

یادداشت فنی

تصحیح روش پردازش تصویر برای تعیین توزیع اندازه خردشدگی حاصل از انفجار

در معدن چغارت

حسن بخشنده امنیه^{۱*}، میثم حکیمیان بیدگلی^۲، حمیدرضا مالکی نژاد^۳

پذیرش مقاله: ۹۶/۱۱/۱۱

دریافت مقاله: ۹۵/۷/۲۷

چکیده

بررسی و پیش‌بینی خردایش سنگ توسط عملیات حفاری، از اساسی‌ترین و حساس‌ترین پارامترهای مؤثر بر اقتصاد معدن به شمار می‌رود. معدن چغارت یکی از بزرگ‌ترین معادن سنگ آهن ایران بوده که سالیانه حدود هشت میلیون تن سنگ آهن از آن استخراج می‌شود. در این معدن عملیات‌های معدنکاری شامل حفاری، انفجار، بارگیری، باربری و فرآوری به صورت روزانه صورت می‌گیرد. بررسی توزیع دانه‌بندی ناشی از عملیات انفجار و در نتیجه، میزان تولید ماشین‌آلات، می‌تواند منجر به کاهش هزینه‌های معدنکاری شود. روش‌های مختلفی برای تعیین میزان خردشدگی ناشی از انفجار وجود داشته و در حال حاضر استفاده از سیستم‌های پردازش تصویر روشی مناسب و مؤثر در ارزیابی خردشدگی محسوب می‌گردد. در این تحقیق نتایج تجزیه‌ی سرنده‌ی سه الگوی انفجاری معدن چغارت با منحنی خردشدگی به دست آمده توسط روش پردازش تصویر مقایسه شده و سپس این روش برای پیش‌بینی دقیق‌تر در معدن توسط ضرایب β, α تصحیح می‌گردد. مقادیر ضرایب تصحیح به ترتیب برابر ۰/۸۱۱۰۸ و ۰/۸۲۰۸۷ می‌باشد.

کلید واژه‌ها: انفجار، خردشدگی، تجزیه‌ی سرنده‌ی، پردازش تصویر، ضرایب تصحیح

۱. دانشیار گروه معدن، پردیس دانشکده‌های فنی، دانشگاه تهران hbakhshandeh@ut.ac.ir

۲. دانشجوی دکتری معدن، دانشکده مهندسی، دانشگاه کاشان

۳. کارشناسی ارشد معدن، دانشکده مهندسی، دانشگاه کاشان

* مسئول مکاتبات

۱. مقدمه

در صنایع معدنی، هدف اصلی عملیات انفجار، کاهش ابعاد توده سنگ برجا بوده اما مشخص نمودن میزان خردایش، فرآیندی دشوار می‌باشد. روش‌های متعددی برای تعیین دانه‌بندی ارائه و پیشنهاد شده است. روش مستقیم و دقیق برای تعیین میزان خردایش ناشی از انفجار، سرند کردن بوده اما این روش در معادن با حجم تولید بالا، یک روش زمان‌بر و پرهزینه است. در طول سال‌های گذشته تکنیک‌های آنالیز تصویری برای تعیین دانه‌بندی در مواد توده‌ای توسعه یافته است.

اولین کاربرد پردازش تصویر برای تعیین توزیع خردشدگی قطعات سنگ توسط کارلسن و نیبرگ (Carlsson and Nyberg) در سال ۱۹۸۳ انجام گرفت. بسته‌های نرم‌افزاری پردازش تصویر از دهه ۱۹۹۰ گسترش پیدا کرده و به عنوان ابزار قابل قبول در صنعت معدنکاری و کانه‌آرایی مورد استفاده قرار گرفته شده‌اند (Carlsson and Nyberg, 1983). مزیت اصلی سیستم‌های پردازش تصویر، پیوستگی و عدم وقفه در عملیات می‌باشد و با وجود محدودیت‌های ذاتی آن باز هم به عنوان تنها ابزار برای ارزیابی خردشدگی مطرح می‌باشند. لاتهام (Latham) در سال ۲۰۰۳ قابلیت رایج‌ترین سیستم‌های پردازش تصویر Split, Powersieve, Fragscan و Wipfrag را در تعیین توزیع خردشدگی بررسی نمود. او نشان داد که سیستم Powersieve در حالت کلی، مقدار اندازه مشخصه کمتری نسبت به سایر سیستم‌ها ارائه می‌دهد. همچنین سیستم Fragscan می‌تواند پیش‌بینی خوبی از اندازه مشخصه داشته باشد اما برآورد مناسبی از مقدار شاخص یکنواختی ندارد و آن را نسبت به سه سیستم دیگر زیاد تخمین می‌زند. برای عکس‌هایی که از یکنواختی بیش‌تری برخوردار هستند، نتایج مقدار شاخص یکنواختی حاصل از سه سیستم Powersieve, Split و Wipfrag به یکدیگر نزدیک‌تر است (Latham et al., 2003). رینا و همکاران (Reina et al) در سال ۲۰۱۰ با مطالعه یکی از معادن زغال در هند، تولید آن را توسط آنالیز تصویر خردشدگی حاصل از انفجار بهبود دادند (Raina et al, 2010).

همچنین انگین (Elgin) توسط روش پردازش تصویر و مدل کوز-رم، روشی کاربردی را در طراحی پله‌های انفجاری برای خردشدگی مطلوب ارائه کرد (Elgin, 2010). فرامرزی و همکاران در سال ۲۰۱۳ به کمک روش آنالیز تصویر، یک سیستم طبقه‌بندی سنگ برای پیش‌بینی خردشدگی حاصل از انفجار تعیین نمودند (Faramarzi et al., 2013). اکبری و همکاران در سال ۲۰۱۴، به بررسی و طبقه‌بندی خواص توده سنگ در معدن سنگ آهن مرکزی ایران پرداخته‌اند (Akbari et al., 2014). هم‌چنین اکبری و همکاران در سال ۲۰۱۵، به کمک آنالیز تصویر، تأثیر خواص ماده منفجره و توده سنگ بر خردشدگی حاصل از انفجار در معدن سنگ آهن مرکزی ایران را بررسی نموده‌اند (Akbari et al., 2015). لیو و همکاران (Liu et al) در سال ۲۰۱۵ توسط روش آنالیز تصویر، به بررسی توزیع اندازه‌ی قطعات خردشده‌ی بلوک‌های سنگی در روش استخراج تخریب بلوکی پرداخته و از آن برای فرآیند تخریب تا فرآوری استفاده کرده‌اند تا تطابق بیشتری بین معدنکاری تخریبی با فرآیند فرآوری برای بهبود تولید و پیش‌بینی ظرفیت‌ها ایجاد شود (Liu et al., 2015). یاراحمدی و همکاران در سال ۲۰۱۶، آنالیز اطلاعات ساختاری توده سنگ توسط تکنیک پردازش تصویر در معدن چغارت را بررسی نموده‌اند (Yarahmadi et al., 2016). یکی از روش‌های موجود برای تصحیح نرمه در سیستم‌های پردازش تصویر، معرفی عکس‌های استاندارد برای سیستم می‌باشد. به این ترتیب با معرفی عکس استاندارد برای سیستم، فاکتورهای تصحیح برای تطابق نتایج با نتایج واقعی محاسبه می‌شود. در این تحقیق روشی برای اصلاح سیستم پردازش تصویر به منظور کاهش خطای آن و استفاده از آن برای تعیین اندازه‌ی قطعات خردشده ناشی از انفجار به‌جای تجزیه‌ی سرنده‌ی فرآیندی وقت‌گیر و پرهزینه می‌باشد، ارائه شده است.

۱. موقعیت جغرافیایی معدن چغارت

معدن سنگ آهن چغارت در ۱۲ کیلومتری شمال‌شرقی شهر بافق، در ۱۲۵ کیلومتری جنوب‌شرقی شهر یزد، در ۷۵

مرحله‌ی قبلی مشخص می‌گردد، می‌باشد. اجزای محیط نرم‌افزار گلدسایز در شکل ۱ و نمونه‌ای از فرآیند اندازه‌گیری قطعات با استفاده از این نرم‌افزار در شکل ۲ نشان داده شده است.

۲.۲. تصحیح روش پردازش تصویر

پردازش تصویر از پتانسیل بالایی برای کمی‌نمودن توزیع اندازه‌ی قطعات خرده‌های حاصل از انفجار برخوردار بوده که به دلیل خطاهای ذاتی همراه آن بایستی تصحیح گردد. برای تعیین توزیع اندازه‌ی قطعات حاصل از انفجار، استفاده از روش پردازش تصویر الزامی می‌باشد، زیرا استفاده از روش تجزیه سرنندی برای هر عملیات انفجار مشکل، وقت‌گیر و هزینه‌بر است. بنابراین در ابتدا باید روش پردازش تصویر تصحیح گردد. برای تصحیح نرم‌افزار گلدسایز از سه الگوی انفجاری استفاده شده که مشخصات این الگوها در جدول ۱ و نتایج تجزیه سرنندی قطعات حاصل از انفجار در شکل ۳ ارائه شده است. در این روش ۲۰ قطعه عکس از توده‌های خردشده ناشی از هر الگوی انفجاری مورد نظر تهیه شده که تعدادی از تصاویر در شکل ۴ ارائه شده و منحنی توزیع خردشدگی ناشی از آن توسط روش پردازش تصویر تعیین گردید. عکس‌های انتخابی باید از قسمت‌های مختلف توده‌ی خردشده بوده و به‌گونه‌ای انتخاب شوند که وضوح و روشنایی کامل داشته و هم‌چنین توپ‌های موجود در عکس که به عنوان مقیاس در نرم‌افزار استفاده می‌گردند، به‌طور کامل نمایان باشند.

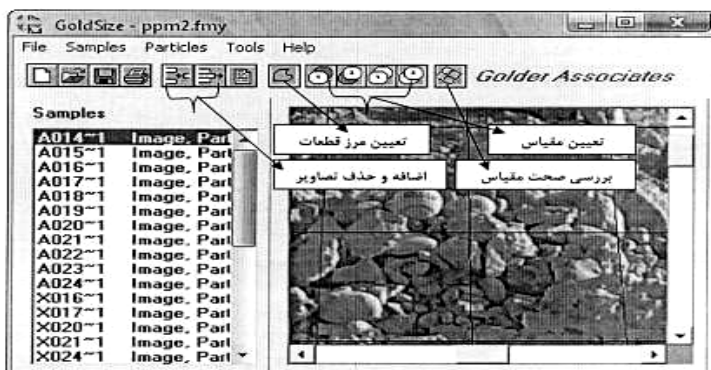
کیلومتری جنوب غربی شهر بهاباد و در حاشیه کویر مرکزی ایران واقع شده است. ارتفاع متوسط آن از سطح دریا ۱۱۵۰ متر است. این معدن در طول جغرافیایی 55° و $28'$ شرقی و عرض جغرافیایی 31° و $42'$ شمالی در حوضه‌ی بافق قرار دارد. لازم به ذکر است که ارتفاع اولیه‌ی توده‌ی چغارت ۱۲۸۶ متر بالاتر از سطح دریا بوده است.

۲. روش تحقیق

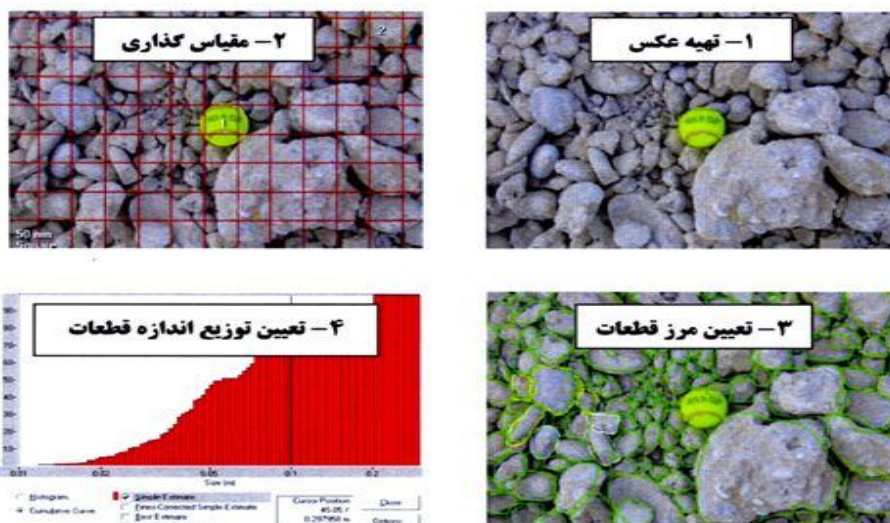
در این تحقیق، ابتدا توزیع اندازه‌ی قطعات خرده‌شده‌ی ناشی از انفجار مربوط به سه الگوی انفجاری در معدن چغارت توسط تجزیه‌ی سرنندی تعیین می‌شود. سپس توزیع اندازه‌ی قطعات این سه الگوی انفجاری، نیز توسط نرم‌افزار گلدسایز که یکی از سیستم‌های پردازش تصویر می‌باشد ارائه می‌شود. از آن‌جا که سیستم‌های پردازش تصویر دارای خطایی می‌باشند، با مقایسه نتایج به‌دست‌آمده از نرم‌افزار گلدسایز با نتایج تجزیه‌ی سرنندی، رابطه‌ای برای تصحیح نرم‌افزار ارائه می‌شود.

۱.۲. تعیین توزیع اندازه‌ی قطعات با استفاده از نرم‌افزار Goldsize 2.0

نرم‌افزار گلدسایز ابزاری برای تخمین توزیع اندازه‌ی قطعات حاصل از انفجار است. این نرم‌افزار در سال ۱۹۹۶ توسط کلین و کامرون (Cleine and Cameron) مورد استفاده قرار گرفت. در این نرم‌افزار فرآیند اندازه‌گیری قطعات شامل سه مرحله‌ی مقیاس‌گذاری، دیجیتایز کردن قطعات که در این مرحله مرز قطعات به صورت دستی و به کمک ماوس انجام شده و تعیین توزیع اندازه‌ی قطعات که با استفاده از دو



شکل ۱. مهم‌ترین اجزای محیط نرم‌افزار گلدسایز



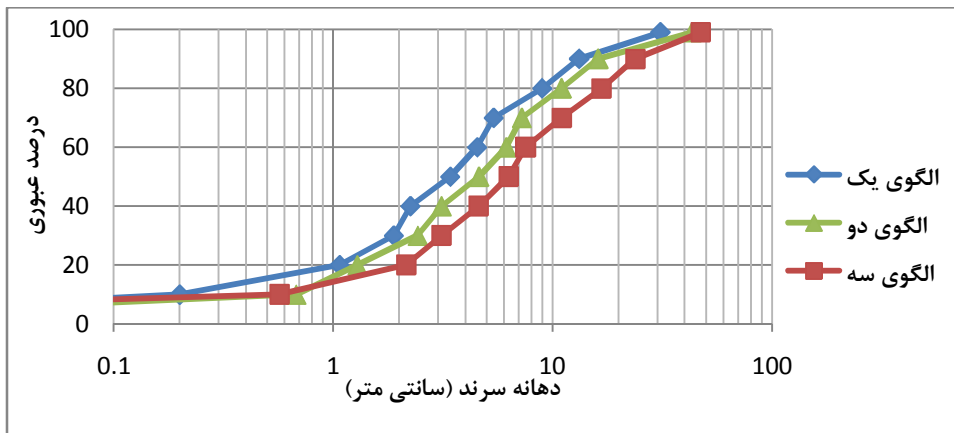
شکل ۲. مراحل تعیین توزیع اندازه قطعات با استفاده از نرم افزار گلدسایز

جدول ۱. پارامترهای طراحی الگوهای انفجاری در معدن

چغارت

شماره الگو			پارامترهای طراحی
۳	۲	۱	
۱۶۵	۱۶۵	۱۶۵	قطر چال (میلی متر)
۱۲/۵	۱۲/۵	۱۲/۵	ارتفاع پله (متر)
۵	۴	۳	بار سنگ (متر)
۵	۵	۴	فاصله چال‌ها در یک ردیف (متر)
۱۴	۱۴	۱۴	طول چال (متر)
۱/۵	۱/۵	۱/۵	اضافه حفاری (متر)
۱۱	۱۱	۱۱	طول خرج گذاری (متر)
۲۱۲	۲۱۲	۲۱۲	متوسط خرج در هر چال (کیلوگرم)
۰/۶	۰/۹	۱/۳	خرج ویژه (کیلوگرم بر مترمکعب)

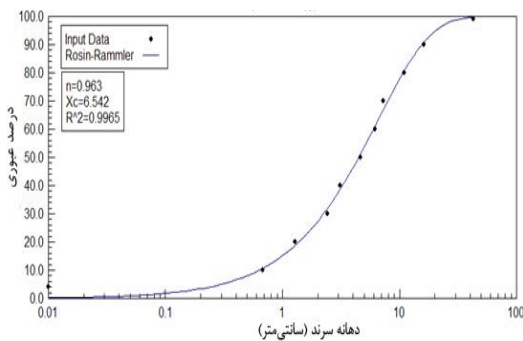
با استفاده از نرم‌افزار دیتافیت و برازش تابع روزین-راملر به نتایج تجزیه‌ی سرنندی و توزیع اندازه قطعات حاصل از نرم‌افزار گلدسایز، دو پارامتر اندازه مشخصه و شاخص یکنواختی تعیین شده که در شکل‌های ۵ تا ۷ برای تجزیه سرنندی و شکل‌های ۸ تا ۱۰ برای نرم‌افزار مذکور نشان داده شده است. به دلیل آنکه رسم منحنی توزیع خردشدگی در نرم‌افزار گلدسایز به کمک تابع روزین-راملر انجام می‌شود، از این تابع برای برازش و به دست آوردن اندازه مشخصه و شاخص یکنواختی استفاده شده است.



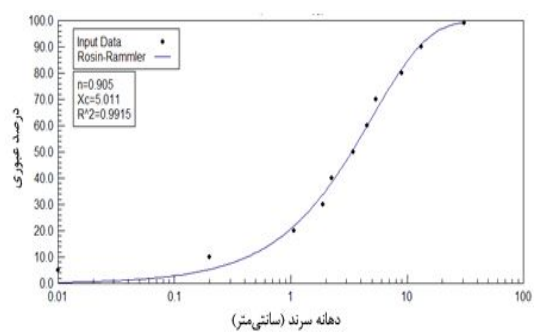
شکل ۳. نتایج تجزیه سرنندی حاصل از سه الگوی انفجاری در معدن چغارت



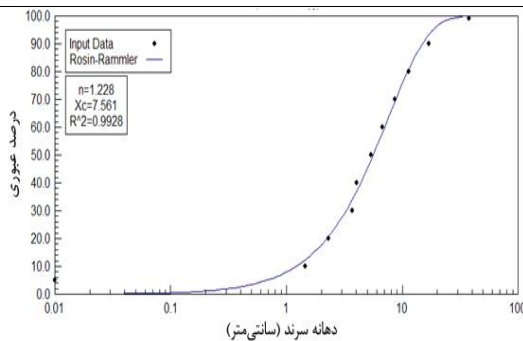
شکل ۴. تعدادی از عکس‌های تهیه شده برای نرم‌افزار



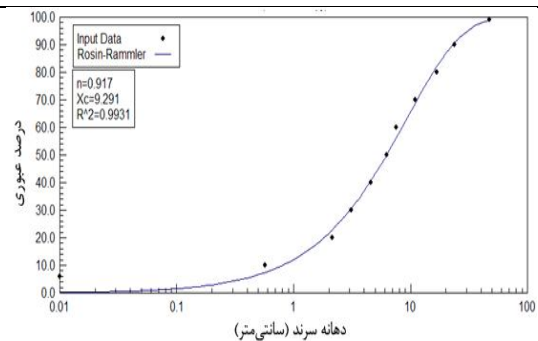
شکل ۶. برازش تابع روزین- راملر به توزیع قطعات حاصل از تجزیه‌ی سرندی الگوی انفجاری دو معدن چغارت



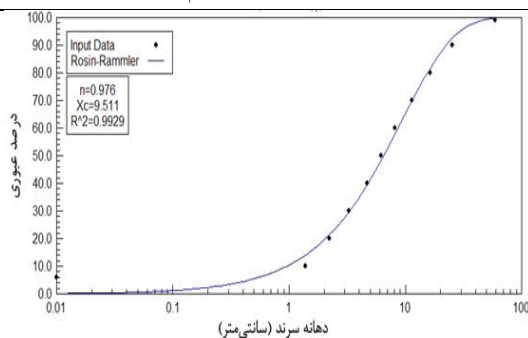
شکل ۵. برازش تابع روزین- راملر به توزیع قطعات حاصل از تجزیه‌ی سرندی الگوی انفجاری یک معدن چغارت



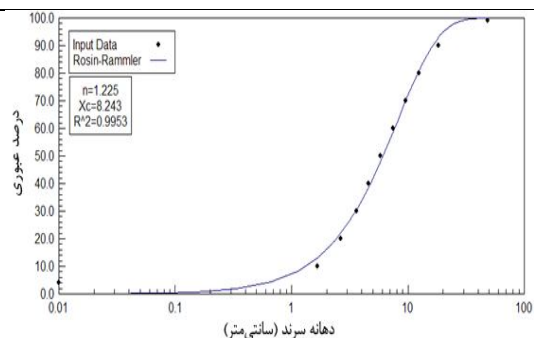
شکل ۸. برازش تابع روزین- راملر به توزیع قطعات الگوی یک معدن چغارت حاصل از نرم‌افزار گلدسایز



شکل ۷. برازش تابع روزین- راملر به توزیع قطعات حاصل از تجزیه‌ی سرندی الگوی انفجاری سه معدن چغارت



شکل ۱۰. برازش تابع روزین- راملر به توزیع قطعات الگوی سه معدن چغارت حاصل از نرم‌افزار گلدسایز



شکل ۹. برازش تابع روزین- راملر به توزیع قطعات الگوی دو معدن چغارت حاصل از نرم‌افزار گلدسایز

$$P(X) = 1 - \exp\left(-\left(\frac{X}{XC \times 0.79364}\right)^{n \times 0.78612}\right) \quad (7)$$

$$P(X) = 1 - \exp\left(-\left(\frac{X}{XC \times 0.97686}\right)^{n \times 0.93954}\right) \quad (8)$$

بنابراین، با توجه به روابط ۶ تا ۸، مقادیر β, α میانگین به ترتیب برابر با ۰/۸۱۱۰۸ و ۰/۸۲۰۸۷ می‌باشد. در نتیجه، منحنی توزیع تصحیح شده با استفاده از روش پردازش تصویر برای معدن چغارت به صورت زیر پیشنهاد می‌گردد:

$$P(X) = 1 - \exp\left(-\left(\frac{X}{XC \times 0.81108}\right)^{n \times 0.82087}\right) \quad (9)$$

۳. نتیجه‌گیری

روش پردازش تصویر در توزیع اندازه‌ی قطعات حاصل از انفجار نسبت به تجزیه‌ی سرندهی با خطا همراه است و باید مقدار خطا در هر منطقه تصحیح گردد. فاکتورهای α و β که به ترتیب برابر ۰/۸۱۱۰۸ و ۰/۸۲۰۸۷ برآورد گردید، به عنوان فاکتورهای تصحیح در نرم‌افزار در نظر گرفته شد. برای اعتبارسنجی رابطه‌ی پیشنهادی، از الگوی انفجاری شماره‌ی چهار استفاده می‌شود که در جدول ۲ ارائه شده است. نتایج تجزیه‌ی سرندهی قطعات خردشده‌ی حاصل از انفجار در الگوی شماره‌ی چهار با نتایج حاصل از نرم‌افزار پردازش تصویر تصحیح شده در شکل ۱۱ ارائه شده است. با توجه به منحنی‌های ترسیم شده، مشاهده می‌شود که رابطه‌ی ۹ که برای تصحیح نرم‌افزار پیشنهاد شده است، تطابق خوبی با نتایج واقعی ناشی از تجزیه‌ی سرندهی دارد.

جدول ۲. پارامترهای الگوی انفجاری شماره چهار

مقدار	پارامتر
۱۶۵	قطر چال (میلی‌متر)
۱۲/۵	ارتفاع پله (متر)
۱/۵	اضافه حفاری (متر)
۱۴	طول چال (متر)
۲	بارسنگ (متر)
۳	فاصله چال‌ها در یک ردیف (متر)
۱۱	طول خرج‌گذاری (متر)
۲۱۲	متوسط خرج در هر چال (کیلوگرم)
۱/۵	خرج ویژه (کیلوگرم بر مترمکعب)

مناسب‌ترین روش برای تصحیح، استفاده از نتایج تجزیه‌ی سرندهی و رابطه‌های ۱ تا ۵ می‌باشد.

$$P(X_{3D}) = 1 - \exp\left(-\left(\frac{X_{3D}}{XC_{3D}}\right)^{n_{3D}}\right) \quad (1)$$

$$P(X_{2D}) = 1 - \exp\left(-\left(\frac{X_{2D}}{XC_{2D}}\right)^{n_{2D}}\right) \quad (2)$$

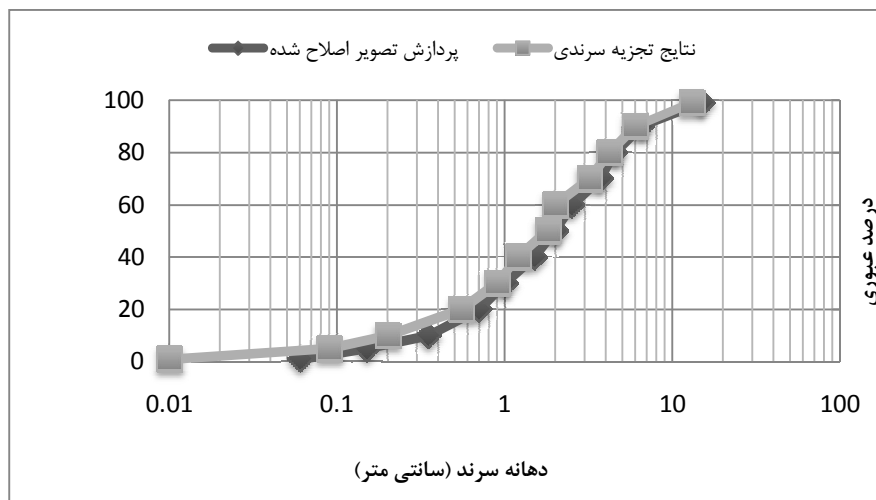
$$XC_{3D} = XC_{2D} \cdot \alpha \quad (3)$$

$$n_{3D} = n_{2D} \cdot \beta \quad (4)$$

$$P(X_{3D}) = 1 - \exp\left(-\left(\frac{X_{3D}}{XC_{2D} \cdot \alpha}\right)^{n_{2D} \cdot \beta}\right) \quad (5)$$

که در آن: $P(X_{2D})$: درصد تجمعی عبوری از سرنده با دهانه‌ی X در حالت دو بعدی، $P(X_{3D})$: درصد تجمعی عبوری از سرنده با دهانه‌ی X در حالت سه بعدی، X_{2D} : دهانه‌ی سرنده در حالت دوبعدی (سانتی‌متر)، X_{3D} : دهانه‌ی سرنده در حالت سه بعدی (سانتی‌متر)، XC_{2D} : اندازه مشخصه‌ی توزیع دانه‌بندی در حالت دوبعدی، XC_{3D} : اندازه مشخصه‌ی توزیع دانه‌بندی در حالت سه بعدی، n_{2D} : شاخص یکنواختی توزیع در حالت دو بعدی، n_{3D} : شاخص یکنواختی توزیع در حالت سه بعدی و α, β ضرایب تصحیح می‌باشند. با داشتن اندازه مشخصه و شاخص یکنواختی حاصل از تجزیه‌ی سرندهی و نرم‌افزار گلدسایز سه الگوی انفجاری که به ترتیب در شکل‌های ۵ تا ۷ و ۸ تا ۱۰ ارائه شده، منحنی توزیع اندازه‌ی تصحیح شده، با استفاده از روش پردازش تصویر برای سه الگوی انفجاری، روابط ۶ تا ۸ تعیین شد. با توجه به روابط ۳ و ۴، مقادیر β, α در روابط ۶ تا ۸ به ترتیب برای الگوی شماره‌ی ۱، ۲ و ۳، از تقسیم مقادیر اندازه مشخصه و شاخص یکنواختی حاصل از نتایج سرندهی هر الگو به نتایج روش پردازش تصویر همان الگوی انفجاری به دست آمده است. به عنوان مثال مقدار α در رابطه ۶ از تقسیم اندازه مشخصه تجزیه‌ی سرندهی الگوی شماره یک (۰/۹۰۵) به اندازه مشخصه پردازش تصویر همان الگو (۱/۲۲۸) به دست آمده است.

$$P(X) = 1 - \exp\left(-\left(\frac{X}{XC \times 0.66274}\right)^{n \times 0.73697}\right) \quad (6)$$



شکل ۱۱. مقایسه منحنی‌های توزیع اندازه‌ی قطعات ناشی از انفجار با استفاده از تجزیه‌ی سرنندی و پردازش تصویر تصحیح شده.

منابع

- Akbari, M., Lashkaripour, G.R., Bafghi, A.Y. 2014. assessment and classification of rock mass properties in iron central ore mines: *J. Appl. Environ. Biol. Sci* 4. 10: 140-148.
- Akbari, M., Lashkaripour, G., Yarahamdi Bafghi, A., Ghafoori, M., 2015. Blastability evaluation for rock mass fragmentation in Iran central iron ore mines: *International Journal of Mining Science and Technology*.
- Carlsson, O., Nyberg, L., 1983. A Method for Estimation of Fragment Size Distribution with Automatic Image Processing, In: *Proceedings of the the 1st International Symposium on Rock Fragmentation by Blasting*, Holmberg, R., Rustan, A., Lulea University of technology, Lulea, Sweden, p.p. 333-345.
- Elgin, I. C., 2010. A practical method of bench blasting design for desired fragmentation based on digital image processing technique and Kuz-Ram model: *International Journal on Rock Fragmentation by Blasting-FRAGBLAST9*, p.p. 257-263.
- Faramarzi, F., H. Mansouri, MA Ebrahimi Farsangi., 2013. A rock engineering systems based model to predict rock fragmentation by blasting: *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences* 60, p.p. 82-94.
- Latham, J.P., Kemeny, J., Maerz, N., Noy, M., Schlifer, J., Tose, S., 2003. Ablind Comparison Between Results of Four Image Analysis Systems Using a Photo-Library of Piles of Sieved Fragments: *International Journal on Rock Fragmentation by Blasting-FRAGBLAST*, Vol. 7, No. 2, p.p. 105-132.
- Liu, Y., Nadolski, S., Elmo, D., Klein, B., Scoble, M., 2015. use of digital imaging processing techniques to characterize block caving secondary fragmentation and implications for proposed cave-to-mill approach: 49th U.S. Rock Mechanics/Geomechanics Symposium, San Francisco, California.
- Raina, A. K., et al., 2010. Productivity improvement in an opencast coal mine in India using digital image analysis technique: *International Journal on Rock Fragmentation by Blasting-FRAGBLAST 9*, p.p. 707-716.
- Yarahmadi Bafghi, A., Mohebbi, M., Fatehi Marji, M., Gholamnejad, J., 2016. Rock mass structural data analysis using image processing techniques (Case study: Choghart iron ore mine northern slopes): *Journal of Mining and Enviroment*.