فراکسیون ششم

بسیار بزرگ می‌باشد بنابراین برای کاهش تعداد نمونه‌ها از نرم‌افزار DX10 (دیزاین اکسپرت - نسخه ۱۰) استفاده شد و از هر فراکسیون تعداد ۱۰ نمونه انتخاب شد که برای نرمال بودن این نمونه‌ها از لحاظ متغیرهای وزن و حجم که در این پژوهش مورد بررسی قرار گرفتند و بعد از مطالعه نمودار نرمال باقیمانده‌ها مورد آنالیز و بررسی قرار گرفت و مشخص شد که داده‌ها از توزیع نرمال برخوردار هستند و درصد نرمال بودن داده‌ها در تمام فراکسیون‌ها بیش از ۹۷ درصد بوده است. لذا با احتمال بسیار بالا می‌توان نتیجه گرفت که نمونه‌های انتخاب شده می‌توانند به عنوان نماینده‌ای از کل فراکسیون باشند.

در تمام فراکسیون‌ها داده‌های اسکتر سه بعدی و سنسور لودسل گردآوری شده و چگالی محاسبه گردید و در نهایت مقدار چگالی بدست آمده در مقابل عیار کرومیت در آن قطعه سنگ (به عنوان پارامتر کنترلی در این تجهیز) که از آنالیز بدست آمده بود رسم گردید (شکل‌های ۳ تا ۸).

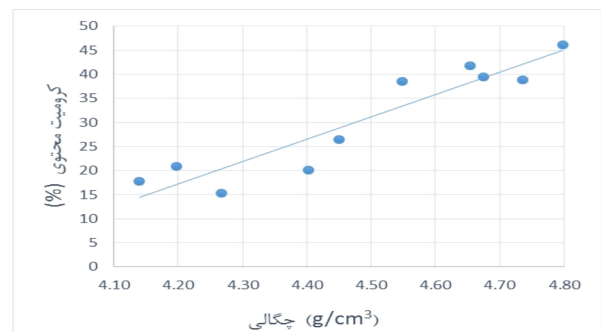


Fig.3 The plotting of the analyte values for chromite samples versus density for fraction number one

شکل ۳ رسم مقادیر حاصل از آنالیز برای نمونه‌های کرومیت در مقابل چگالی برای فراکسیون اول

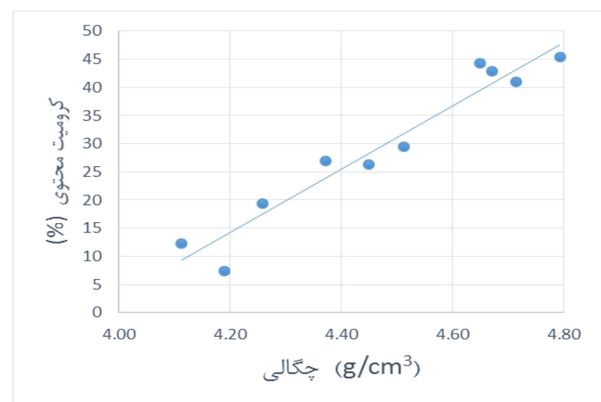


Fig. 4 The plotting of the analyte values for chromite samples versus density for fraction number two

شکل ۴ رسم مقادیر حاصل از آنالیز برای نمونه‌های کرومیت در مقابل چگالی برای فراکسیون دوم

برای تقسیم نمونه‌ها به دو قسمت باطله و کنسانتره عیار ۲۰ به عنوان پیش فرض در حافظه دستگاه ذخیره گردید. در این صورت قطعات دارای عیار ۲۰ و بالاتر توسط نوار نقاله دوم به بخش کنسانتره و کمتر از ۲۰ به بخش باطله هدایت خواهند شد.

نتایج آزمایش‌ها در شکل‌های ۹ تا ۱۴ آمده است محور افقی عیار کرومیت در نمونه که توسط آنالیز دستگاهی بدست آمده مشخص شده است و در محور عمودی عیاری که با توجه به حجم بدست آمده توسط اسکنر سه بعدی و وزن قطعه سنگ که توسط سنسور لودسل ثبت شده، تعیین شده است.

حد جدایش در این نمودارها با خط قرمز رنگ مشخص شده و این خطوط افقی و عمودی نمودار را به ۴ قسمت تقسیم نموده است. خط قرمز افقی ناحیه را به دو قسمت کنسانتره و باطله تقسیم می‌کند که قسمت بالا کنسانتره و قسمت پایین باطله است.

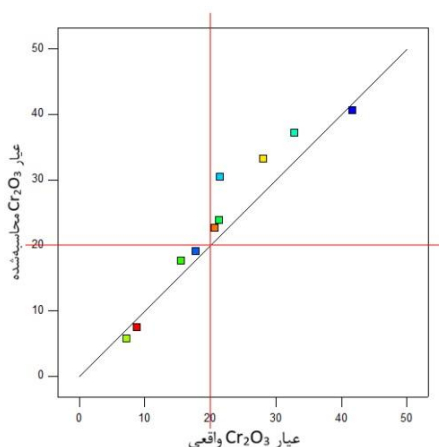


Fig. 10 Function of the device on samples of the second fraction

شکل ۱۰ عملکرد دستگاه بر روی نمونه‌های فراکسیون دوم

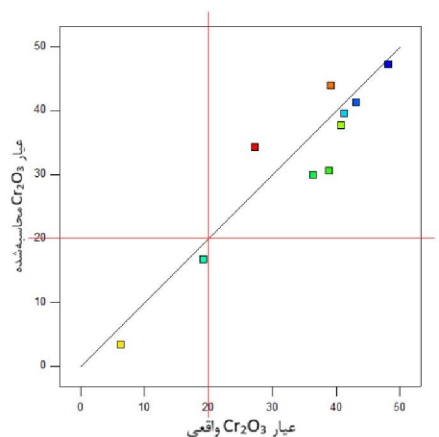


Fig. 11 Function of the device on samples of the third fraction

شکل ۱۱ عملکرد دستگاه بر روی نمونه‌های فراکسیون سوم

بدین صورت برای هر فراکسیون از خروجی سنگ‌شکن مدلی بدست آمده و مطابق آن میزان کرومیت موجود با استفاده از حجم و وزن نمونه قابل تعیین خواهد بود این معادلات به عنوان معادلات جدایش در دیتا بیس دستگاه ذخیره گردید در این صورت با قرار دادن نمونه جدید به عنوان خوراک دستگاه، سیستم کنترلی با توجه به معادلات ذخیره شده در پایگاه داده‌های دستگاه، نسبت به مکان فرارگیری آن نمونه، با توجه به عیار تقریبی نمونه و مقایسه آن با حداقل عیار کنسانتره و حداکثر عیار باطله، تصمیم‌گیری می‌کند و طبق پایگاه داده‌ای سیستم کنترلی، نمونه را به کنسانتره یا باطله هدایت می‌کند. معادله‌های مربوط به هر فراکسیون و حدود تاثیر آن‌ها در جدول ۱ آمده است.

برای اعتبار سنجی مدل از هر فراکسیون تعداد ۱۰ نمونه انتخاب یک بار توسط دستگاه عیار سنجی و تقسیم شد و بار دیگر با استفاده از آنالیز دستگاهی تعیین عیار گردید و نتایج آن در شکل‌های ۹ تا ۱۴ آمده است.

جدول ۱ مدل به دست آمده برای تخمین کارایی تجهیز ساخته شده با توجه به عیار کرومیت

Table 1 The main minerals found in the chromite sample.

فراکسیون	رابطه مدل شده برای عیار کرومیت	حد بالا و پایین حجم نمونه	حد بالا و پایین وزن نمونه
اول	$Cr(\%) = 46.447\rho - 177.87$	$27 \leq v \leq 65$	$121 \leq m \leq 289$
دوم	$Cr(\%) = 56.253\rho - 222.06$	$9 \leq v \leq 27$	$43 \leq m \leq 121$
سوم	$Cr(\%) = 63.429\rho - 255.39$	$3.59 \leq v \leq 9$	$15.86 \leq m \leq 43$
چهارم	$Cr(\%) = 53.753\rho - 212.8$	$1.02 \leq v \leq 3.59$	$4.52 \leq m \leq 15.86$
پنجم	$Cr(\%) = -62.873\rho^2 + 619.21\rho - 1487$	$0.45 \leq v \leq 1.02$	$1.98 \leq m \leq 4.52$
ششم	$Cr(\%) = -27.959\rho^2 + 297.93\rho - 741.7$	$0.16 \leq v \leq 0.45$	$0.69 \leq m \leq 1.98$

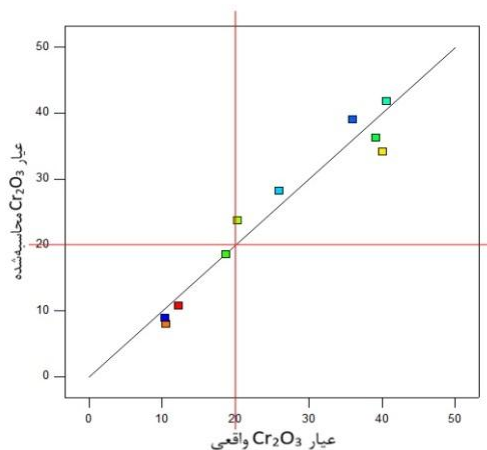


Fig. 9 Function of the device on samples of the first fraction

شکل ۹ عملکرد دستگاه بر روی نمونه‌های فراکسیون اول

به محدوده‌ی محاسباتی باطله است لذا نقاطی که در ناحیه سمت راست بالا قرار دارند قطعاتی از کنسانتره هستند که به درستی وارد کنسانتره شده‌اند و نقاطی که در ناحیه سمت چپ بالا می‌باشند قطعاتی از کنسانتره هستند که اشتباهاً وارد باطله شده‌اند.

نقاطی که در ناحیه سمت چپ پایین می‌باشند قطعاتی از باطله هستند که به درستی وارد باطله شده‌اند و نقاطی که در ناحیه سمت راست پایین می‌باشند قطعاتی از باطله هستند که اشتباهاً وارد کنسانتره شده‌اند. از سوی دیگر نقاطی که روی خط $y=x$ قرار گرفته‌اند دارای عیار محاسباتی و آنالیز شده یکسان هستند و هر چقدر نقاط روی شکل به این خط نزدیک‌تر باشند نشانگر صحت بالای عملکرد دستگاه می‌باشند. در فراکسیون اول تمام قطعات بدرستی تقسیم شده و دارای صحت بسیار بالایی می‌باشند. در فراکسیون دوم و سوم نیز تمام قطعات درست تقسیم شده ولی به لحاظ صحت نسبت به فراکسیون اول از صحت کمتری برخوردارند. در فراکسیون چهارم یک قطعه اشتباهاً به کنسانتره راه یافته و در فراکسیون پنجم در مجموع سه قطعه به صورت نادرست تقسیم شده که یک مورد به صورت اشتباه به کنسانتره و دو مورد به باطله راه یافته‌اند. در فراکسیون ششم نیز در مجموع سه قطعه به صورت نادرست تقسیم شده که تمام آن‌ها به صورت اشتباه به کنسانتره راه پیدا کرده‌اند.

۴- نتیجه‌گیری

رابطه مستقیم میان کارایی جدایش و ابعاد قطعات سنگ وجود دارد به نحوی که هرچقدر ابعاد افزایش می‌یابند کارایی جدایش بیشتر می‌شود از طرفی استفاده از وسایل مکانیکی برای هدایت سنگ‌ها موجب کاهش کارایی دستگاه برای سنگ‌های با ابعاد کوچک می‌شود درحالی که استفاده از نوار نقاله دوم موجب بهبود عملکرد در قطعات سنگ کوچک‌تر نیز می‌شود. بهره‌گیری از این تکنیک درکنار سایر روش‌های سنگ‌جوری مانند پردازش تصویر و استفاده از امواج مادون قرمز که اکثراً سطح سنگ را ملاک جدایش قرار می‌دهند می‌تواند بسیار مفید باشد. نتایج به‌دست‌آمده نشان می‌دهد که کرومیت منطقه سبزوار با عیار ۱۶/۲۶ درصد و کانی‌های مزاحم همراه پس از ورود به دستگاه سنگ جوری طراحی شده، کنسانتره اولیه‌ای معادل کرومیت ۱۱/۳۳ درصد و بازیابی ۹۲/۸۳ درصد تولید می‌کند.

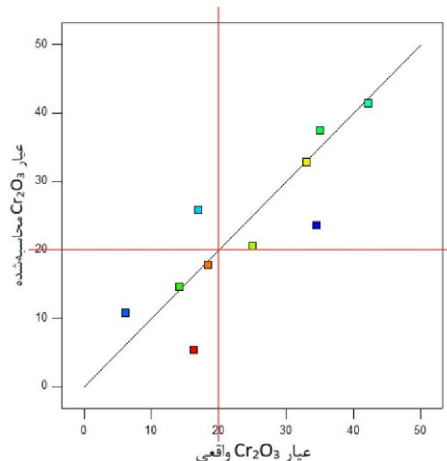


Fig. 12 Function of the device on samples of the fourth fraction

شکل ۱۲ عملکرد دستگاه بر روی نمونه‌های فراکسیون چهارم

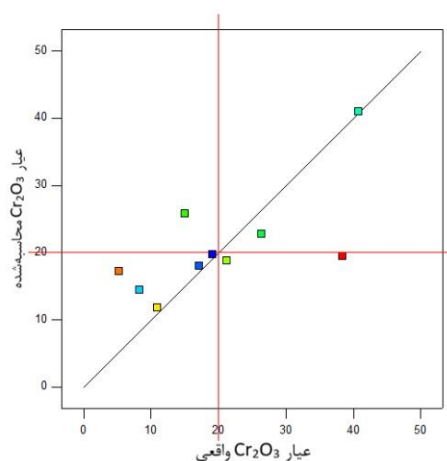


Fig. 13 Function of the device on samples of the fifth fraction

شکل ۱۳ عملکرد دستگاه بر روی نمونه‌های فراکسیون پنجم

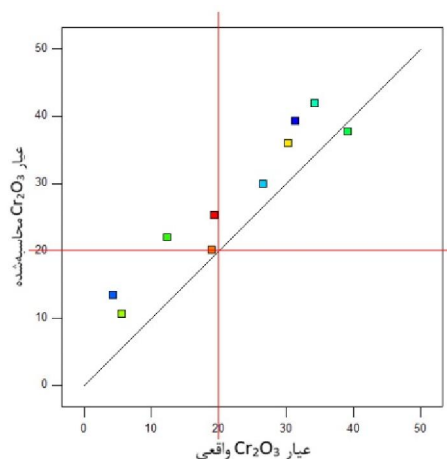


Fig. 14 Function of the device on samples of the sixth fraction

شکل ۱۴ عملکرد دستگاه بر روی نمونه‌های فراکسیون ششم

خط قائم نیز ناحیه را به دو محدوده تقسیم می‌کند که سمت راست محدوده محاسباتی کنسانتره و سمت چپ مربوط

۵- مراجع

- [6] JM Bergmann, 2011. Industrial Minerals (London), 2011 - Metal Bulletin Journals Ltd.
- [7] Marinus Dalm. Application of near-infrared spectroscopy to sensor based sorting of a porphyry copper ore. Minerals Engineering. 58 (2014) 7–16.
- [8] Joseph Lessard. Bridging the gap: Understanding the economic impact of ore sorting on a mineral processing circuit. Minerals Engineering. 15 (2016) 92–99.
- [9] G.R. Ballantyne. Benchmarking comminution energy consumption for the processing of copper and gold ores. Minerals Engineering. 65 (2014) 109–114.
- [10] Steinert US, 2015a. Sensor sorting: what's the real value of sensor-based sorting , Accessed on 20 April 2018; <https://steinertglobal.com/us/en> .
- [1] Joseph Lessard, 2014. Development of ore sorting and its impact on mineral processing economics. Minerals Engineering. 65 (2014) 88–97.
- [2] Bond, F.C., 1961. Crushing and Grinding Calculations. Allis-Chalmers Manufacturing Company, p. 16.
- [3] De Bakker, J., 2014. Energy use of fine grinding in mineral processing. Metall. Mater. Trans. E 1E, 8–19.
- [4] Mills, B., Napier-Munn, T., "Mineral Processing Technology", Elsevier Science & Technology Books, 2006.
- [5] B.Rezaei, *Preconcentration and physical concentration in mineral processing* , Amirkabir University, Tehran , 2015. (in persian فارسی)