

تعیین خردشستگی سنگ در اثر انفجار با استفاده از روش عکسبرداری

عباس مجدی
استادیار

گروه مهندسی معدن، دانشکده فنی، دانشگاه تهران

محمد مهدی دهقان بنادکی
مربی

گروه مهندسی معدن، دانشکده فنی، دانشگاه شاهرود

داراب رئیسی گهروئی
استادیار

دانشکده مهندسی معدن، دانشگاه صنعتی اصفهان

چکیده

در این مقاله با استفاده از روش عکسبرداری و آزمایش‌هایی در مقیاس آزمایشگاهی مدلی برای خردشدن سنگ‌های حاصل از انفجار ارائه و صحت روش مورد بررسی قرار گرفته است. به این منظور با استفاده از تابع توزیع احتمال وایبل نمونه‌هایی ۱۰۰ کیلوگرمی با مقادیر مشخصی از پارامترهای توزیع مذکور تهیه و چهار عکس از چهار مقطع هر یک از نمونه‌ها گرفته شده است. سپس عکس‌های تهیه شده به فایل‌های گرافیکی تبدیل و مرزهای قطعات مختلف بر روی آن مشخص گردیده است. بدنبال آن خطای ایجاد شده در عکس‌ها نظیر خطای پرسپکتیو برطرف شده و سپس حجم هر قطعه و حداقل دهانه سرنند برای عبور آن نیز محاسبه گردیده است. نهایتاً توزیع خردشستگی بدست آمده از روش عکسبرداری با توزیع خردشستگی اولی مقایسه و روشی برای تبدیل توزیع خردشستگی عکسبرداری به توزیع خردشستگی سرنند کردن ارائه شده است.

کلمات کلیدی

روش عکسبرداری، انفجار، تابع توزیع احتمال وایبل، فایل‌های گرافیکی، توزیع خردشستگی

Determination of Rock Fragmentation Based on a Photographic Technique

M.M. Dehghan Banadaki

Lecturer of Engineering Faculty

Mining Engineering Department,

Shahrood University

A. Majdi

Assistant Professor

Mining Engineering Department,

Tehran University

D. Raessi Gahrooei

Assisant professor

Technical University of Isfahan

Abstract

The paper represents a physical blasting model in laboratory scale along with a photographic approach to describe the distribution of blasted rock materials. For this purpose, based on weibull probability distribution function, eight samples each weighted 100 kg, were obtained. Four pictures from four different section of each sample were taken. Then, pictures were converted into graphic files with characterizing boundary of each piece of rocks in the samples. Error caused due to perspective were eliminated. Volume of each piece of the blasted rock materials and hence the required sieve size, each piece of rock to pass through, were calculated. Finally, original blasted rock size distribution was compared with that obtained from the photographic method. The paper concludes with presenting an approach to convert the results of photographic technique into size distribution obtained by seive analysis with sufficient verification.

Keywords

Photographic approach, Blasting, Weibull Probability distribution function Graphic files, Blasted rock size distribution.

تعیین توزیع احتمال خردشدگی سنگ با استفاده از روش عکاسی شامل مراحل زیر می باشد:

الف - تهیه عکسها.

ب - دیجیتایز کردن عکسها و ساختن فایل های گرافیکی.

ج - پیدا کردن مرزهای قطعات.

د - بر طرف کردن خطای عکسها.

ه - تعیین پارامتر یا پارامترهای هندسی که بتواند بیانگر حجم هر قطعه باشد.

و - تعیین پارامتری هندسی که بیانگر حداقل دهانه سرند برای عبور هر قطعه باشد.

ز - استفاده از پارامترهای هندسی (ه) و (و) برای تخمین توزیع خردشدگی سنگ.

الف - تهیه عکسها - برای بیان ارتباط آماری بین توزیع های خردشدگی در دو حالت سرند کردن و عکسبرداری، ابتدا نمونه هایی با وزن ۱۰۰ کیلوگرم تهیه گردید. سپس نمونه های تهیه شده کاملاً مخلوط و سپس چهار مقطع مختلف آنها گرفته شد. علت گرفتن چند عکس از هر نمونه عدم همگن بودن توزیع ابعاد در مقاطع مختلف نمونه ها می باشد. برای بر طرف کردن خطای عکسها و اندازه گیری ابعاد واقعی قطعات از یک قاب با ابعاد داخلی ۱۵۰×۱۰۰ سانتیمتر نیز استفاده شده است.

ب - دیجیتایز کردن عکسها و ساختن فایل های گرافیکی - برای انجام تصحیحات لازم و تعیین ابعاد سنگ ها باید عکس های تهیه شده به فایل های گرافیکی تبدیل شوند. به این منظور از یک دستگاه Scanner با قدرت تفکیک ۳۰۰ dpi استفاده شد و توسط آن فایل هایی با پسوند .pcx تهیه گردید. با توجه به آنکه کارت های گرافیکی کامپیوتری مورد استفاده از نوع TRIDENT می باشد لذا تفکیک نمایی صفحه نمایش در محیط DOS حداکثر معادل ۶۴۰×۴۸۰ پیکسل بوده و فایل های .pcx نیز بصورت ۶۴۰×۴۸۰ پیکسل تهیه شده است.

ج - پیدا کردن مرزهای قطعات - برای تعیین مرزهای قطعات ابتدا سعی شد تا از نرم افزارهای پردازش تصویر نظیر Photostyler و یا Coreldraw استفاده شود. اما مشکل عمده این نرم افزارها عملیات فیلتر کردن برحسب شدت رنگ می باشد، که بدین ترتیب مرزهای قطعاتی که بر روی یکدیگر قرار گرفته اند و دارای شدت رنگ تقریباً یکسانی

سیکل تولید معدن شامل پنج مرحله مهم حفاری، انفجار، بارگیری، باربری و سنگ شکنی اولیه است که هدف از دو مرحله اول خردکردن سنگ تا یک بعد خاص می باشد. هزینه های حفاری و انفجار در مورد سنگ های سخت با توجه به اطلاعات جمع آوری شده از تعدادی از معادن روباز حدوداً معادل ۳۰ درصد از کل هزینه های تولید می باشد که با افزایش قطعات بزرگ و نیاز به آتشباری ثانویه تا ۴۵ درصد نیز افزایش می یابد. افزایش خردشدگی سنگ توسط انفجار سبب بالارفتن هزینه های حفاری و انفجار می گردد. اما در نتیجه سهولت عملیات بارگیری و باربری، کاهش مصرف انرژی در مرحله سنگ شکنی اولیه و عدم نیاز به آتشباری ثانویه، نه تنها افزایش مزبور جبران خواهد شد، بلکه افزایش معینی در خردشدگی سنگ سبب کاهش هزینه ها نیز می گردد. بدین ترتیب برای بهینه سازی طرح انفجار باید از دو مدل، یکی برای خردشدگی سنگ و دیگری برای هزینه های انفجار، استفاده نمود. در اینجا سعی شده است تا روشی برای تعیین توزیع خردشدگی سنگ ارائه گردد.

روند مدلسازی خردشدن سنگ

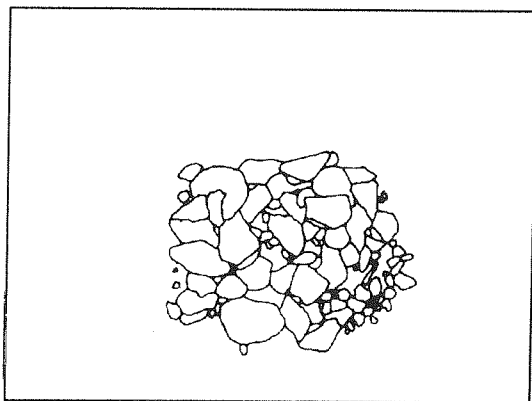
طی دو دهه اخیر تمایل زیادی برای مدلسازی خرد شدن سنگ با استفاده از روش های تجربی وجود داشته است. Kuznetsov [۱] رابطه ای تجربی و ساده را برای پیش بینی بعد متوسط سنگ خرد شده ارائه کرد که طیف وسیعی از سنگها و مواد منفجره را در بر می گرفت. علیرغم آنکه در رابطه وی صرفاً انرژی ورودی برای حجم معینی از سنگ و عاملی برای بیان سختی و تراکم آن وارد شده بود، اما دقت قابل توجهی برای سنگهای توده ای از خود نشان می داد. Cunningham [۲] متوسط بعد در رابطه Kuznetsov را به توزیع Rosin-Ramler مرتبط نمود. در این رابطه توزیع خردشدگی سنگ بصورت تابعی از پارامترهای طراحی انفجار، سختی سنگ، و فراوانی درزه ها و جهت آنها بیان شده است. همچنین مطالعاتی در مقیاس کوچک برای مرتبط ساختن میزان خرد شدن سنگ با خواص آن و مواد منفجره صورت گرفته است که از آن جمله می توان از مطالعات U.S.B.M. توسط Otterness و دیگران [۳] و نیز Bergamann [۴] نام برد. در این مطالعات تأثیر پارامترهایی نظیر چگالی ماده منفجره، سرعت انفجار، سرعت امواج صوتی در سنگ، ضریب جفت شدگی ماده منفجره در چال و چگالی بر میزان خرد شدگی آن بیان شده است.

تخمین خردایش سنگ به روش عکسبرداری

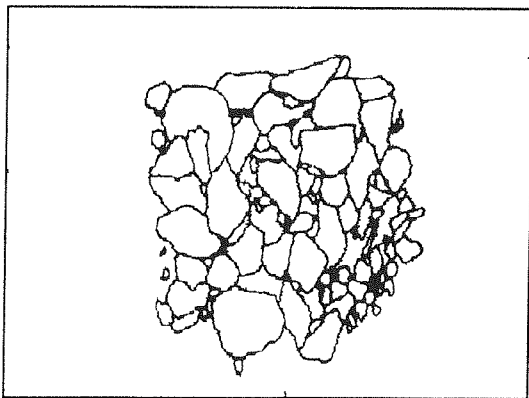
بعد سوم قطعه سبب خطا می‌گردد.

- خطای ناشی از قدرت تفکیک عکس‌ها. با توجه به ابعاد قطعات، قدرت تفکیک کم سبب عدم تشخیص قطعات کوچکتر از بعد خاصی خواهد شد. برای رفع این مشکل باید از عکس‌های با قیاس بزرگتر که سطح کمتری را پوشش می‌دهند استفاده نمود.

- خطای پرسپکتیو. در این مورد قطعات نزدیکتر بزرگتر از قطعات دورتر بنظر می‌رسند (شکل ۲). برای برطرف کردن این مشکل از ماجول Photopaint نرم افزار Coreldraw استفاده شده است. برای این کار ابتدا گوشه‌های قاب به حالت مستقیم درآمده و سپس قسمت فوقانی قاب کشیده شده است تا نسبت بین طول و عرض قاب نیز به مقدار واقعی برسد.



(الف)

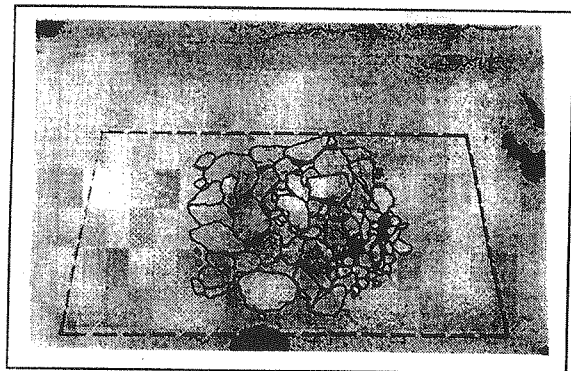


(ب)

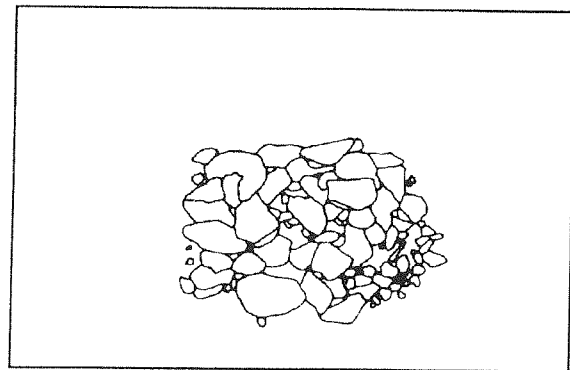
شکل (۲) نحوه برطرف کردن خطای پرسپکتیو عکس‌ها توسط نرم افزار Coreldraw (الف) عکس تصحیح نشده اول از نمونه دوم (ب) عکس تصحیح شده اول از نمونه دوم.

۵- تعیین پارامترهای هندسی که بتواند بیانگر حجم هر قطعه باشد - برای تخمین درصد‌های حجمی یا وزنی قطعات با استفاده از روش عکسبرداری از فرضیات زیر استفاده شده است:

می‌باشند کاملاً مشخص نبوده و قطعات مزبور بصورت یک قطعه منفرد به حساب خواهند آمد. برای کاهش خطای ناشی از این امر می‌توان از میزان گردی (Roundness) یا درجه تحدب (Grade of Convexity) قطعات استفاده نمود که از عهده نرم افزارهای موجود خارج است. با توجه به مطالب فوق، قبل از کردن عکسها، مرزهای قطعات بر روی آنها رسم و سپس، برای سهولت کار برنامه کامپیوتری مورد نیاز، بر روی کالک پیاده شده است. نهایتاً نیز کالک‌های تهیه شده توسط Scanner بصورت فایل‌های گرافیکی درآمده است. خطای این روش کمتر از روش فیلتر کردن می‌باشد اما به وقت زیادی نیاز دارد. برای مثال عکس اول از نمونه دوم که بصورت دستی گوشه‌یابی شده همراه با کالک برداشت شده از آن در شکل (۱) آمده است.



(الف)



(ب)

شکل (۱) گوشه‌یابی عکسها بصورت دستی. (الف) عکس اول از نمونه دوم (ب) - کالک تهیه شده از روی عکس (الف).

د- برطرف کردن خطای عکسها - معمولاً هنگام تهیه عکسها و پس از آن خطاهایی ایجاد می‌شود که منجر به عدم دقت محاسبات می‌گردد. مهمترین این خطاها عبارتند از: - استفاده از فرضیات ساده کننده برای تبدیل سطوح بدست آمده از عکس‌های دوبعدی به حجم که بعلت مشخص نبودن

توابع توزیع احتمال برای خرد شدن سنگ

توابع توزیع احتمال استاندارد وجود دارد که کم و بیش می توانند بیانگر توزیع دانه بندی سنگها در توده حاصل از رانفجار باشند که از آن جمله می توان از توابع RAMLER-ABACUS, ROSIN و WEIBULL نام برد توزیع اخیر نتایج رضایت بخشی داشته و تابع توزیع تجمعی آن بصورت زیر می باشد:

$$F(x) = \begin{cases} 100 \times (1 - \text{EXP} [-((x-y)/x_c)^n]) & x \geq y \\ 0 & x < y \end{cases} \quad (1)$$

که در آن :

$F(x)$: در صد تجمعی عبوری از بعد کمتر از x یا مساوی آن.
 x_c : بعد مشخصه (ویژه) یا پارامتر مقیاس بر حسب سانتیمتر. این پارامتر بصورت دهانه سرندی که $63/21$ درصد مواد از آن عبور می کنند تعریف می شود.
 y : پارامتر موقعیت بر حسب سانتیمتر.
 n : شاخص یکنواختی یا پارامتر شکل قطعات.
 ویژگی مهم توزیع وایبل سه پارامتری بودن آن می باشد که دامنه وسیعی از اشکال را پوشش می دهد.

تهیه نمونه های آزمایشگاهی

برای تعیین ضرائب تصحیح مورد نیاز ابتدا توده های کوچکی با توزیع دانه بندی ازپیش تعیین شده که از توزیع دو پارامتری وایبل ($y=0$) تبعیت می کنند تهیه شده است، با ترکیب درصدهای مختلف از قطعات، هشت توده ۱۰۰ کیلوگرمی که دارای ضرائب X_c و n مشخص می باشند، تهیه گردید که اطلاعات مربوط به نمونه دوم در جدول (۱) آمده است.

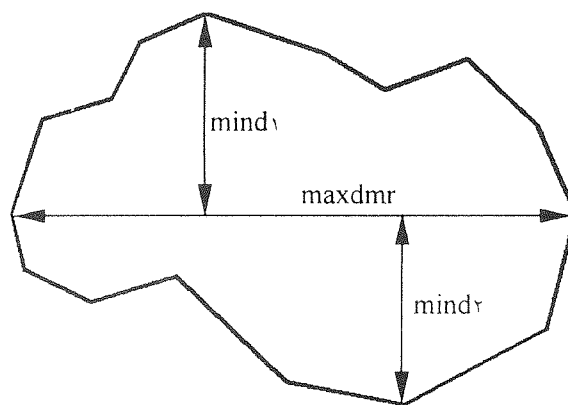
جدول (۱) توزیع ساختگی دوم که بوسیله سرند کردن سنگ ها بدست آمده اند.

دهانه سرند (cm)		+۱/۵	+۲/۴	+۴/۰	+۶/۰	+۸/۰	+۱۱/۰	+۱۴/۰	نمونه دوم
		-۱/۵	-۲/۴	-۴/۰	-۶/۰	-۸/۰	-۱۱/۰	-۱۴/۰	
وزن (kg)		۲/۷۰	۵/۰۰	۱۲/۷۰	۱۹/۵۰	۱۹/۱۰	۲۱/۸۰	۱۲/۱۰	۷/۱۰
تجمعی عبوری (%)		۲/۷۰	۷/۷۰	۲۰/۴۰	۳۹/۹۰	۵۹/۰۰	۸۰/۸۰	۹۲/۹	—

جدول (۲) پارمترهای توزیع وایبل.

شماره نمونه		۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	مقادیر انتخابی
X_c (cm)		۱۵/۰۰	۱۴/۰۰	۱۱/۳۰	۱۰/۲۰	۹/۵۰	۹/۰۰	۸/۴۰	۷/۵۰	
n		۲۱۰	۲/۰۰	۱/۵۴	۱/۹۳	۲/۲۵	۲/۱۲	۱/۹۳	۱/۷۰	
X_c (cm)	پس از سرند کردن	۱۴/۹۶۷	۱۴/۰۱۲	۱۱/۳۰۱	۱۰/۱۸۷	۹/۵۵۰	۹/۰۱۱	۸/۵۵۵	۷/۵۱۴	
n		۲/۱۰۹	۱/۹۹۹	۱/۵۴۱	۱/۳۹۴	۲/۲۵۶	۲/۱۳۸	۱/۹۳۱	۱/۷۰۴	

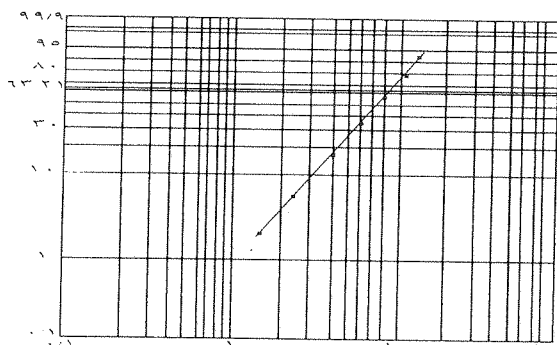
- ۱- سطح هر قطعه از حاصلضرب بعد حداقل و حداکثر آن بدست می آید (شکل ۳). مطابق (شکل ۳) برای پیدا کردن قطرهای ابتدا قطر بزرگ تعیین شده و سپس با توجه به معادله خط این قطر، مجموع بیشترین فاصله از هر دو طرف آن بعنوان قطر کوچک در نظر گرفته می شود.
 - ۲- ضخامت هر قطعه با قطر کوچک بدست آمده از عکس ها برابر می باشد.
 - ۳- حجم هر قطعه از حاصلضرب ضخامت در سطح آن قطعه بدست می آید.
 - ۴- تمام قطعات دارای وزن مخصوص یکسان می باشند که در این صورت درصد حجمی قطعات با درصد وزنی آنها برابر خواهد بود.
- با توجه به فرض های اول و دوم، بعد حداقل برای عبور هر قطعه از دهانه سرند معادل قطر کوچک آن قطعه خواهد بود.



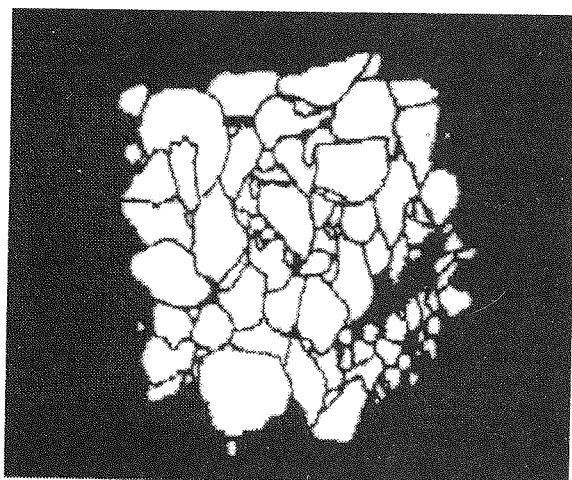
شکل (۳) قطرهای بزرگ ($maxdmr$) و کوچک از روی آنها سطح و حجم هر قطعه را بدست آورد.
 $(mindmr = mind1 + mind2)$ هر قطعه که می توان

ب- معرفی برنامه DIAMETER

در این برنامه با استفاده از اطلاعات فایل data.dat و data1.dat که خروجی های برنامه SCANROCK می باشند، ابتدا قطر بزرگ یک قطعه تعیین شده و سپس مجموع حداکثر فاصله از دو سمت این قطر بعنوان قطر کوچک محاسبه می گردد. نهایتاً نیز اطلاعات بدست آمده در فایل data2.dat ذخیره می گردد.



شکل (۵) منحنی توزیع تجمعی نمونه سوم برای حالت سرند کردن بر روی صفحه احتمال وایبل.



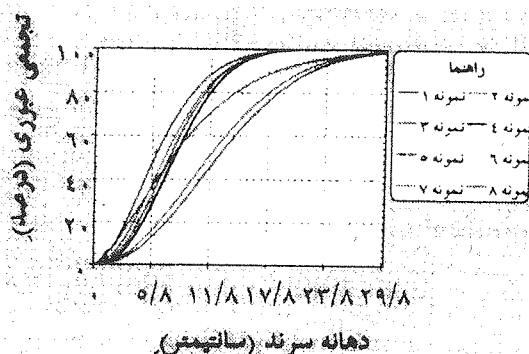
شکل (۶) عکس آماده شده اول از نمونه دوم که برای برنامه SCANROCK آماده شده است.

تحلیل اطلاعات بدست آمده

پس از تعیین اقطار کوچک و بزرگ سنگ های هر عکس، اطلاعات عکس های مربوط به هر نمونه با یکدیگر ترکیب شده است که نتایج مربوط به نمونه دوم در جدول (۳) آمده است. با پیاده کردن اطلاعات تصویری حاصل از هر نمونه بر روی صفحه احتمال وایبل ملاحظه می شود که منحنی بدست آمده (شکل ۷) در تمام موارد دارای تقعری به سمت پایین است که این تقعر ناشی از حذف تعدادی از قطعات با ابعاد کوچک

برای تهیه نمونه ها ابتدا مقادیری برای ضرائب مذکور در نظر گرفته شد که به علت بوجود آمدن اختلاف جزئی در مرحله ترکیب سنگها، مقادیر دقیق آنها کمی با مقادیر اولیه متفاوت می باشد (جدول ۲).

در شکل (۴) منحنی های توزیع تجمعی توزیع های ساختگی رسم شده است. در شکل (۵) نیز منحنی توزیع تجمعی نمونه سوم بر روی صفحه وایبل این است که نمودار معادله وایبل بر روی آن بصورت خطی مستقیم درمی آید که به این ترتیب ضرائب n و X_0 را بطور گرافیکی نیز می توان بدست آورد.



شکل (۴) منحنی های توزیع تجمعی نمونه های ساختگی برای حالت سرند کردن.

تعیین قطرهای بزرگ و کوچک از روی عکسها

برای تعیین قطرهای کوچک و بزرگ از روی عکسها دو قطعه برنامه به زبان TC++ به نام های SCANROCK و DIAMETER نوشته شده است که در ادامه به معرفی آنها خواهیم پرداخت.

الف- معرفی برنامه SCANROCK

برای استفاده از این برنامه ابتدا باید اطراف عکس های تهیه شده را با رنگ سیاه پر نمود که بعنوان نمونه، عکس اول از نمونه دوم در شکل (۶) رسم شده است. طرز کار این برنامه به این صورت است که با توجه به سفید بودن قطعه سنگ ها، برنامه با رسیدن به اولین پیکسل سفید که مربوط به اولین قطعه می باشد، وارد آن قطعه شده و با چک کردن رنگ سیاه در اطراف آن قطعه، مختصات تمام پیکسل های اطراف آن قطعه را در یک آرایه و سپس درون فایل data.dat می ریزد. سپس قطعه مذکور را با رنگ سیاه پر کرده و مجدداً حرکت خود را از محل ورود به قطعه قبل ادامه می دهد تا اطلاعات مربوط به تمام قطعات برداشت گردد. در انتهای برنامه تعداد قطعات برداشت شده نیز در فایل data1.dat ذخیره می شود.

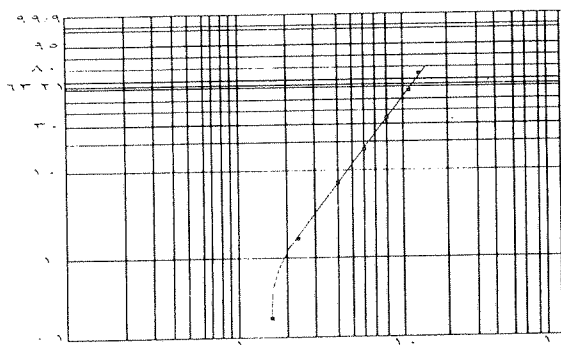
جدول (۳) توزیع خردشده سنگ برای نمونه دوم، بدست آمده از روش عکسبرداری.

		+۱/۰	+۲/۴	+۴/۰	+۶/۰	+۸/۰	+۱۱/۰	+۱۴/۰	دهانه سرنده (cm)	
		-۱/۰	-۲/۴	-۴/۰	-۶/۰	-۸/۰	-۱۱/۰	-۱۴/۰		
نمونه	وزن (kg)	۱۰۰/۰۰	۰/۳۱	۱/۴۶	۵/۳۵	۱۰/۸۶	۱۰/۸۴	۲۸/۴۲	۱۴/۹۱	۲۷/۸۵
دوم	تجمعی عبوری (%)		۰/۳۱	۱/۷۷	۷/۱۱	۱۷/۹۸	۲۸/۸۲	۵۷/۲۴	۷۲/۱۵	—

جدول (۴) پارامترهای توزیع احتمال وایبل بدست آمده از تحلیل های آماری.

شماره نمونه	روش نمونه گیری					
	عکسبرداری			سرنده کردن		
	مجدور R	y (cm)	n	x _c (cm)	n	x _c (cm)
۱	۰/۹۹۳	۱/۹۰	۱/۹۳۷	۱۰/۷۹	۱/۷۰۴	۷/۵۱۴
۲	۰/۹۸۸	۱/۷۰	۱/۷۳۹	۱۰/۶۶۴	۱/۹۳۱	۸/۵۵۵
۳	۰/۹۹۵	۱/۵۰	۱/۷۲۹	۱۰/۸۷۵	۲/۱۳۸	۹/۰۱۱
۴	۰/۹۹۵	۱/۵۰	۱/۵۶۴	۱۲/۳۱۷	۲/۲۵۶	۹/۵۵۰
۵	۰/۹۸۲	۱/۵۰	۱/۶۲۹	۱۲/۳۷۵	۱/۳۹۴	۱۰/۱۸۷
۶	۰/۹۹۵	۱/۵۰	۱/۵۴۵	۱۵/۲۸۹	۱/۵۴۱	۱۱/۳۰۱
۷	۰/۹۸۹	۱/۰۰	۲/۰۲۷	۱۸/۳۲۶	۱/۹۹۹	۱۴/۰۱۲
۸	۰/۹۸۹	۱/۰۰	۲/۰۷۸	۱۶/۱۱۳	۲/۱۰۹	۱۴/۹۶۷

را برای توزیع های خردشده نشان می دهند که ناشی از نحوه تهیه عکس ها برای تعیین ابعاد قطعات می باشد. بدین ترتیب منحنی های تجمعی حاصل از این دو روش بر روی صفحه احتمال وایبل موازی نخواهند بود. با توجه به شکل (۸) ملاحظه می شود که مقادیر n پیش بینی شده توسط دو روش نمونه گیری کاملاً متفاوت بوده و هیچگونه همبستگی بین آنها وجود ندارد.

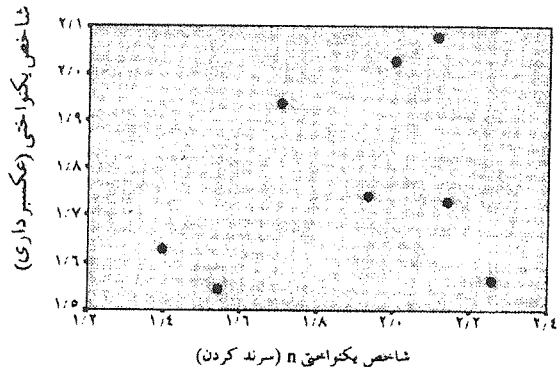


شکل (۷) منحنی تجمعی بدست آمده از روش عکسبرداری برای نمونه سوم بر روی صفحه احتمال وایبل.

می باشد. برای بر طرف کردن این خطا باید مقداری از پارامتر سوم توزیع وایبل (Y) که منجر به مستقیم شدن این منحنی می گردد را تعیین و سپس از آن برای تخمین پارامترهای x_c و n استفاده نمود. در صورتیکه نتوان برای Y مقداری قابل قبول بدست آورد که منجر به مستقیم شدن منحنی مذکور گردد، در این صورت می توان نتیجه گرفت که توزیع بدست آمده از توزیع وایبل پیروی نمی کند [۵]. پس از تخمین پارامتر Y، پارامترهای x_c و n نیز با استفاده از بخش پردازش غیر خطی نرم افزار SPSS تعیین و نتایج نهایی در جدول (۴) آمده است. با توجه به جدول (۴) می توان نتایج زیر را بدست آورد: - تمام توزیع های بدست آمده از روش عکسبرداری از توزیع سه پارامتری وایبل تبعیت می کنند. بدین ترتیب توزیع های دو پارامتری اولیه برای حالت سرنده کردن (y=0)، به توزیعی سه پارامتری (y≠0) برای حالت عکسبرداری تبدیل می شوند. - بهترین مقدار Y برای هر یک از نمونه ها تقریباً معادل ۱/۵ سانتیمتر بوده و بیانگر بعدی است که ابعاد کوچکتر از آن بخاطر عدم دقت عکسها حذف شده اند. - روش های عکسبرداری و سرنده کردن مقادیر متفاوتی از n

توزیع حاصل از دو روش سرند کردن و عکسبرداری، شش صدک مختلف از منحنی های توزیع تجمعی انتخاب گردید. صدک های انتخاب شده ۵، ۲۰، ۴۰، ۶۳/۲۱، ۷۵، ۹۰ صدک می باشند که بعنوان مثال ۲۰ صدک بیانگر دهانه سرندی است که ۲۰ درصد وزنی قطعات از آن دهانه عبور می کنند. k امین صدک توزیع وایبل را می توان از رابطه (۲) بدست آورد که از روی رابطه (۱) استخراج شده است:

$$x_k = x_k - y = \text{EXP} \left[\frac{1}{n} \left(\ln \left(\ln \left(\frac{1}{1-(k/100)} \right) \right) \right) \right] + \ln x_c \quad (2)$$



شکل (۸) شاخص یکنواختی سنگ های سرند شده بر حسب شاخص یکنواختی تعیین شده توسط روش عکسبرداری.

برای پیدا کردن روشی جهت ارتباط دادن منحنی های برای شش صدک مذکور دهانه های مربوط برای هر دو

جدول (۵) اطلاعات صدک ها برای دو روش عکسبرداری و سرند کردن بر حسب سانتیمتر.

شماره نمونه								روش نمونه گیری	صدکها (%)
۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱		
۳/۶۶	۳/۱۷	۱/۶۴	۱/۲۱	۲/۵۶	۲/۲۵	۱/۸۴	۱/۳۱	سرند کردن	۵
۳/۸۶	۴/۲۳	۲/۲۴	۲/۰۰	۱/۸۴	۱/۹۵	۱/۹۳	۲/۳۳	عکسبرداری	۵
۷/۳۵	۶/۶۲	۴/۲۷	۳/۴۷	۴/۹۱	۴/۴۷	۳/۹۳	۳/۱۲	سرند کردن	۲۰
۷/۸۳	۸/۷۴	۵/۷۹	۴/۹۳	۴/۷۲	۴/۵۷	۴/۵۰	۴/۹۷	عکسبرداری	۲۰
۱۰/۸۸	۱۰/۰۱	۷/۳۱	۶/۲۹	۷/۰۹	۶/۵۸	۶/۰۴	۵/۰۷	سرند کردن	۴۰
۱۱/۶۶	۱۳/۱۶	۹/۹۰	۸/۱۹	۸/۰۲	۷/۳۷	۷/۲۵	۷/۶۳	عکسبرداری	۴۰
۱۴/۹۷	۱۴/۰۱	۱۱/۳۰	۱۰/۱۹	۹/۵۵	۹/۰۱	۸/۵۵	۷/۵۱	سرند کردن	۶۳/۲۱
۱۶/۱۱	۱۸/۳۲	۱۵/۲۹	۱۲/۳۷	۱۲/۳۲	۱۰/۸۷	۱۰/۶۶	۱۰/۷۹	عکسبرداری	۶۳/۲۱
۱۷/۴۷	۱۶/۵۰	۱۳/۹۷	۱۲/۸۸	۱۱/۰۴	۱۰/۵۰	۱۰/۱۳	۹/۱۰	سرند کردن	۷۵
۱۸/۸۶	۲۱/۵۳	۱۸/۸۹	۱۵/۱۲	۱۵/۱۸	۱۳/۱۴	۱۲/۸۷	۱۲/۷۷	عکسبرداری	۷۵
۲۲/۲۳	۲۱/۲۷	۱۹/۴۲	۱۸/۵۳	۱۳/۸۲	۱۳/۳۱	۱۳/۱۸	۱۲/۲۶	سرند کردن	۹۰
۲۴/۰۷	۲۷/۶۵	۲۶/۲۳	۲۰/۶۵	۲۰/۹۹	۱۷/۶۲	۱۷/۲۳	۱۶/۶۰	عکسبرداری	۹۰

جدول (۶) روابط بدست آمده از برازش منحنی بر اطلاعات جدول (۵).

ضریب همبستگی	رابطه	صدک
۰/۷۵۸	$X_{\text{سرند}} = ۰/۷ \times X_{\text{عکسبرداری}} + ۰/۴۰۶$	۵
۰/۸۵۲	$X_{\text{سرند}} = ۰/۷۷ \times X_{\text{عکسبرداری}} + ۰/۲۸۳$	۲۰
۰/۹۰۶	$X_{\text{سرند}} = ۰/۸۲ \times X_{\text{عکسبرداری}} - ۰/۱۱۷$	۴۰
۰/۹۲۶	$X_{\text{سرند}} = ۰/۸۴ \times X_{\text{عکسبرداری}} - ۰/۶۷۳$	۶۳/۲۱
۰/۹۱۹	$X_{\text{سرند}} = ۰/۸۵ \times X_{\text{عکسبرداری}} - ۰/۹۵۶$	۷۵
۰/۸۳۶	$X_{\text{سرند}} = ۰/۸۲ \times X_{\text{عکسبرداری}} - ۱/۲۱$	۹۰

$$X_{63/21 \text{ سرند}} = 0/84 \times X_{63/21 \text{ عکسبرداری}} - 0/673 \quad (۳. a)$$

$$X_{75 \text{ سرند}} = 0/85 \times X_{75 \text{ عکسبرداری}} - 0/956 \quad (۳. b)$$

اگر $K = ۶۳/۲۱$ باشد، در اینصورت برای حالت سرند کردن با توجه به رابطه (۲) می توان نشان داد که:

$$X_{63/21} = X_C \quad (۴)$$

که در آن بعد $X_{63/21}$ دهانه سرند مربوط به $63/21$ امین صدک می باشد. با داشتن X_C و بعد سرند مربوط به ۷۵ شکل (۹) - منحنی های رگرسیون خطی برای صدک ها در روش عکسبرداری سرند کردن. امین صدک، می توان مقدار n را نیز از رابطه (۲) تعیین نمود.

$$x_{75} = \text{EXP} \left[\frac{1}{n} \left(\ln \left(\ln \left(\frac{1}{1-(/100)} \right) \right) \right) + \ln x_C \right]$$

$$x_{75} = \text{EXP} \left[\frac{0.327}{n} + \ln x_C \right]$$

$$\ln x_{75} = \frac{0.327}{n} + \ln x_C$$

$$n = \frac{0.327}{\ln (x_{75} / x_C)}$$

تشکر و قدردانی

لازم می داند از مسئولین و پرسنل محترم معدن باما که امکان انجام این تحقیق را فراهم آوردند صمیمانه تشکر نماید.

- [1] Kuznetsov V.M., 1973, The Mean Diameters of the Fragments Formed by Blasting Rock. Soviet Mining Science, 2: 39-43.
- [2] Cunningham C.V.B., 1983, The Kuz-Rum Model for Prediction of Fragmentation from Blasting. First Int. Sym. Rock Fragmentation by Blasting, pp. 438-453, Lulea, Sweden.
- [3] Otterness R.E., Stagg M.S., Rholl S.A. and Smith N.S., 1990, Correlation of Shot Design Parameters to Fragmentation. Third Int. Sym. Rock Fragmentation

روش عکسبرداری و سرند کردن در جدول (۵) آمده است. این دهانه ها از روی توزیع های خردشدگی حاصل از روش سرند کردن و رابطه (۲) بدست آمده اند.

برای ارتباط دادن اطلاعات بدست آمده از هر یک از صدک ها از رگرسیون خطی ساده استفاده شده است که نتایج آن در جدول (۶) آمده است. در شکل (۹) صدک های حالت سرند کردن بر حسب صدک های حالت عکسبرداری و برای تمام نمونه ها رسم شده است. فواصل اطمینان ۹۰ درصد نیز به صورت یک جفت نوار ناپیوسته در شکل رسم شده اند.

نتیجه گیری

با توجه به مطالب فوق می توان نتیجه گرفت که:

الف - ضریب همبستگی پردازش های خطی بین صدک های سرند کردن و عکسبرداری با حرکت از صدک پنجم با صدک $۶۳/۲۱$ که همان بعد ویژه است،

افزایش یافته و پس از آن کاهش می یابد. مطابق جدول (۶) ضریب همبستگی ۷۵ امین صدک نیز از مقدار مناسبی برخوردار است. بدین ترتیب ملاحظه می شود که روش عکسبرداری تنها تخمین نسبتاً مناسبی را برای ابعاد حول و حوش بعد ویژه و کمی بالاتر از آن بدست می دهد که این امر ناشی از عدم تفکیک نمایی مناسب برای ذرات ریز و همپوشانی قطعات درشت می باشد.

ب - برای تبدیل هر یک از صدک های روش عکسبرداری به صدک متناظر آن در روش سرند کردن نمی توان تنها از یک رابطه استفاده نمود، چرا که شیب و عرض از مبدأ معادلات مرتبط کننده صدک ها به مقدار صدک بستگی دارد.

حال با توجه به ضریب همبستگی زیاد در صدک های $۶۳/۲۱$ ام و ۷۵ می توان از روابط مربوط به آنها برای تبدیل اطلاعات بدست آمده از عکسبرداری به توزیع واقعی قطعات در توده حاصل از انفجار استفاده نمود. با توجه به جدول (۶) برای صدک های مذکور داریم:

مراجع

- by Blasting, pp. 311-318, Brisbane, Australia.
- [4] Aimone C.T. and Dawding C.H., 1983, Fragmentation Measurement Results for Fourteen Full Scale Blasts: a Comparison with a Three Dimensional Wave Code. Proceeding of the Ninth Conference on Explosives and Blasting Technique, pp. 310-333.
- [5] Mutmansky J. M., 1971, A Distribution Fitting Method for General Use. In Decision Making in the Mineral Industry, C.I.M. Special Volum No. 12.