

بِسْمِ اللّٰهِ الرَّحْمٰنِ الرَّحِيْمِ



دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک

گروه استخراج معدن

پایان نامه ارشد جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد

تحلیل منحنی‌های دانه‌بندی تووده‌سنگ خردشده توسط نرم‌افزارهای

آنالیز تصویری و مقایسه آن با شرایط واقعی

ارائه‌دهنده:

اسعد محمودنژاد

استاد راهنما :

دکتر فرهنگ سرشکی

دکتر محمد عطایی

استاد مشاور:

مهندس سید هادی حسینی

تیر ۱۳۸۹

تقدیم به

آن که حقیقت دینم شد و راه پیمودنم، فرشته فداکاری و دوست داشتن؛ **مادرم**

و دستان گرم پدر؛ تندیس استقامت و تکیه گاه برخاستنم.

و حضور سبز برادران و خواهران عزیزم...

تشکر و قدردانی

یگانه پروردگار هستی را سپاس می‌گویم که مرا توفيق عطا فرمود تا این پایان‌نامه را تقدیم

نمایم.

لازم می‌دانم بدین وسیله از همیاری و همکاری استادید محترم و عزیزانی که انجام و تحقق این پژوهش بدون یاری آنها غیر ممکن می‌نمود، کمال تشکر و قدردانی را ابراز دارم؛ بزرگوارانی همچون استادید محترم دکتر فرهنگ سرشکی و دکتر محمد عطایی (استادید راهنمای) که راهنمایی‌های ارزنده آنها در تدوین این پژوهش مساعدتی بسیار بزرگ بود، آقای مهندس سید هادی حسینی (مشاور محترم) که پیشبرد این پژوهه مدیون همکاری این عزیز بود، آقایان دکتر رضا کاکایی و دکتر محمد کارآموزیان (داوران محترم) که به حق، قضاؤت درست و صادقانه‌ای بر صحبت این اثر داشتند، آقای دکتر محمد کنشلو که بی‌دریغ مرا در انجام این پژوهه یاری نمودند، دوستان عزیزم آقایان رضا افروغ، محمد قدیری، حمید روشنی، بهزاد سعیدی و.....

با تشکر و سپاس فراوان

چکیده

خردشده‌گی مطلوب و مناسب، فاکتوری مهم در موفقیت یک عملیات انفجاری بوده و می‌تواند هزینه کلی تولید یک معدن را به حداقل ممکن تنزل دهد. امروزه آنالیز تصویری به دلیل صرف زمان و هزینه عملیاتی کم، مرسوم‌ترین روش برای ارزیابی خردایش و تعیین الگوهای آتشباری بهینه می‌باشد. کارهای متعددی در نقاط مختلف به منظور تعیین دانه‌بندی توده‌سنگ خردشده با استفاده از نرم‌افزارهای آنالیز تصویری، انجام شده است، اما به دلیل هزینه‌های سنگین و غیر عملیاتی بودن فرایند آنالیز سرندي، در اکثر موارد نتایج حاصله از این نرم‌افزارها بدون بررسی و اعتبارسنجی، مورد استفاده قرار گرفته است. در بحث آنالیز تصویری، به منظور بررسی میزان خردایش، فاکتورهای مختلفی تأثیرگذار می‌باشند، از آن جمله می‌توان به زاویه عکس‌برداری، تعداد عکس‌های مورد نیاز، شکل توده، دانه‌بندی و نحوه توزیع ذرات خرد شده، نرم‌افزار مورد استفاده و ... اشاره کرد. هدف از این تحقیق، تأثیر فاکتورهای ذکر شده در نتایج آنالیز تصویری دو نرم‌افزار Goldsize و Split و همچنین ارزیابی نتایج دو نرم‌افزار و مقایسه آنها می‌باشد.

در این تحقیق یک نمونه توده‌سنگ خرد شده، به آزمایشگاه حمل شده، ابتدا توده آنالیز سرندي شده است و منحنی دانه‌بندی مربوط به آن رسم شده است. در ادامه، توده‌سنگ در سه حالت گسترده، پله‌ای و کپه‌ای عکس‌برداری شده است. سپس در حالت پله‌ای تأثیر تغییر زاویه در نتایج آنالیز تصویری، با تغییر زاویه عکس‌برداری در زوایای مختلف، مورد بررسی قرار گرفته است. عکس‌های گرفته شده، به وسیله نرم‌افزارهای Goldsize و Split آنالیز شده است. از آزمایشات انجام شده و تحلیل منحنی‌های دانه‌بندی، مشاهده شد که، شکل گسترده توده‌سنگ، مطلوب‌ترین منحنی دانه‌بندی را ارائه می‌دهد و شکل پله‌ای نسبت به شکل کپه‌ای توده‌سنگ، نتایج بهتر و نزدیک‌تری به واقعیت را ارائه می‌دهد. تغییر زاویه عکس‌برداری از توده‌سنگ، تأثیر چندانی بر روی نتایج دانه‌بندی آنالیز تصویری ندارد. در مقایسه نرم‌افزارها بررسی‌ها نشان داد که، نرم‌افزار Goldsize دانه‌بندی را

درشتتر از حالت واقعی (آنالیز سرندي) نشان مى دهد و نرمافزار Split دانه‌بندی را ریزتر از آنالیز سرندي نشان مى دهد و در آنالیز مواد دانه‌ریز، میزان خطای این نرمافزار بسیار بیشتر از سایر بخش‌های دانه‌بندی است، به طوری که نتایج آن در بخش دانه‌ریز، قابل قبول نمی‌باشد. میزان خطای نرمافزار Goldsize کمتر بوده و دقیق‌تر از نرمافزار Split می‌باشد.

واژگان کلیدی: منحنی دانه‌بندی، آنالیز سرندي، آنالیز تصویری، نرمافزار Goldsize، نرمافزار Split.

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
۱-۱- مقدمه	۲
۱-۲- ضرورت و هدف از انجام تحقیق	۳
۱-۳- سوابق و کارهای انجام شده	۴
۱-۴- روش انجام تحقیق	۷
۱-۵- ساختار پایان نامه	۷

فصل اول: مقدمه و کلیات

۲-۱- مقدمه	۹
۲-۲- تعاریف	۱۰
۲-۲-۱- دانه بندی	۱۰
۲-۲-۲- تعریف اندازه ذره	۱۱
۲-۳- روش های دانه بندی سنگ پس از انفجار	۱۲
۲-۳-۱- آنالیز های مشاهده ای کیفی	۱۲
۲-۳-۲- روش عکاسی	۱۴
۲-۳-۳- روش فتوگرامتری	۱۶
۲-۴-۳- تصویربرداری با سرعت بالا	۱۶
۲-۵-۳- بررسی قابلیت تولید تجهیزات بارگیری	۱۷
۲-۶-۳- شمارش قطعات درشت و انفجار ثانویه	۱۷
۲-۷-۳- بررسی عملیات سنگ شکن	۱۸
۲-۸-۳- روش سرنده کردن	۱۸
۲-۹-۳- آنالیز تصویری دیجیتال	۱۹
۴-۲- مراحل توسعه آنالیز تصویری	۱۹
۵-۲- دیجیتايز نمودن تصاویر	۲۱

صفحه	عنوان
۲۴	۱-۶-۲ - نمونه‌گیری
۲۵	۲-۶-۲ - استراتژی نمونه‌گیری
۲۶	۳-۶-۲ - گرفتن تصاویر
۲۷	۱-۳-۶-۲ - کیفیت عکس
۳۰	۲-۳-۶-۲ - مقیاس تصاویر
۳۲	۲-۴-۶ - فرآیند آنالیز تصویری
۳۳	۵-۶-۲ - خطای پرسپکتیو
۳۴	۶-۶-۲ - خطای تفکیک و خطای ترکیب در تصاویر
۳۶	۷-۲ - روش‌های محاسبه حجم بلوک در روش آنالیز تصویری
۳۶	۱-۷-۲ - روش قطر
۳۷	۲-۷-۲ - روش اندیس شکل
۳۹	۳-۷-۲ - آنالیز تصویری بر اساس شکل ذره‌ها
۳۹	۸-۸-۲ - معرفی برنامه‌های محاسبه حجم بلوک
۳۹	۱-۸-۲ - معرفی برنامه SCANROCK
۴۰	۲-۸-۲ - معرفی برنامه DIAMETER
۴۰	۹-۲ - مقایسه روش‌های آنالیز تصویری و آنالیز سرندي
۴۱	۱۰-۲ - تفاوت‌های روش آنالیز تصویری و آنالیز سرندي
۴۳	۱۱-۲ - مزایای روش آنالیز تصویری نسبت به آنالیز سرندي
۴۴	۱۲-۲ - معایب روش آنالیز تصویری

فصل سوم: معرفی نرم‌افزارهای آنالیز تصویری

۴۶	۱-۳ - مقدمه
۴۷	۲-۳ - نرم‌افزار Goldsize
۴۸	۱-۲-۳ - روش کار نرم افزار GoldSize
۵۲	۲-۲-۳ - مزایای نرم‌افزار GoldSize
۵۳	۳-۲-۳ - معایب نرم‌افزار GoldSize
۵۳	۳-۳ - نرم افزار® Split-Desktop
۵۴	۱-۳-۳ - مراحل کار با Split Desktop

صفحه	عنوان
۵۴	۱-۱-۳-۳- گرفتن عکس و مقیاس‌بندی
۵۵	۲-۱-۳-۳- مرزبندی خردمند سنگ‌ها
۵۸	۳-۱-۳-۳- تصحیح و ویرایش عکس‌های باینری
۵۹	۴-۱-۳-۳- محاسبه و برآورده توزیع دانه‌بندی
۵۹	۵-۱-۳-۳- ارایه نتایج توزیع دانه‌بندی
۶۰	۲-۳-۳- دقت نرم‌افزار Split
۶۱	۴-۳-۳- مزایای نرم‌افزار Split
۶۱	۵-۳-۳- معایب نرم‌افزار Split
فصل چهارم: تحلیل منحنی‌های دانه‌بندی نرم‌افزارهای Goldsize و Split	
۶۳	۱-۴- مقدمه
۶۴	۲-۴- مراحل انجام آنالیز سرندي در آزمایشگاه
۶۴	۱-۲-۴- تهییه نمونه
۶۴	۲-۲-۴- اندازه‌گیری واقعی قطعات سنگ نمونه
۶۵	۱-۲-۲-۴- آنالیز سرندي
۶۵	۲-۲-۲-۴- تعیین قطر معادل
۶۶	۳-۲-۴- ارائه نتایج آنالیز سرندي
۶۹	۴-۳-۴- آنالیز تصویری به وسیله دو نرم‌افزار Goldsize و Split
۶۹	۱-۳-۴- حالت گستردگ
۷۱	۱-۱-۳-۴- نتایج نرم‌افزار Goldsize، در حالت گستردگ
۷۳	۲-۱-۳-۴- نتایج نرم‌افزار Split در حالت گستردگ
۷۵	۳-۱-۳-۴- مقایسه نتایج نرم‌افزارهای Goldsize و Split در حالت گستردگ
۷۶	۴-۱-۳-۴- نتایج کلی آنالیز تصویری در حالت گستردگ تودهسنگ
۷۹	۲-۳-۴- حالت کپهای
۸۰	۱-۲-۳-۴- نتایج آنالیز نرم‌افزار Goldsize در حالت کپهای
۸۳	۲-۲-۳-۴- نتایج آنالیز نرم‌افزار Split در حالت کپهای
۸۶	۴-۳-۳- تاثیر تغییر زاویه عکس‌برداری در نتایج آنالیز تصویری در حالت پلهای

صفحه	عنوان
۹۰	۴-۳-۴- تعیین دانه‌بندی پله آتشباری شده
۹۶	۴-۴- مقایسه و تحلیل منحنی‌های دانه‌بندی
۹۶	۱-۴- ۱- تاثیر تغییر شکل توده در نتایج دانه‌بندی حاصل از آنالیز تصویری نرم‌افزار Goldsize
۹۹	۲-۴- ۲- تاثیر تغییر شکل توده در نتایج دانه‌بندی حاصل از آنالیز تصویری نرم‌افزار Split
۱۰۱	۳-۴- ۳- مقایسه منحنی‌های دانه‌بندی نرم‌افزارهای Goldsize و Split

فصل پنجم: نتایج و پیشنهادات

۱۰۴	۱-۵- نتایج
۱۰۵	۲-۵- پیشنهادات
۱۰۶	منابع

فهرست شکل‌ها

صفحه

۱۱	شکل ۱-۲ قطر های بزرگ و کوچک
۱۵	شکل ۲-۲ روش شبکه‌ای ارزیابی خردایش در آزمایشگاه
۲۱	شکل ۳-۲ دیجیتایز کردن یک تصویر
۲۲	شکل ۴-۲ یک تصویر فیزیکی و تصویر دیجیتال آن
۲۴	شکل ۵-۲ شمایی از مراحل آنالیز تصویری
۲۹	شکل ۶-۲ الف- نمونه بدون گرد و غیار؛ ب- نمونه حاوی گرد و غبار
۳۵	شکل ۷-۲ خطای تفکیک
۳۵	شکل ۸-۲ خطای ترکیب
۳۸	شکل ۹-۲ محاسبه اندیس شکل
۳۸	شکل ۱۰-۲ تغییرات اندیس شکل بر حسب مدل‌های مختلف
۴۱	شکل ۱۱-۲ موقعیت (جهت) ذرات در آنالیز تصویر و سرندي
۴۲	شکل ۱۲-۲ ذره‌ای با شکل مثلث یا مستطیل
۴۸	شکل ۱-۳ عکس آماده شده برای آنالیز تصویری
۴۹	شکل ۲-۳ مقیاس‌بندی در نرم‌افزار GoldSize
۵۰	شکل ۳-۳ مرزیابی دستی در نرم‌افزار GoldSize
۵۰	شکل ۴-۳ تصویر دیجیتایز شده توسط نرم‌افزار GoldSize
۵۱	شکل ۵-۳ منحنی دانه‌بندی خروجی نرم‌افزار GoldSize
۵۲	شکل ۶-۳ جدول توزیع ابعادی خروجی نرم‌افزار GoldSize
۵۴	شکل ۷-۳ کاربرد آنالیز تصویری در خط تولید به کمک نرم‌افزار Split
۵۵	شکل ۸-۳ مقیاس‌گذاری صحیح
۵۷	شکل ۹-۳ مرزبندی اتوماتیک نرم افزار split
۵۹	شکل ۱۰-۳ قابلیت ویرایش دستی مرزبندی نرم‌افزار split
۶۰	شکل ۱۱-۳ نمودار توزیع دانه‌بندی ارایه شده از نرم‌افزار split
۶۸	شکل ۱-۴ درصد تجمعی عددی مواد عبور کرده از سرند با دهانه مشخص
۶۸	شکل ۲-۴ نمودار دانه‌بندی آنالیز سرندي
۷۱	شکل ۳-۴ عکس‌برداری حالت گسترشده توده‌سنگ

- ۷۲ شکل ۴-۴ دانه‌بندی در حالت گسترده خروجی نرم‌افزار Goldsize
- ۷۴ شکل ۵-۴ دانه‌بندی در حالت گسترده خروجی نرم‌افزار Split
- ۷۵ شکل ۶-۴ درصد اختلاف ابعاد Goldsize و Split در حالت گسترده
- ۷۷ شکل ۷-۴ توزیع ابعادی (عددی) در حالت گسترده خروجی نرم‌افزار Goldsize
- ۷۸ شکل ۸-۴ دانه‌بندی در حالت گسترده توسط نرم‌افزار Goldsize
- ۷۹ شکل ۹-۴ طرح عکس‌برداری در حالت کپه‌ای
- ۸۰ شکل ۱۰-۴ عکس‌های گرفته شده در حالت کپه‌ای
- ۸۲ شکل ۱۱-۴ نتایج دانه‌بندی در حالت کپه‌ای توسط نرم‌افزار Goldsize و مقایسه با آنالیز سرندي
- ۸۳ شکل ۱۲-۴ دانه بندی تودهسنگ در حالت کپه‌ای طبق نتایج آنالیز نرم‌افزار Goldsize
- ۸۴ شکل ۱۳-۴ نتایج دانه‌بندی در حالت کپه‌ای توسط نرم‌افزار Split و مقایسه با آنالیز سرندي
- ۸۵ شکل ۱۴-۴ دانه بندی تودهسنگ در حالت کپه‌ای طبق نتایج آنالیز نرم‌افزار Split
- ۸۶ شکل ۱۵-۴ طرح نحوه عکس‌برداری برای تعیین تاثیر تغییر زاویه در نتایج آنالیز تصویری
- ۸۷ شکل ۱۶-۴ عکس‌های گرفته شده برای تعیین تاثیر تغییر زاویه در نتایج آنالیز تصویری
- ۸۸ شکل ۱۷-۴ تاثیر تغییر زاویه در نمودار دانه‌بندی حالت پله‌ای Goldsize
- ۹۰ شکل ۱۸-۴ طرح نحوه عکس‌برداری از تودهسنگ انفجاری
- ۹۱ شکل ۱۹-۴ عکس‌های گرفته شده (تودهسنگ انفجاری) الف- کل تودهسنگ، ب- $\frac{2}{3}$ تودهسنگ، ج- $\frac{1}{3}$ تودهسنگ
- ۹۲ شکل ۲۰-۴ منحنی‌های دانه‌بندی پله به دست آمده از نرم‌افزار Goldsize
- ۹۳ شکل ۲۱-۴ منحنی دانه‌بندی تودهسنگ در حالت پله‌ای به دست آمده از نرم‌افزار Goldsize
- ۹۴ شکل ۲۲-۴ منحنی‌های دانه‌بندی پله به دست آمده از نرم‌افزار Split
- ۹۵ شکل ۲۳-۴ منحنی دانه‌بندی تودهسنگ در حالت پله‌ای به دست آمده از نرم‌افزار Split
- ۹۷ شکل ۲۴-۴ مقایسه منحنی‌های دانه‌بندی نرم‌افزار Goldsize با آنالیز سرندي
- ۹۸ شکل ۲۵-۴ درصد اختلاف در بعد حالت‌های مختلف توده سنگ
- ۱۰۰ شکل ۲۶-۴ مقایسه منحنی‌های دانه‌بندی نرم‌افزار Split با آنالیز سرندي
- ۱۰۰ شکل ۲۷-۴ درصد اختلاف در بعد حالت‌های کپه‌ای و پله‌ای تودهسنگ
- ۱۰۱ شکل ۲۸-۴ مقایسه منحنی‌های دانه‌بندی Goldsize و Split با آنالیز سرندي
- ۱۰۲ شکل ۲۹-۴ درصد اختلاف در بعد منحنی‌های Split و Goldsize

فهرست جداول

صفحه

۵	جدول ۱-۱ تحقیقات انجام شده در زمینه آنالیز تصویری
۶۷	جدول ۱-۴ توزیع ابعادی عددی آنالیز سرندی
۶۷	جدول ۲-۴ جدول دانه‌بندی آنالیز سرندی
۷۲	جدول ۳-۴ نتایج دانه‌بندی در حالت گستردۀ توسط نرم‌افزار Goldsize
۷۲	جدول ۴-۴ نتایج دانه‌بندی در حالت گستردۀ توسط نرم‌افزار Split
۷۵	جدول ۵-۴ درصد اختلاف ابعاد Goldsize و Split در حالت گستردۀ
۷۷	جدول ۶-۴ توزیع ابعادی (عددی) در حالت گستردۀ توسط نرم‌افزار Goldsize
۷۸	جدول ۷-۴ دانه‌بندی در حالت گستردۀ توسط نرم‌افزار Goldsize
۸۱	جدول ۸-۴ نتایج دانه‌بندی در حالت کپه‌ای توسط نرم‌افزار Goldsize
۸۲	جدول ۹-۴ دانه بندی توده‌سنگ در حالت کپه‌ای طبق نتایج آنالیز نرم‌افزار Goldsize
۸۴	جدول ۱۰-۴ نتایج دانه‌بندی در حالت کپه‌ای توسط نرم‌افزار Split
۸۵	جدول ۱۱-۴ دانه بندی توده‌سنگ در حالت کپه‌ای طبق نتایج آنالیز نرم‌افزار Split
۸۸	جدول ۱۲-۴ تاثیر تغییر زاویه در نمودار دانه‌بندی حالت پله‌ای Goldsize
۸۹	جدول ۱۳-۴ ضریب همبستگی بین منحنی‌های دانه‌بندی
۹۲	جدول ۱۴-۴ نتایج آنالیز عکس‌های توده‌سنگ بوسیله نرم‌افزار Goldsize
۹۳	جدول ۱۵-۴ توزیع دانه‌بندی توده‌سنگ در حالت پله‌ای بدست آمده از نرم‌افزار Goldsize
۹۴	جدول ۱۶-۴ نتایج آنالیز عکس‌های توده‌سنگ بوسیله نرم‌افزار Split
۹۵	جدول ۱۷-۴ توزیع دانه‌بندی توده‌سنگ در حالت پله‌ای بدست آمده از نرم‌افزار Split

فصل اول

مقدمة و كليات

۱-۱- مقدمه

دانش بر توزیع ابعادی سنگ معدن در مراحل مختلف معدن‌کاری و کانه‌آرایی، از جمله اطلاعات پایه‌ای است که در ارزیابی طراحی سنگ‌شکن و نوارنقاله، عملیات انفجار و کارآیی انواع مواد منفجره و طرح‌های انفجاری، میزان بازیابی کانه به روش لیچینگ، قابلیت بارگیری و حمل توسط تجهیزات معدنی، پایداری شیب، دمپ باطله، دیواره پیت و توده لیچینگ و بهینه‌سازی مدار خردایش، مورد استفاده قرار می‌گیرد.

برای انجام یک انفجار مناسب، به گونه‌ای که خردایش مطلوبی ارائه دهد، عوامل متعددی از جمله خصوصیات سنگ، پارامترهای مربوط به ماده منفجره و مشخصات هندسی الگوی انفجار دخیل بوده و لازم است به دقت بررسی و در صورت امکان، به بهترین وجه ممکن انتخاب شوند. هزینه‌های حفاری و انفجار، با توجه به اطلاعات جمع آوری شده از تعدادی از معدن روباز، حدود ۳۰ درصد از کل هزینه مستقیم تولید را تشکیل می‌دهد، که با افزایش قطعات بزرگ و نیاز به آتشباری ثانویه تا ۵۰ درصد نیز افزایش می‌یابد. خردشدنگی نامطلوب سنگ توسط انفجار سبب بالا رفتن هزینه‌های حفاری و انفجار می‌شود. بنابراین عامل اساسی برای موفقیت انفجار در یک جبهه کار، خردشدنگی خوب می‌باشد، که در به حداقل رساندن هزینه‌های معدنکاری، نقش بنیادین دارد (دهقان بنادکی، ۱۳۸۰).

با توجه به مطالب بیان شده، تعیین دانه‌بندی سنگ حاصل از انفجار، برای بهینه‌سازی توزیع ابعادی سنگ، ضروری به نظر می‌رسد. از آنجا که روش‌های متعددی برای تعیین خردشده‌گی وجود دارد، لازم است تا روش بهینه از بین روش‌های موجود انتخاب شود. برای انتخاب روش بهینه از بین روش‌های موجود، لازم است این روش‌ها به دقت مورد بررسی قرار گیرند، و سپس مزایای آنها نسبت به یکدیگر مقایسه شوند.

روش‌های تعیین توزیع ابعادی قطعات، بر طبق ارتباط بین اندازه‌گیری و آزمایش، به دو گروه روش‌های مستقیم و غیرمستقیم تقسیم می‌شوند. آنالیز سرندي قطعات خرد شده، تنها روش مستقیم بوده و در میان سایر روش‌ها دقیق‌ترین و قابل اعتمادترین روش می‌باشد. در این روش باید هزینه و زمان بسیار زیادی صرف کرد تا منحنی توزیع دانه‌بندی را به دست آورد. این روش به طور جزئی و در بعضی از انفجارهای آزمایشی با حجم کم قابل کاربرد است. آنالیز تصاویر دیجیتالی توده‌سنگ خردشده، یکی از مهم‌ترین روش‌های غیرمستقیم تعیین توزیع دانه‌بندی است که به دلیل صرف هزینه و زمان کم، در زمینه ارزیابی خردایش، بسیار مورد توجه واقع شده است. در این تحقیق به طور مفصل به معرفی روش آنالیز تصویری پرداخته شده و میزان اعتبار آن با ارزیابی نتایج دو نرم‌افزار Split و Goldsize، بیان شده است.

۱-۲- ضرورت و هدف از انجام تحقیق

کارهای متعددی در نقاط مختلف به منظور تعیین دانه‌بندی توده‌سنگ خردشده با استفاده از نرم‌افزارهای آنالیز تصویری، انجام شده است، اما به دلیل هزینه‌های سنگین و غیر عملیاتی بودن فرایند آنالیز سرندي، در اکثر موارد نتایج حاصله از این نرم‌افزارها بدون بررسی و اعتبارسنگی، مورد استفاده قرار گرفته است.

در واقع در بحث آنالیز تصویری، به منظور بررسی میزان خردایش، فاکتورهای مختلفی تأثیرگذار می‌باشند، از آن جمله می‌توان به زاویه عکسبرداری، تعداد عکس‌های مورد نیاز، شکل توده، دانه‌بندی و نحوه توزیع ذرات خرد شده، نرمافزار مورد استفاده و ... اشاره کرد. تاکنون کار جامعی که بتواند تأثیر این پارامترها را در بحث آنالیز تصویری به طور واضح و مشخص بیان کند، انجام نگرفته است.

هدف این تحقیق آن است که یک سری توده‌سنگ خرد شده، به آزمایشگاه حمل شده، ابتدا توده آنالیز سرندي شود، سپس عملیات عکسبرداری از آنها با تغییر پارامترهای موثر ذکر شده، به عنوان مثال؛ تغییر زاویه عکسبرداری، تغییر شکل توده‌سنگ به طور منظم و هدفدار، انجام گیرد. در نهایت عکس‌های حاصله با دو نرمافزار Goldsize و Split آنالیز می‌شوند. نتایج حاصله از این نرمافزارها در ابتدا با هم مقایسه شده و در نهایت توسط نتایج واقعی حاصل از آنالیز سرندي اعتبارسنجی می‌شوند و اثرات هر کدام از پارامترهای مؤثر مشخص می‌شود، تا به عنوان ضرایب اصلاحی در کارهای آتی استفاده شود.

تاکنون در کشورمان مطالعات صحرایی بر روی این موضوع انجام شده، ولی هیچ‌گاه مطالعه دقیق و بررسی آزمایشگاهی بر روی این موضوع انجام نشده است. لذا با توجه به ضرورت تعیین منابع خطأ و نیز شدت و میزان خطاهای ایجاد شده در آنالیز تصویری، انجام چنین تحقیق آزمایشگاهی و دقیقی را ضروری می‌نماید.

۱-۳-۱- سوابق و کارهای انجام شده

با پیشرفت روش‌های کامپیوتری و دیجیتالی در کارهای صنعتی و معدنی، آنالیز تصویری نیز توانسته به عنوان یک روش قابل اعتماد، در تعیین توزیع دانه‌بندی توده انفجاری، برای ارائه الگوهای آتشباری بهینه و رسیدن به خردایش مناسب، مورد توجه واقع شود. امروزه، به دلیل ساده بودن کاربرد

آنالیز تصویری و همچنین صرف زمان کمتر مورد نیاز برای آنالیز، این روش توانسته جایگزین مناسبی برای روش‌های تجربی و آنالیز سرندی باشد. کاربرد زیاد این روش، سبب شده تا تحقیقات زیادی نیز در مورد آن، در نقاط مختلف انجام شود.

تحقیقات انجام شده توانسته‌اند، نکات مهم و پارامترهای مؤثر در انجام آنالیز تصویری را تعیین کنند، که در این تحقیق مورد بحث قرار گرفته‌اند. به دلیل این که اولاً این تحقیقات در شرایط متفاوت و برای اهداف متفاوت انجام شده‌اند و ثانیاً پارامترهای زیادی در انجام آنالیز تصویری مؤثرند، هنوز نتوانسته‌اند میزان خطای نتایج این روش را با واقعیت، به صورت کمی بیان کنند.

بیشتر تحقیقات انجام شده در مورد آنالیز تصویری، مربوط به یک دهه قبل می‌باشند که در جدول ۱-۱ می‌توان شرحی از این تحقیقات را مشاهده کرد. در سال‌های اخیر از نتایج به دست آمده از این تحقیقات، برای کاربرد بهتر آنالیز تصویری در ارزیابی خردایش توده‌سنگ، استفاده شده است.

جدول ۱-۱ تحقیقات انجام شده در زمینه آنالیز تصویری

ردیف	موضوع	ارائه دهنده و سال ارائه
۱	بررسی سنگ‌های بسیار درشت از طریق عکس‌برداری	MacLachlan & Singh, 1989
۲	بررسی خردایش سنگ با استفاده از آنالیز تصویری	Kemeny et al, 1993
۳	ارزیابی توزیع دانه‌بندی توده‌سنگ کواری به وسیله عکس‌برداری	Rhol et all, 1993
۴	تخمین میزان خردایش آتشباری	John & Takis, 1993
۵	تکنیک‌های تحلیلی ارزیابی خردایش بر اساس روش‌های کامپیوتری آنالیز تصویری	Montoro & Gonzalez, 1993
۶	ارائه یک تکنیک عملی برای تعیین توزیع دانه‌بندی پله‌های آتشباری شده، دمپ باطله.....	Kemeny, 1994
۷	روش Zoom-Merge برای ترکیب عکس‌ها در مقیاس‌های مختلف	Santamarina et al, 1995
۸	مروری بر ارزیابی روش‌های خردایش سنگ	Franklin et al, 1996
۹	استفاده از نرم‌افزار Split برای تعیین دانه‌بندی سنگ خردشده	Girdner et al, 1996
۱۰	مقایسه نرم‌افزارها - ارزیابی Fragscan و WipFrag	Liu & Tran, 1996
۱۱	ملزومات و روش‌های تصویربرداری برای انجام آنالیز تصاویر اتوماتیک خردایش سنگ	Maerz, 1996
۱۲	خطای تفکیک و ترکیب	Eden & Franklin, 1996
۱۳	اهمیت کیفیت تصویر و عکس در آنالیز خردایش بوسیله WipFrag	Palangio, 1996
۱۴	کاربردهای صنعتی آنالیز تصویری - سیستم IPACS	Dahlhielm, 1996
۱۵	تخمین خردایش بصورت آنلاین با استفاده از سیستم CIAS	Downs & Kettunen, 1996

ادامه جدول ۱-۱

ردیف	موضوع	ارائه دهنده و سال ارائه
۱۶	TUCIPS - سیستمی برای ارزیابی خردایش پس از انفجار	Havermann & Vogt, 1996
۱۷	Goldsizer توزیع دانه‌بندی به وسیله	Kleine & Cameron, 1996
۱۸	-FRAGSCAN نرم‌افزاری برای اندازه‌گیری خردایش توده‌سنگ آتشباری شده	Schleifer & Tessier, 1996
۱۹	اندازه‌گیری خردایش پس از آتشباری	Franklin & Katsabanis 1996
۲۰	نکات کاربردی در نورپردازی و عکاسی	Palangio & Franklin, 1996
۲۱	تعیین شکل و اندازه خرده سنگ با استفاده از آنالیز تصویری	Maerz, 1998
۲۲	بررسی تصاویر دیجیتالی سیستم‌ها، از طریق سنجش خردایش سنگ و ارائه رهنمودهای جدید برای اعتبارسنجی این سیستم‌ها	Rustan, 1998
۲۳	پیشرفت در تخمین میزان خردایش با استفاده از آنالیز تصویری با ارزیابی دقیق ذرات	Kemeny et al, 1999
۲۴	نرم‌افزارهای جامع ابزار و روشی برای بهینه‌سازی خردایش	Higgins et al, 1999
۲۵	پیشرفت‌های جدید در نرم‌افزارهای آنالیز تصویری برای تعیین توزیع دانه‌بندی توده‌سنگ خردشده	Kemeny et al, 1999
۲۶	سنجهش روشهای اندازه‌گیری اپتیکال	Barkley & Russell, 1999
۲۷	منابع اصلی خطای سیستم‌های ارزیابی خردایش دیجیتالی (FRAGBLAST)	Maerz & Zhou, 1999
۲۸	پیش‌بینی خردایش با استفاده از فرمول‌های مهندسی اصلاح شده	Chung & Katsabanis, 2000
۲۹	تأثیر نوع مواد منفجره روی خردایش	Esen et al, 2000
۳۰	بهینه کردن سیستم‌های اندازه‌گیری دیجیتالی خردایش ناشی از انفجار	Maerz & Zhou, 1999
۳۱	بهبود مدل‌های خردایش با استفاده از آنالیز تصویری	Kemeny, 2001
۳۲	پیشرفت روش‌های آتشباری از طریق اندازه‌گیری دقیق خردایش سنگ	Lowery et al, 2001
۳۳	کاربردهای جدید سیستم آنالیز تصویری Split-Online	La Rosa, 2001
۳۴	نرم‌افزار آنالیز تصویری جدید Split چه نرم‌افزاری است؟	BoBo, 2001
۳۵	پیش‌بینی خردایش آتشباری به وسیله آنالیز تصویری و داده‌های حفاری	Kemeny et al, 2001
۳۶	-Fragalyst یک سیستم آنالیز تصویری دیجیتال برای تعیین توزیع ابعادی سنگ در معادن	Raina et al, 2002
۳۷	ارزیابی خردایش و کنترل بهره‌وری از سیستم Split برای آنالیز تصاویر دیجیتالی	Ozdemir et al, 2003
۳۸	بررسی و اندازه‌گیری خردایش توسط وسایل عکس‌برداری اوتوماتیک پیشرفته	Maerz et al, 2005
۳۹	مقایسه اندازه‌گیری خردایش به وسیله تکنیک‌های آنالیز تصویری و عکاسی	Sudhakar et al, 2005
۴۰	ارزیابی خردایش سنگ در معادن رویا ز بوسیله شبکه عصبی (کاربرد آنالیز تصویری)	Oraee & Asi, 2006

۱-۴- روش انجام تحقیق

در این تحقیق در ابتدا نمونه جمع‌آوری شده، آنالیز سرندي شده است و منحنی دانه‌بندی مربوط به آن رسم شده است. در ادامه، توده‌سنگ در سه حالت گستردۀ، پله‌ای و کپه‌ای (برای بررسی تأثیر تغییر شکل توده در نتایج آنالیز تصویری) عکس‌برداری شده است. در حالت پله‌ای تأثیر تغییر زاویه در نتایج آنالیز تصویری، با تغییر زاویه عکس‌برداری در زوایای مختلف، مورد بررسی قرار گرفته است.

عکس‌های گرفته شده، به وسیله نرم‌افزارهای Goldsize و Split آنالیز شده و منحنی دانه‌بندی هر حالت به طور مجزا، از نتایج به دست آمده از دو نرم‌افزار، رسم شده است. در مرحله بعد منحنی دانه‌بندی این دو نرم‌افزار در حالت‌های ذکر شده، با منحنی آنالیز سرندي مقایسه شده است. در پایان منحنی‌های دانه‌بندی، مورد تحلیل قرار گرفته است.

۱-۵- ساختار پایان‌نامه

این پایان‌نامه شامل ۵ فصل به شرح زیر می‌باشد:
فصل اول (فصل حاضر)، شامل کلیات تحقیق، ضرورت و هدف از انجام تحقیق و کارهای انجام شده در ارتباط با موضوع تحقیق، می‌باشد.

در فصل دوم، روش‌های ارزیابی خردایش توده‌سنگ معرفی شده و در ادامه روش آنالیز تصویری به طور کامل تشریح و نکات مربوط به آن بیان شده است.

در فصل سوم، دو نرم‌افزار Goldsize و Split که در این تحقیق استفاده شده‌اند معرفی شده‌اند.
در فصل چهارم، نتایج حاصل از دو نرم‌افزار Goldsize و Split به شکل منحنی‌های دانه‌بندی ارائه شده است و با منحنی دانه‌بندی آنالیز سرندي مقایسه شده‌اند.

فصل پنجم، شامل نتیجه‌گیری کلی از تحقیق انجام شده و پیشنهادات ارائه شده می‌باشد.

فصل دوم

(وشهای ارزیابی فرداپیش تودهسنگ

۱-۲- مقدمه

در صنایع معدنی، ویژگی‌های خردایش از قبیل شکل و اندازه از جمله اطلاعات بسیار مهم، در بهینه‌سازی تولید می‌باشد. پس از انفجار، باید نتایج حاصل مورد ارزیابی قرار گیرد. با استفاده از این نتایج الگوی حفاری و انفجار مناسب، برای رسیدن به نتیجه مطلوب به دست می‌آید. خردشدنگی مطلوب و مناسب، فاکتوری مهم در موفقیت یک عملیات انفجاری رواباز بوده و می‌تواند هزینه کلی تولید یک معدن را به حداقل ممکن تنزل دهد. به این ترتیب اگر عملیات انفجاری با دقت صورت پذیرد، سیکل‌های بعدی عملیات معدنکاری به خوبی طراحی و اجرا می‌شود (Hustrulid, 1999). به عنوان مثال در فرآیند انفجار، سنگ حاصل باید در مراحل بعدی نیز به ابعاد کوچکتری برسد. در نتیجه، کاهش ابعاد قطعات در اثر انفجار، منجر به کاهش چشمگیر هزینه‌های سنگ‌شکنی و آسیا می‌شود. گاهی نیز سنگ خرد شده حاصل از انفجار، برای عملیات لیچینگ ارسال می‌شود، که توزیع ابعادی آن در بازیابی کانه در لیچینگ مؤثر است. در عملیات خردایش (سنگ‌شکنی / آسیا) نیز تخمین توزیع ابعادی خوراک سنگ‌شکن و آسیا، می‌تواند در بهینه‌سازی مدار تأثیر بگذارد. به علاوه درجه خردایش، عامل مهمی در پایداری شیب دمپ باطله، دیواره پیت و توده لیچینگ به شمار می‌رود. از نظر طراحی انفجار نیز مهم است که، کارآیی انواع

مواد منفجره و طرح‌های انفجاری، با ارزیابی سریع توزیع ابعادی خردایش، به سرعت تحلیل و بررسی شوند. از طرفی پیش‌بینی خردشده‌گی و تعیین ابعاد قطعات خردشده و ارزیابی عملکرد این عملیات، یک فاکتور مؤثر و بحرانی در انتخاب تجهیزات و ارزیابی آنهاست (نعمت‌اللهی، ۱۳۷۷).

بیش از ۴۰ سال از ارائه مدل‌های پیش‌بینی خردایش، از جمله مدل کاز-رام^۱ می‌گذرد. اما نوع داده‌های ورودی مدل‌های پیش‌بینی خردایش، استفاده از این مدل‌ها را در عمل مشکل می‌سازد. از طرف دیگر با توجه به این که هر کدام از مدل‌های فوق در شرایطی خاص به دست آمده‌اند، لذا با تغییر شرایط از دقت آنها کاسته می‌شود (Kemeny et al, 2001). به همین دلیل روش‌های متعددی برای تعیین دانه‌بندی بررسی و ارائه شده‌اند. در طول ده سال گذشته نیز تکنیک‌های آنالیز تصویری، برای اندازه‌گیری ابعاد قطعات در مواد توده‌ای مختلف، توسعه یافته و این روش‌ها سرعت و دقت انجام آنالیز دانه‌بندی را افزایش داده‌اند.

در این فصل ابتدا روش‌های ارزیابی خردایش، برای تعیین توزیع دانه‌بندی خرده‌سنگ‌ها معرفی شده‌اند، سپس به طور مفصل‌تر روش آنالیز تصویری که مهمترین روش ارزیابی خردایش است و هدف از این تحقیق نیز اعتبارسنجی این روش است، تشریح شده است.

۲-۲- تعاریف

۱-۲- دانه‌بندی

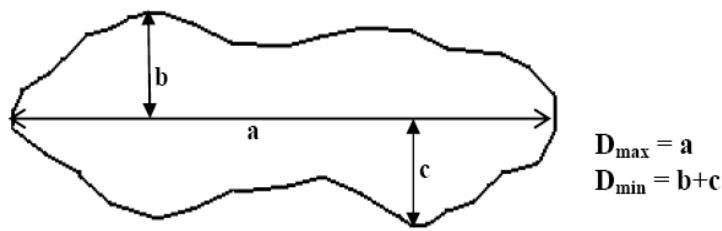
برای بررسی میزان خردایش در هر معدن، باید با نحوه دانه‌بندی یا همان خردشده‌گی سنگ‌ها پس از انفجار آشنایی پیدا کرد. مجموعه اطلاعاتی که در یک نمونه از سنگ معدنی خردشده، اندازه متوسط دانه‌ها و یا توزیع حجمی یا وزنی آن ماده در ابعاد مختلف را مشخص می‌کند، دانه‌بندی نامیده می‌شود.

^۱ - KUZ _ RAM

۲-۲-۲- تعریف اندازه ذره

تعریف اندازه ذره بسته به روش دانه‌بندی متغیر بوده و می‌تواند بسیار پیچیده باشد. برای مثال بدایر^۱ در سال ۱۹۹۶ با توجه به روش آنالیز تصویری تعریف زیر را برای اندازه ذره ارائه کرده است (Priya & Ramamoorthy, 2006) :

با رسم محیط یک ذره، یک منحنی بستهٔ محدب و منظم ایجاد می‌شود و اندازه ذره توسط دو محور اصلی و فرعی آن قابل تشخیص است. محور اصلی، فاصلهٔ بین دورترین نقاط روی محیط ذره بوده و محور فرعی مجموع فواصل ماکزیمم بین محیط ذره و محور اصلی، در دو طرف آن می‌باشد (شکل ۱-۱).



شکل ۱-۲ - قطرهای بزرگ و کوچک که می‌توان از طریق آنها حجم را حساب کرد (Mario. & Ficarazzo, 2006)

تعریف‌های متعددی از اندازه ذرات توسط آلن (1968)، استوکهام (1977) و مورفی (1984) ارائه شده است. اندازه‌های مورد استفاده به روش دانه‌بندی سنگ بستگی دارد. برای مثال در روش‌های مختلف از تعاریف قطر حجمی، قطر سطحی، قطر سقوط آزاد و قطر سطح مخصوص استفاده می‌گردد. برخی از اندازه‌های مورد استفاده عبارتند از (Kemeny et al, 2001)

- قطر فرت^۲ : قطر دایره‌ای که محیط آن برابر محیط قطعه باشد

^۱ - Bedair

^۲ -Feret's Diameter

- قطر مارتین^۱: طول خط موازی محور Xها که سطح قطعه را به دو قسمت مساوی تقسیم می‌نماید
- قطر خطی ماکزیمم: فاصله دورترین نقاط قطعه
- قطر خطی مینیمم: فاصله نزدیک‌ترین نقاط قطعه
- قطر سطح: قطر دایره‌ای که سطح آن معادل سطح قطعه باشد.

۲-۳- روشهای دانه‌بندی سنگ پس از انفجار

روش‌های تعیین توزیع و متوسط ابعاد قطعات، بر طبق ارتباط بین اندازه‌گیری و آزمایش به دو گروه روشهای مستقیم و غیر مستقیم تقسیم می‌شوند. تجزیه سرندي قطعات خردشده، تنها تکنیک روشهای مستقیم، و در میان سایر روشهای دقیق‌ترین آنها می‌باشد. به علت این که هزینه و زمان مورد نیاز برای رسیدن به یک منحنی کامل دانه‌بندی بسیار بالاست، بنابراین در کارهای معدنی روشهای شبیه‌سازی زیر مورد استفاده قرار می‌گیرند (Wills, 1997, Jimeno et al, 1995).

۲-۱- آنالیزهای مشاهده‌ای کیفی^۲

این روش یکی از ساده‌ترین و ارزان‌ترین روشهای برآورد خردشده‌گی سنگ پس از انفجار می‌باشد و در مواقعي که به علت مشکلات سخت‌افزاری و نرم‌افزاری، امکان استفاده از روشهای عکاسی، فتوگرامتری و سایر روشهای دیگر در یک معدن وجود نداشته باشد، از روش مشاهده‌ای استفاده می‌شود. در این روش

¹ - Martin's Diameter

² - Qualitative Visual analysis

شخص ارزیاب، توده پس از آتشکاری را، به صورت چشمی مورد برداشت قرار داده و برای هر محدوده از بعد قطعات یک عدد به صورت درصد بیان می‌کند. این عمل به صورت پی‌درپی در طول عملیات بارگیری و یا ظاهر شدن سطح جدید، در راستای طول جبهه کار به فاصله هر ۵ متر، انجام می‌شود و در نهایت پس از انجام عملیات بارگیری، با توجه به طولی که به هر ارزیابی اختصاص داده شده، خردشدنی کلی به دست می‌آید.

این روش نسبت به سایر روش‌ها دارای مزایای زیر است:

- ۱- با توجه به این که شخص متصرف نمای سه بعدی قطعات را می‌بیند، هم‌پوشانی قطعات که در روش عکاسی وجود دارد، حذف می‌شود.
- ۲- این روش در تمام شرایط آب و هوایی وجود گرد و غبار، قابل استفاده است.
- ۳- در این روش کل سطح به صورت یک جا ارزیابی می‌شود، در حالی که در روش‌های عکاسی فقط سطح کوچکی (حدود یک متر مربع) را باید به عنوان نمونه انتخاب کرد.

با توجه به همه موارد ذکر شده در مورد این روش، کاربرد آن چندان با ارزش و دقیق نیست، چرا که پراکندگی دقیقی از اندازه‌ها ارائه نمی‌دهد و اغلب گزارش مکتوبی بر روی نتایج وجود ندارد، در ضمن فرد ماهر و با تجربه‌ای برای انجام این کار مورد نیاز است. در مجموع این تکنیک تنها برای بررسی اولیه نتایج حاصل از انفجار در زمان کوتاهی پس از انفجار، مفید است، چرا که متخصصین می‌توانند، در مراحل و زمان‌های بعدی مطالعات کامل‌تری بر روی نتایج حاصل از انفجار داشته باشند (Jimeno et al, 1995).

۲-۳-۲- روش عکاسی^۱

این تکنیک به روش‌های متفاوت و در آنالیزهای گوناگون مورد استفاده قرار گرفته است و توسط پژوهشگرانی همچون نورن^۲ و پورتر^۳ (۱۹۷۴) و رید^۴ (۱۹۷۶) تشریح شده است. نورن و پورتر از عکس‌های گرفته شده از توده‌سنگ پس از انفجار استفاده کردند. آنها با انتخاب تصادفی ۱۵ درصد کل عکس‌های گرفته شده و با کمک یک شبکهٔ فرضی^۵، آنالیز دانه‌بندی و شمارش تعداد قطعات را انجام دادند. نتایج این روش در ۵ انفجار با شرایط مشابه، خطای حدود ۹/۶ درصد در اندازهٔ خردشده‌گی نشان می‌داد. یکی از مهم‌ترین دلایل خطا، تعمیم‌دادن نتایج حاصل از عکس‌های گرفته شده از سطح توده، به کل آن بوده است. برای رفع این خطا، رید از یک سری عکس که در مراحل مختلف بارگیری گرفته شده بود، استفاده کرد. وی خطکش‌هایی را در هنگام عکس‌برداری در میدان دید قرار داد، تا بتواند عکس‌ها را با هم مقایسه کند (شکل ۲-۲) (Jimeno et al, 1995).

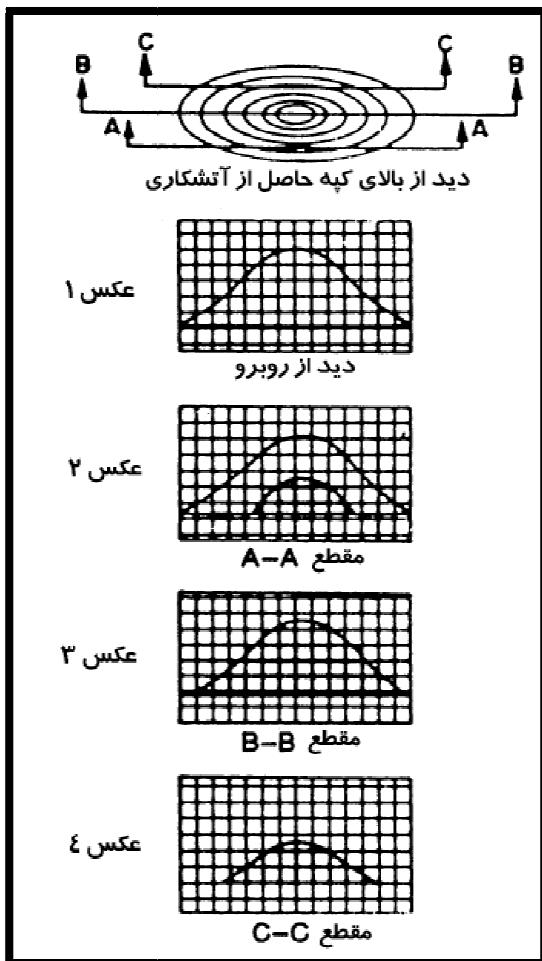
¹- Photographic method

²-Noren

³- Porter

⁴- Reid

⁵- Superimposed grid



شکل ۲-۲- روش شبکه‌ای ارزیابی خردایش در آزمایشگاه (jimeno et al,1995)

این سیستم بسیار مفید است و سندی تصویری، برای تجزیه و تحلیل و مقایسه دوره‌های متفاوت

در اختیار قرار می‌دهد. از معاویب روش می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

- اتلاف وقت به هنگام آماده‌سازی و مطالعه.

- محدودیت روش در اندازه‌گیری ذرات کوچک سنگ.

۳-۳-۲- روش فتوگرامتری

روش فتوگرامتری اجازه تصمیم‌گیری بیشتری نسبت به روش‌های متداول عکاسی می‌دهد. با توجه به این که سرمایه‌گذاری اولیه برای تجهیزات و لوازم نسبتاً بالاست، این روش تنها به عنوان مکمل در عملیات کاربردی اصلی مثل کنترل توپوگرافی مقاطع و توده‌سنگ، مطالعات زمین‌شناسی و ... به کار گرفته می‌شود.

از مزایای روش فتوگرامتری، امکان مطالعه سه‌بعدی توده‌سنگ است. همچنین با این روش می‌توان اندازه ذرات، حجم و تورم سنگ پس از انفجار را به دست آورد. به جز هزینه‌های بالا، یکی دیگر از معایب این روش نیاز به افراد متخصص، برای استفاده از وسایل و تحلیل نتایج می‌باشد (Jimeno et al, 1995).

۳-۴- تصویربرداری با سرعت بالا^۱

این روش در ارزیابی، طراحی و کنترل انفجار در حد وسیعی، توسط بلیر^۲ (۱۹۶۰)، چانگ^۳ (۱۹۷۵)، وینزر^۴ (۱۹۷۹)، چیاپتا^۵ (۱۹۸۰-۸۳) و باور^۶ (۱۹۸۲)، مورد استفاده قرار گرفته است. در این روش تصاویر تهیه شده از انفجار تحلیل و بررسی می‌شوند. عیب عمدئ این روش، وجود گرد و غبار و گازهای ناشی از انفجار می‌باشد که مانع بررسی نحوه ایجاد ترک‌ها و جابجایی توده می‌شود (Jimeno et al, 1995).

¹- High - Speed photography

²- Blair

³- Chung

⁴- Winzer

⁵- Chiapetta

⁶- Bauer

۲-۳-۵- بررسی قابلیت تولید تجهیزات بارگیری^۱

این روش بر این اصل استوار است که، نرخ کندن^۲ در هنگام بارگیری، با درشتی قطعات موجود در توده‌سنگ نسبت عکس و با تورم توده، نسبت مستقیم دارد. وجود قطعات بزرگ در توده، کاهش تورم و نامناسب بودن پای پله، باعث کاهش قابلیت تولید تجهیزات بارگیری می‌شود. چنانچه این روش به دقت انجام گیرد، می‌توان ارزیابی صحیحی از خردایش انجام داد. در این ارزیابی لازم است زمان‌های تلف شده از جمله زمان انتظار شاول برای کامیون، سرویس مکانیکی، جابه‌جایی شاول و یا تمیز نمودن پای پله نیز در نظر گرفته شود. برای کاهش خطای تخمین نیز باید از یک سری تجهیزات و اپراتورهای ثابت استفاده کرد (Jimeno et al, 1995).

۲-۳-۶- شمارش قطعات درشت و انفجار ثانویه^۳

در عملیات انفجاری، هر قطعه سنگی که نتواند توسط تجهیزات معدنی حمل شود به عنوان تخته‌سنگ، قطعات خیلی درشت^۴ تلقی می‌شود. برای تخته‌سنگ‌ها اندازه مشخصی وجود ندارد و بسته به به نوع عملیات، حد خاصی برای آنها در نظر گرفته می‌شود. قطعات خیلی درشت باید مجدداً شکسته شوند که این امر خود هزینه بالایی را تحمیل می‌کند. به این ترتیب لازم است عملیات انفجار به گونه‌ای انجام شود، که مقدار این نوع قطعات در توده به حداقل برسد. بررسی تعداد تخته‌سنگ‌ها و میزان انفجار ثانویه نیز، امکان ارزیابی خردایش را فراهم می‌آورد (Jimeno et al, 1995).

¹-Studies of loading equipment productivity

²-Digging rate

³-Boulder count and secondary breakage

⁴- Over size

۷-۳-۲- بررسی عملیات سنگ شکن

بازدهی هر سنگ‌شکن، به میزان درشتی خوراک آن بستگی دارد. زمان و انرژی مصرف شده به ازای هر تن محصول، می‌تواند به عنوان یک اندیس خردایش، در ارزیابی خردایش انفجاری به کار گرفته شود (Jimeno et al, 1995).

۸-۳-۲- روش سرنگ‌کردن

در روش سرنگ‌کردن، یک سری سرنگ آزمایشگاهی که چشممه‌های آن از بالا به پایین کوچک می‌شود، بر روی هم نصب شده و وزن مشخصی از نمونه مورد نظر بر روی سرنگ فوکانی ریخته می‌شود. سرندها با مکانیزم مناسبی حرکت می‌کنند، تا تمام ذرات بتوانند با سطح سرنگ تماس حاصل نمایند. سپس مواد مانده روی هر سرنگ که ابعادی بیش از دهانه آن سرنگ دارند، توزین می‌شود. به این ترتیب دانه‌بندی مواد به دست می‌آید و می‌توان نتایج را روی نمودارهای مختلف توزیع ابعادی نمایش داد.

روش سرنگ‌کردن از دقیق‌ترین روش‌های کمی ارزیابی خردشده‌گی است. در پروژه‌های کوچک این تکنیک می‌تواند روی نمونه‌های انتخابی استفاده شود، اما در معادن بزرگ روباز این روش به علت هزینه و وقت زیاد غیرعملی است.

برای انجام دانه‌بندی خردایش پس از انفجار به روش سرنگ‌کردن، لازم است که نمونه معرف، با حجم زیاد تهیه شود. تهیه این میزان نمونه بسیار مشکل و وقت‌گیر می‌باشد. انجام آنالیز سرنگی نیز برای این مقدار نمونه، علاوه بر اینکه نیاز به صرف وقت و هزینه زیادی دارد، تهیه نمونه معرف همراه با خطا خواهد بود. در نتیجه روش سرنگی برای تعیین توزیع ابعادی خردایش حاصل از انفجار مناسب نبوده و باید از روشی با هزینه کمتر و سرعت بیشتر استفاده کرد. این روش محدوده وسیعی از ذرات در ابعاد بین ۱۰ تا ۱۰۰۰۰ میکرون را پوشش می‌دهد (Jimeno et al, 1995). این روش برای ابعاد زیر ۱۰ سانتیمتر

دقیق‌ترین روش می‌باشد، اما برای تعیین توزیع ابعادی خردایش حاصل از انفجار، این روش نیاز به سرند نمودن چندین تن مواد خرد شده دارد، که پرهزینه و وقت‌گیر خواهد بود.

۲-۹-آنالیز تصویری دیجیتال^۱

با پیشرفت فناوری کامپیوتر دریچه‌ای به سمت آنالیز تصویری^۲ برای ارزیابی خردایش تودهسنگ باز شده است. امروزه با وجود سیستم‌های کامپیوتری جدید و پیشرفته و دوربین‌های ویدیویی، آنالیز تصویری دیجیتال، روشی سریع و عملی برای اندازه‌گیری خردایش فراهم کرده، که جایگزینی بسیار مناسب برای روش‌های کم دقیق و کند مانند تخمین مشاهده‌ای، شمارش تخته‌سنگ‌ها و سرند کردن نمونه‌ها می‌باشد. به طور کلی در حال حاضر، روش آنالیز تصویری، تنها روش عملی ممکن برای اندازه‌گیری توزیع ابعادی خردایش حاصل از انفجار است. انجام دانه‌بندی در این روش نیاز به نمونه‌برداری از حجم زیاد ندارد و تنها با گرفتن تصاویری از خردایش می‌توان با دقیق‌تر و صرف وقت و هزینه کمتر، توزیع دانه‌بندی سنگ حاصل از انفجار را به دست آورد.

هدف از این تحقیق اعتبارسنجی روش آنالیز تصویری بوده است، به همین دلیل در ادامه به طور مفصل این روش و نکات مربوط به آن مورد بحث و بررسی قرار گرفته است.

۲-۴-مراحل توسعه آنالیز تصویری

روش‌های آنالیز تصویری، برای بررسی خردایش حاصل از انفجار تا به حال مراحل زیر را گذرانده‌اند (Franklin & Katsabanis, 1996):

¹- Digital processing of images

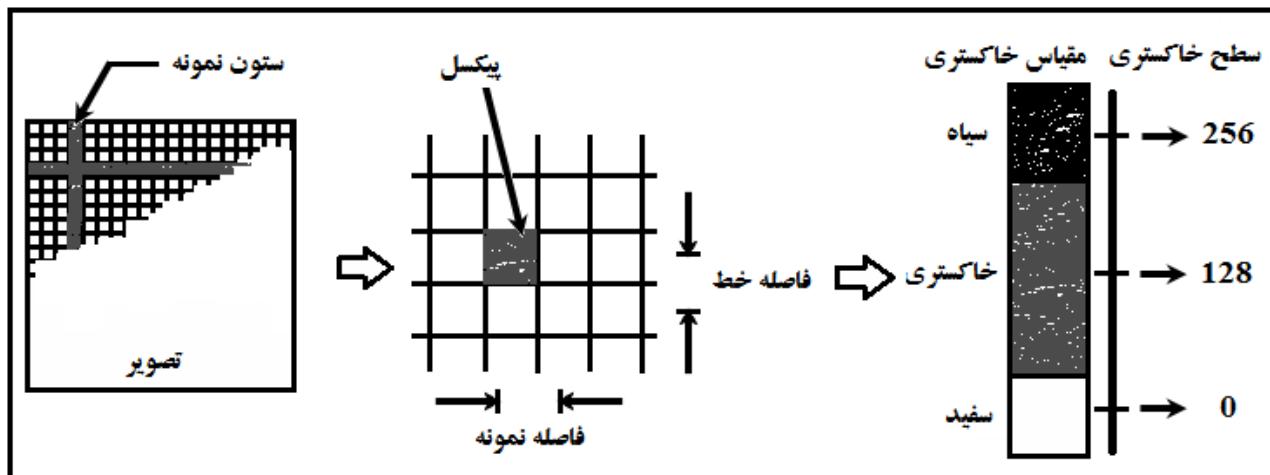
²- Image Analysis

- تخمین‌های مقایسه‌ای اولیه از روی عکس‌ها؛
- انجام آزمایش‌هایی با نرم‌افزارهای آنالیز تصویری قوی اما نه چندان مناسب، مربوط به بیولوژی و دیگر علوم. این گونه نرم‌افزارها بیشتر برای ذرات بدون همپوشانی مناسب می‌باشند و برای توده‌های انباسته کاربردی ندارند؛
- معرفی محورهای دیجیتايز y-x که محیط قطعات را به بردار تبدیل می‌نماید؛
- بسط توزیع آماری که توزیع دو بعدی توده سنگ را به توزیع وزن یا حجم تبدیل نموده و برای ذرات یک توده قابل استفاده باشد؛
- انجام دیجیتايز میکروکامپیوترا که باعث بهبود سرعت محاسبات، کاهش حافظه و هزینه کامپیوتر می‌شود؛
- تشخیص محیط قطعات بر اساس مرزیابی که اغلب با رسم دستی انجام می‌گیرد؛
- بهبود تدریجی الگوریتم‌های فرآیند تصویری؛
- توسعه روش‌های ساده‌تر و سریع‌تر ویرایش روی مانیتور به جای رسم مدادی بر تصویر؛
- تولید دوربین‌های دیجیتال و دوربین‌های ویدیویی مناسب و کم هزینه؛
- معرفی روش‌های Zoom _ merge به منظور ترکیب تصاویر با مقیاس‌های مختلف و فیلتر نمودن به منظور اصلاح وضوح^۱ و دقت؛
- بسط سیستم‌های اندازه‌گیری کاملاً اتوماتیک (بدون ملاحظه کاربر) که به سرعت اندازه مواد موجود روی نوار نقاله یا کامیون را محاسبه می‌نماید.

¹ Resolution

۲-۵- دیجیتایز کردن تصاویر

قبل از بحث در مورد روش آنالیز تصویری، تعریفی از دیجیتایز کردن^۱ تصاویر ارائه می‌شود. عکس‌ها در حالت معمول قابل تحلیل توسط کامپیوتر نمی‌باشند، از آنجا که کامپیوتر با اطلاعات عددی و نه تصویری کار می‌کند، باید قبل از تحلیل عکس با کامپیوتر آن را به اطلاعات عددی تبدیل کرد. عمل تبدیل تصویر فیزیکی به تصویر عددی را، دیجیتایز کردن تصویر می‌نامند(شکل ۲-۳). باید در هر پیکسل، روشنایی تصویر بررسی و تعیین مقدار شود. به این ترتیب برای هر پیکسل یک عدد صحیح تعريف می‌شود، که میزان روشنایی یا تاریکی تصویر در آن نقطه را نشان می‌دهد. بعد از انجام این عمل برای تمام پیکسل‌ها در هر تصویر، یک آرایه مستطیلی از اعداد صحیح ایجاد می‌گردد. هر پیکسل در این آرایه، یک محل عددی یا آدرس دارد، (شامل خط یا شماره ردیف و نمونه یا شماره ستون) و یک مقدار عددی به نام سطح خاکستری^۲، که بیانگر میزان روشنایی در آن نقطه است. حال این اطلاعات دیجیتال برای ارائه و تحلیل توسط کامپیوتر، مناسب می‌باشند (Kenneth, 1996).

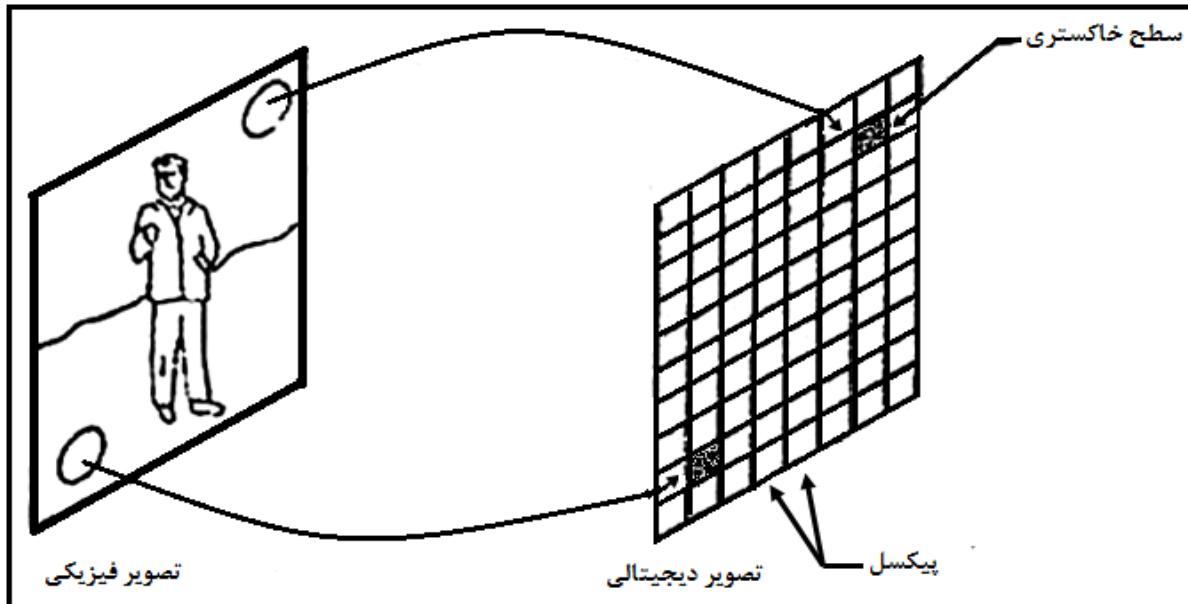


شکل ۲-۳ دیجیتایز کردن یک تصویر (Kenneth, 1996)

¹ Digitization

² Gray Level

شکل ۴-۲ نشان می‌دهد که چگونه یک آرایه مستطیلی از اعداد، یک تصویر فیزیکی را به صورت مجموعه‌ای از اعداد تعریف می‌کند. تصویر فیزیکی به نواحی کوچکی به نام عنصر تصویر یا پیکسل تقسیم می‌گردد. به هر پیکسل یک عدد نسبت داده می‌شود، اعداد درون هر پیکسل بیانگر میزان روشنایی تصویر فیزیکی در آن نقطه هستند (Kenneth, 1996).



شکل ۴-۲- یک تصویر فیزیکی و تصویر دیجیتال آن (Kenneth, 1996).

در روش آنالیز تصویری، اختلاف عددی بین روشنایی میانگین (میزان روشنایی) یک شیء و زمینه اطراف آن اختلاف شدت رنگ^۱ نامیده می‌شود. با افزایش میزان اختلاف شدت رنگ، می‌توان یک شیء را در تصویر به خوبی از زمینه پشت آن تمیز داد.

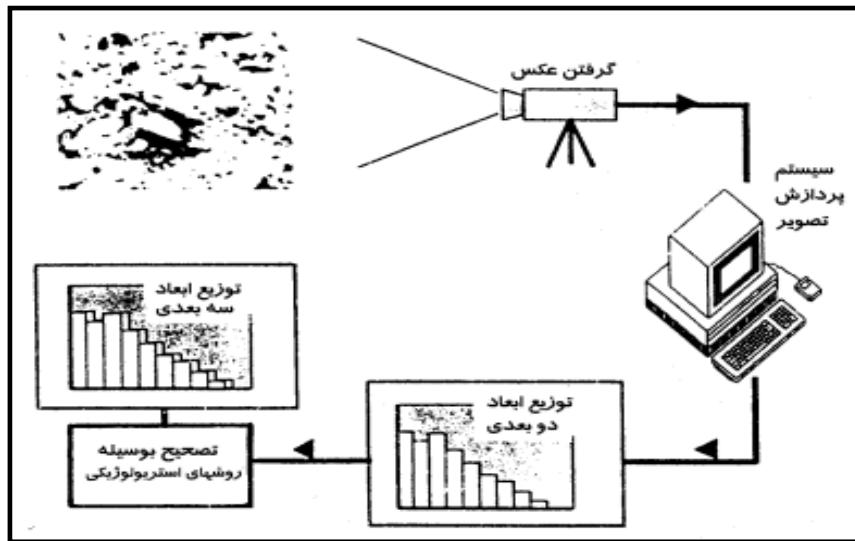
^۱ Contrast

۲-۶- مراحل انجام آنالیز تصویری

در روش‌های آنالیز تصویری برای تحلیل خردایش، باید سه مرحله؛ نمونه‌گیری، گرفتن عکس و آنالیز تصویری را به دقت انجام داد (شکل ۲-۵). مرحله نمونه‌گیری شامل انتخاب محل‌هایی برای ارائه نمونه معرفی از توده منفجر شده است. در مرحله گرفتن عکس، باید عکس‌هایی با کیفیت خوب، که قابل بررسی در مرحله آنالیز تصویری باشند، تهیه کرد. در مرحله آنالیز تصویری، توزیع ابعادی قطعات مشخص شده در تصویر، اندازه‌گیری می‌شود. در ابتدا تصویر به کامپیوتر داده شده، با وجود روشنایی‌های مختلف یا سطح خاکستری (pixel)، به صورت آرایه‌ای از نقاط تصویر یا پیکسل‌ها مرتب می‌شود. تصویر به گونه‌ای پردازش می‌شود، که کامپیوتر قادر به تشخیص قطعات مختلف باشد. سپس یک پارامتر خاص، برای مثال مساحت هر قطعه، اندازه‌گیری شده و در مرحله بعد مجموع این نتایج توسط روش‌های استرولوژیکی^۱ یا تجربی، از دو بعدی به سه بعدی تبدیل می‌شود (Hustrulid, 1999).

در روش‌های آنالیز تصویری، خطاهایی به علت استفاده از تصاویر دو بعدی برای دانه‌بندی توده سه بعدی ایجاد می‌شود، که با کنترل خطا در هر مرحله، می‌توان مقدار این خطا را به حداقل رساند. در عملیات معدنی به علت سختی مراحل مختلف عملیات، امکان اعمال شرایط ایده‌آل وجود نداشته و شرایط موجود، نوع روش عکسبرداری و نمونه‌گیری را تعیین می‌کند. این امر خطاهایی ایجاد می‌نماید و بنابراین لازم است، برای کاهش خطا باید میزان دقت هر روش در یک کاربرد خاص را با توجه به شرایط موجود، مورد بررسی قرار داد (Jimeno et al, 1995).

^۱- استرولوژی (strology) مجموعه‌ای از روش‌های ریاضی برای تعریف پارامترهای سه بعدی بر حسب اندازه‌گیری‌های دو بعدی به دست آمده از مقاطعه با تصاویر می‌باشد.



شکل ۲-۵ شماتیک از مراحل آنالیز تصویری (Jimeno et al, 1995)

۱-۶-۲- نمونه‌گیری

نوع، مقیاس و تعداد عکس‌ها سه عامل مؤثر بر خطای نمونه‌گیری هستند. نوع عکس‌ها به موقعیت و وضعیت توده نمونه‌گیری بستگی داشته و مهمترین عامل در تهیه یک عکس معرف است. برای انتخاب محل‌های مناسب تهیه تصاویر، بررسی‌های متعددی انجام شده است، اما به علت شرایط متفاوت سر زمین در مشاهده‌های مختلف، نظرات متفاوتی وجود دارد. به عبارت دیگر، شرایط عملیات تعیین‌کننده محل تهیه تصاویر معرف می‌باشد. در عملیات سطحی می‌توان از سطح توده، جبهه کار بارگیری، مواد موجود در بار کامیون و یا روی نوار نقاله عکس‌برداری کرد. شرایط خاص انفجار مشخص می‌کند، که کدام یک از این مکان‌ها نمونه معرفی ارائه می‌دهد (Maerz, 1996).

۲-۶-۲- استراتژی نمونه‌گیری^۱

برای اجتناب از خطای نمونه‌گیری سیستماتیک، بایستی استراتژی نمونه‌گیری مناسبی به کار برد. بدون یک استراتژی درست، خطای اپراتور وارد تصویر و سپس نتایج می‌شود. به عنوان مثال، برخی عکس‌بردارها به سمت قطعات درشت می‌روند، در حالی که برخی دیگر، نواحی با توزیع یکنواخت را به منظور نمونه‌گیری انتخاب می‌کنند.

دو روش اصلی نمونه‌گیری وجود دارد: تصادفی و سیستماتیک. در هر دو حالت تصمیم‌گیری در مورد مکان نمونه‌گیری، قبل از رفتن به محل انفجار و مشاهده خردایش، انجام می‌گیرد. همچنین سطح خردایش به بخش‌هایی تقسیم شده و سپس تصمیم گرفته می‌شود که از کدام بخش‌ها نمونه‌گیری شود. در هر دو حالت، شرایطی بر اساس هندسه طرح، از نظر فاصله هدف تا دوربین و زاویه موقعیت دوربین وجود دارد.

در نمونه‌برداری تصادفی، یک یا چند بخش با استفاده از روش‌های آماری برای نمونه‌گیری انتخاب می‌شود (Cochrane, 1977). در نمونه‌گیری سیستماتیک، یا از کل سطح خردایش نمونه گرفته می‌شود، یا گزیده‌ای از کل سطح بر اساس یک شبکه منظم ایجاد شده بر سطح، نمونه‌برداری می‌شود.

نمونه‌گیری تصادفی وقتی مناسب است که تعداد تصاویر مورد نیاز برای پوشش دادن کل سطح بیش از توانایی‌های سیستم آنالیز تصویری باشد. از طرفی نمونه‌گیری سیستماتیک، در نظر گرفتن تغییرات فاصله‌ای در اندازه را بیشتر تضمین می‌کند.

مثالی ساده از استراتژی نمونه‌گیری سیستماتیک به شرح زیر است؛ نقاط نمونه‌گیری در امتداد خط مرکزی در بالای توده، با فواصل منظم به وسیله اسپری رنگ، مشخص می‌شود. از هر نقطه مشخص شده،

^۱-Sampling strategy

عکسی از سطح توده، بیل لودر و یا بار کامیون گرفته می‌شود. می‌توان از اپراتور خواست، یک مقطع کامل عمودی را به داخل کامیون بریزد تا هر گونه تغییرپذیری عمودی حذف شود. مزیت این روش این است که تعداد نمونه‌های زیادی گرفته می‌شود. از معایب عمدۀ این روش، وقت‌گیر بودن آن است. عکاس باید در تمام مدت بارگیری در محل حضور داشته باشد، علاوه بر این باعث تأخیر در عملیات می‌شود (Maerz, 1996).

۲-۶-۳- گرفتن تصاویر^۱

گرفتن تصاویر، به خصوص در روش‌های اتوماتیک، به دلیل متأثر بودن از شرایط عملیاتی از اهمیت خاصی برخوردار است. در نخستین مرحله، باید روشی مناسب با انتخاب نوع دوربین و عکس برگزید و سپس به عواملی از قبیل ایجاد کانتراست مناسب، سطح یکنواخت و کاهش خطای پرسپکتیو توجه کرد. فرآیند تحلیل نیز، بر انتخاب روش تهیۀ تصاویر تأثیر می‌گذارد. محققان از عکس‌هایی که بتوان چاپ آن را ترسیم یا دیجیتایز کرد، استفاده می‌کنند. در آنالیزهای اتوماتیک نیز از این نوع عکس‌ها استفاده شده، اما به یک دوربین On-line با کیفیت بالا نیاز است، تا بتوان عکس‌ها را قبل از تحلیل به کامپیوتر وارد کرد. در عملیات سطحی نیز می‌توان از فیلم با سرعت کم برای تهیۀ تصاویر مقیاس بزرگ با کیفیت بالا استفاده نمود. این نوع فیلم، به پروسه دقیق‌تری نیاز داشته و باید دوربین را روی سه پایه قرار داد. همچنین می‌توان به راحتی از دوربین‌های ویدئویی برای روش‌های اتوماتیک، استفاده کرد؛ اما لازم است از دوربین‌های با کیفیت بالا استفاده شود.

در روش‌های اتوماتیک اساس تشخیص ذره، کانتراست بین یک ذره و زمینه پشت آن در تصویر است. بنابراین بهتر است از عکس‌های سیاه و سفید (مونوکروم) استفاده شود. در معادن زیرزمینی،

^۱ Image acquisition

روشنایی بر کانتراست تصاویر تأثیر می‌گذارد. کنترل روشنایی در عملیات سطحی نیز، در طی ساعت مختلف روز مشکل است. در ایجاد روشنایی مصنوعی باید عواملی از قبیل شدت نور، جهت نور و میزان نور منتشر شده بررسی شود (Maerz, 1996).

توده انفجاری در حالت کلی تحت یک زاویه نسبت به افق قرار دارد، بنابراین باید زاویه نسبی محور دوربین را تنظیم کرد. در حالت کلی برای تهیه تصویری با کانتراست یکنواخت، بهتر است محور دوربین بر سطح مواد عمود باشد. عموماً روش‌های مختلف تحلیل، به مقدار کم انحراف از حالت عمودی چندان حساس نیستند؛ به خصوص زمانی که از لنز تل‌فوتو^۱ که تأثیر پرسپکتیو را کاهش می‌دهد، استفاده شود. اگر این امر نیز میسر نباشد، می‌توان از دو عدد مقیاس در داخل تصویر استفاده کرد (Maerz, 1996).

۱-۳-۶-۲- کیفیت عکس

الف- وضوح^۲

در هر فرایند تصویری، برای هر عکس، حداقل اندازه‌ای در قطعات وجود دارد، به گونه‌ای که ابعاد قابل تجزیه و ترسیم باشند. به عبارت دیگر در زیر این اندازه، امکان تحلیل ابعادی قطعات، به دلایلی از قبیل؛ عدم مشاهده این ذرات در تصویر یا عدم امکان دیجیتايز نمودن آنها به علت وضوح کم تصویر (حتی اگر این ذرات در تصویر دیده شوند) وجود ندارد (Vogt & Abbrock, 1993). وضوح تصویر به سادگی با کردن تصویر فراهم می‌شود. میزان وضوح لازم برای تصویر، بسته به هدف تعیین دانه‌بندی و نرم‌افزار مورد استفاده برای آنالیز تصاویر، متفاوت است (Kemeny et al, 2001).

¹- Telephoto

²- Resolution

لازم به ذکر است؛ در اغلب موارد برای ارزیابی دانه‌بندی توده منفجر شده، تعیین میزان دقیق ذرات ریز و توزیع ابعادی آنها، از اهمیت چندانی برخوردار نبوده و در برخی موارد برای ساده‌تر شدن انجام آنالیز، از بررسی آن چشم پوشی می‌شود (Vogt & Abbrock, 1993).

ب-نورپردازی^۱

برای تشخیص محیط قطعات، وجود نوردهی مناسب ضروری بوده و باستی شدت کانتراست و یکنواختی نور تنظیم شود. از بین پارامترهای فوق، شدت نور دارای اهمیت کمتری است، مگر اینکه تأثیر مستقیمی روی دو عامل دیگر داشته باشد. در بیشتر سیستم‌های تصویری امکان اصلاح و تحلیل تصاویر با شدت نور وجود دارد.

یکنواختی نور در آنالیزهای زیرزمینی، که منبع نور تنها یک لامپ نقطه‌ای می‌باشد، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. در این حالت وسط تصویر روشن بوده و با حرکت به سمت محیط تصویر، میزان نور کاهش می‌یابد. با اینکه روش‌های آنالیز تصویری تا حدی قادر به کاهش تأثیر نور کم هستند، اما در آنالیز تصاویر با نور یکنواخت، نتایج بهتری حاصل می‌شود. استفاده از نور طبیعی در سطح زمین معمولاً مشکلی از این جهت ایجاد نمی‌کند (Maerz, 1996).

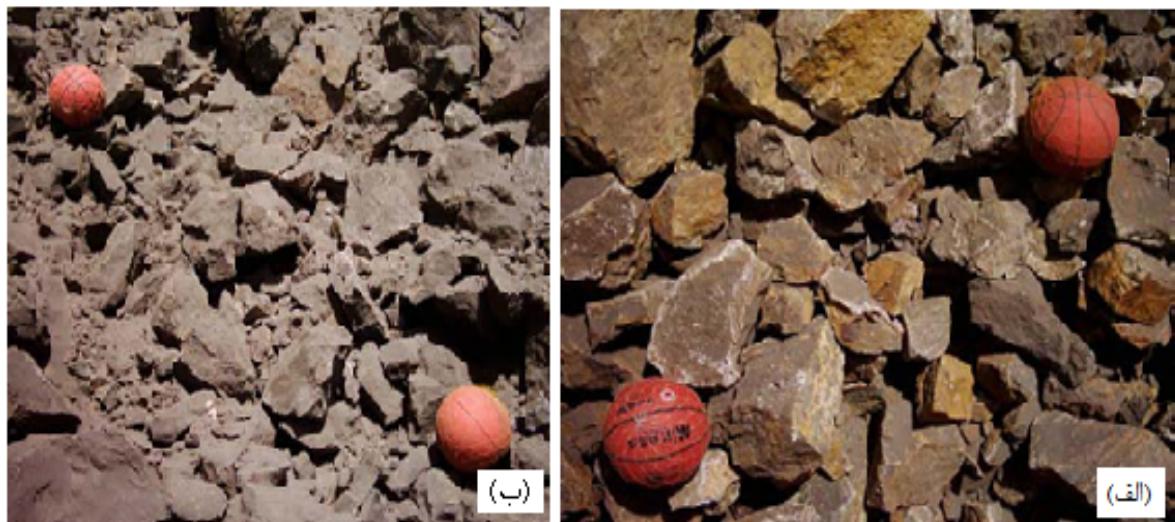
در نهایت کانتراست تصویر نیز باید مناسب باشد. بیشتر سیستم‌های تصویری از کانتراست بین بلوک‌های نسبتاً کمرنگ و سایه‌های پررنگ‌تر استفاده می‌کنند. چنانچه کانتراست خیلی بالا باشد، بافت حاصل روی سطح بلوک به غلط تعبیر شده و بلوک‌های بزرگ منفرد به صورت تعدادی بلوک‌های کوچک‌تر نمایان می‌شوند. از طرف دیگر چنانچه کانتراست خیلی پایین باشد، سایه‌های بین بلوک‌ها محو و قطعات کوچک متصل به هم و به صورت یک بلوک بزرگ به نظر می‌آیند. در زیرزمین (نوردهی مصنوعی) نور ضعیف می‌تواند منجر به کانتراست پایین شود. در سطح زمین (نور طبیعی) نور خورشید با زاویه کم منجر

¹ Lighting

به کانتراست بالا می‌شود، در حالی که نور منتشر شده از آسمان ابری، کانتراست پایینی ایجاد می‌کند (Eden & Franklin, 1996).

ج- گرد و غبار^۱

هر چند گرد و غبار بخش کمی از توده را تشکیل می‌دهد، اما مشکلاتی در سیستم‌های آنالیز تصویری ایجاد می‌کند. در گرد و غبار، ذرات بسیار ریزی وجود دارد که در سیستم‌های آنالیز تصویری، قابل اندازه‌گیری نبوده و در الگوریتم‌های تشخیص محیط اختلال ایجاد می‌کند (Maerz, 1996). شکل ۲-۶ دو تصویر، یکی پوشیده از گرد و غبار و دیگری بدون گرد و غبار را نشان می‌دهد. در تصویر سمت چپ (حالت ب) بیشتر سیستم‌های تصویری زون‌های گرد و غبار را به عنوان بلوك‌های بزرگ در نظر می‌گیرند.



شکل ۲-۶-الف- نمونه بدون گرد و غبار؛ ب- نمونه حاوی گرد و غبار

^۱- dust

۲-۳-۶- مقیاس تصاویر

برای تعیین مقیاس، باید شیء یا مقیاس مشخصی در تصویر وجود داشته باشد. همچنین به منظور تصحیح کجی عکس^۱، زمانی که سطح توده بسیار نامنظم بوده و یا بر جهت دید دوربین عمود نباشد، باید از دو یا چند مقیاس در نقاط مختلف تصویر استفاده کرد. ساده‌ترین و مناسب‌ترین مقیاس، استفاده از میله‌های ۱/۵ متری سیاه و سفید در فواصل ۰/۵ متری می‌باشد. بهتر است دو انتهای میله سفید باشد تا در مقابل رنگ تیره توده، به خوبی مشخص شود. همچنین به عنوان مقیاس می‌توان از توپ، حلقه، طول مشخص کامیون یا نوار نقاله و حتی شخصی که قد وی اندازه‌گیری شده، در تصویر استفاده کرد

.(Maerz, 1996)

در انجام تکنیک‌های بزرگنمایی^۲ مثل Zoom-merge یا کالیبراسیون، باید از مقیاس‌های کوچکتر استفاده نمود. معمولاً طول مقیاس بزرگتر از یکدهم عرض تصویر در نظر گرفته می‌شود.

الف - آنالیز تصاویر منفرد^۳

نظر به اینکه مقیاس نمونه‌گیری نامناسب در اندازه تصویر، می‌تواند باعث ایجاد خطای شود، بسته به مقیاس مشاهها، معمولاً سه دسته از بلوک‌ها در نمونه‌گیری گنجانده نمی‌شوند(Maerz, 1996):

- بلوک‌های بزرگ در تصاویر با سطح کوچک، برای مثال هنگام عکس‌برداری از بیل لودر، تخته‌سنگ‌ها بسیار بزرگتر از آن هستند که در بیل لودر بگنجند.
- قطعات کوچک که در تصویر دیده نمی‌شوند، چون بسیار کوچکتر از آن هستند که قابل تجزیه باشند.
- قطعات کوچک که در تصویر دیده نمی‌شوند، چون زیر بلوک‌های بزرگتر قرار گرفته‌اند.

¹ Tilt

² Close _ up

³ Single Image Analysis

بنابراین مقیاس مشاهها در یک تصویر می‌تواند بر نتایج تأثیر بگذارد. برای هر تصویر با وضوح و اندازه معین، یک فریم نمونه‌گیری وجود دارد. اندازه این فریم، ممکن است به صورتی باشد که بلوک‌های بزرگ در آن نگنجند و یا قطعات کوچک قابل تجزیه نباشند. با بزرگ نمودن اندازه این فریم، قطعات کوچکتر به تعداد کمتر و قطعات بزرگتر به تعداد بیشتری در اندازه‌گیری‌ها وارد شده و در نتیجه مقدار متوسط ابعاد در اندازه‌گیری افزایش می‌یابد.

به عبارت دیگر، فریم می‌تواند طوری تنظیم شود، که قطعات بزرگتر را دربرگیرد و یا بر عکس، فریم کوچکتر تعریف شود و ذرات ریز را (به شرط اینکه پشت قطعات بزرگ پنهان نباشند) اندازه‌گیری کند، که به این ترتیب مقدار متوسط ابعاد کاهش می‌یابد. به همین دلیل برای رسیدن به دقت بیشتر، باید از آنالیز چندین عکس با مقیاس‌های مختلف استفاده کرد (Maerz, 1996).

ب – آنالیز تصاویر چندگانه^۱ (Merge)

استفاده از چندین عکس (با مقیاس مساوی) و اتصال اطلاعات به هم در یک آنالیز منفرد، منجر به دقت بیشتری می‌شود. به این ترتیب، افزایش تعداد بلوک‌های نمونه‌گیری شده (بدون افزایش اندازه فریم نمونه گیری) مانند نتیجه حاصل از نمونه‌گیری تعداد بلوک‌های بیشتر (تصویربرداری از یک سطح بزرگتر) در یک عکس منفرد است (Maerz, 1996).

ج – آنالیز تصاویر چندگانه^۲ (Zoom Merge)

یکی از منابع اصلی خطا در روش‌های آنالیز تصویری، وضوح کم تصاویر بوده و به اندازه قطعه در تصویر بستگی دارد. در یک تصویر منفرد، گروهی از ذرات ریز که به سختی قابل تجزیه هستند، به هم

¹ Multiple Image Analysis (Merge)

² Multiple Image Analysis (Zoom Merge)

متصل شده و به صورت یک بلوک بزرگ‌تر به نظر می‌رسند. بنابراین خطای نمونه‌گیری به سمت اندازه‌های بزرگ‌تر میل می‌کند. یکی از روش‌های توسعه فریم نمونه‌گیری، آنالیز تصاویر گرفته شده با دو یا چند مقیاس مختلف می‌باشد (Zoom _in و اتصال فایل‌های اطلاعاتی) این روش هر چند زمان و حجم آنالیز بیشتری نیاز دارد، نتایج دقیق‌تری را ارائه می‌دهد (Maerz, 1996).

لازم به ذکر است؛ برای ذرات خیلی ریز (برای مثال گرد و غبار) این روش نیز خیلی ایده‌آل نمی‌باشد، چون حتی بزرگنمایی نیز نمی‌تواند ذرات ریزی را که در تصویر قابل مشاهده نبوده و بین یا پشت بلوک‌های بزرگ‌تر قرار گرفته‌اند، نمونه‌برداری نماید (Santamarina et al. 1995).

۴-۶-۲- فرآیند آنالیز تصویری

در سال‌های اخیر، روش‌های آنالیز تصویری متعددی ارائه شده و خصوصیات آنالیز تصاویر تا حد زیادی به فرآیند خاص هر روش بستگی دارد.

در روش دستی، محیط ذرات با ترسیم دستی از روی عکس، یا ترسیم دستی آن بعد از دیجیتايز شدن توسط کامپیوتر، انجام می‌شود. این روش بسیار وقت‌گیر است؛ هر چند اجازه تصحیح مرز ذرات نامجزا و در هم (که عامل خطای تفکیک^۱ است) را به کاربر می‌دهد. به این ترتیب خطای اندازه‌گیری کاهش می‌یابد. اما از آنجا که در یک زمان معین، تصاویر کمتری نسبت به روش‌های اتوماتیک قابل تحلیل است، احتمال افزایش خطای وجود دارد.

در روش اتوماتیک، کامپیوتر محیط ذرات را ترسیم می‌کند. روش‌های اتوماتیک متعددی در آنالیز تصویری قابل استفاده است، اما برای اطمینان از دقت نتایج باید کانتراست خوبی بین ذرات و زمینه تصویر وجود داشته باشد.

^۱ - Disintegration

همان طور که در بخش نمونه‌گیری ذکر شد، در هر روش یک محدوده ابعادی وجود دارد، که اندازه‌گیری‌ها در آن انجام می‌شود. مینیمم این محدوده، به خصوصیات کلی سیستم بستگی دارد، که تابعی از شرایط محیطی، تصویری، مقیاس عکس، کیفیت عکس و وضوح آنالیز تصویری (برای مثال mm/pix) است. توابع تصحیح برای تبدیل اندازه‌گیری‌های حجمی، به در نظر گرفتن همپوشانی قطعات و نیز پارامترهای اندازه‌گیری شده، بستگی دارند. در این رابطه و برای تعریف عوامل تصحیح تجربی، استفاده از مدل‌های آزمایشگاهی موققیت‌آمیز بوده است.

نحوه ارائه نتایج آنالیز تصویری با توجه به مورد استعمال آنها فرق می‌کند. در صنایع سنگ ساختمانی و عملیات فرآوری، اکثراً توزیع تجمعی لگاریتمی برای تعریف توزیع ابعادی استفاده می‌شود. اما مهندسین انفجار ترجیح می‌دهند با یک اندیس خردایش واحد کار کنند و بنابراین معمولاً مقدار ۵۰ درصد عبوری را به کار می‌برند. این پارامتر نیز در بعضی موارد توزیع را به خوبی توصیف نمی‌نماید .(Montoro & Gonzalez, 1993)

۶-۵-۲- خطای پرسپکتیو^۱

بهترین اندازه‌گیری‌ها، با تصاویر گرفته شده به صورت زاویه عمود بر سطح به دست می‌آید. اما این امر همیشه عملی نمی‌باشد. برای مثال سطح توده کاملاً افقی نبوده و بر سطح دوربین عمود نیست. برای تصاویری که با زوایای مایل گرفته می‌شود، بهترین روش کاهش تغییر شکل (تمایل تصویر) استفاده از لنزهای تلفوتو است، این نوع لنزها باعث مسطح شدن تصویر و کاهش خطای پرسپکتیو می‌شوند (Maerz, 1996).

^۱ -Perspective errors

۶-۶-۲- خطای تفکیک و خطای ترکیب^۱ در تصاویر

اندازه‌گیری ابعاد قطعات، بر اساس تصویر اصلی سنگ نبوده و با توجه به شبکه حاصل از رسم محیط قطعات انجام می‌گیرد. چشم بشر برای تشخیص مرز قطعات سنگ در تصویر مشکل چندانی ندارد، اما کامپیوٹر بدون داشتن یک سری دستورات پیچیده، به راحتی قادر به تشخیص یک قطعه از قطعه کناری آن نمی‌باشد.

نتایج آنالیز تصویری دیجیتال به دقت مرزیابی بستگی دارد. در سیستم‌هایی که مرزیابی قطعات به صورت اتوماتیک انجام می‌شود، چنانچه تشخیص مرز قطعات به علی‌از جمله کیفیت بد عکس، روشنایی نامناسب یا نرمافزار با قدرت مرزیابی ضعیف، از دقت کافی برخوردار نباشد، امکان ایجاد دو نوع خطا وجود دارد. خطای تفکیک که در شکل ۲-۷ نشان داده شده است، عبارت است از تقسیم یک بلوک بزرگ به قطعات کوچک در زمان رسم مرز قطعات؛ این خطا زمانی ایجاد می‌شود که بافت سطحی، سایه‌های موجود در عکس یا تغییرات رنگ، به اشتباہ به عنوان محیط قطعات مشخص شود (Maerz, 1996).

خطای ترکیب خطایی است که در آن کامپیوٹر مرز بین ذرات ریز را تشخیص نداده و مجموعه ای از آنها را به صورت یک قطعه در نظر می‌گیرد (شکل ۲-۸).

از آنجا که خطای تفکیک در قطعات بزرگ صورت می‌گیرد، از اهمیت بیشتری برخوردار می‌باشد. خطای ترکیب معمولاً تنها ذرات با وضوح کمتر از $8 * 8$ pix را در بر می‌گیرد و از آنجا که ذرات ریز تنها بخش کوچکی از حجم کل توده را شامل می‌شوند، این خطا در عمل به اهمیت خطای تفکیک نمی‌رسد.

^۱ -Fusion



شکل ۲-۷ خطای تفکیک



شکل ۲-۸ خطای ترکیب

۷-۲- روشهای محاسبه حجم بلوک در روش آنالیز تصویری

در روش آنالیز تصویری دو بعدی طول، عرض، مساحت و محیط ذرات اندازه‌گیری می‌شود. بیشتر محققین برای ارزیابی نتایج آنالیز تصویری به طور مستقیم یا غیر مستقیم توزیع دوبعدی را، با توجه به توزیع ابعادی بر اساس حجم تبدیل می‌نمایند، پس از تعیین مرزهای قطعات، برای تعیین حجم قطعات روش‌های مختلفی وجود دارد، که به تشریح آنها پرداخته می‌شود.

۱-۷-۲- روش قطر

برای تخمین درصدهای حجمی یا وزنی قطعات با استفاده از روش عکس‌برداری به صورت زیر عمل می‌شود:

الف- سطح هر قطعه از حاصلضرب بعد حداقل و حداکثر آن به دست می‌آید. مطابق شکل ۱-۲ برای پیدا کردن قطرها ابتدا قطر بزرگ سنگ تعیین شده سپس با توجه به معادله خط این قطر مجموع بیشترین فواصل از هر دو طرف آن به عنوان قطر کوچک در نظر گرفته می‌شود.

ب- ضخامت هر قطعه مساوی با بعد کوچک‌تر ذره در روی عکس فرض می‌شود.

ج- حجم هر قطعه از حاصلضرب ضخامت در سطح آن قطعه به دست می‌آید.

د- تمام قطعات دارای وزن مخصوص یکسانی می‌باشند که در این صورت درصد حجمی قطعات با درصد وزنی آنها برابر خواهد بود.

با توجه به موارد اول و دوم، بعد حداقل برای عبور هر قطعه از دهانه سرند معادل قطر کوچک آن قطعه خواهد بود.

به این صورت می‌توان حجم قطعات مختلف را با توجه به فرض‌های صورت گرفته تعیین کرد. نحوه اجرای عملیات در یک برنامه کامپیوتری به این صورت است که ابتدا باید اطراف عکس‌های تهیه شده را با رنگ سیاه پر نمود، سپس آنها را در اختیار برنامه کامپیوتری قرار داد (Mario. & Ficarazzo, 2006).

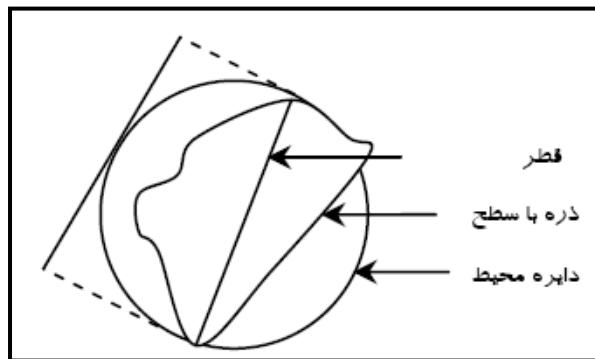
طرز کار کامپیوتر به این ترتیب است که با توجه به سفید بودن قطعه سنگ‌ها، برنامه با رسیدن به اولین پیکسل سفید، که مربوط به اولین قطعه می‌باشد، وارد آن قطعه شده و با چک کردن رنگ سیاه در اطراف آن قطعه، مختصات تمام پیکسل‌های آن قطعه را در یک آرایه و سپس درون یک فایل می‌ریزد. سپس قطعه مذکور را با رنگ سیاه پر کرده و مجدداً حرکت خود را از محل ورود به قطعه قبل ادامه می‌دهد تا اطلاعات مربوطه به تمام قطعات برداشت شود. در انتهای برنامه تعداد قطعات برداشت شده نیز، در فایل دیگری ذخیره می‌شود.

بدین ترتیب کامپیوتر برای تعیین قطر بزرگ هر قطعه سنگ، دو پیکسل را که بیشترین فاصله را از هم داشته در نظر می‌گیرد و برای تعیین قطر کوچک دو پیکسل را با این شرایط که کمترین فاصله را از هم داشته و بر روی محیط قطعه سنگ بوده و معادله خط حاصل از دو پیکسل بر قطر بزرگ قطعه سنگ عمود باشد در نظر می‌گیرد (Mario & Ficarazzo, 2006).

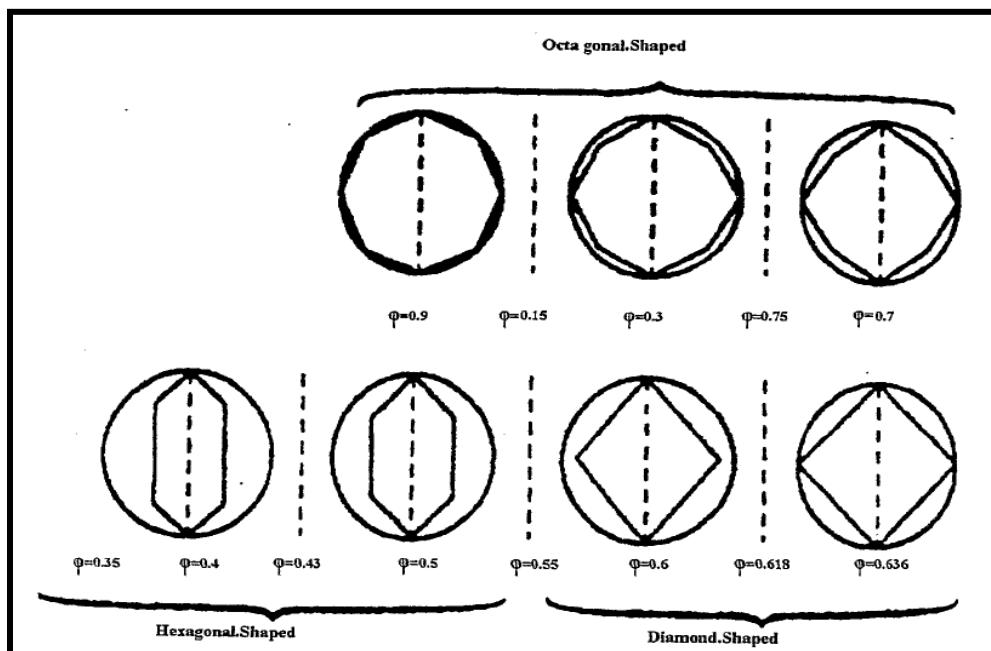
۲-۷-۲- روشن‌اندیس شکل

برای تخمین حجم بلوک‌ها، بایستی چندین فرض، روی شکل بلوک‌ها بکار برد تا بتوان شکل مربوطه را در بعد سوم تخمین زد. معیار مورد استفاده برای تخمین بعد سوم بلوک، اندیس شکل می‌باشد که عبارت است از: مساحت بلوک به مساحت دایره محیط بر آن (شکل ۲-۹). تغییرات اندیس شکل بر حسب مدل‌های هندسی مختلف بلوک، در شکل ۱۰-۲ نمایش داده شده‌اند. اندیس شکل یک اندیس بدون بعد است که از صفر برای یک خط تا ۱ برای یک بلوک دایره‌ای تغییر می‌کند. حجم بلوک را با فرض این‌که بعد سوم، معادل کوچک‌ترین بعد اندازه‌گیری شده بلوک است، می‌توان حساب کرد. به این ترتیب برای هر بلوک اندیس شکل تعیین شده و سپس با توجه به اندیس شکل‌های به دست آمده برای کل بلوک‌های موجود در عکس، اندیس شکل میانگین، تعیین می‌شود. اندیس شکل میانگین با اندیس شکل مدل‌های مختلف هندسی استاندارد، مقایسه شده و در نتیجه شکل هندسی بلوک‌ها تخمین زده

می‌شود. در این صورت با داشتن شکل هندسی بلوكها و فرمول‌های محاسبه حجم مربوطه به شکل، به راحتی می‌توان حجم بلوكها را تعیین کرد (منصوری، ۱۳۸۰).



شکل ۲-۹- محاسبه اندیس شکل (منصوری، ۱۳۸۰)



شکل ۲-۱۰- تغییرات اندیس شکل بر حسب مدل‌های مختلف (منصوری، ۱۳۸۰)

۲-۷-۳-آنالیز تصویری بر اساس شکل ذره‌ها

اطلاعات به دست آمده از تصویر، بر اساس مساحت بلوک‌ها و مناسب‌ترین بیضی برای تعیین توزیع اندازه‌ای بلوک مورد استفاده قرار می‌گیرد. این کار شامل یک دسته حدسیات راجع به تصاویر دوبعدی از سطح سنگ به توزیع سه‌بعدی از حجم سنگ مربوط می‌شود. مجموعه‌ای از تست‌های تخمین اعتبار برای تعیین روش‌هایی که دقیق‌تر هستند به کار برده می‌شود که نتایج این تست‌ها با آنالیزهای سرندي مقایسه می‌شوند (منصوری، ۱۳۸۰).

۲-۸-معرفی برنامه‌های محاسبه حجم بلوک

برای تعیین قطرهای کوچک و بزرگ از روی عکس‌ها، چندین برنامه نوشته شده است، دو نمونه از این برنامه‌ها که به زبان TC^{++} نوشته شده، با نام‌های SCANROCK و DIAMETER می‌باشند، که در ادامه به معرفی آنها خواهیم پرداخت (دهقان بنادکی، ۱۳۸۰):

۲-۸-۱-معرفی برنامه SCANROCK

برای استفاده از این برنامه، ابتدا باید عکس‌های تهیه شده را با رنگ سیاه پر کرد. طرز کار این برنامه به این صورت است که با توجه به سفید بودن قطعه سنگ‌ها، برنامه با رسیدن به اولین پیکسل سفید که مربوط به اولین قطعه می‌باشد، وارد آن قطعه شده و با چک کردن رنگ سیاه در اطراف آن قطعه، مختصات تمام پیکسل‌های اطراف آن قطعه را در یک درایه و سپس درون فایل مشخصی (مانند `data.dat`) می‌ریزد، سپس قطعه مذکور را با رنگ سیاه پر کرده و مجدداً حرکت خود را از محل ورود به قطعه قبلی ادامه می‌دهد، تا اطلاعات مربوط به تمام قطعات برداشته شود. در انتهای برنامه تعداد قطعات برداشت شده نیز در فایل دیگری (مانند `data1.dat`) ذخیره می‌شود.

۲-۸-۲- معرفی برنامه DIAMETER

در این برنامه با استفاده از اطلاعات فایل خروجی برنامه SCANROCK، ابتدا قطر بزرگ تعیین شده و سپس مجموع حداکثر فاصله از دو سمت این قطر به قطر کوچک، محاسبه می‌شود. در نهایت اطلاعات به دست آمده نیز در یک فایل خروجی (مانند data2.dat) ذخیره و ارائه می‌شود.

۲-۹- مقایسه روش‌های آنالیز تصویری و آنالیز سرندي

ابعاد مواد خردشده کپه‌ها^۱، به عنوان مثال؛ قطعات حاصل از انفجار، پارامتر بسیار مهمی برای بررسی خصوصیات زمین شناسی و معدنی است. در ده سال اخیر روش‌های آنالیز تصویری، برای اندازه‌گیری ابعاد خردمندگ‌ها، توسعه یافته است. از آنجا که امروزه استفاده از کامپیوتر کاربرد زیادی دارد، هزینه استفاده از سیستم‌های تصویری مناسب و آنالیز ابعاد سنگ خرد شده به راحتی و با سرعت قابل انجام است.

آنالیز تصویری در اندازه‌گیری توده‌ها به سه روش یک بعدی، دو بعدی و سه بعدی کاربرد دارد. ساده‌ترین روش، روش یک بعدی و پیچیده‌ترین آن روش سه بعدی است، که به تجهیزات خاص نیاز دارد. مرسوم‌ترین روش در حال حاضر، روش دو بعدی است که نسبت به روش یک بعدی دارای دقیقی بالاتر و نسبت به روش سه بعدی ساده‌تر و کاربردی‌تر است.

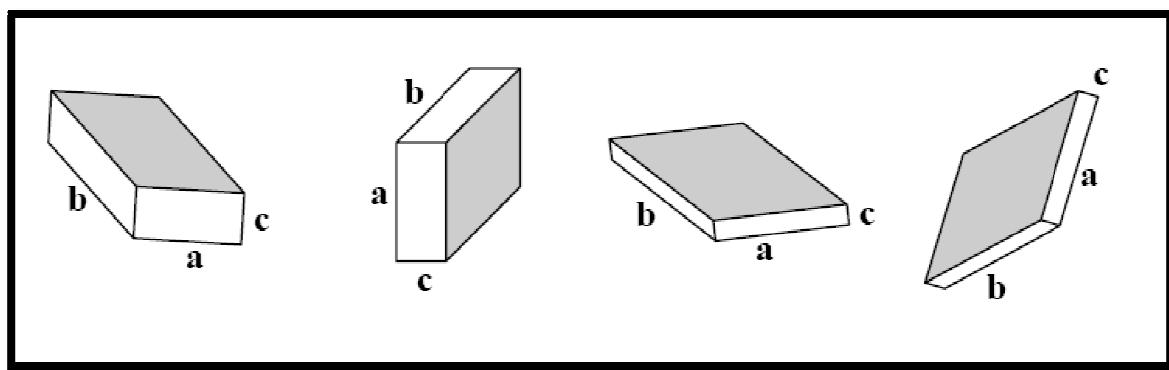
به طور کلی در یک روش آنالیز تصویری دو بعدی، طول، عرض، مساحت و محیط ذرات اندازه‌گیری می‌شود. بیشتر پژوهشگران برای ارزیابی نتایج آنالیز تصویری، به طور مستقیم یا غیرمستقیم، توزیع دو بعدی را با توجه به صحت روش آنالیز سرندي، به توزیع ابعادی بر اساس حجم تبدیل می‌نمایند. می‌توان گفت روش سرندي، کاملاً متفاوت از روش تصویری می‌باشد. برای تطابق این دو روش هیچ راهی وجود

^۱ Aggregates

ندارد، مگر اینکه حجم زیادی از اطلاعات لازم در دسترس باشد. اما یک استثناء در این مورد، حالتی است که رابطه‌ای بین یک بعد قطعه با دو بعد دیگر آن وجود داشته باشد (برای مثال قطعات دارای ابعاد مساوی باشند).

۱۰-۲- تفاوت‌های روش آنالیز تصویری و آنالیز سرندي

قطعه‌ای با بعد ماکزیمم a ، عرض b و بعد مینیمم c در نظر بگیرید (شکل ۱۱-۲). این قطعه در یک صفحه به گونه‌ای می‌ایستد، که اضلاع a و b قابل اندازه‌گیری می‌باشند. چنانچه این قطعه سرند شود، مشاهده می‌شود اندازه دهانه‌ای که قطعه از آن عبور می‌کند، به اندازه ضلع b و نیز شکل قطعه بستگی دارد. به عبارتی دیگر می‌توان گفت که یک قطعه در توده به گونه‌ای قرار می‌گیرد که مرکز ثقل آن در ماکزیمم پایداری باشد و به این ترتیب فرض می‌شود که بعد مینیمم قطعه در تصویر دیده نمی‌شود.



شکل ۱۱-۲- موقعیت (جهت) ذرات در آنالیز تصویر و سرندي (Wang & Stephanson, 1996)

Nakajima در سال ۱۹۷۸ نشان داد در یک سرند با دهانه مستطیلی به ابعاد $D_1 \times D_2$ یک ذره با مقطع عرضی بیضوی شکل و محورهای b و c وقتی از دهانه عبور می‌نماید که (Nakajima et al, 1978)

$$(2b)^2 + (2c)^2 \leq D_1^2 + D_2^2 \quad (۲-۲)$$

در مورد یک سرند با دهانه مربعی به ابعاد D، معادله (۱-۲) به صورت زیر در می‌آید:

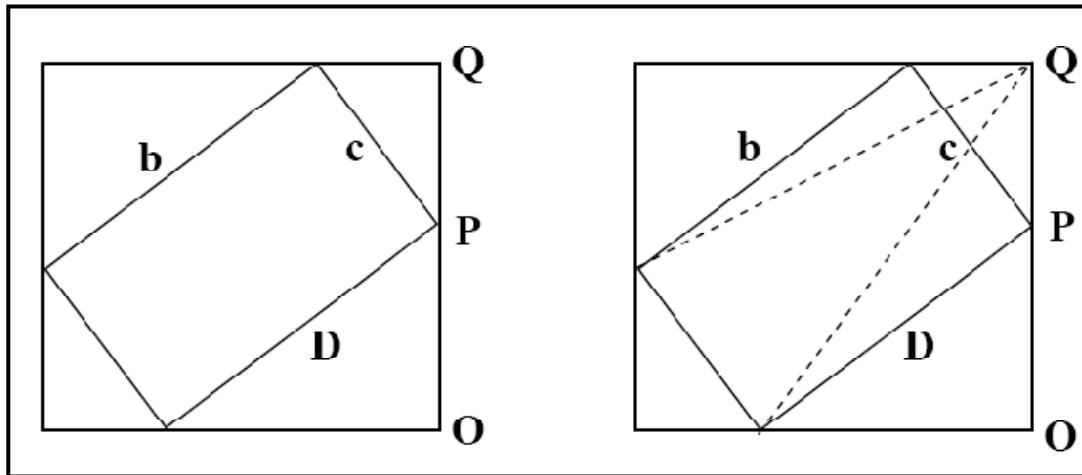
$$D \geq [2b^2 + 2c^2]^{1/5} \quad (3-2)$$

در صنایع معدنی شکل قطعات سنگ تقریباً ذوزنقه بوده و بین مثلث تا لوزی تغییر می‌کند (Wang & Stephanson, 1996). در نتیجه برای تعریف شکل و ابعاد قطعه بهتر است مستطیلی به آن محیط کرد. چنانچه ذرات مستطیلی شکل با ضلع بزرگ b روی سرند مربعی به ابعاد D قرار گیرند (شکل ۱۲-۲)، به گونه‌ای که $b < D$ باشد، طبق شکل رابطه $D = OP + PQ$ برقرار بوده و برای این که ذره از سرند عبور نمایند، ماکزیمم اندازه سرند برابر است با :

$$D \geq \frac{a+b}{2} \quad (4-2)$$

برای عبور ذرات مثلثی یا ذوزنقه‌ای نیز فرمول مشابهی تعریف می‌شود.

همانطور که ملاحظه می‌شود، روش سرند کردن برخلاف آنالیز تصویری، دو بعد کوچکتر قطعه را مشخص می‌کند. زمانی که شکل دهانه، مربعی بوده و اندازه دهانه D باشد، اندازه سرندی قطعه بین D تا $2D$ بسته به عرض ماکزیمم در قطعات و شکل آنها تغییر می‌کند.



شکل ۱۲-۲ - ذره‌ای با شکل مثلث یا مستطیل (Wang & Stephanson, 1996)

۱۱-۲- مزایای روش آنالیز تصویری نسبت به آنالیز سرندي

سیستم‌های آنالیز تصویری دیجیتال نه تنها در تحقیقات بلکه در صنعت نیز از رشد روز افزونی برخوردارند. امروزه با ظهور کامپیوترهای سریع و کم‌هزینه، الگوریتم‌ها و تکنیک‌های فرآیند تصویری پیشرفت‌ه و دوربین‌های ویدیویی حساس به نور، ارزان و سبک، دانه‌بندی مواد بسیار راحت شده است (Mario & Ficarazzo, 2006).

مزایای روش عکس‌برداری (نسبت به روش سرندي) را می‌توان به صورت زیر برشمرد:

- استفاده از آن آسان است.
- اندازه‌گیری‌ها در محل نمونه‌برداری سریع بوده و می‌توان چندین عکس را در مدتی کوتاه تهیه و آنالیز کرد.
- آنالیز تصویری به علت سرعتی که دارد تولید را مختل نمی‌کند.
- قیمت تجهیزات مربوط مناسب است.
- عکس‌های تهیه شده، ثبت شده و سابقه مناسبی از انفجار فراهم می‌آورد.
- از آنجا که روش آنالیز تصویری سریع و کم هزینه است، می‌توان نمونه‌های زیادی را تحلیل کرد و بنابراین خطای نمونه‌گیری کاهش می‌یابد.
- روش سرندي با افزایش ابعاد و در نتیجه حجم نمونه غیر عملی می‌شود، اما این محدودیت در آنالیز تصویری وجود ندارد.
- آنالیز تصویری روشنی غیر مخرب بوده و بنابراین برای اندازه‌گیری سنگ‌ها و کانی‌های ضعیف از قبیل زغال و ژیپس، که در هنگام سرند کردن خرد می‌شوند، بسیار مناسب است.

۱۲-۲- معايب روش آناليز تصويري

در روش تحليل خردایش به کمک تصاویر مشکلات خاصی دارد، اولاً تصاویر تنها اطلاعاتی از سطح توده را ثبت کرده و آن را تحليل می‌کنند. چنانچه سطح توده معرفی از کل آن نباشد، نتایج تحليل شده همواره با خطای زیادی خواهد بود. برای کاهش خطای فوق علاوه بر عکس‌برداری از سطح توده انفجار می‌توان در هنگام بارگیری نیز عکس‌هایی تهیه و در نهايیت تمامی عکس‌ها با هم تحليل و آنالیز کرد.

از دیگر معايب روش آناليز تصويري، استخراج اطلاعات صحيح سه بعدی از تصاویر دو بعدی است. باید فرضياتی از بعد سوم قطعات نیز در نظر گرفت، به علاوه قطعات سنگ در تصوير هم پوشانی داشته و باید ابعاد قطعات را با توجه به اين موضوع نیز تصحیح کرد.

همچنین در اين روش لازم است؛ محیط قطعات را در تصوير مشخص کرد. مشکلاتی از قبیل عدم روشنایی یکنواخت، وجود سایه، شلوغی^۱ تصوير و محدوده بزرگ ابعاد قطعات، ترسیم محیط قطعات را با روش‌های استاندارد تشخیص محیط غیر ممکن می‌سازد.

مشکل دیگر لزوم استفاده از مقیاس‌های مختلف برای بررسی کامل بخش‌های ریز و درشت توده، برای به دست آوردن منحنی توزیع ابعادی نهایی است. امروزه با پیشرفت نرمافزارهای آنالیز تصويری این خطاهای تا حدی قابل تصحیح می‌باشند (Mario & Ficarazzo, 2006).

¹ noise

فصل سوم

معرفی نرم‌افزارهای آنالیز تصویری

۱-۳ مقدمه

در سال‌های اخیر آنالیز تصویری، به عنوان یک روش مرسوم برای تعیین توزیع دانه‌بندی توده‌سنگ انفجاری، استفاده است. قسمت اعظم دقت در آنالیز تصویری، وابسته به نرمافزار آنالیز تصویری می‌باشد. به همین دلیل در سال‌های اخیر نرمافزارهای زیادی برای آنالیز عکس‌های گرفته شده از توده‌سنگ، از طرف شرکت‌های مختلف طراحی شده‌اند، که از تفاوت‌های عمدئ آنها می‌توان به محدوده کاربرد آنها، روش مربنی خردمند، میزان حساسیت آنها به کیفیت عکس و اطلاعاتی که به عنوان نتایج آنالیز ارائه می‌دهند، اشاره کرد. این تفاوت‌ها میزان واقعی بودن نتایج این نرمافزارها و زمان لازم برای آنالیز را مشخص می‌کند. تعدادی از این نرمافزارها عبارتند از: Tucips, Fragscan, Gold size, Wip frag, Split, .(Rustan , 1998) (Franklin et al, 1996)

در این فصل به طور مختصر نرمافزارهای Goldsize و Split که در این تحقیق مورد ارزیابی واقع شده‌اند، توضیح داده شده‌اند.

۲-۳- نرم افزار Goldsize

این نرم افزار محصول شرکت GoldSize (golder associates) می باشد. در نرم افزار GoldSize مرز قطعات به طور دستی و با کمک ماوس مشخص می شود. هر چند این مرحله از کار زمان زیادی می برد، اما مرز قطعات با دقت بیشتری تعیین می شوند. این نرم افزار، قابلیت تغییر و بهبود کیفیت تصاویر تهیه شده را ندارد. با توجه به این که مرزیابی قطعات به طور دستی انجام می گیرد، وجود سایه یا کیفیت نامناسب عکس، تأثیر چندانی بر ترسیم محیط قطعات ندارد. در این نرم افزار خطای ناشی از عدم اندازه گیری دقیق ذرات، قابل تصحیح می باشد.

در نرم افزار GoldSize، امکان پیش‌بینی خردایش بر اساس مدل کاز- رام وجود داشته و کاربر می تواند با وارد نمودن مشخصات ماده منفجره، ویژگی‌های توده سنگ و طرح انفجار، خردایش حاصل از انفجار را پیش‌بینی و نتایج را با توزیع اندازه گیری شده، مقایسه کند.

سیستم GoldSize توزیع ابعادی را بر اساس معادله رزین- رامлер^۱ انجام داده و پارامترهای این توزیع را محاسبه و نشان می دهد. همچنین می توان توزیع ابعادی را به طور ساده و فقط با شمارش قطعات واقع در یک محدوده ابعادی به دست آورد. در این نرم افزار، خطای ناشی از عدم اندازه گیری دقیق ذرات ریز تا حدودی قابل تصحیح است. مزیت دیگر GoldSize، نمایش تعداد و مشخصات هندسی قطعات در تصویر می باشد. به علاوه می توان این صفحه آماری را به نرم افزار Excel منتقل نموده و کارهای آماری بیشتری بر روی داده ها انجام داد.

^۱- Rosin-Rammler

۳-۲-۱- روش کار نرم افزار GoldSize

روش کار اکثر نرم افزارهای آنالیز تصویری مشابه هم می باشد، تفاوت عمده آنها در نحوه مرزبندی می باشد. مراحل کار با نرم افزار GoldSize به شرح زیر است:

۳-۱-۱- گرفتن عکس از توده سنگ

روش کار با نرم افزار بدین شکل می باشد که در ابتدا از سطح توده سنگ پس از انفجار و یا هر جایی که معرف خردمندی های منفجر شده باشد، عکس برداری و یا تصویربرداری با رعایت کلیه مواردی که در فصل دوم ذکر شد، انجام می شود. نکته مهم این است که، نرم افزار GoldSize تنها عکس های با فرمت bmp را می پذیرد، بنابراین ابتدا باید به وسیله نرم افزار paint، عکس ها را به فرمت bitmap تبدیل و سپس در اختیار نرم افزار قرار داد. شکل ۳-۱ نمونه ای از عکس های آماده شده برای تحلیل در این تحقیق را نشان می دهد.



شکل ۳-۱- عکس آماده شده برای آنالیز تصویری

۲-۱-۲ - تعریف مقیاس و مرزبندی نرم افزار GoldSize

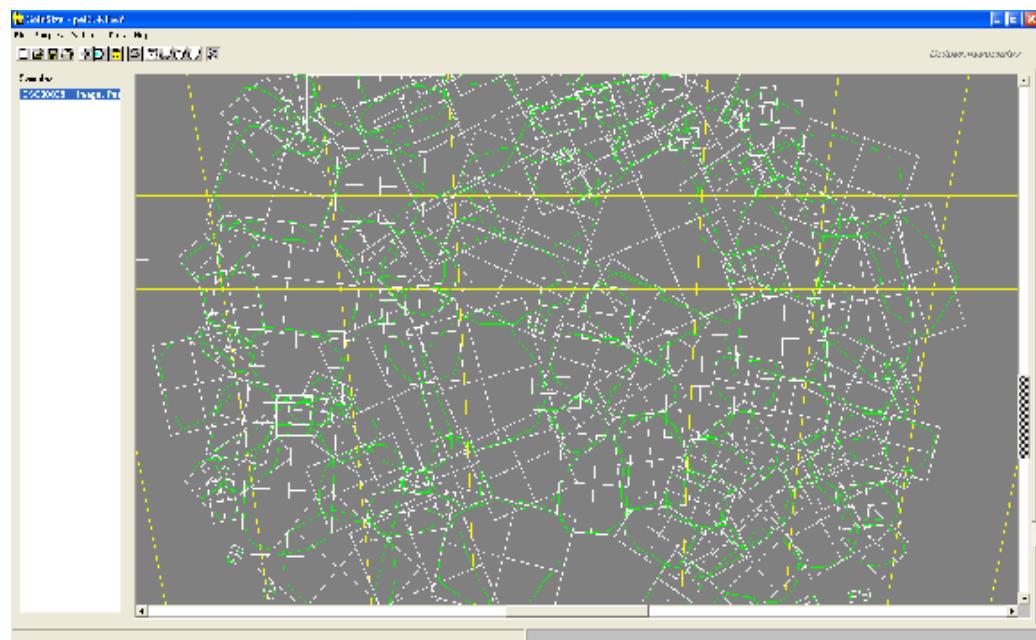
در این مرحله برای تعریف مقیاس، باید به کمک ماوس، مقیاس موجود در تصویر را به همراه تعیین قطر آن، رسم کرد (شکل ۲-۳). سپس باید مرزبندی را به طور دستی و به کمک ماوس، انجام داد (شکل ۳-۳). هرچه مرزبندی دقیق‌تر باشد، نتایج حاصله به نتایج واقعی نزدیک‌تر خواهد شد. بنابراین باید سعی شود، مرزبندی کلیه خردمندگ‌ها انجام شود. از طریق صفحهٔ دیجیتایز شده تصاویر توسط نرم‌افزار، می‌توان از مرزبندی کلیه خردمندگ‌ها اطمینان پیدا کرد، در این صفحه مکان‌های خالی، به معنی نبودن خردمندگ‌ها یا مرزبندی نشدن آنها است (شکل ۴-۳).



شکل ۲-۳ - مقیاس‌بندی در نرم‌افزار GoldSize



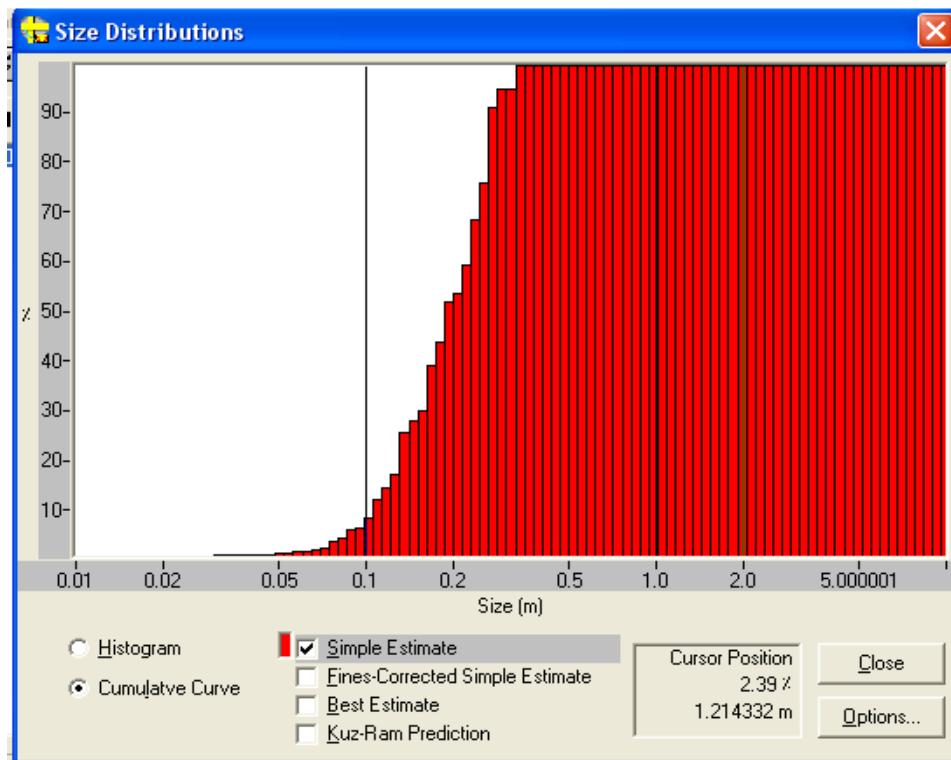
شکل ۳-۳- مرزیابی دستی در نرم افزار GoldSize



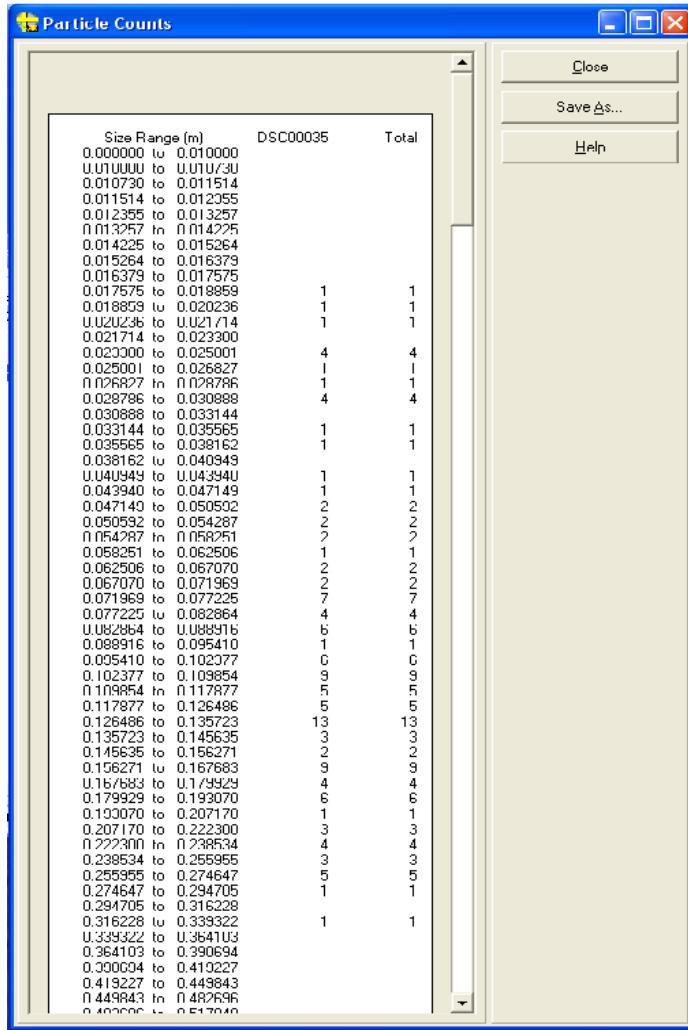
شکل ۳-۴- تصویر دیجیتالیز شده توسط نرم افزار Goldsize

۳-۱-۲-۳- ارائه نتایج نرم افزار GoldSize

نرم افزار Goldsize منحنی دانه بندی و هیستوگرام را به عنوان نمایش توزیع ابعادی خرد ه سنگها در اختیار کاربر می گذارد (شکل ۳-۵). در نرم افزار GoldSize، امکان پیش بینی خردایش بر اساس مدل کاز- رام وجود داشته و کاربر، می تواند با وارد نمودن مشخصات ماده منفجره، ویژگی های تو ده سنگ و طرح انفجار، خردایش حاصل از انفجار را پیش بینی و نتایج را با توزیع اندازه گیری شده، مقایسه کند. مزیت دیگر GoldSize، نمایش تعداد و مشخصات هندسی قطعات در تصویر می باشد. به علاوه می توان این صفحه آماری را به نرم افزار Excel منتقل نموده و کارهای آماری بیشتری بر روی داده ها انجام داد. (شکل ۳-۶)



شکل ۳-۵ منحنی دانه بندی خروجی نرم افزار GoldSize



شکل ۶-۳- جدول توزیع ابعادی خروجی نرمافزار GoldSize

۲-۲-۳- مزایای نرمافزار GoldSize

- به دلیل این که در این نرمافزار مرزبندی به صورت دستی انجام می‌شود، کیفیت تصویر تأثیر

چندانی روی آنالیز تصاویر ندارد؛

- کار با این نرمافزار ساده است و نیاز به مهارت خاصی ندارد؛

- خطای همپوشانی با مرزبندی تا حدودی می‌تواند رفع شود؛

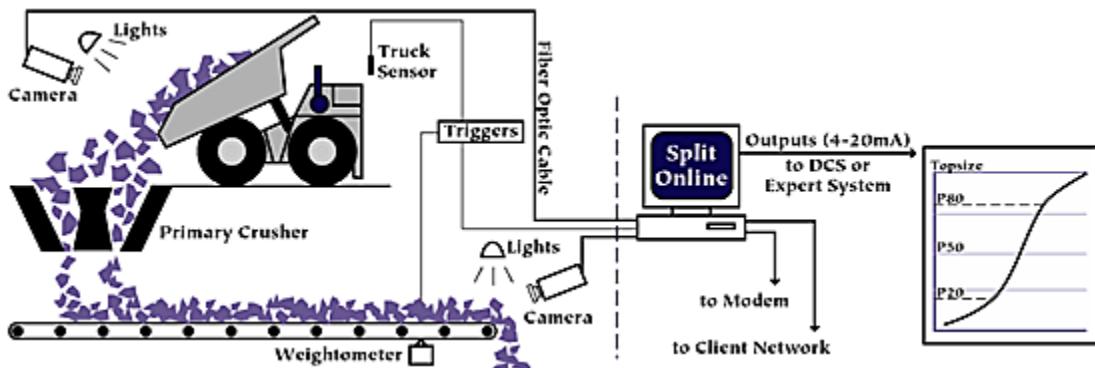
۳-۲-۳- معايip نرم افzار GoldSize

- زمان زیادی برای آنالیز تصاویر لازم است زیرا مرزبندی به صورت دستی انجام می‌شود؛
- اين نرم افzار تنها در سیستم عامل ویندوز ۹۸ قابلیت نصب دارد و تنها تصاویر دیجیتالی با فرمت bmp را آنالیز می‌کند؛
- قابلیت کاربرد on-line را ندارد؛
- منحنی دانه‌بندی این نرم افzار به صورت لحظه‌ای نمی‌باشد؛

۳-۳- نرم افzار Split-Desktop®

این نرم افzار در بخش زمین‌شناسی و معدن دانشگاه آریزونا، در ایالات متحده آمریکا طراحی شده است. سیستم اصلی Split-desktop شامل نرم افzار Split، کامپیوترا، صفحه کلید و نمایشگر می‌باشد، که این سیستم می‌تواند عکس‌های گرفته شده به وسیله عکس‌برداری‌های دیجیتالی و یا عکس‌برداری ویدئویی را تحلیل نماید. در عکس‌برداری‌های دیجیتالی، نیاز به نرم افzارهای مخصوصی در دوربین می‌باشد و در عکس‌برداری ویدئویی، مجموعه بردهای (صفحه‌های نمایش) منظم و یا تنظیم شده، مورد نیاز است (Kemeny et al, 1999)، این نرم افzار قابلیت کاربرد on-line را نیز برای تعیین دانه‌بندی دارد (شکل ۷-۳).

Split نرم افzاری است که عکس‌های گرفته شده از توده‌سنگ انفجاری، در مراحل مختلف معدنکاری را تحلیل می‌کند و علاوه بر این برای پیش‌بینی و تخمین توزیع دانه‌بندی سنگ‌های خردشده پس از انفجار نیز مورد استفاده قرار می‌گیرد (Kemeny et al, 1999).



شکل ۳-۷ کاربرد آنالیز تصویری در خط تولید به کمک نرم‌افزار Split (www.spliteng.com)

۳-۱-۳-مراحل کار با Split Desktop

۳-۱-۱-۱- گرفتن عکس و مقیاس‌بندی

روش‌های مختلفی در منطقه برای عکس‌برداری و مقیاس‌بندی عکس‌ها وجود دارد. برای مثال؛ اگر عکس‌هایی در طول حرکت نوار نقاله گرفته شود، مقیاس‌بندی ساده است، عرض نوار نقاله به عنوان مقیاس در نظر گرفته می‌شود.

زاویه شیب مناسب با محور دوربین، در عکس‌های گرفته شده از توده‌سنگ، خیلی مهم می‌باشد و نیاز به بررسی دارد. اگر این زاویه عمود نباشد، مقیاس تغییرات متوالی عکس از شیب کم تا شیب زیاد باید نشان داده شود. راه‌های زیادی برای مقیاس‌بندی صحیح عکس‌های گرفته شده از توده‌سنگ وجود دارد. ساده‌ترین راه، موقعیت دو شیء با اندازه‌های مشخص و یکسان در عکس می‌باشد، یکی در قسمت پایین شیب توده و دیگری در قسمت بالای شیب توده قرار داده می‌شود. که در شکل ۸-۳ نشان داده شده است. بهترین حالت این است که تصویر عمود بر خط شیب توده گرفته شود و دو شیء مقیاس‌بندی در وسط تصویر باشند و خط و اصل آنها متوatzی شیب توده باشد.



شکل ۳-۸- مقیاس‌گذاری صحیح

در آنالیز تصویری سه مقیاس برای محدوده عکس‌برداری تعریف شده است، که عبارتند از:

مقیاس بزرگ (6×6 متر)

مقیاس متوسط (3×3 متر)

مقیاس کوچک (0.5×0.5 متر).

هر چه مقیاس بزرگتر باشد، محدوده بزرگتری در عکس مورد ارزیابی قرار می‌گیرد، اما کیفیت ارزیابی نسبت به مقیاس‌های کوچکتر، پایین است. شمار کلی عکس‌های به دست آمده از هر منطقه آتشباری، بین ۸ تا ۲۰ عکس است، که به وسعت محدوده آتشباری بستگی دارد (Esen et al, 2000).

۳-۱-۲- مرزبندی خردهسنگ‌ها

ابتدا از منطقه عکس‌هایی گرفته می‌شود و بعد آنها را مقیاس‌بندی می‌کنند و در مرحله بعد نرم افزار Split خردهسنگ‌های مجزا و منفرد را در هر عکس، مشخص می‌کند. از آنجا که در نرم‌افزار Split مرزبندی قطعات، بر اساس اختلاف شدت رنگ و به صورت خودکار توسط نرم‌افزار انجام می‌شود، کیفیت تصویر در دقت مرزبندی نرم‌افزار، بسیار تأثیرگذار است. بنابراین

وجود سایه در اثر نورپردازی نادرست، وجود گرد و غبار و وضوح کم تصاویر باعث می‌شود، نرمافزار مرزبندی را با خطأ انجام دهد و نیاز به زمان بیشتری برای ویرایش دستی مرزبندی می‌باشد (Kemeny et al, 1994) (Girdner et al, 1996).

در نرمافزار Split، سه فاکتور قابل تغییر و تنظیم است، که بر نحوه مرزبندی خودکار نرمافزار و در نهایت بر توزیع دانه‌بندی، مؤثر می‌باشند و تغییر هر کدام از این فاکتورها، می‌تواند توزیع دانه‌بندی متفاوتی را ارائه دهد. این فاکتورها به شرح زیر می‌باشند:

الف - وضوح تصویر

کیفیت تصویر برای تمامی نرمافزارهای آنالیز تصویری که مرزبندی را به صورت خودکار انجام می‌دهند، بسیار مهم است. وضوح تصویر، یکی از فاکتورهایی است که در کیفیت تصویر بسیار مهم می‌باشد، در صورتی که وضوح تصویر بالا باشد، نرمافزار بر جستگی‌ها، درزهای و خطوط تغییر رنگ سنگ‌ها را به عنوان مرز بین سنگ‌ها، نشان می‌دهد، که باعث می‌شود دانه‌بندی به دلیل تقسیم هر قطعه سنگ به چند قطعه مجزا، ریزتر از حد معمول باشد. در صورتی که وضوح تصویر پایین باشد، مرز بین سنگ‌ها برای نرمافزار، قابل تشخیص نمی‌باشد و دانه‌بندی درشت‌تر از حد معمول خواهد بود. در نرمافزار Split، وضوح تصویر قابل تنظیم (کاهش دادن) می‌باشد و می‌توان وضوح تصویر را به گونه‌ای تنظیم کرد، که بتوان به دانه‌بندی مورد نظر و نزدیک‌تر به حالت واقعی، دست یافت.

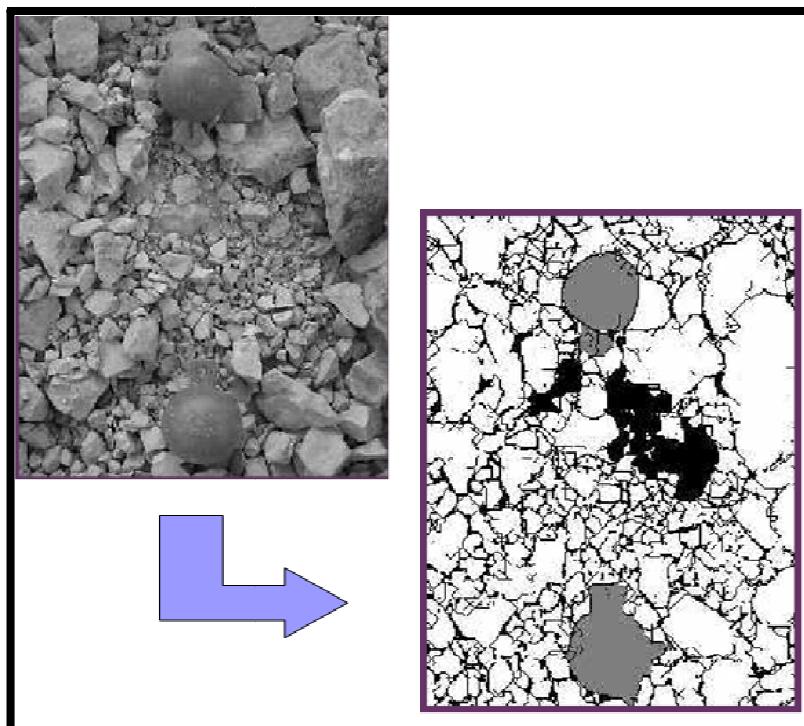
ب - حساسیت نرمافزار به تفاوت شدت رنگ

مهمازین فاکتور که باید قبل از مرزبندی برای نرمافزار تعریف شود، حساسیت نرمافزار به تفاوت شدت رنگ می‌باشد. در حساسیت‌های پایین (مرزبندی ملایم)، مرزبندی بین قطعات سنگ به طور کامل رسم نمی‌شود. در حساسیت‌های بالا بر جستگی‌ها و درزهای نیز به عنوان مرز توسط نرمافزار رسم می‌شوند.

ج- فاکتور ذرات ریز^۲

این فاکتور بین ۰ تا ۱۰۰ درصد قابل تنظیم است، هرچه این فاکتور بیشتر باشد، دانه‌بندی ریزتری به دست می‌آید. در کلیه آنالیزهای این تحقیق، این فاکتور صفر درصد در نظر گرفته شده، اما با این وجود، نرم‌افزار دانه‌بندی را ریزتر از حد معمول نشان داده است.

نتایج طراحی، به صورت عکس باینری (دو سطح خاکستری، سیاه و سفید) نمایش داده می‌شود، که شامل زمینه‌های سیاه و ذره‌های سفید می‌باشد. زمینه‌های سیاه در عکس‌ها، شامل مواد ریز و بیش از حد کوچک که در فضای پر نشده بین ذرات اضافه شده است، به تصویر کشیده می‌شود. به این شیوه مرزبندی به وسیله نرم‌افزار صورت می‌گیرد (شکل ۹-۳).



شکل ۹-۳ مرزبندی اتوماتیک نرم افزار **split**

² - fines factor

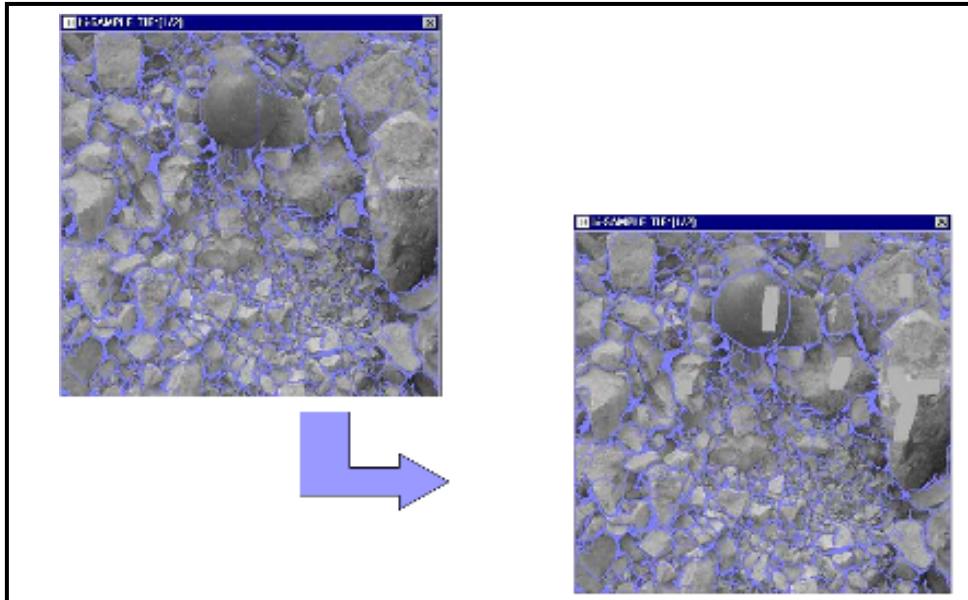
۳-۱-۳-۳- تصحیح و ویرایش عکس‌های باینری^۳

در اغلب عکس‌های گرفته شده از توده‌سنگ، عکس‌هایی وجود دارد که Split قادر به مشخص کردن توزیع دانه‌بندی آنها نمی‌باشد. این عکس‌ها ممکن است از مناطقی که دارای نور کم و فضای نسبتاً تاریکی است، گرفته شده باشند و یا نور زیاد و بیش از حدی وجود داشته، که این دلایل منجر به به‌دست آمدن عکس‌هایی با کیفیت پایین شده است. در چنین مواردی عکس‌های حاصل برای استفاده در برنامه، به ویرایش و تصحیح نیاز دارند.

در سه مورد این عکس‌ها نیاز به اندکی ویرایش و تصحیح دارند؛ مورد اول، اگر خردنهای کوچک موجود در عکس در سطح وسیعی به هم نزدیک باشند، Split ممکن است این خردنه سنگ‌ها را به جای یک سنگ بزرگ اشتباه بگیرد. مورد دوم، اگر شلوغی^۴ شدید در خردایش (به علت پهن شدن و پخش شدن و ترکیب) وجود داشته باشد، نرم افزار Split ممکن است این قسمت از خردنه سنگ‌ها را به بی‌شمار خردنهای کوچک تقسیم کند (نرم‌افزار درزه‌ها را به شکل مرز قطعات فرض می‌کند). مورد سوم، ذره‌هایی در عکس موجود می‌باشند، که خردنه سنگ نمی‌باشند و نباید در اندازه توزیع خردایش به حساب آیند، مانند توب پلاستیکی (شکل ۳-۳). برنامه Split دارای قابلیت ویرایش و کارهایی که در بالا به آنها اشاره شد می‌باشد (Kemeny et al, 1999) (شکل ۳-۱۰).

³- binary

⁴ noise



شکل ۱۰-۳ قابلیت ویرایش دستی مرزبندی نرم‌افزار

۴-۱-۳-۳- محاسبه و برآورد توزیع دانه‌بندی

پس از اینکه سنگ‌های مجزا از طریق مرزبندی برای نرم‌افزار تعریف شد، از مشخصات سنگ‌ها برای تعیین توزیع دانه‌بندی، استفاده می‌شود. این مشخصه‌ها شامل مساحت و ابعاد هر خرده‌سنگ و نیز مساحت ناحیه بدون ذره (ناحیه سیاهرنگ) می‌باشد. اندازه و حجم واقعی هر خرده‌سنگ، از طریق این مشخصه‌ها برآورد می‌شود (Esen et al, 2000).

در مرحله بعد توزیع دانه‌بندی واقعی سنگ باید تعیین شود. دو گزینه برای نمایش دانه‌بندی سنگ در Split موجود است: ۱- تابع توزیع Schumann ۲- تابع توزیع روزین راملر^۵.

۴-۱-۳-۵- ارائه نتایج توزیع دانه‌بندی

پس از محاسبه کردن توزیع دانه‌بندی، به چهار طریق می‌توان توزیع دانه‌بندی را مشخص کرد:

- خطی - خطی

^۵ - Rosin-Rammler

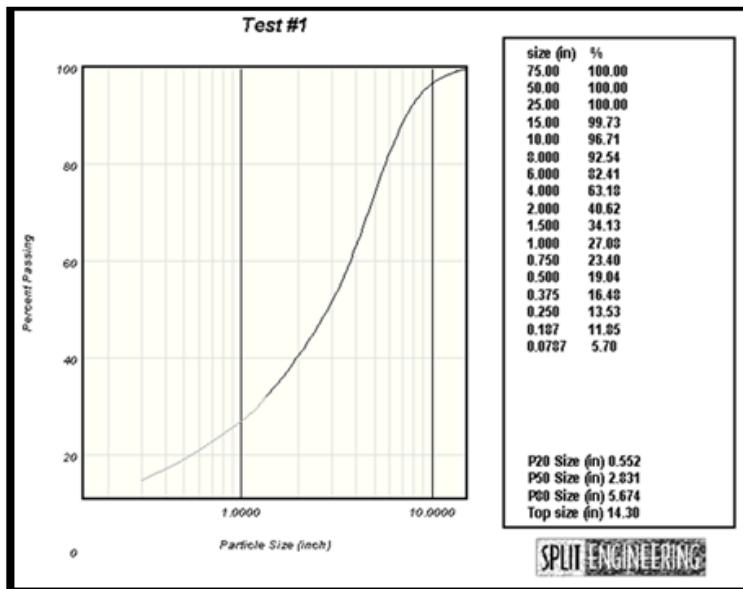
- لگاریتمی- خطی

- لگاریتمی - لگاریتمی

- روزین - راملر

نتایج توزیع دانه بندی در سه اندازه p80 ، p50 ، p20 نشان داده می شود (البته در نسخه های

جدید این نرم افزار قادر است از p100 تا 10 p را ارائه دهد). توزیع دانه بندی و ابعاد درصد عبور کرده در یک فایل ذخیره، ثبت می شود (شکل ۱۱-۳).



شکل ۱۱-۳ نمودار توزیع دانه بندی ارایه شده از نرم افزار split

۳-۲-۲-۳- دقت نرم افزار Split

در چند سال اخیر مطالعات مهم و زیادی در ارتباط با سیستم Split انجام شده است. این مطالعات

مهم در ارتباط با موارد زیر می باشند:

۱- توده انفجاری

۲- عکس های گرفته شده از خردایش که در منطقه گرفته شده است.

۳- طبقه‌بندی سنگ‌های خرد شده به وسیله روش‌های سنتی

موارد بالا با سیستم split آنالیز شده و بر طبق نتایجی که از آزمایش‌های به دست آمده، درصد خطای سیستم split کمتر از ۱۰ درصد و به طور متوسط ۵ درصد می‌باشد (Esen et al, 2000).

۴-۳-۳- مزایای نرم‌افزار Split

- آنالیز تصاویر در زمان کمی انجام می‌شود؛
- نرم‌افزار Split قابلیت کاربرد on-line را در خط تولید دارد؛
- این نرم‌افزار با هر سیستم عاملی سازگار است و تصاویر دیجیتالی با هر فرمتی را آنالیز می‌کند؛
- منحنی دانه‌بندی این نرم‌افزار به صورت لحظه‌ای می‌باشد؛

۴-۳-۳- معايب نرم‌افزار Split

- کار با این نرم‌افزار نسبت به نرم‌افزارهایی که مرزیابی را دستی انجام می‌دهند، نیاز به مهارت بیشتری دارد؛
- به دلیل این که مرزبندی به صورت خودکار انجام می‌شود کیفیت تصویر باید مناسب باشد؛
- نرم‌افزار مرزبندی اتوماتیک را اغلب با خطا انجام می‌دهد بنابراین نیاز به ویرایش دستی و صرف زمان بیشتر می‌باشد؛
- امکان رفع خطای همپوشانی ذرات وجود ندارد؛

فصل ۴

تحلیل منحنی‌های دانه‌بندی با استفاده از نرم‌افزارهای

Split و Goldsize

۱-۴ - مقدمه

یکی از مهمترین اهداف تعیین ابعاد ذرات، دستیابی به داده‌های کمی در مورد ابعاد و توزیع ابعادی در نمونه مشخص می‌باشد. تعیین ابعاد دقیق یک ذره نامنظم امکان‌پذیر نیست و واژه‌هایی مانند طول، عرض، ضخامت و حتی قطر در مورد این ذرات مفهومی ندارد، زیرا در جهات مختلف مقادیر متفاوتی را به دست می‌دهند (Wills, 1997).

برخی از پارامترهای هندسی، مشخص‌کننده ابعاد ذرات هستند، به عنوان مثال برای برخی ذرات کروی قطر ذره و در مورد یک ذره مکعبی، طول یک ضلع مشخص‌کننده ابعاد آن است. هر چقدر شکل ذرات پیچیده‌تر می‌شود، تعیین پارامتر مشخص‌کننده ابعاد ذره نیز، پیچیده‌تر خواهد شد. بدین ترتیب هر چه ذره نامنظم‌تر باشد، تعداد این پارامترها زیادتر می‌شود و به همین دلیل است که از واژه قطر معادل استفاده می‌شود، این مشخصه بیانگر ذره‌ای کروی‌شکل است که در عملیات مشخصی مشابه ذره مورد نظر عمل می‌کند (Prasher, 1987).

در این فصل اندازه قطعات سنگ در یک نمونه آزمایشگاهی به دو روش آنالیز سرندي و آنالیز تصویری تعیین شده است و سپس در روش آنالیز تصویری توسط دو نرم‌افزار Goldsize و Split نمودار

توزیع دانه‌بندی، در حالت‌های مختلف، رسم شده است. در پایان نتایج این دو نرم‌افزار با هم و همچنین با نتایج توزیع دانه‌بندی حاصل از آنالیز سرندي مقایسه شده است.

در حالت کلی، تعیین ابعاد ذرات نامنظم بسیار مشکل است و دلیل عدم تطبیق نتایج حاصل از روش‌های مختلف تعیین دانه‌بندی، از همین امر ناشی می‌شود (رضایی ، ۱۳۷۶).

۴-۲-۴- مراحل انجام آنالیز سرندي در آزمایشگاه

۴-۲-۱- تهیه نمونه

در این مرحله ۴۱۵ قطعه سنگ به عنوان نمونه، جمع‌آوری شده است. برای تهیه نمونه، دو ویژگی سنگ مورد نظر قرار گرفته است:

۱- شکل قطعه سنگ: سنگ‌ها باید به صورت تصادفی شامل سنگ‌های گوشهدار، گرد،

صفحه‌ای و ... باشند. یعنی از هر شکلی که می‌تواند سنگ پس از انفجار داشته باشد،

جمع‌آوری شود.

۲- اندازه قطعات سنگ: سنگ‌ها در سه اندازه ریز کوچکتر از ۱۰ سانتیمتر، متوسط بین ۱۰

سانتیمتر تا ۲۰ سانتیمتر و درشت بزرگتر از ۲۰ سانتیمتر، انتخاب شده‌اند.

۴-۲-۲- اندازه‌گیری واقعی قطعات سنگ نمونه

برای تعیین اندازه واقعی ابعاد توده‌سنگ و رسم نمودار دانه‌بندی مربوط به آن، از دو روش استفاده

شده است:

۴-۲-۱- آنالیز سرندي

سرند کردن، دقیق‌ترین روش برای آنالیز سنگ‌های با ابعاد کوچک‌تر از ۱۰ سانتی‌متر می‌باشد. به همین منظور بخش دانه‌ریز نمونه، توسط پنج عدد سرند با دهانه‌های "۱/۵، ۱، ۲، ۳/۴، ۲/۵" استفاده شده است و پنج نوع دانه‌بندی به دست آمده است.

۴-۲-۲- تعیین قطر معادل

برای دانه‌بندی مواد درشت‌دانه، باید از سرندهای نیمه‌صنعتی که دارای دهانه بزرگ می‌باشند، استفاده کرد، اما به دلیل در دسترس نبودن این نوع سرندها در آزمایشگاه، برای تعیین ابعاد سنگ‌های متوسط و درشت، از قطر معادل به عنوان اندازه سنگ استفاده شده است. قطر معادل، قطر دایره‌ای است که مساحت آن برابر با مساحت مستطیلی است که طول و عرض آن به ترتیب قطر دایره محیطی و قطر دایره محاطی سنگ است. بنابراین قطر معادل طبق رابطه ۴-۱ برابر است با:

$$D = \sqrt{\frac{4ab}{\pi}} \quad (1-4)$$

D : قطر معادل

a : قطر دایره محیطی یا طول مستطیل

b : قطر دایره محاطی یا عرض مستطیل

در این تحقیق قطر دایره محیطی و محاطی سنگ‌ها، با خط‌کش با دقت اندازه‌گیری شده است و طبق رابطه ۱-۴ قطر معادل، محاسبه شده و به عنوان اندازه واقعی سنگ، در نظر گرفته شده است. با دو روش آنالیز سرندي و تعیین قطر معادل، ابعاد کلیه سنگ‌های نمونه به دست آمده است.

۴-۲-۳ ارائه نتایج آنالیز سرندی

برای نمایش توزیع ابعادی توده‌سنگ، از نمودار دانه‌بندی استفاده می‌شود. محور افقی این نمودار بعد ذرات (که در این تحقیق به سانتیمتر است) و محور قائم آن درصد تجمعی مواد عبور کرده از سرند با دهانه مشخص را نشان می‌دهد. در نمودارهای دانه‌بندی آنالیز سرندی و آنالیز تصویری، درصد تجمعی، درصد تجمعی وزنی (حجمی) را نشان می‌دهد. به دلیل کم بودن حجم نمونه و محدود بودن تعداد ذرات نمونه، در این تحقیق، توزیع ابعادی نمونه به صورت درصد تجمعی عددی (مجموع تعداد ذراتی که از سرند با دهانه مشخص عبور می‌کنند) محاسبه شده است. در معادن به دلیل اینکه حجم توده انفجاری زیاد است، آنالیز تنها به صورت وزنی انجام می‌شود (شمارش دانه‌های توده، بسیار زمانبر است و امکان‌پذیر نیست).

برای مقایسه نتایج نرم‌افزارها با نتایج سرند، نتایج عددی به دست آمده، به صورتی که در زیر تشریح شده است، به نتایج وزنی تبدیل شده‌اند.

با فرض یکسان بودن وزن مخصوص کلیه ذرات نمونه، طبق رابطه ۴-۲ نسبت وزنی (حجمی) ذرات برابر است با:

$$\gamma_1 = \gamma_2 \quad \rightarrow \quad \frac{W_1}{V_1} = \frac{W_2}{V_2} \quad \rightarrow \quad \frac{W_2}{W_1} = \frac{V_2}{V_1} = \left(\frac{d_2}{d_1}\right)^3 \quad (4-2)$$

d_1, d_2 : قطر ذره با وزن γ_1, γ_2

V_1, V_2 : حجم دره با قطر d_1, d_2

W_1, W_2 : وزن ذره با قطر d_1, d_2

d_1, d_2 : قطر ذرات ۱ و ۲

بنابراین هرگاه قطر یک ذره ۱ سانتیمتر را قطر واحد و حجم یا وزن آن را، حجم یا وزن واحد فرض کنیم، حجم یا وزن ذره‌ای به قطر d ، d^3 برابر حجم یا وزن واحد می‌باشد.

جدول ۱-۴ توزیع ابعادی را به صورت عددی و جدول ۲-۴ دانه‌بندی وزنی را نشان می‌دهد. توزیع ابعادی در جدول عددی، ابعاد دانه‌ها را ریزتر از جدول وزنی نشان می‌دهد. در این تحقیق نمونه به صورتی تهیه شده است که، تعداد ذرات در سه بخش دانه‌ریز، متوسط و درشت‌دانه تقریباً یکسان باشد. مقایسه این دو جدول نشان می‌دهد که تعداد زیادی از ذرات نمونه، دانه‌ریز می‌باشند. اما چون از نظر وزنی، وزن کمی از نمونه را شامل می‌شوند، دانه‌بندی وزنی، درشت‌تر می‌باشد.

جدول ۲-۴ جدول دانه‌بندی آنالیز سرندي

ابعاد (cm)	درصد تجمعی عبوری
9.59	10%
11.46	20%
13.21	30%
15.56	40%
17.92	50%
20.01	60%
22.22	70%
25.58	80%
27.69	90%
36	100%

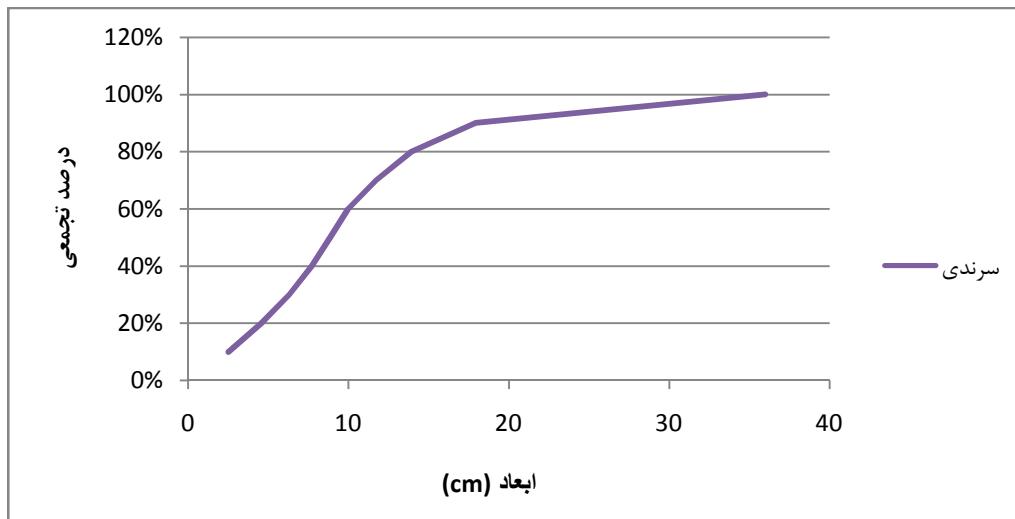
جدول ۱-۴ توزیع ابعادی عددی آنالیز سرندي

ابعاد (cm)	درصد تجمعی عددی
2.5	10%
4.54	20%
6.3	30%
7.686	40%
8.857	50%
9.973	60%
11.125	70%
12.82	80%
16.64	90%
36	100%

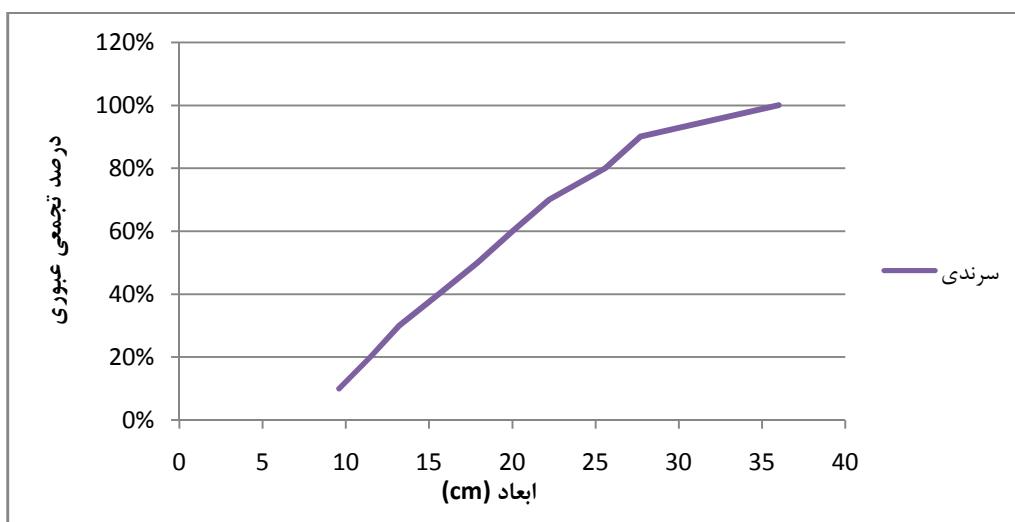
شکل ۴-۱، منحنی توزیع ابعادی را به صورت درصد تجمعی عددی دانه‌های عبوری نشان می‌دهد و

شکل ۴-۲ منحنی دانه‌بندی وزنی حاصل از آنالیز سرندي را نمایش می‌دهد. تفاوتی که در جداول ۴-۱ و

۴-۲ بین دانه‌بندی وزنی و عددی وجود داشت، در این نمودارها نیز مشاهده می‌شود.



شکل ۴-۱ درصد تجمعی عددی مواد عبور کرده از سرند با دهانه مشخص



شکل ۴-۲ نمودار دانه بندی آنالیز سرندي

در منحنی توزیع ابعادی عددی به طوری که مشاهده می‌شود، شیب نمودار، تا نقطه با درصد تجمعی عددی ۹۰ درصد، بیشتر است و از ۹۰ درصد به طرف ۱۰۰ درصد شیب نمودار به یکباره کم می‌شود، که نشان می‌دهد تعداد دانه‌های درشت (بزرگتر از ۱۶ سانتیمتر) بسیار کم است. این تغییر شیب در منحنی دانه‌بندی هم مشاهده می‌شود، اما به دلیل وزن بیشتر ابعاد بزرگ‌تر، این تغییر شیب از ابعاد ۲۶ سانتیمتری شروع می‌شود.

۴-۳- آنالیز تصویری به وسیله دو نرم‌افزار GoldSize و Split

پس از اینکه نمونه توسط سرند آنالیز شد، برای آنالیز تصویری آماده می‌شود. دومین مرحله پس از تهیئة نمونه در آنالیز تصویری گرفتن عکس می‌باشد، که باید کلیه موارد ذکر شده در فصل دوم، رعایت شود. در این آنالیز، از دو توپ بسکتبال با قطر ۲۴ سانتیمتر و نیز دو توپ پینگ‌پنگ با قطر ۴ سانتیمتر، برای حالت گسترده ریزدانه، به عنوان مقیاس، استفاده شده است، که یکی در بالای توده و دیگری در پایین توده قرار داده شده‌اند.

طبق هدف کلی تحقیق، عملیات عکس‌برداری از توده‌سنگ، با تغییر پارامترهای موثر همچون؛ تغییر زاویه عکس‌برداری و تغییر شکل توده‌سنگ به طور منظم و هدف‌دار انجام شده است. برای بررسی تأثیر تغییر شکل توده در نتایج دانه‌بندی، سنگ‌ها به سه شکل گسترده، توده کپه مانند و توده پای پله، موردن ارزیابی قرار گرفته است.

برای مقایسه نمودارها در این تحقیق، علاوه بر مقایسه منحنی‌های دانه‌بندی، از مقایسه منحنی‌های درصد اختلاف در بعد استفاده شده است. طبق رابطه ۳-۴ درصد اختلاف در بعد دو حالت ۱ و ۲ در یک درصد تجمعی مشخص برابر است با:

$$\text{درصد اختلاف در بعد} = \frac{D_1 - D_2}{D_1} * 100$$

D_1 : اندازه ذرات در یک درصد تجمعی مشخص در حالت ۱

D_2 : اندازه ذرات در یک درصد تجمعی مشخص در حالت ۲

۴-۳-۱- حالت گستردگی

در آنالیز تصویری، تنها سنگ‌هایی که در تصویر دیده می‌شوند مورد ارزیابی قرار می‌گیرند، بخش زیادی از توده که در تصویر نیست مورد ارزیابی قرار نمی‌گیرند، همچنین به دلیل همپوشانی سنگ‌ها در تصویر، مرزبندی سنگ‌ها مشکل و اغلب با خطا انجام می‌گیرد. این میزان خطا، توزیع ابعادی سنگ‌ها را نیز از واقعیت دور می‌کند.

حالت گستردگی ایده‌آل‌ترین حالت برای آنالیز تصویری و بررسی میزان خطای یک نرم‌افزار است، که در آن، کلیه سنگ‌ها مورد ارزیابی قرار می‌گیرند و همپوشانی، به دلیل فاصله داشتن سنگ‌ها از همدیگر و عمود بودن عکس‌برداری، وجود ندارد. بنابراین، پیش‌بینی می‌شود که نتایج آن نسبت به سایر حالات، به واقعیت نزدیکتر باشد.

شکل ۴-۳-۱ حالت گستردگی توده‌سنگ را در چهار بخش دانه‌ریز، متوسط، درشت و خیلی درشت نشان می‌دهد (کلیه سنگ‌ها در یک تصویر و با کیفیت لازم، نمی‌توانند عکس‌برداری شوند).



شکل ۴-۳ عکسبرداری حالت گسترده تودهسنگ

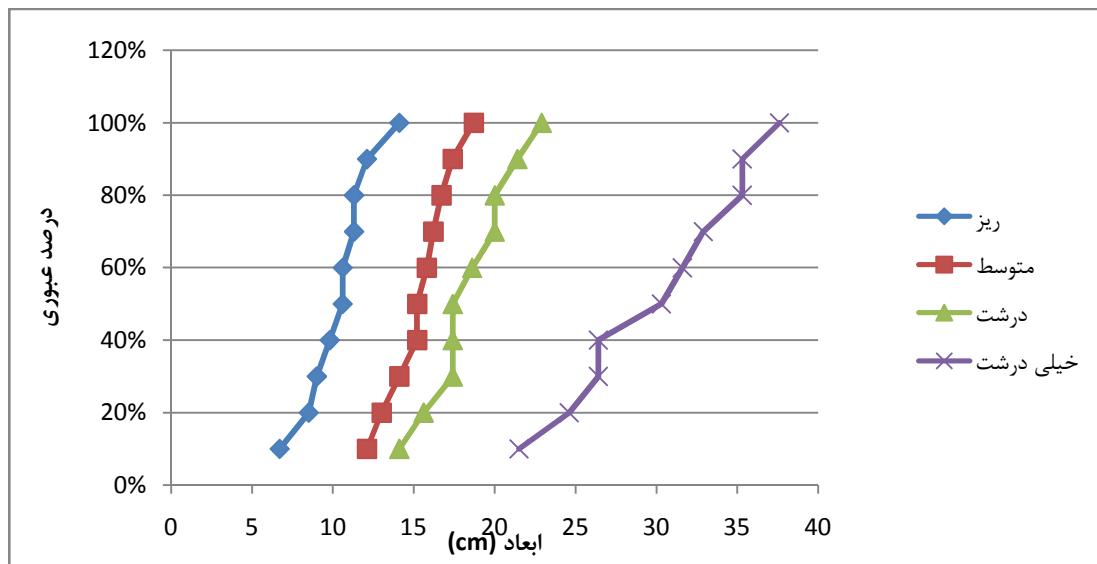
۱-۱-۳-۴- نتایج نرم‌افزار Goldsize، در حالت گسترده

نتایج آنالیز تصویری توسط نرم‌افزار Goldsize، در حالت گسترده در چهار بخش دانه‌ریز، متوسط، درشت و خیلی درشت به شرح جدول ۳-۴ می‌باشد.

جدول ۴-۳ نتایج دانه‌بندی در حالت گستردگی توسط نرم‌افزار Goldsize

درصد تجمعی عبوری	ریز (cm)	متوسط (cm)	درشت (cm)	خیلی درشت (cm)
10%	6.7	12.1	14.1	21.5
20%	8.5	13	15.6	24.6
30%	9	14.1	17.4	26.4
40%	9.8	15.2	17.4	26.4
50%	10.6	15.2	17.4	30.3
60%	10.6	15.8	18.6	31.6
70%	11.3	16.2	20	32.9
80%	11.3	16.7	20	35.3
90%	12.1	17.4	21.4	35.3
100%	14.1	18.7	22.9	37.6

شکل ۴-۴ دانه‌بندی در حالت گستردگی را در چهار بخش دانه‌ریز، متوسط، درشت و خیلی درشت که از نرم‌افزار Goldsize به دست آمده را نشان می‌دهد.



شکل ۴-۴ دانه‌بندی در حالت گستردگی خروجی نرم‌افزار Goldsize

۴-۳-۲-۱- نتایج نرم‌افزار Split در حالت گستردگ

با وجود انتخاب بهینهٔ فاکتورهای ذکر شده در فصل سوم در انجام مرزبندی خودکار نرم‌افزار، باز هم به دلیل اینکه سنگ‌ها تقریباً یکرنگ می‌باشند و احتمال وجود سایه در تصویر وجود دارد، نرم‌افزار مرزبندی اتوماتیک را با خطا انجام می‌دهد. بنابراین نیاز به مرزبندی دستی (ویرایش) برای رسیدن به نتایج بهینهٔ ضروری می‌باشد.

نتایج آنالیز تصویری توسط نرم‌افزار Split، در حالت گستردگ در چهار بخش دانه‌ریز، متوسط، درشت و خیلی درشت به شرح جدول ۴-۴ می‌باشد.

جدول ۴-۴ نتایج دانه‌بندی در حالت گستردگ توسط نرم‌افزار Split

درشت (cm) خیلی درشت	درشت (cm)	متواسط (cm)	ریز (cm)	درصد تجمعی عبوری
11.09	7.16	5.88	1.44	10%
12.98	8.24	6.74	1.72	20%
14.53	9.12	7.45	1.93	30%
15.95	9.94	8.11	2.12	40%
17.37	10.73	8.76	2.31	50%
18.88	11.56	9.41	2.5	60%
20.61	12.44	10.11	2.7	70%
22.86	13.45	10.9	2.94	80%
25.92	14.78	11.86	3.23	90%
34.84	18.87	15.65	4.13	100%

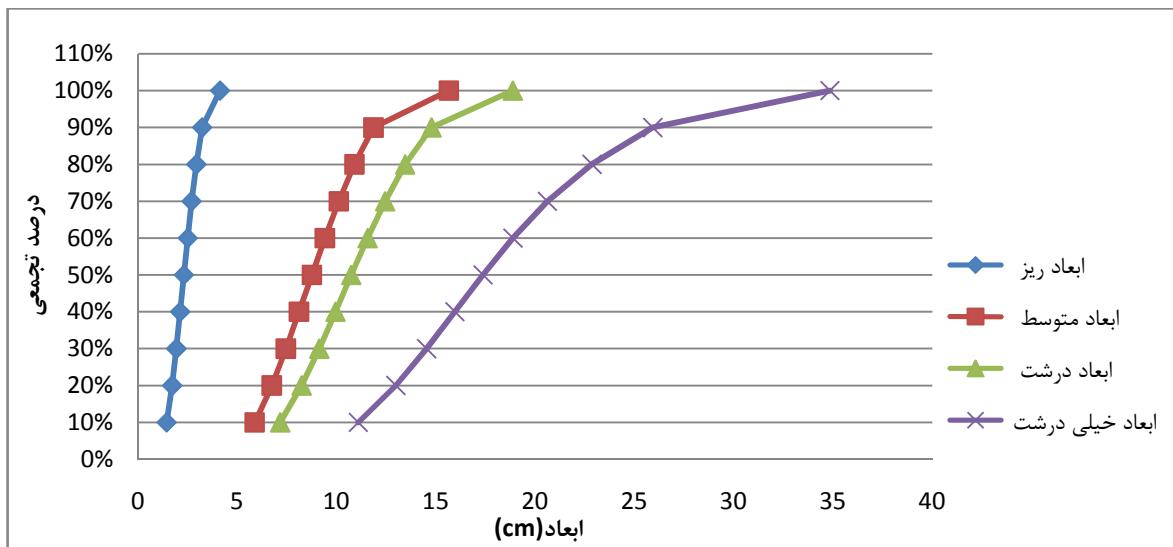
در جدول ۴-۴ به طوری که دیده می‌شود، توزیع ابعادی در بخش دانه‌ریز تقریباً یکسان است. این توزیع نشان می‌دهد که بزرگترین قطعه سنگ در بخش دانه‌ریز ۴/۱۳ سانتیمتر می‌باشد، در حالی که بخش دانه‌ریز به طوری انتخاب شده است، که ابعاد از ۱ سانتیمتر تا ۱۰ سانتیمتر وجود داشته باشند. پس می‌توان نتیجه گرفت نتایج نرم‌افزار Split در بخش دانه‌ریز، با واقعیت بسیار متفاوت است. با مقایسه

جدول ۴-۴ و ۴-۳ می‌توان مشاهده کرد که در همه بخش‌ها نرم‌افزار Split ابعاد را ریزتر از نرم‌افزار

ارزیابی کرده است.

شکل ۴-۵ منحنی‌های دانه‌بندی در حالت گستردگی را در چهار بخش دانه‌ریز، متوسط، درشت و

خیلی درشت که از نرم‌افزار Split بدست آمده را نشان می‌دهد.



شکل ۴-۵ دانه‌بندی در حالت گستردگی خروجی نرم‌افزار Split

با توجه به اطلاعات اولیه از توزیع دانه‌بندی توده‌سنگ، می‌توان گفت که نتایج نرم‌افزار Split در بخش دانه‌ریز با توجه به جدول ۴-۴ و نمودار شکل ۴-۵ با واقعیت (آنالیز سرندي) بسیار متفاوت است. بطوری که نتایج این نرم‌افزار در بخش دانه‌ریز قابل قبول نمی‌باشد.

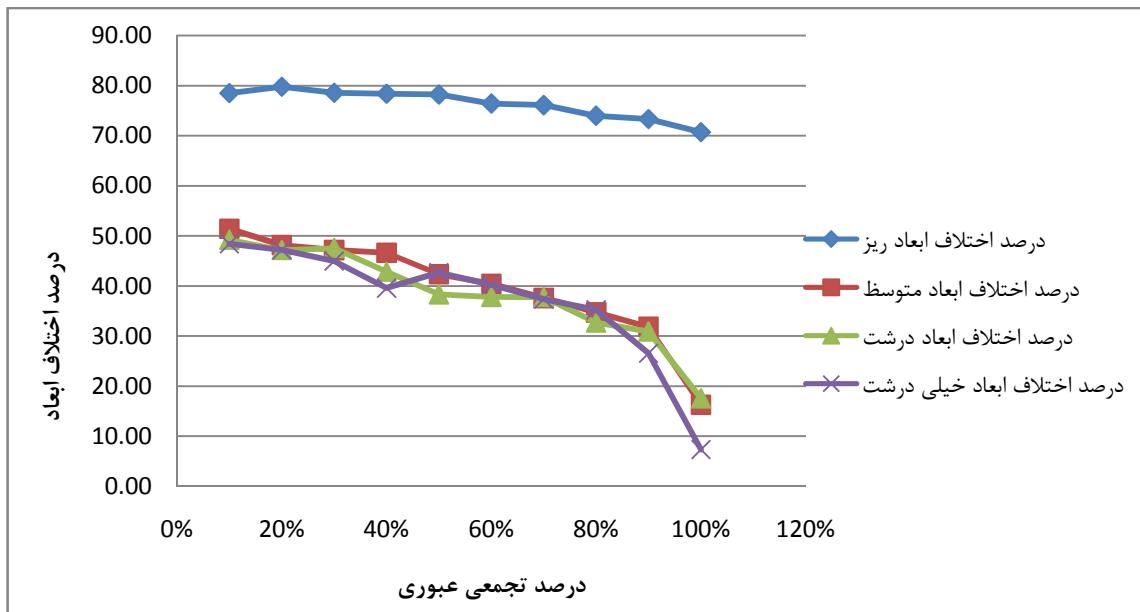
۴-۳-۱-۳- مقایسه نتایج نرم‌افزارهای Goldsize و Split در حالت گستردگی

جدول ۴-۵ درصد اختلاف ابعاد Goldsize و Split در حالت گستردگی تجمعی مختلف را

نشان می‌دهد و شکل ۶-۴ شکل رسم شده متناظر با این جدول می‌باشد.

جدول ۴-۵ درصد اختلاف ابعاد Goldsize و Split در حالت گستردگی

درصد تجمعی عبوری	درصد اختلاف ابعاد ریز	درصد اختلاف ابعاد متوسط	درصد اختلاف ابعاد درشت	درصد اختلاف ابعاد خیلی درشت
	درصد اختلاف ابعاد	درصد اختلاف ابعاد	درصد اختلاف ابعاد	درصد اختلاف ابعاد
	درشت	درشت	متوسط	خیلی درشت
10%	78.51	51.4	49.22	48.42
20%	79.76	48.15	47.18	47.24
30%	78.56	47.16	47.59	44.96
40%	78.37	46.64	42.87	39.58
50%	78.21	42.37	38.33	42.67
60%	76.42	40.44	37.85	40.25
70%	76.11	37.59	37.8	37.36
80%	73.98	34.73	32.75	35.24
90%	73.31	31.84	30.93	26.57
100%	70.71	16.31	17.6	7.34



شکل ۶-۴ درصد اختلاف ابعاد Goldsize و Split در حالت گستردگی

از مقایسه نتایج دو نرم‌افزار Goldsize و Split در حالت گستردگ، می‌توان مشاهده کرد که در صد اختلاف ابعادی برآورد شده دو نرم‌افزار در بخش دانه‌ریز، بالاتر از سایر بخش‌هاست، که این میزان اختلاف به دلیل دقت پایین دو نرم‌افزار، در تعیین دانه‌بندی بخش دانه‌ریز می‌باشد، با توجه به جدول ۴-۴ می‌توان دید این میزان اختلاف ابعاد به دلیل خطای بسیار زیاد نرم‌افزار Split در بخش دانه‌ریز می‌باشد. در هر بخش با بزرگ‌شدن ابعاد (در درصدهای تجمعی بالا)، میزان درصد اختلاف ابعاد کاهش می‌یابد.

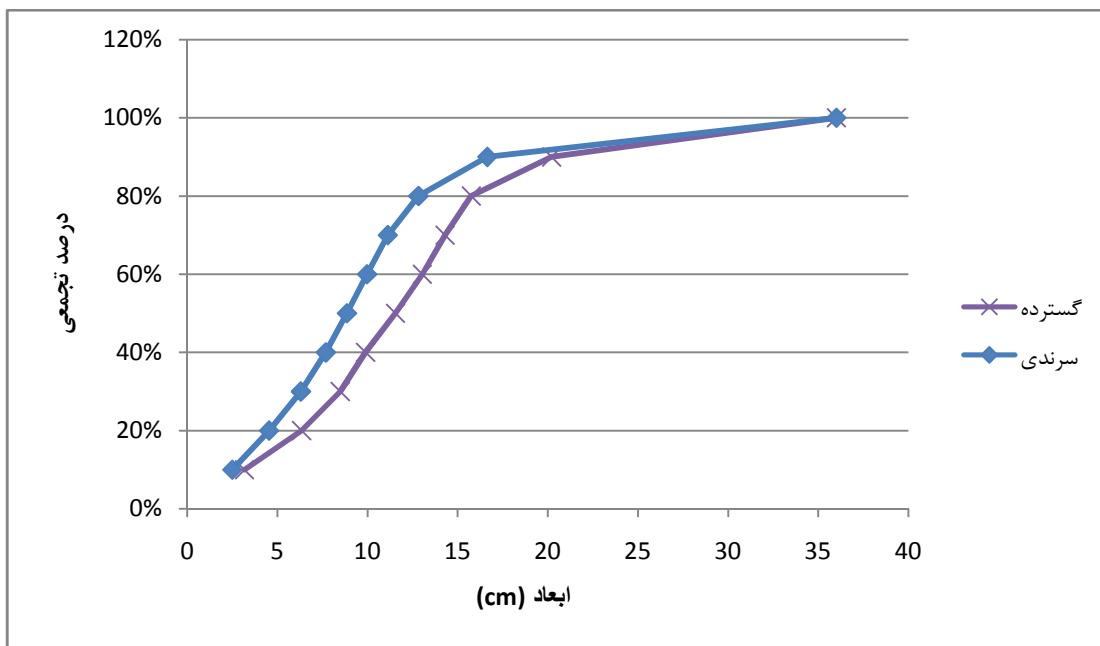
۴-۱-۳-۴- نتایج کلی آنالیز تصویری در حالت گستردگ توده‌سنگ

برای نمایش حالت گستردگ توده‌سنگ، به دلیل اینکه امکان عکس‌برداری کلیه سنگ‌ها در یک عکس با کیفیت مطلوب، وجود ندارد، توده‌سنگ به ۴ بخش دانه‌ریز، متوسط، درشت و خیلی درشت تقسیم شده و از هر بخش یک عکس گرفته شده است. برای جمع‌بندی نتایج این ۴ بخش و مقایسه آن با آنالیز سرندي، در نرم‌افزار Goldsize، از جدول توزیع ابعادی خروجی نرم‌افزار (مشابه جدول ۳-۱۴)، که به صورت عددی می‌باشد، استفاده شده است و سپس در رابطه ۲-۴ به دانه‌بندی وزنی تبدیل شده است. اما به دلیل اینکه در نرم‌افزار Split نمی‌توان هیچ اطلاعاتی از توزیع ابعادی توده‌سنگ به صورت عددی به دست آورد، در حالت گستردگ، امکان مقایسه کلی نرم‌افزار Split با آنالیز سرندي، وجود ندارد.

جدول ۶-۴ و شکل ۷-۴ منحنی توزیع ابعادی توده‌سنگ را به صورت درصد تجمعی عددی که از آنالیز تصویری توسط نرم‌افزار Goldsize بدست آمده است، نشان می‌دهند. جدول ۷-۴ و شکل ۴-۸ منحنی توزیع دانه‌بندی توده‌سنگ را طبق نتایج آنالیز نرم‌افزار Goldsize نشان می‌دهند. در هر دو شکل ذکر شده منحنی توزیع ابعادی آنالیز سرندي نیز رسم شده است. در هر دو نمودار منحنی مربوط به آنالیز تصویری ابعاد درشت‌تری را نشان می‌دهد، شب منحنی‌ها تقریباً یکسان و با افزایش درصد تجمعی دو نمودار بیشتر به هم نزدیک می‌شوند.

جدول ۶-۴ توزیع ابعادی (عددی) در حالت گستردگی توسط نرم‌افزار Goldsize

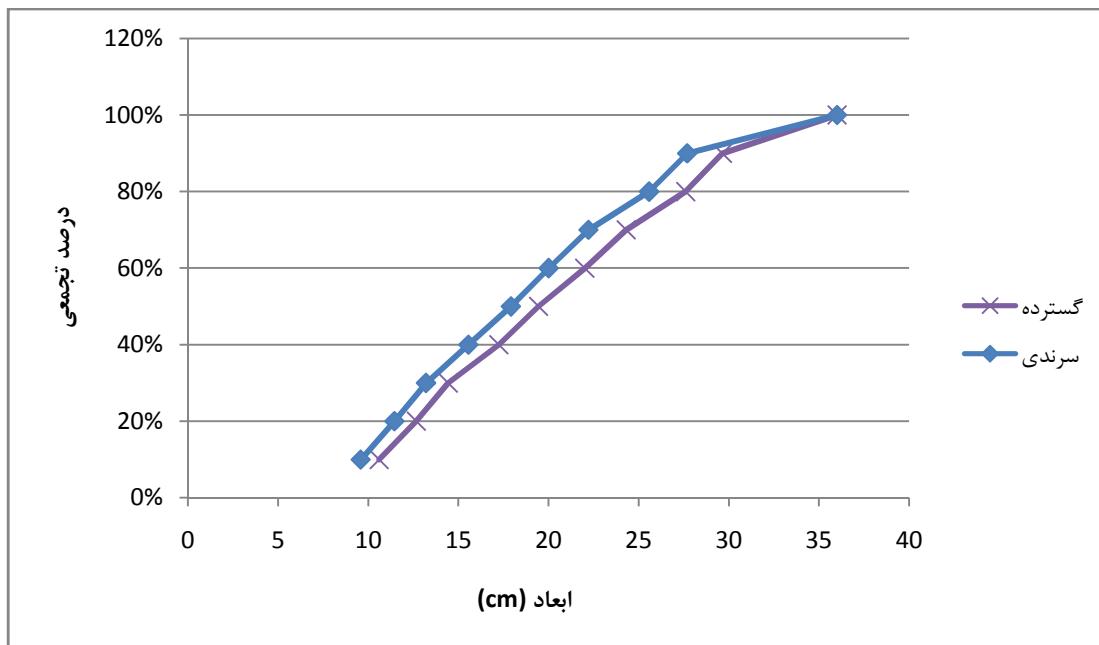
ابعاد (cm)	درصد تجمعی عبوری (عددی)
3.166	10%
6.33	20%
8.48	30%
9.88	40%
11.54	50%
13.034	60%
14.29	70%
15.75	80%
20.21	90%
36	100%



شکل ۷-۴ توزیع ابعادی (عددی) در حالت گستردگی خروجی نرم‌افزار Goldsize

جدول ۷-۴ دانه‌بندی در حالت گسترده توسط نرم‌افزار Goldsize

ابعاد (cm)	درصد تجمعی عبوری
10.61	10%
12.67	20%
14.43	30%
17.24	40%
19.45	50%
22.01	60%
24.31	70%
27.61	80%
29.64	90%
36	100%

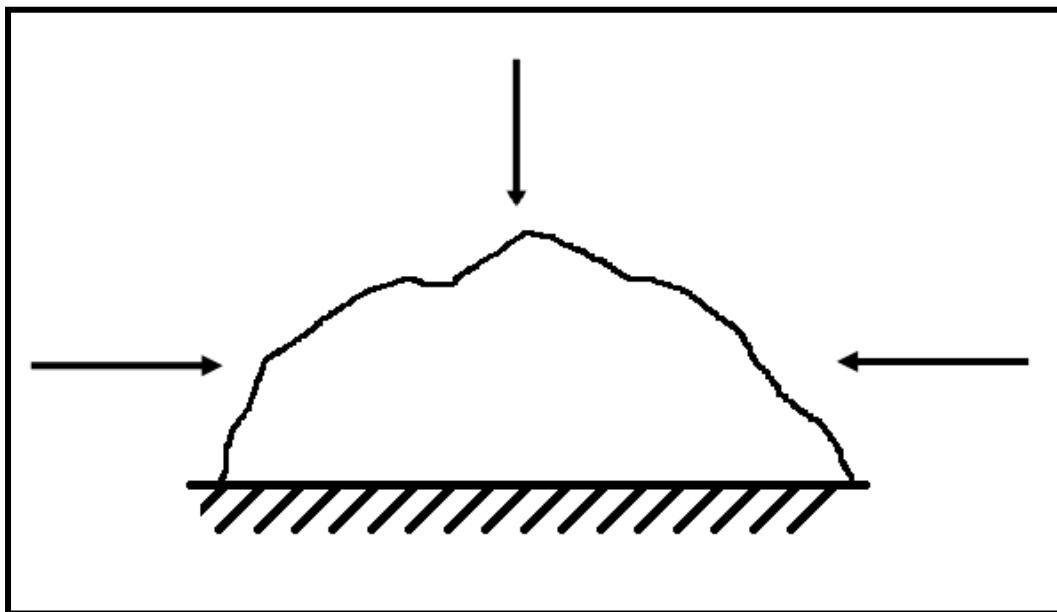


شکل ۸-۴ دانه‌بندی در حالت گسترده توسط نرم‌افزار Goldsize

۴-۳-۲- حالت کپه‌ای

آنالیز تصویری در حالت گستردگی در معادن، که حجم توده انفجاری بسیار بزرگ است، نیازمند صرف زمان و هزینه بالا می‌باشد و اغلب امکان پذیر نیست. در معادن آنالیز تصویری در دو حالت کپه‌ای و پله‌ای مرسوم‌تر است.

توده‌سنگ در حالت کپه‌ای طبق شکل ۹-۴، از سه طرف (یک عکس به صورت عمود و از بالای توده، دو عکس روی افق با اختلاف زاویه ۱۸۰ درجه) عکس‌برداری می‌شود. شکل ۹-۴ عکس‌های گرفته شده در حالت کپه‌ای را نشان می‌دهد.



شکل ۹-۴ طرح عکس‌برداری در حالت کپه‌ای



شکل ۴-۱۰ عکس‌های گرفته شده در حالت کپهای

۴-۳-۲-۱- نتایج آنالیز نرم‌افزار Goldsize در حالت کپهای

جدول ۴-۸ و شکل ۱۱-۴ توزیع دانه‌بندی توده‌سنگ را طبق نتایج آنالیز نرم‌افزار Goldsize در سه

تصویر گرفته شده، نشان می‌دهند. توزیع دانه‌بندی توده‌سنگ در این سه تصویر به طوری که در جدول و

شکل ارائه شده مشاهده می‌شود، تقریباً یکسان می‌باشد و منحنی دانه‌بندی سه تصویر دارای شبیه یکسان

می‌باشد، تفاوت اندک موجود را می‌توان به دلیل وجود خطای در عکس‌برداری و مرزبندی دستی دانست.

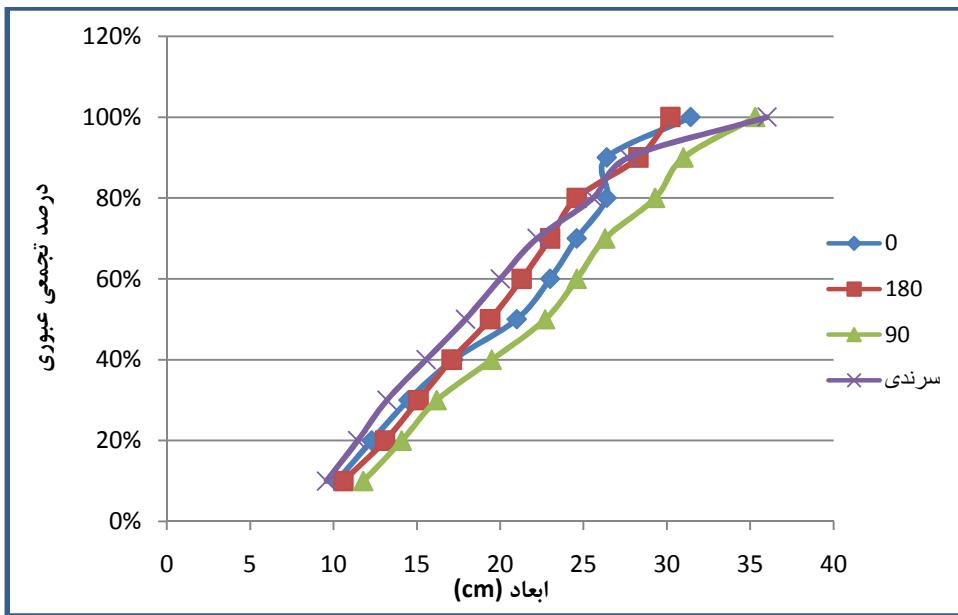
یکی از ضعف‌های نرم‌افزار Goldsize در رسم نمودار دانه‌بندی است. تنها اختلاف قابل توجه در بخش

دانه‌درشت می‌باشد که نشان می‌دهد، تعداد دانه‌های درشت موجود در هر تصویر با هم برابر نبوده است. به طوری که در جدول ۸-۴ در آنالیز تصویر ۰ درجه مشاهده می‌شود، ابعاد ذرات در ۹۰ و ۸۰ درصد تجمعی عبوری با هم برابر است، که نشان می‌دهد نمودار دانه‌بندی این نرم‌افزار، مطابق داده‌های ورودی نرم‌افزار نیست و این یکی از معایب اصلی نرم‌افزار Goldsize می‌باشد، که دانه‌بندی را به صورت لحظه‌ای در منحنی دانه‌بندی نشان نمی‌دهد.

در منحنی‌های شکل ۱۱-۴ دیده می‌شود که نرم‌افزار Goldsize توزیع دانه‌بندی را درشت‌تر از آنالیز سرندي نشان می‌دهد.

جدول ۸-۴ نتایج دانه‌بندی در حالت کپهای توسط نرم‌افزار Goldsize

درجه ۹۰ ابعاد (cm)	درجه ۱۸۰ ابعاد (cm)	درجه ۰ ابعاد (cm)	درصد تجمعی عبوری
11.8	10.6	10.2	10%
14.1	13.1	12.3	20%
16.2	15.1	14.5	30%
19.5	17.1	17.2	40%
22.7	19.4	21	50%
24.6	21.3	23	60%
26.3	23	24.6	70%
29.3	24.6	26.4	80%
31	28.3	26.4	90%
35.3	30.22	31.43	100%



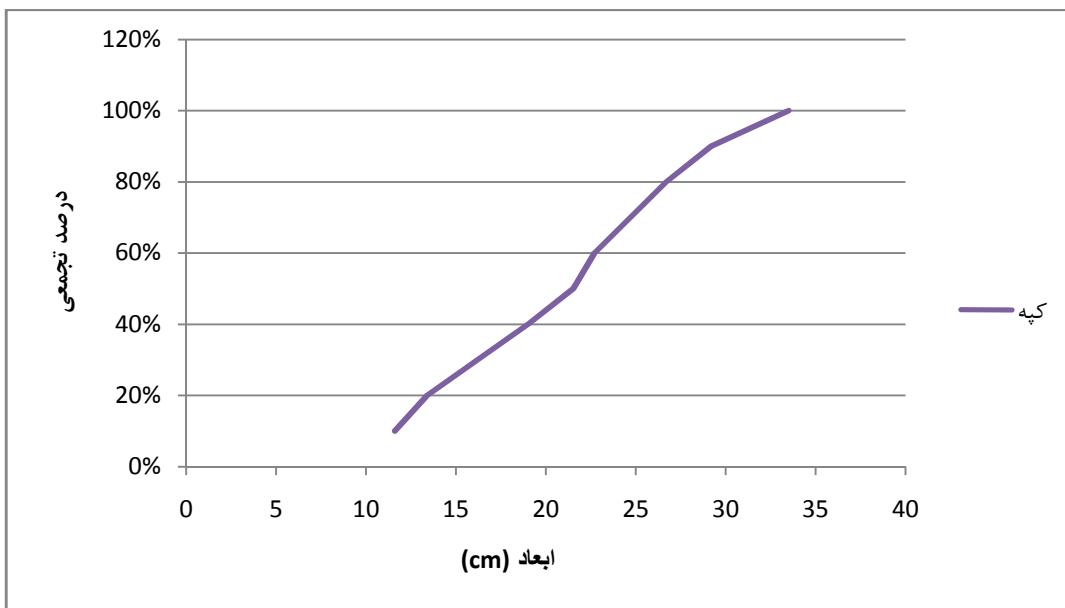
شکل ۱۱-۴ نتایج دانه‌بندی در حالت کپهای توسط نرم‌افزار Goldsize و مقایسه با آنالیز سرندي

جدول ۹-۴ و شکل ۱۲-۴ توزیع دانه‌بندی توده‌سنگ را در حالت کپهای طبق نتایج آنالیز نرم‌افزار

Goldsize نشان می‌دهند. این نتایج میانگین نتایج سه تصویر گرفته شده در حالت کپهای می‌باشند که در قسمت‌های بعدی با سایر حالت‌های توده‌ای و آنالیز سرندي مقایسه خواهد شد.

جدول ۹-۴ دانه‌بندی توده‌سنگ در حالت کپهای طبق نتایج آنالیز نرم‌افزار Goldsize

ابعاد (cm)	درصد تجمعی عبوری
11.6	10%
13.4	20%
16.19	30%
19.01	40%
21.53	50%
22.7	60%
24.7	70%
26.7	80%
29.19	90%
33.5	100%



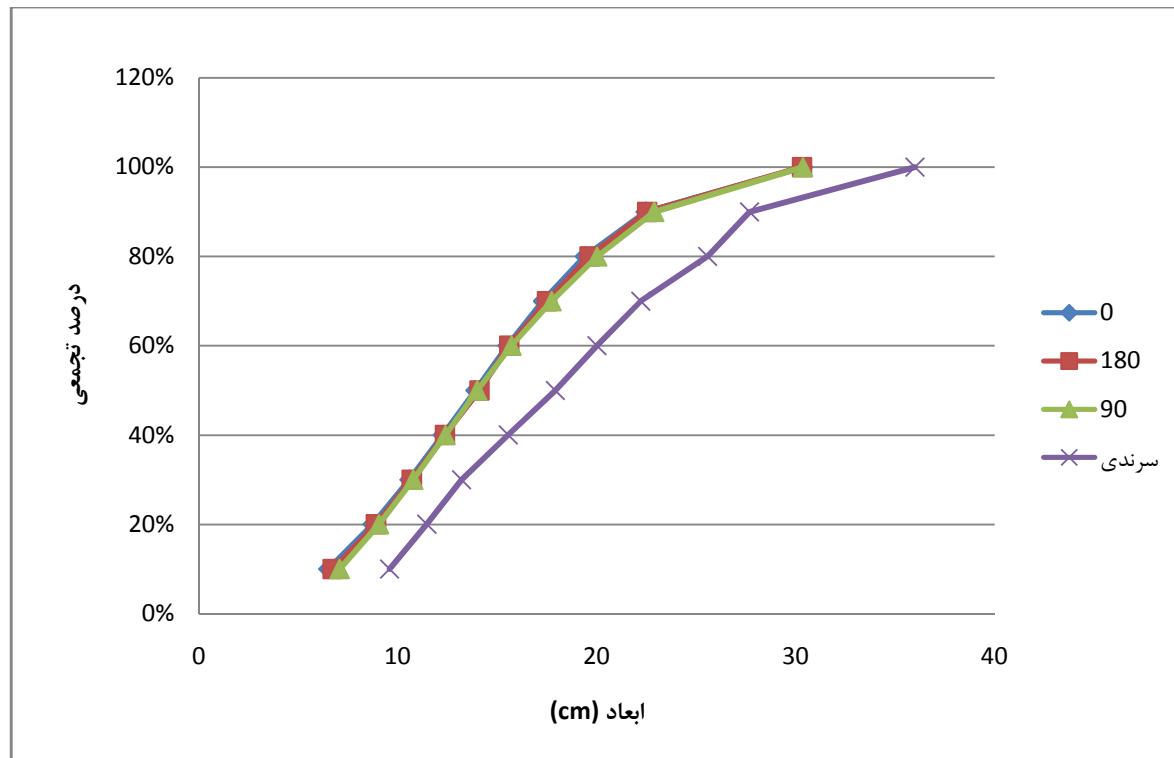
شکل ۱۲-۴ دانه بندی تودهسنگ در حالت کپه‌ای طبق نتایج آنالیز نرم‌افزار Goldsize

۴-۳-۲-۲-۲-۳-۴- نتایج آنالیز نرم‌افزار Split در حالت کپه‌ای

جدول ۴-۱۰ و شکل ۴-۱۳ توزیع دانه‌بندی تودهسنگ را طبق نتایج آنالیز نرم‌افزار Split در سه تصویر گرفته شده، نشان می‌دهند. منحنی دانه‌بندی سه تصویر در آنالیز نرم‌افزار Split، نسبت به آنالیز نرم‌افزار Goldsize، اختلاف کمتری با هم دارند و منحنی‌ها بر هم‌دیگر منطبق‌تر می‌باشند و توزیع دانه‌بندی تودهسنگ در این سه تصویر، به طوری که در جدول و شکل ارائه شده مشاهده می‌شود، تقریباً یکسان می‌باشد. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که نرم‌افزار Split در دانه‌بندی‌های یکسان و شرایط مشابه نتایج یکسانی را در عکس‌های مختلف ارائه می‌دهد. در این حالت نیز همانند حالت گستردگی، در مقایسه با آنالیز سرندي مشاهده می‌شود که دانه‌بندی این نرم‌افزار، ریزتر از حد معمول است.

جدول ۱۰-۴ نتایج دانه‌بندی در حالت کپهای توسط نرم‌افزار Split

درجه ۹۰	درجه ۱۸۰	درجه ۰	درصد تجمعی عبوری
(cm)	(cm)	(cm)	
7.07	6.72	6.5	10%
9.05	8.9	8.73	20%
10.77	10.7	10.58	30%
12.39	12.36	12.26	40%
13.99	14.1	13.9	50%
15.71	15.6	15.51	60%
17.73	17.5	17.29	70%
20.02	19.64	19.4	80%
22.89	22.54	22.46	90%
30.37	30.32	30.38	100%



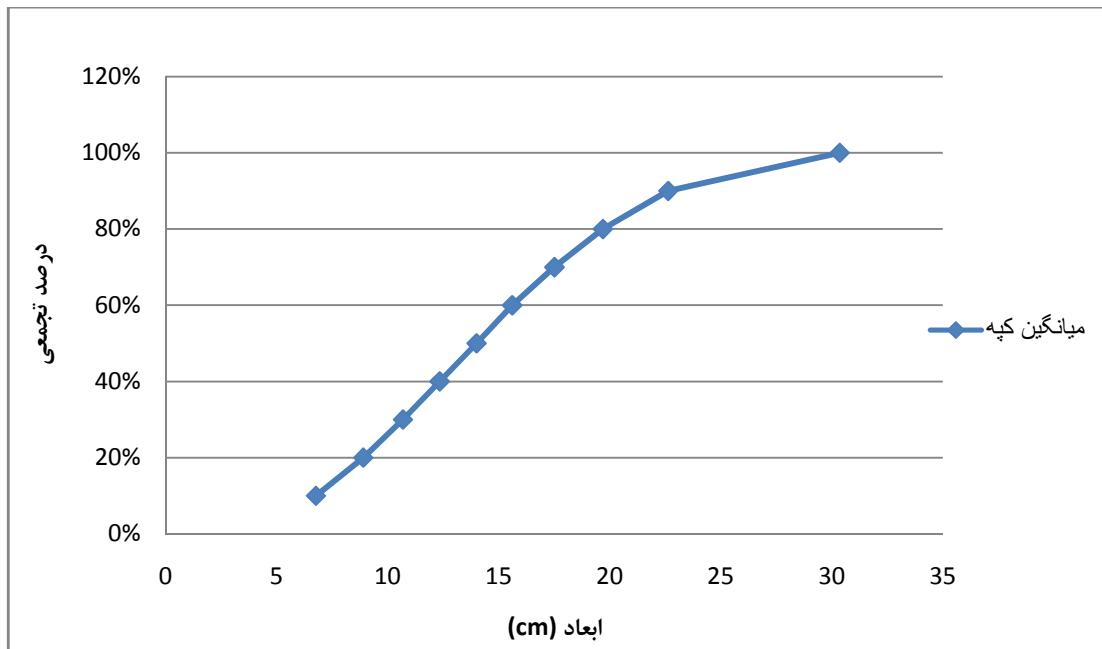
شکل ۱۳-۴ نتایج دانه‌بندی در حالت کپهای توسط نرم‌افزار Split و مقایسه با آنالیز سرندی

جدول ۱۱-۴ و شکل ۱۴-۴ توزیع دانه‌بندی توده‌سنگ را در حالت کپه‌ای طبق نتایج آنالیز نرم‌افزار

نیشان می‌دهند. این نتایج میانگین نتایج سه تصویر گرفته شده در حالت کپه‌ای می‌باشند.

جدول ۱۱-۴ دانه‌بندی توده‌سنگ در حالت کپه‌ای طبق نتایج آنالیز نرم‌افزار Split

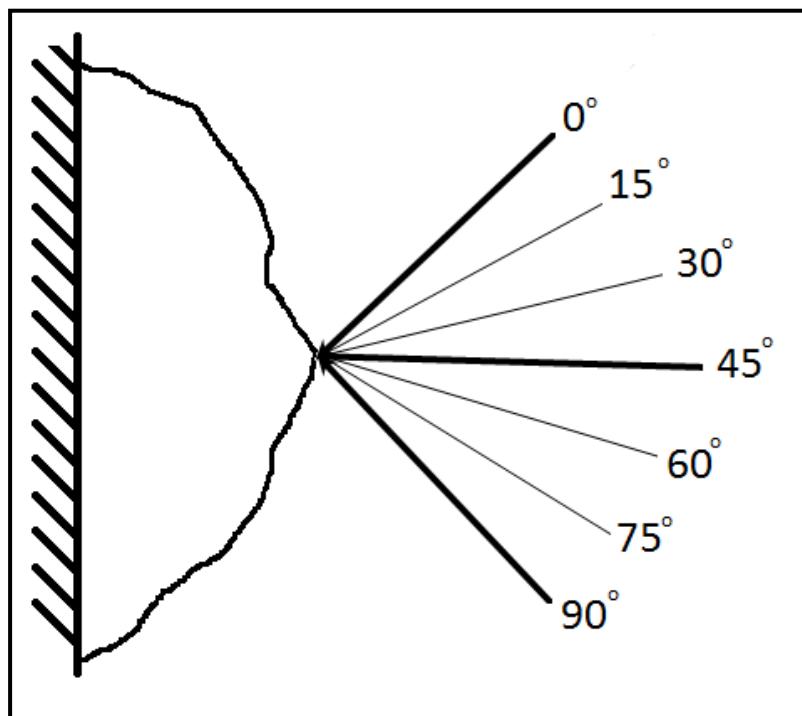
ابعاد(cm)	درصد تجمعی عبوری
6.763	10%
8.893	20%
10.683	30%
12.336	40%
13.996	50%
15.606	60%
17.506	70%
19.686	80%
22.63	90%
30.356	100%



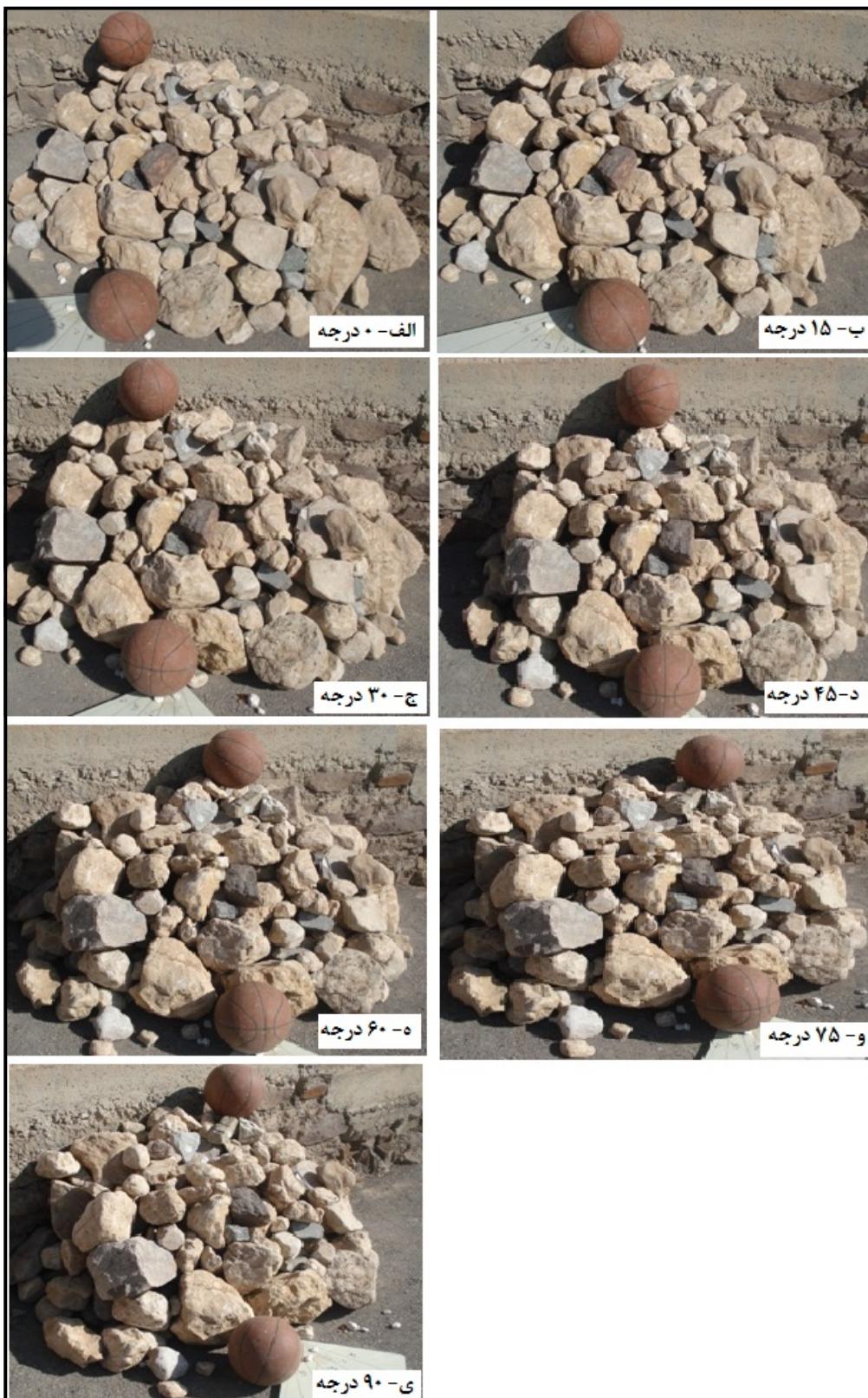
شکل ۱۴-۴ دانه‌بندی توده‌سنگ در حالت کپه‌ای طبق نتایج آنالیز نرم‌افزار Split

۴-۳-۳- تأثیر تغییر زاویه عکس‌برداری در نتایج آنالیز تصویری در حالت پله‌ای

در این حالت، برای تعیین تأثیر تغییر زاویه عکس‌برداری، طبق شکل ۱۵-۴ عکس‌هایی با زاویه ۱۵ درجه نسبت به هم، از توده گرفته شده است. شکل ۱۶-۴ عکس‌های گرفته شده را نشان می‌دهد.



شکل ۴-۱۵ ظریحه عکس‌برداری برای تعیین تأثیر تغییر زاویه در نتایج آنالیز تصویری

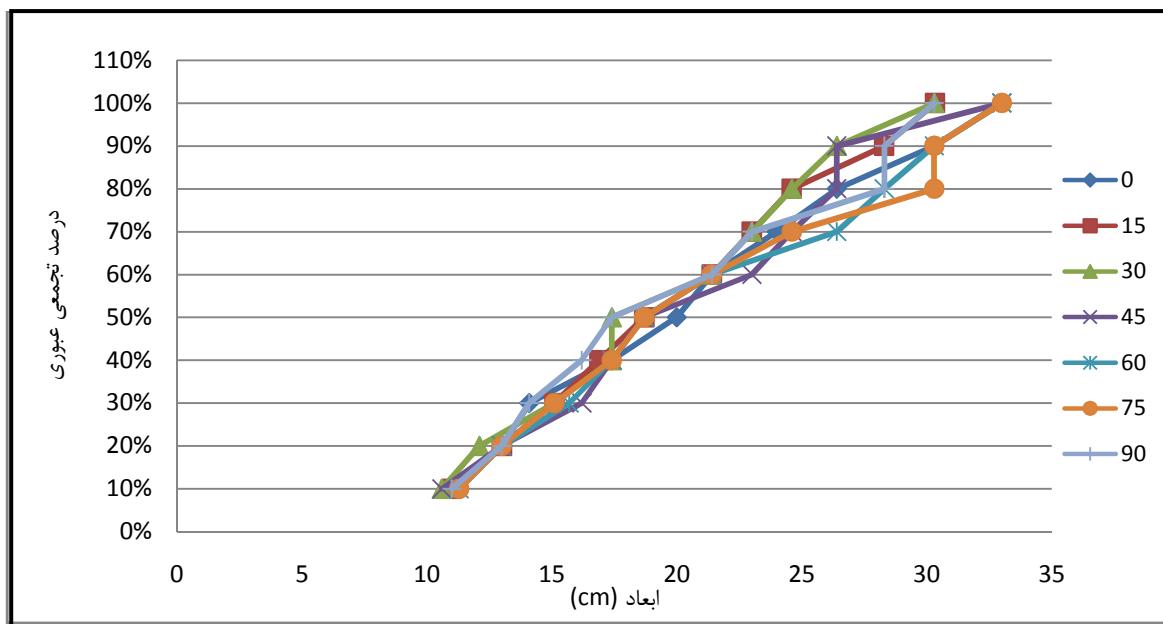


شکل ۱۶-۴ عکس‌های گرفته شده برای تعیین تأثیر تغییر زاویه در نتایج آنالیز تصویری

آنالیز عکس‌های گرفته شده در این قسمت تنها به وسیله نرم‌افزار Goldsize انجام شده است، زیرا در این نرم‌افزار مرزبندی به صورت دستی انجام می‌شوند و نتایج دقیق‌ترند. نتایج این آنالیز در جدول ۱۷-۴ و شکل ۱۷-۴ که متناظر با جدول می‌باشد در زیر ارائه شده است.

جدول ۱۷-۴ تاثیر تغییر زاویه در نمودار دانه‌بندی حالت پله‌ای Goldsize

90 (cm) ابعاد	75 (cm) ابعاد	60 (cm) ابعاد	45 (cm) ابعاد	30 (cm) ابعاد	15 (cm) ابعاد	0 (cm) ابعاد	درصد تجمعی عبوری
11	11.3	11.3	10.6	10.6	11	11.3	10%
13	13	13	13	12.1	13	13	20%
14.1	15.1	15.7	16.2	15.1	15.1	14.1	30%
16.2	17.4	17.4	17.4	17.4	16.9	17.4	40%
17.4	18.7	18.7	18.7	17.4	18.7	20	50%
21.4	21.4	21.4	23	21.4	21.4	21.4	60%
23	24.6	26.4	24.6	23	23	24	70%
28.3	30.3	28.3	26.4	24.6	24.6	26.4	80%
28.3	30.3	30.3	26.4	26.4	28.3	30.3	90%
30.3	33	33	33	30.3	30.33	33	100%



شکل ۱۷-۴ تاثیر تغییر زاویه در نمودار دانه‌بندی حالت پله‌ای Goldsize

مقایسه منحنی‌های دانه‌بندی حاصل از آنالیز عکس‌های گرفته شده در زوایای مختلف نشان می‌دهد؛ این منحنی‌ها مشابه بوده و هیچ روند خاصی را طی نمی‌کنند. بنابراین می‌توان گفت تغییر زاویه عکس‌برداری تأثیر بسیار کمی در نتایج آنالیز دارد، بطوری که هیچ رابطه‌ای نمی‌تواند تاثیر تغییر زاویه را در توزیع دانه‌بندی نشان دهد. جدول ۱۳-۴ ضریب همبستگی بین منحنی‌های دانه‌بندی حاصل از آنالیز عکس‌های گرفته شده در زوایای مختلف را نشان می‌دهد. به طوری که این جدول نشان می‌دهد، منحنی‌های دانه‌بندی تقریباً بر همدیگر منطبق می‌باشند.

جدول ۱۳-۴ ضریب همبستگی بین منحنی‌های دانه‌بندی

	0	15	30	45	60	75	90
0	1						
15	0.996229	1					
30	0.986664	0.993405	1				
45	0.975225	0.983052	0.994263	1			
60	0.988865	0.990531	0.989508	0.980951	1		
75	0.985119	0.983332	0.98208	0.973571	0.99306	1	
90	0.982004	0.982682	0.981072	0.973263	0.989398	0.997496	1

۴-۳-۴- تعیین دانه‌بندی پله آتشباری شده (حالت پله‌ای)

مرسوم‌ترین روش آنالیز تصویری، برای تعیین توزیع دانه‌بندی توده‌سنگ انفجاری، طبق روند زیر

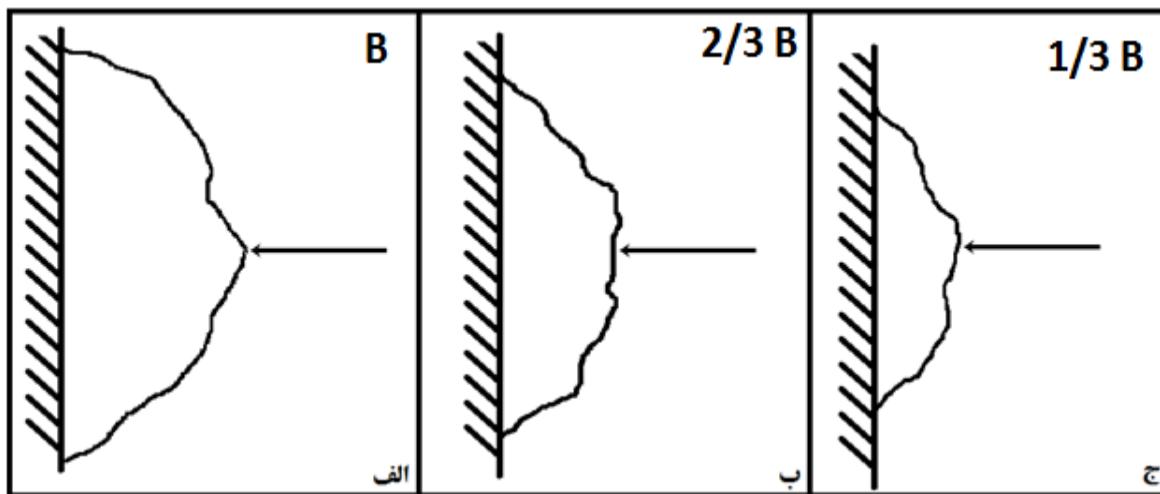
می‌باشد:

۱- عکس‌برداری از کل توده‌سنگ

۲- عکس‌برداری از $\frac{2}{3}$ توده‌سنگ

۳- عکس‌برداری از $\frac{1}{3}$ توده‌سنگ

در این روش، طبق روند ذکر شده، ابتدا از کل توده پس از انفجار عکس‌برداری می‌شود، همزمان با عملیات بارگیری، در مرحله بعد از $\frac{2}{3}$ توده عکس‌برداری و در نهایت از $\frac{1}{3}$ باقیمانده توده در پای پله، عکس‌برداری خواهد شد. نتایج دانه‌بندی این سه مرحله، به عنوان توزیع دانه‌بندی کل توده در نظر گرفته می‌شود. شکل ۱۸-۴ طرح نحوه عکس‌برداری از توده و شکل ۱۹-۴ عکس‌های گرفته شده از این مرحله را نشان می‌دهد.



شکل ۱۸-۴ طرح نحوه عکس‌برداری از توده‌سنگ انفجاری

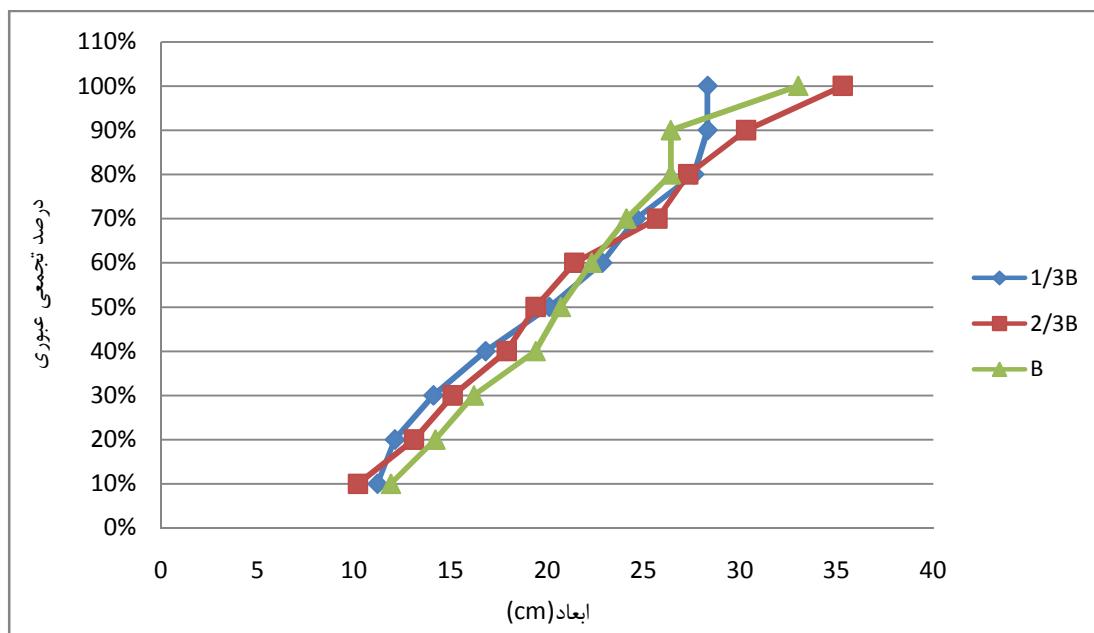


۱۹-۴ عکس‌های گرفته شده (تودهسنگ شکل انفجاری) الف- کل تودهسنگ، ب- $\frac{2}{3}$ تودهسنگ، ج- $\frac{1}{3}$ تودهسنگ

جدول ۱۴-۴ نتایج آنالیز عکس‌های گرفته شده از تودهسنگ را که به وسیله نرم‌افزار Goldsize آنالیز شده، در سه مرحله ذکر شده، نشان می‌دهد. شکل ۲۰-۴ منحنی‌های دانه‌بندی متناظر این آنالیز را که از نرم‌افزار Goldsize به دست آمده را نشان می‌دهد.

جدول ۱۴-۴ نتایج آنالیز عکس‌های توده‌سنگ به وسیله نرم‌افزار Goldsize

1/3B	2/3B	B	درصد تجمعی عبوری
ابعاد(cm)	ابعاد(cm)	ابعاد(cm)	
11.2	10.2	11.9	10%
12.1	13.1	14.2	20%
14.1	15.1	16.2	30%
16.8	17.9	19.4	40%
20.1	19.4	20.7	50%
22.84	21.4	22.3	60%
24.6	25.7	24.1	70%
27.6	27.3	26.4	80%
28.3	30.3	26.4	90%
28.3	35.3	33	100%

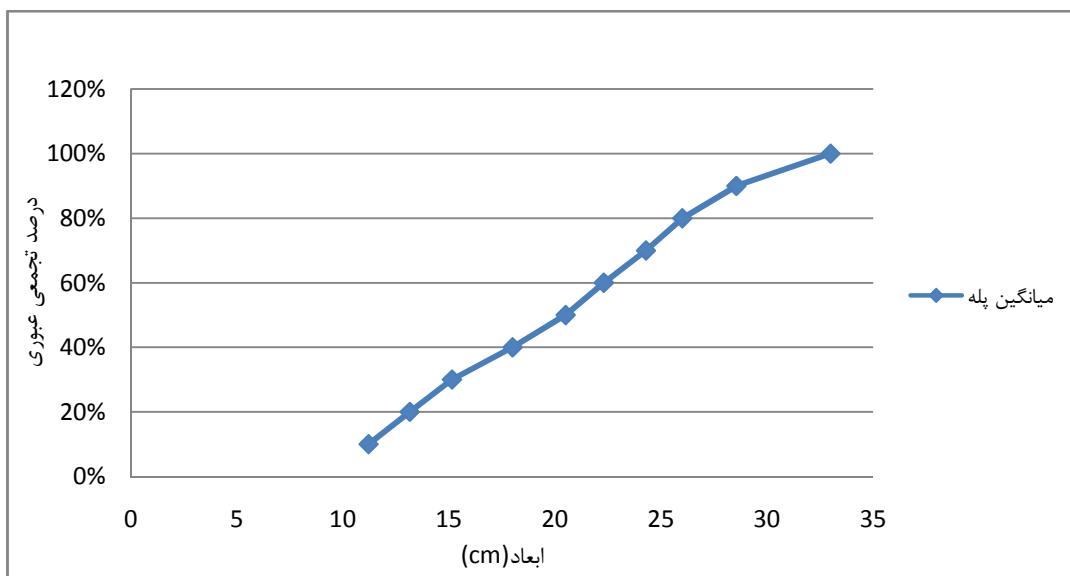


شکل ۲۰-۴ منحنی‌های دانه‌بندی پله به دست آمده از نرم‌افزار Goldsize

نتایج به دست آمده از سه مرحله عکس‌برداری پله با هم ترکیب و نتایج حاصله به عنوان توزیع دانه‌بندی توده‌سنگ انفجاری پذیرفته می‌شود. جدول ۱۵-۴ از ترکیب نتایج سه آنالیز جدول ۱۴-۴ به دست آمده و شکل ۲۱-۴ نمودار متناظر با این جدول می‌باشد.

جدول ۱۵-۴ توزیع دانه‌بندی توده‌سنگ در حالت پله‌ای به دست آمده از نرم‌افزار Goldsize

میانگین پله	درصد تجمعی عبوری
ابعاد (cm)	
11.22	10%
13.16	20%
15.15	30%
18.01	40%
20.51	50%
22.31	60%
24.3	70%
26.01	80%
28.56	90%
33	100%

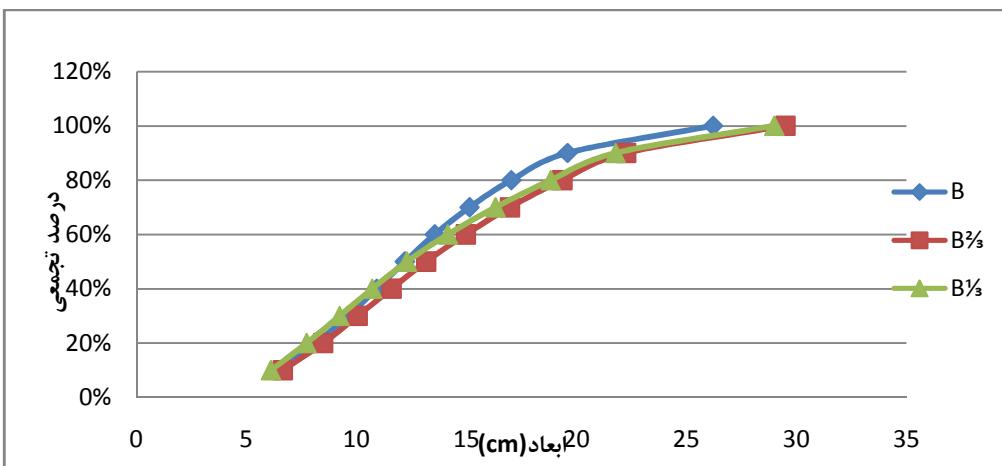


شکل ۲۱-۴ منحنی دانه‌بندی توده‌سنگ در حالت پله‌ای به دست آمده از نرم‌افزار Goldsize

جدول ۱۶-۴ نتایج آنالیز عکس‌های گرفته شده از توده‌سنگ را که به وسیله نرم‌افزار Split آنالیز شده، در سه مرحله ذکر شده، نشان می‌دهد. شکل ۲۲-۴ منحنی‌های دانه‌بندی متناظر این آنالیز را که از نرم‌افزار Split به دست آمده را نشان می‌دهد. در این منحنی‌ها نیز همانند حالت کپه‌ای می‌توان گفت، در عکس‌های گرفته شده از یک توده، نتایج آنالیز عکس‌ها در نرم‌افزار Split نسبت به نرم‌افزار Goldsize مشابه‌تر و نزدیک‌تر به هم می‌باشند و منحنی‌های عکس‌های دانه‌بندی عکس‌های مختلف از یک توده، بر همدیگر منطبق‌ترند.

جدول ۱۶-۴ نتایج آنالیز عکس‌های توده‌سنگ به وسیله نرم‌افزار Split

1/3B (cm) ابعاد	2/3B (cm) ابعاد	B (cm) ابعاد	درصد تجمعی عبوری
6.39	6.65	6.11	10%
8.15	8.48	7.73	20%
9.61	10.05	9.23	30%
10.93	11.59	10.71	40%
12.2	13.16	12.29	50%
13.56	14.97	14.15	60%
15.14	16.97	16.32	70%
17.04	19.35	18.83	80%
19.59	22.25	21.78	90%
26.21	29.49	28.99	100%

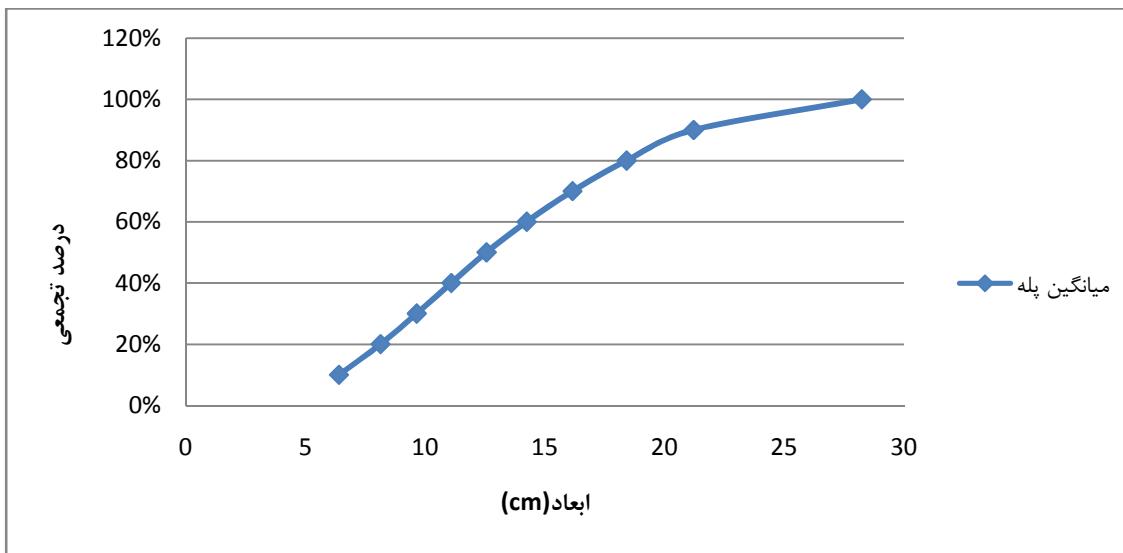


شکل ۲۲-۴ منحنی‌های دانه‌بندی پله به دست آمده از نرم‌افزار Split

جدول ۱۷-۴ از ترکیب نتایج سه آنالیز جدول ۱۶-۴ به دست آمده و شکل ۲۳-۴ نمودار متناظر با این جدول می‌باشد، که به عنوان منحنی دانه‌بندی تودهسنگ انفجاری که به وسیله نرم‌افزار Split به دست آمده، معرفی می‌شود.

جدول ۱۷-۴ توزیع دانه‌بندی تودهسنگ در حالت پله‌ای به دست آمده از نرم‌افزار Split

میانگین پله	درصد تجمعی عبوری
ابعاد (cm)	
6.383	10%
8.12	20%
9.63	30%
11.076	40%
12.55	50%
14.226	60%
16.143	70%
18.406	80%
21.206	90%
28.23	100%



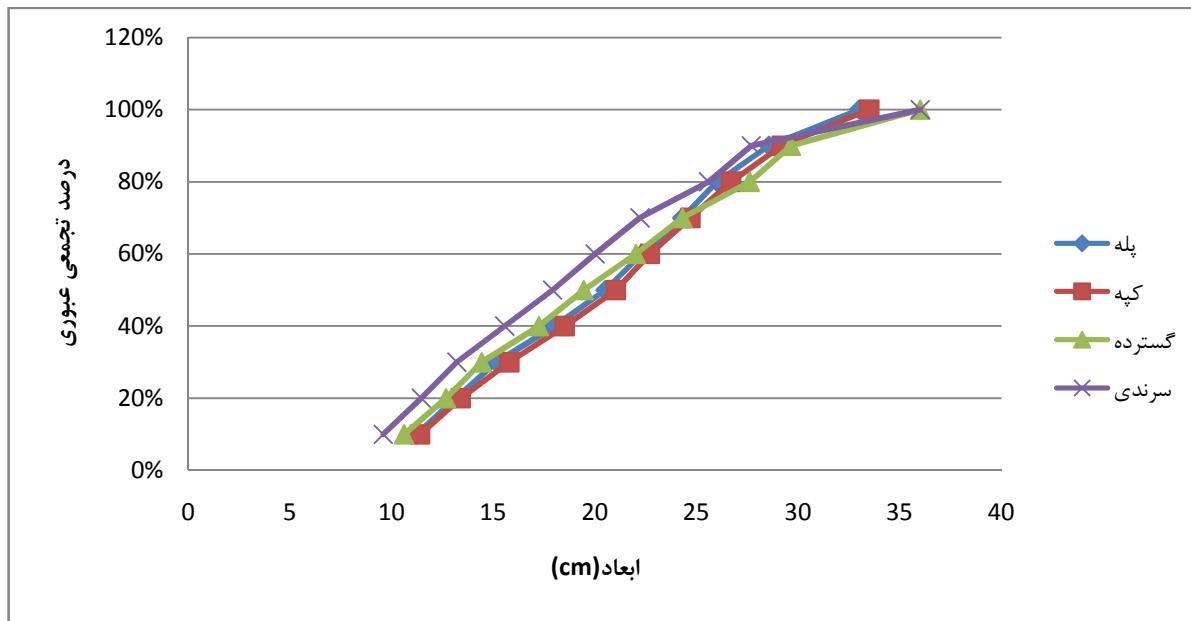
شکل ۲۳-۴ منحنی دانه‌بندی تودهسنگ در حالت پله‌ای به سمت آمده از نرم‌افزار Split

۴-۴- مقایسه و تحلیل منحنی‌های دانه‌بندی

برای نشان دادن تغییر شکل توده در نتایج دو نرم‌افزار و همچنین مقایسه نتایج دو نرم‌افزار، از دو نوع نمودار توزیع دانه‌بندی و درصد اختلاف در بعد استفاده شده است. این مقایسه‌ها در سه بخش تنظیم شده است که در زیر به شرح آن‌ها پرداخته شده است.

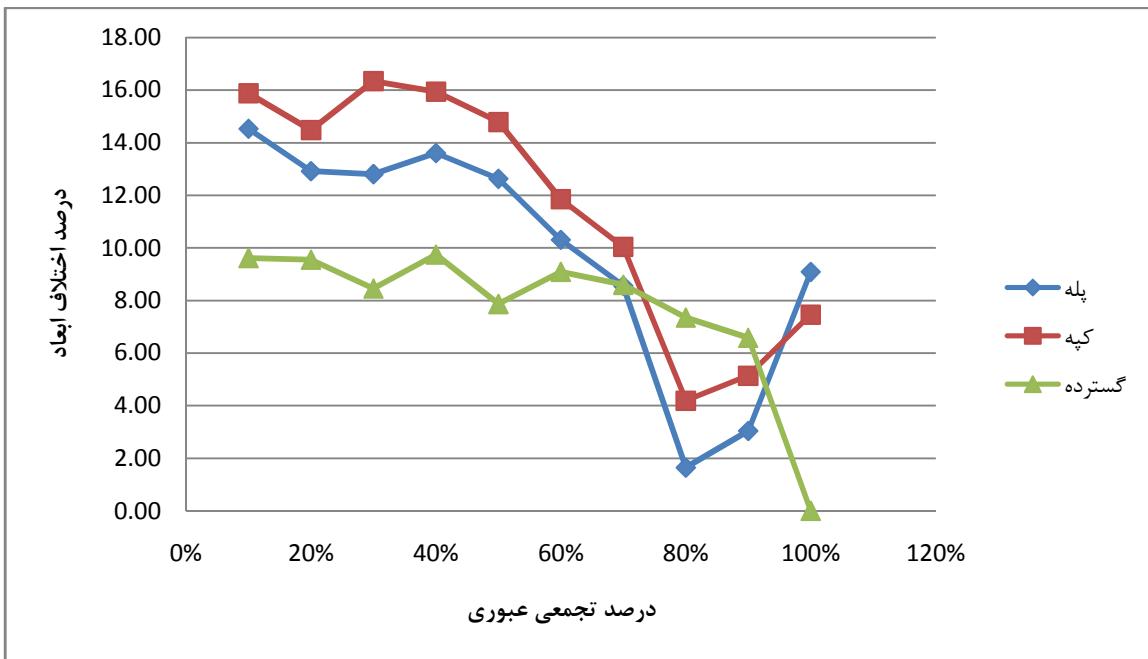
۴-۴-۱- تاثیر تغییر شکل توده در نتایج دانه‌بندی حاصل از آنالیز تصویری نرم‌افزار Goldsize

با مقایسه نتایج دانه‌بندی، در سه حالت گسترده، کپه‌ای و پله‌ای، می‌توان به تاثیر تغییر شکل توده در نتایج دانه‌بندی، پی‌برد. شکل ۲۴-۴ منحنی‌های دانه‌بندی مربوط به جداول ۷-۴، ۹-۴ و ۱۵-۴ که توزیع دانه‌بندی به دست آمده از نرم‌افزار Goldsize، در حالت‌های گسترده، کپه‌ای و پله‌ای را بیان می‌کنند، را نشان می‌دهد. این منحنی‌ها در همین نمودار، با منحنی دانه‌بندی آنالیز سرندي مقایسه می‌شوند، به طوری که در این نمودار مشاهده می‌شود، توزیع دانه‌بندی در حالت گسترده به توزیع دانه‌بندی آنالیز سرندي نزدیک‌تر می‌باشد، به عبارتی در بین سه حالت آنالیز تصویری، حالت گسترده بهترین دانه‌بندی را ارائه می‌دهد.



شکل ۲۴-۴ مقایسه منحنی‌های دانه‌بندی نرم‌افزار Goldsize با آنالیز سرندی

شکل ۲۵-۴ درصد اختلاف در بعد این منحنی‌ها را، در درصدهای تجمعی عبوری مشخص، نشان می‌دهد. در این نمودار هم می‌توان مشاهده کرد که، نتایج حالت گسترد از نظر درصد اختلاف بعد با آنالیز سرندی، نسبت به نتایج حالت کپه‌ای و پله‌ای بهتر است. همچنین در این نمودار می‌توان دید که، حالت پله‌ای نتایج بهتری نسبت به حالت کپه‌ای ارائه می‌دهد، که تنها توجیه آن می‌تواند این باشد، که در این حالت از داخل توده نیز عکس‌برداری صورت می‌گیرد، بنابراین در صورتی که ذراتی در تصویر اول به دلیل همپوشانی ذرات دیگر مشاهده شوند. در این نمودار درصد اختلاف بعد با افزایش درصد تجمعی عبوری (درشت‌تر شدن ابعاد)، کاهش می‌یابند.



شکل ۲۵-۴ درصد اختلاف در بعد حالت‌های مختلف توده سنگ

این نمودار را می‌توان در سه بخش مورد ارزیابی قرار داد؛ بخش اول، بخش دانه‌ریز است که، نشان می‌دهد آنالیز تصویری، مواد دانه‌بندی به خوبی ارزیابی نمی‌کند. در نمونه‌ای که مورد ارزیابی قرار گرفته، حجم مواد دانه‌ریز کمتر از ۱۰ درصد حجم توده می‌باشد، به همین دلیل خطای آنالیز تصویری در مقایسه با سایر بخش‌ها (آن چنان که انتظار می‌رود) مشهود نیست و می‌تواند قابل چشم‌پوشی باشد. پیش‌بینی می‌شود که هرچه حجم مواد دانه‌ریز نمونه بیشتر باشد، میزان خطای آنالیز تصویری در این بخش افزایش یابد.

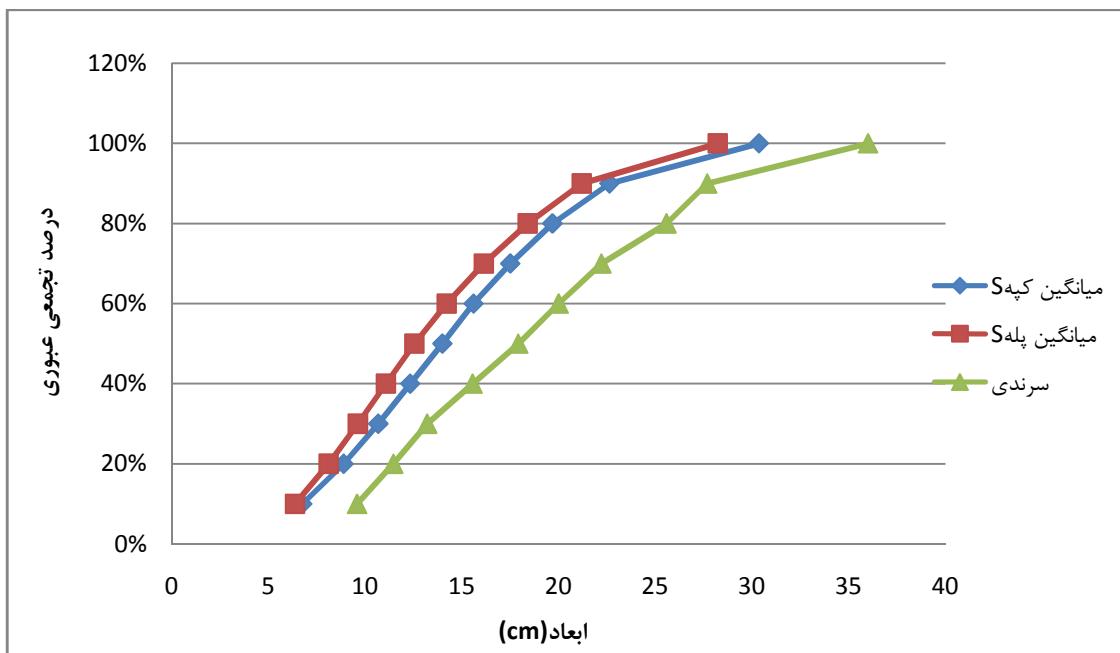
در بخش دوم، که مواد متوسط و دانه‌درشت نمونه را تشکیل می‌دهند، میزان خطای رو به کاهش می‌باشد. حجم این بخش، تقریباً بیشتر از ۸۰ درصد حجم نمونه را شامل می‌شود، بنابراین با وجود احتمال همپوشانی برخی از ذرات در این بخش، به دلیل اینکه تعداد این ذرات زیاد است، همواره در تصویر تعداد زیادی از آنها را می‌توان دید.

بخش سوم را بخش خیلی درشت (ابعاد بزرگ‌تر از ۳۰ سانتیمتر) است، که از لحاظ تعداد، ۱ درصد از کل نمونه (که ۴۱۵ خردمند سنگ بوده) را شامل می‌شوند و به دلیل اینکه احتمال همپوشانی این تعداد کم سنگ در تصویر بسیار بالاست، می‌توان میزان خطای این بخش را در حالت‌های کپه‌ای و پله‌ای توجیه کرد.

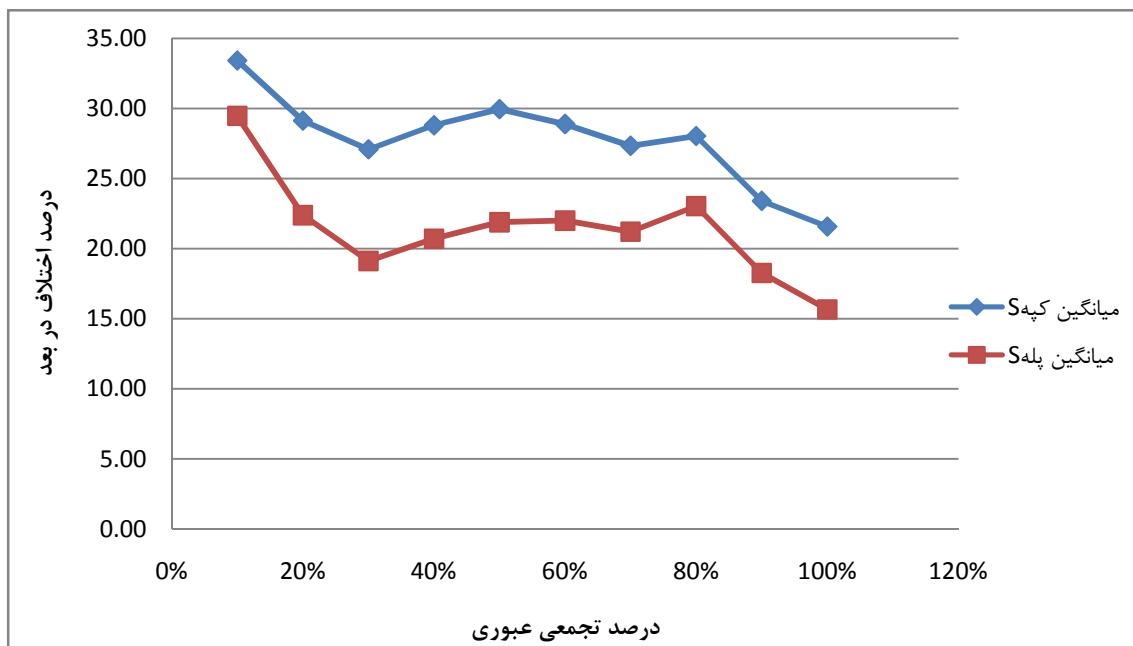
۴-۲-۴- تأثیر تغییر شکل توده در نتایج دانه‌بندی حاصل از آنالیز تصویری نرم‌افزار Split

همانطور که قبلاً اشاره شد، به دلیل اینکه نرم‌افزار Split اطلاعاتی از توزیع ابعادی بصورت عددی، ارائه نمی‌دهد، رسم منحنی دانه‌بندی حالت گستردگی ممکن نمی‌باشد. بنابراین در اینجا تنها می‌توان منحنی‌های دانه‌بندی حالت کپه‌ای و پله‌ای را با هم مقایسه کرد. شکل ۲۶-۴ منحنی دانه‌بندی حالت کپه‌ای و پله‌ای را همراه با منحنی دانه‌بندی آنالیز سرندي نشان می‌دهد. بطوری که مشاهده می‌شود، در هر دو حالت دانه‌بندی ریزتر از آنالیز سرندي می‌باشد. در این نمودار همانند نمودار ارائه شده بوسیله نرم‌افزار Goldsize منحنی دانه‌بندی حالت پله‌ای نزدیکتر به آنالیز سرندي است.

شکل ۲۷-۴ درصد اختلاف در بعد این منحنی‌ها را، در درصدهای تجمعی عبوری مشخص، نشان می‌دهد.



شکل ۲۶-۴ مقایسه منحنی‌های دانه‌بندی نرم‌افزار Split با آنالیز سرندی

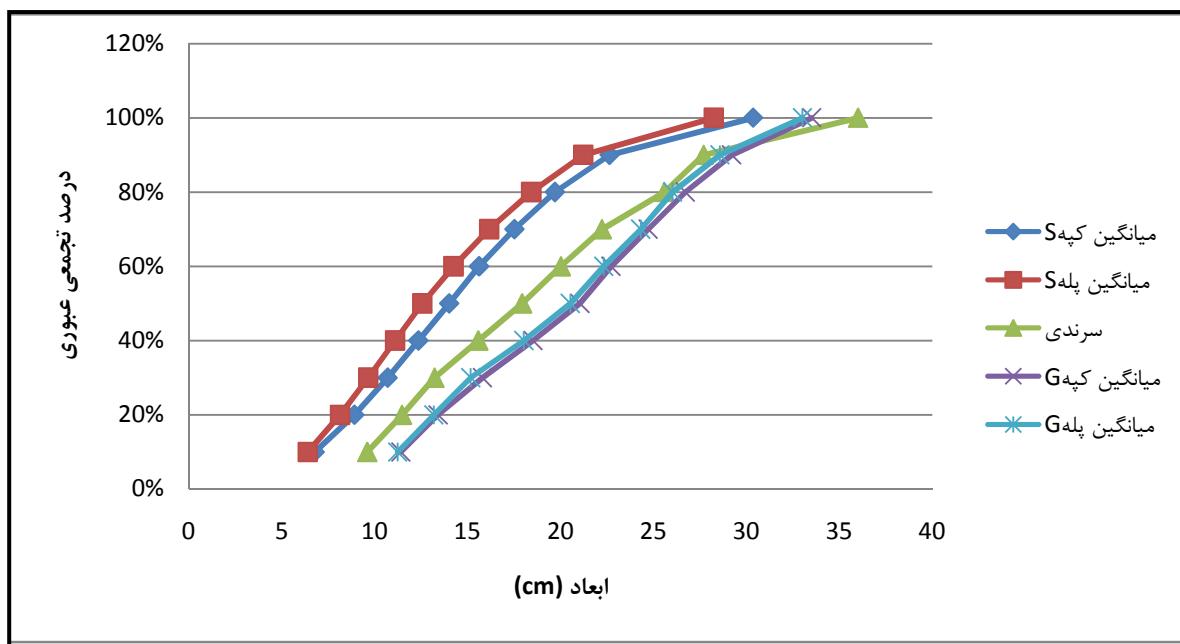


شکل ۲۷-۴ درصد اختلاف در بعد حالت‌های کپهای و پلهای توده سنگ

به طوری که در شکل ۲۷-۴ دیده می‌شود، درصد اختلاف ابعاد با درشت‌تر شدن دانه‌ها کاهش می‌یابد. علاوه بر این میزان اختلاف ابعاد حالت پله‌ای، کمتر از حالت کپه‌ای است. طبق نتایج دو نرم‌افزار می‌توان گفت حالت پله‌ای، ارزیابی بهتری از دانه‌بندی را ارائه می‌دهد.

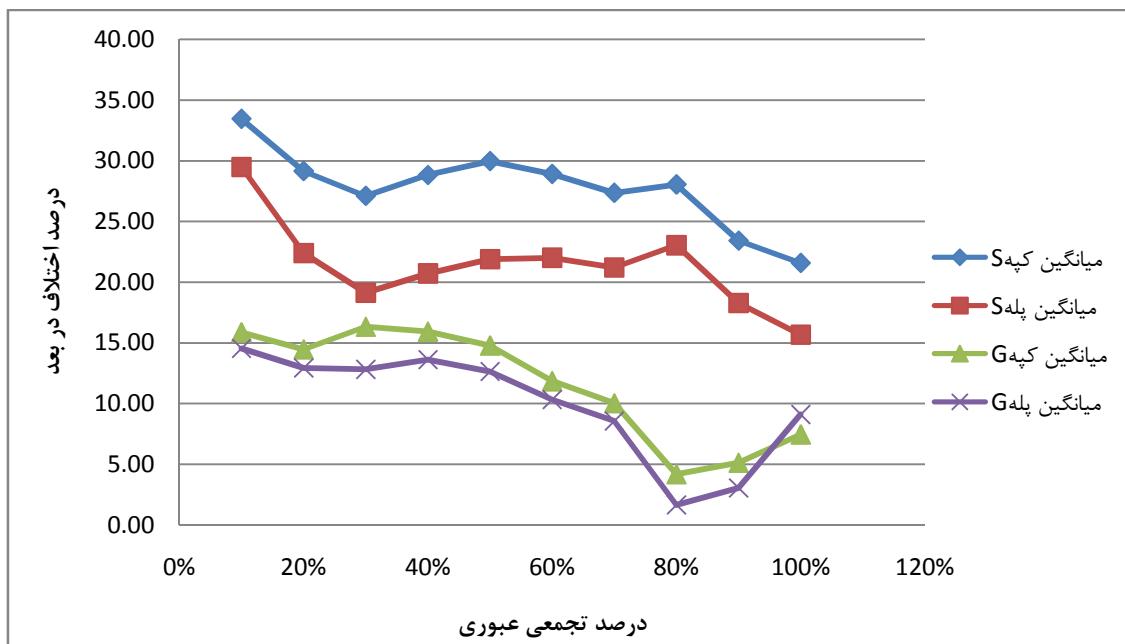
۴-۳-۴- مقایسه منحنی‌های دانه‌بندی نرم‌افزارهای Goldsize و Split

در قسمت ۳-۱-۳ منحنی دانه‌بندی این دو نرم‌افزار در حالت گستردگی مقایسه شد. در اینجا به مقایسه منحنی‌های دانه‌بندی دو نرم‌افزار، در حالت کپه‌ای و پله‌ای می‌پردازیم. شکل ۲۸-۴ منحنی‌های دانه‌بندی این دو نرم‌افزار را به همراه منحنی دانه‌بندی آنالیز سرندي، نشان می‌دهد. همانطور که در نمودار Goldsize می‌شود، نرم‌افزار Split دانه‌بندی را ریزتر از آنالیز سرندي نشان می‌دهد، اما نرم‌افزار دانه‌بندی درشت‌تری ارائه می‌دهد.



شکل ۲۸-۴ مقایسه منحنی‌های دانه‌بندی Goldsize و Split با آنالیز سرندي

شکل ۳۰-۴ درصد اختلاف در بعد منحنی‌ها را در درصدهای تجمعی عبوری مشخص، نشان می‌دهد. در نمودار این شکل دیده می‌شود که درصد اختلاف در بعد منحنی‌های ارائه شده Split، بیشتر از نرم‌افزار Goldsize می‌باشد، به عبارتی دیگر نرم‌افزار Goldsize نسبت به نرم‌افزار Split دقیق‌تری برای ارائه توزیع دانه‌بندی دارد. از بین منحنی‌های دانه‌بندی در شکل ۲۹-۴ نرم‌افزار Split در حالت پله‌ای، بدترین توزیع دانه‌بندی را برای توده‌سنگ ارائه می‌دهد و نرم‌افزار Goldsize در حالت پله‌ای، بهترین توزیع دانه‌بندی را تعریف می‌کند.



شکل ۲۹-۴ درصد اختلاف در بعد منحنی‌های Goldsize و Split

فصل پنجم

نتایج و پیشنهادات

۱-۵- نتایج

از آزمایشات انجام شده و تحلیل منحنی‌های دانه‌بندی، می‌توان به نتایج زیر دست یافت:

- نتایج آنالیز دو نرمافزار، از مقایسه شکل توده در سه حالت گستردگ، پله‌ای و کپه‌ای نشان می‌دهد، شکل گستردگ، منحنی دانه‌بندی مطلوب‌تری را ارائه می‌دهد. همچنین می‌توان از نتایج آنالیز به این نکته رسید، که شکل پله‌ای نتایجی بهتر و نزدیک‌تر به واقعیت را، نسبت به شکل کپه‌ای توده‌سنگ ارائه می‌دهد.
- تغییر زاویه عکس‌برداری از توده‌سنگ، تأثیر چندانی بر روی نتایج دانه‌بندی آنالیز تصویری ندارد.
- نرمافزار Goldsize دانه‌بندی را درشت‌تر از حالت واقعی (آنالیز سرندي) نشان می‌دهد.
- نرمافزار Split دانه‌بندی را ریزتر از آنالیز سرندي نشان می‌دهد و در آنالیز مواد دانه‌ریز، میزان خطای این نرمافزار بسیار بیشتر از سایر بخش‌های دانه‌بندی است، به طوری که نتایج آن در بخش دانه‌ریز، قابل قبول نمی‌باشد.
- نرمافزار Goldsize دانه‌بندی بهتری نسبت به نرمافزار Split ارائه می‌دهد. میزان خطای نرمافزار Goldsize کمتر بوده و دقیق‌تر از نرمافزار Split می‌باشد.
- منحنی‌های دانه‌بندی عکس‌های مختلف از یک توده با دانه‌بندی مشخص، در آنالیز نرمافزار Split منطبق‌تر و مشابه‌تر از آنالیز نرمافزار Goldsize می‌باشند. بنابراین در صورتی که میزان خطای آنالیز تصویری توسط نرمافزار Split، در یک توده با دانه‌بندی مشخص، در یک تصویر

تعیین شود، با اطمینان بیشتر نسبت به آنالیز نرمافزار Goldsize، می‌توان این میزان خطای نرمافزار را به عنوان ضریب تصحیح، به عکس‌های دیگر تعمیم داد.

۳-۵- پیشنهادات

- از آنجا که نتایج آنالیز تصویری بسیار متأثر از دانه‌بندی می‌باشد و در دانه‌بندی‌های مشابه نتایج مشابهی را ارائه می‌دهد، لذا پیشنهاد می‌شود در تعیین دانه‌بندی توده‌سنگ انفجری در معادن، از هر بخش دانه‌بندی نمونه‌ای تهییه شود، سپس نتایج آنالیز تصویری این نمونه با نتایج آنالیز سرندي مقایسه شود و از میزان خطای موجود، برای تعیین ضریب تصحیح در دانه‌بندی‌های مشابه، استفاده شود.
- میزان خطای نرمافزار Split در بخش دانه‌ریز بسیار بالا می‌باشد، لذا پیشنهاد می‌شود از این نرمافزار در بخش دانه‌ریز استفاده نشود.
- نتایج نرمافزار Split متأثر از فاکتورهای زیادی می‌باشد، بنابراین پیشنهاد می‌شود آنالیز تصویری با استفاده از این نرمافزار، توسط افرادی با مهارت و آشنایی کامل به حساسیت نرمافزار انجام شود.
- از آنجا که نرمافزار Goldsize به دلیل مرزبندی دستی، نتایج دقیق‌تری نسبت به سایر نرمافزارهای آنالیز تصویری که مرزبندی را به طور خودکار انجام می‌دهند، ارائه می‌دهد، لذا پیشنهاد می‌شود در نقاطی که نیاز به اطلاعات دقیق‌تری از دانه‌بندی توده‌سنگ می‌باشد، از این نرمافزار استفاده شود.

منابع

منابع فارسی

دهقان بنادکی، محمد، مجیدی، عباس، ۱۳۸۰، "تعیین خردشده‌گی سنگ در اثر انفجار با استفاده از روش عکسبرداری"، مجموعه مقالات دومین کنفرانس معادن روباز ایران، دانشگاه باهنر کرمان.

رضایی، بهرام، تکنولوژی فراوری مواد معدنی، انتشارات موسسه تحقیقاتی و انتشاراتی نور، ۱۳۷۶.

منصوری، حمید، ۱۳۸۰، "برآورد کمی بازدهی انفجارات معدنی". مجموعه مقالات اولین کنفرانس معادن روباز ایران. چاپ اول.

نعمتالهی، حسین، ۱۳۷۷، "کانه آرایی"، جلد اول، مؤسسه انتشارات و چاپ دانشگاه تهران.

منابع خارجی

- Barkley, T., and Russell, C., 1999, "**Evaluation of optical sizing methods**", Proceedings of the 25th Annual Conference on Explosives and Blasting Technique, Nashville, Tennessee, USA, Vol. II, pp 305-323.
- BoBo, T., 2001, "**What's new with the digital image analysis software Split-Desktop?**", 2001 High Tech Seminar - Blasting Technology, Instrumentation and Explosive Applications, Nashville, TN USA, July 22-26, 2001, pp. X1-9.
- Chung, S.H., Katsabanis, P. D., 2000, "**Fragmentation prediction using improved engineering formula**". FRAGABLAST – Int. J. Blast. Fragment. 4, pp 198–207.
- Cochrane, W.G., 1977, "**Sampling Techniques**", John Wiley & Sons Inc., Design Concepts; A. A. Balkema; Rotterdam. pp 428-432.

Dahlhielm, S., 1996, “*Industrial applications of image analysis – The IPACS system*”, In: Franklin, J.A., Katsabanis, P.D. (eds.), Measurement of blast fragmentation. Balkema, Rotterdam, pp 59–65.

Downs, D.C., Kettunen, B.E., 1996, “*On-line fragmentation measurement utilizing the CIAS system*”, In: Franklin, J.A., Katsabanis, P.D. (eds.), Measurement of blast fragmentation. Balkema, Rotterdam, pp 79–82.

Eden, D.J., and Franklin, J.A., 1996, “*Fusion and disintegration problems*”, Proc. ISRM/Fragblast 5 Worshop and Short Course on Fragmentation Measurement, Montreal, A.A. Balkema.

Esen, s & Bilgin, H.A., 2000, “*Effect of explosive on fragmentation*”, Department of Mining Engineering, Middle East Technical University, Ankara, Turkey.

Franklin, J.A. and Katsabanis, T., 1996 “*Measurement of Blast Fragmentation*”, Proceedings of the FRAGBLAST’5 Workshop, Montreal 23-24 August, 1996, Published by Balkema Press, Rotterdam/Brookfield 1996

Franklin, J.A., Kemeny, J.M. and Girdner K.K., 1996, “*Evolution of Measuring Systems: A review*”, Proceedings of the Fragblast-5 Workshop on Measurement of Blast Fragmentation, A.A. Balkema, Montreal, Quebec, Canada, pp. 47-52.

Girdner, K., Kemeny, J., Srikant, A., and McGill, R., 1996, “*The Split System for Analyzing the Size Distribution of Fragmented Rock*”, Proceedings of the Fragblast-5 Workshop on Measurement of Blast Fragmentation, A.A. Balkema, Montreal, Quebec, Canada, pp. 101- 108.

Havermann, T., Vogt, W., 1996, “*TUCIPS – A system for the estimation of fragmentation after production blasts*”, In: Franklin, J.A., Katsabanis, P.D. (eds.), Measurement of blast fragmentation. Balkema, Rotterdam, pp67–71.

Higgins, M., BoBo, T., Girdner, K., Kemeny, J. and Seppala, V., 1999, “*Integrated Software Tools and Methodology for Optimization of Blast Fragmentation*”, Proceedings of the Twenty-Fifth Annual Conference on Explosives and Blasting Technique, Nashville, Tennessee, USA, Volume II, pp. 355-368.

Hustrulid, W., 1999; “*Blasting principals for open pit mining*”; Vol.1, General.

Jimeno, L.C., Jimeno, L. E.& Carcedo, F., 1995, “*Drilling and blasting of rocks*”, A. A. Balkema, Rotterdam.

John, F.,Takis, K., 1996, “*Measurement of Blasting Fragmentation*”, Balkema, A.A, Rotedam,,

Kemeny, J, Girdner, K and BoBo T., 1999, “*New Advances in Digital Image Analysis Software to Quantify the Size Distribution of Fragmented Rock*”, MINNBLAST 99, pp. 27-43.

Kemeny, J, Girdner, K, BoBo, T and Norton, B., 1999, “*Improvements for Fragmentation measurement by Digital Imaging: Accurate Estimation of Fines*”, Sixth International Symposium for Rock Fragmentation by Blasting, SAIMM, pp. 103-110.

Kemeny, J, Mofya, E., Kaunda, R, Perry, G, Morin, B., 2001, “*Improvements in blast fragmentation models using digital image processing*”, Proceedings of the 38th Rock Mechanics Symposium, Washington, D.C., USA.

Kemeny, J., 1993, “*Analysis of Rock Fragmentation Using Digital Image Processing*”, Journal of Geotechnical, Vol. 119, No.7, pp. 1144-1160.

Kemeny, J., 1994, “*A Practical Technique for Determining the Size Distribution of Blasted Benches, Waste Dumps, and Heap-Leach Sites*”, Mining Engineering, Vol. 46, No. 11, pp. 1281-1284.

Kemeny, J., Mofya, E. & Kannda R.; 2001; “*Predicting blastn fragmentation using digital image processing and drill monitoring data*”; Mine Planing and Equipment Selection.

Kenneth R. Costleman; 1996; “*Digital image processing*”; Prentice- Hall, Inc.

Kleine, T.H., Cameron, A.R., 1996, “*Blast fragmentation measurement using GoldSize*”, In: Franklin, J.A., Katsabanis, P.D. (eds.), Measurement of blast fragmentation. Balkema, Rotterdam, pp. 83-89.

La Rosa, D, Girdner, K, Valery, W, Abramson, S., 2001, “*Recent applications of the Split-Online image analysis system*” VI SHMMT / XVIII ENTMM, Rio de Janeiro, Brazil.

Liu, Q., and Tran, H., 1996, “*Comparing systems - Validation of Fragscan, WipFrag, and Split*”, Proceedings of the Fragblast-5 Workshop on Measurement of Blast Fragmentation, A.A. Balkema, Montreal, Quebec, Canada, pp. 151-155.

Lowery, M, Kemeny, J, Girdner, K., 2000, “*Advances in blasting practices through the accurate quantification of blast fragmentation*”, 2000 SME Annual Meeting, Salt Lake City, UT, USA.

MacLachlan, R.R, Singh, A., 1989, “*Photographic determination of oversize particles of heaps of blasted rock*”. J. South Afr. Inst. Min. Metallurgy 89, pp 147–152.

Maerz, N.H, and Zhou, W., 1999, "***Optical digital fragmentation measuring systems - inherent sources of error***". Accepted for publication, FRAGBLAST- The International Journal For Blasting and Fragmentation.

Maerz, N.H, and Zhou, W., 1999b, "***Calibration of optical digital fragmentation measuring systems***", To be presented, FRAGBLAST 6 - The Sixth International Symposium for Rock Fragmentation by Blasting, Johannesburg, South Africa, 8-12 August, 1999.

Maerz, N.H. 1996, "***Image sampling techniques and requirements for automated image analysis of rock fragmentation***". Proceedings of the FRAGBLAST 5 Workshop on Measurement of Blast Fragmentation, Montreal, Quebec, Canada. Franklin, J.A, and Katsabanis, T., (ed.). A.A. Balkema, 1996, pp. 115-120.

Maerz, N.H., 1998, "***Aggregate sizing and shape Determination using digital image processing***". Center For Aggregates Research (ICAR) Sixth Annual Symposium Proceedings, pp. 195-20.

Mario. A. & Morin. Francesco Ficarazzo., 2006, "***Monte Carlo Simulation as a tool to Predict blasting fragmentation Based on the Kuz-Ram model***". Computer & Geosciences.

Montoro, J.J, Gonzalez, E., 1993, "***New Analytical Techniques to Evaluate Fragmentation Based on Image Analysis by Computer Methods***", Rock Fragmentation by Blasting, A.A. Balkema. Rotterdam.

Nakajima, Y., Whiten, W & M. E. White., 1978, "***Method for measurement of particle-shapedistribution by sieves***", Trans. Inst . Min. Metall., Sect. C, Miniral Proc. And Extractive Metall.1: 15 193-203.

Oraee, K, Asi, B., 2006, "***Prediction of Rock Fragmentation in Open Pit Mines, using Neural Network Analysis***".

Ozdemir, K, Kahriman, A, Karadogan, A., 2003, "***Blast fragmentation assessment and control using the Split Digital Image Analysis System***", International Conference on Earth Sciences and Electronics.

Palangio, T. C., 1996, "***Photographic and Image Quality Requirement for WipFrag Fragmentation Measurements***". Proc. ISRM/Fragblast 5 Worshop and Short Course on Fragementation Measurement, Montreal, A. A. Balkema.

Palangio, T.C., and Franklin, J.A. 1996, "***Practical guidelines for lighting and photography***". Proceedings of the FRAGBLAST 5 Workshop on Measurement of Blast Fragmentation,

Montreal, Quebec, Canada. Franklin, J.A, and Katsabanis, T., (ed.). A.A. Balkema, 1996, pp 111-114.

Prasher C.L., 1987, “*Crushing and Grinding process handbook*”, john wiley and sons.

Priya, P., Ramamoorthy, B., 2006, “*The influence of component inclination on surface finish evaluation using digital image processing*”, International Journal of machine tools&Manufacture.

Raina, A.K., Choudhury, P.B., Ramulu, M., Chrakraborty, A.K., Dudhankar, A.S., 2002, “*Fragalyst – an indigenous digital image analysis system for grain size measurement in mines*”. J. Geol. Soc. India 59, pp 561–569.

Rholl, S.A., Grannes, S.G. and Stagg, M.S., 1993, “*Photographic assessment of the fragmentation distribution of rock quarry muckpiles*”, Proc. FRAGBLAST, Vienna, Austria, Balkema, pp 501- 506.

Rustan, P.A., 1998, “*Automatic Image Processing and Analysis of Rock Fragmentation – Comparison of Systems and New Guidelines for Testing the Systems*”, FRAGBLAST – International Journal of Blasting and Fragmentation, Vol. 2 No. 1, pp. 15-23.

Santamarina, C., Moreley, M., Wang, D., and Franklin, J.A., 1995, “*A Filtered Zoom-Merge Technique for Combining Images at Various Scales of Magnifications*”. Geotech. Testing J., ASTM.

Schleifer, J., Tessier, B., 1996, “*FRAGSCAN: A tool to measure fragmentation of blasted rock*”. In: Franklin, J. A., Katsabanis, P. D. (eds.), Measurement of blast fragmentation. Balkema, Rotterdam, pp 73–78.

Sudhakar, J., Adhikari G. R., and Gupta R. N., 2005, “*Comparison of Fragmentation Measurements by Photographic and Image Analysis Techniques*”, National Institute of Rock Mechanics, Kolar Gold Fields, India.

Vogt, W, & Abbrock, O., 1993, “*Digital image proceccing as an instrument to evaluate rock fragmentation by blasting in open pit mines*”, Rock Fragmentation by Blasting; A.A. Balkema, Rotterdam.

Wang, W.X & Stephansson, O., 1996, “*Comparison between image analysis of aggregates*”. Dept. of Civil and Environmental Engineering , Royal Institute of Technology , Stokholm, Sweden.

Wills. B.A., 1997, “*Mineral Processing Technology*”. 6th Edition Pergamon Press, England.

Abstract

Fragmentation is an important factor for blasting operation successfulness and can reducing costs of a mine. Nowadays for low price and time saving reasons of image processing method, this operation is a routine method at fragmentation operation and optimum pattern recognition of blasting. Several works throughout the world were done to determine the gradation of fragmented rock masses with the use of image processing soft wares. But because of expensive costs of screen analysis and either its non operational conditions, in much cases results were without proper investigations and necessary verifications. In image processing science, some factors are affective to fragmentation investigation. Some of which that can be mention are angle of photography, number of necessary pictures, shape of muck pile, gradation, distribution of fragmented parts, soft ware that used and etc. the goal of this research is to assess the effect of mentioned factors on results of two image processing soft ware, “GOLDSIZE” and “SPLIT”; and also evaluation and comparison of results of both soft ware’s.

For this research a pile of fragmented rocks hauled to lab. First the pile was screen analyzed and its curves plotted. In next step, these rocks photographed at three different situations like spread, bench shape and pile. The effects of change in angle at bench situation, on results of image processing, with change of photography angle in different angels were surveyed. Photographed pictures analyzed by “GOLDSIZE” and “SPLIT” soft wares. From experiments were done and analysis of gradation curves it can be seen that spread shape of fragmented rocks have the best gradation curve and also the bench shape of rocks have a better and nearer results to reality in relation to muck shape. The change of photography angle doesn’t have much effect on image processing gradation results. In compare of two mentioned soft wares, it can be seen that the “GOLDSIZE” magnify the results (toward screen analysis) and the “SPLIT” show it finer than screen analysis. In fine particles analysis, the error of “SPLIT” were greater than of other parts of gradation, this is in such manner that results of fine particles are not acceptable. The error of “GOLDSIZE” is less than of “SPLIT” and “GOLDSIZE” is much precise than of “SPLIT”.

Keywords: gradation curve, Screen analysis, image processing, GOLDSIZE software, SPLIT software.



Shahrood University of Technology
Faculty of Mining Eng, Petroleum and Geophysics
Extraction department

Size Distribution Curves Analysis of Fragmentation Rock Mass using Image Processing Soft Wars and Comparing with its Practical Condition

By
As'ad Mahmood Nezhad

Under supervisors of
Dr. Farhang Sereshki
Dr. Mohammad Ataei

Consultant
Ms. Seied Hadi Hosseini

A thesis submitted to graduate studies office
in partial fulfillment of requirement for the degree of

Master of Engineering

in

Mining Engineering

June 2010