



## مقایسه عملکرد نرم افزارهای تجاری در تعیین توزیع دانه بندی سنگ حاصل از انفجار

سید محمود معصومی نسب<sup>۱</sup>، سید محمد اسماعیل جلالی<sup>۲\*</sup>، مهدی نوروزی<sup>۳</sup>

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک، دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود  
۲- دانشیار، دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک، دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود  
۳- استادیار، دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک، دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود

(دریافت ۱۳۹۷/۰۳/۱۶، پذیرش ۱۳۹۷/۱۲/۰۵)

### چکیده

خردشدگی به عنوان یکی از نتایج انفجار کیفیت انفجار را مشخص می کند. دقیق ترین روش تعیین توزیع دانه بندی، تجزیه سرندي است اما به دلیل وقت گیر بودن و حجم زیاد مواد خرد شده بر اثر انفجار، امری سخت و گاهی غیرممکن است، بنابراین از روش پردازش تصویر دیجیتال برای ارزیابی خردایش سنگ های حاصل از آتشکاری استفاده می شود که دقت و سرعت قابل قبولی دارند. در پژوهش حاضر، دو نرم افزار پرکاربرد پردازش تصویر WipFrag و Split Desktop از نظر کارایی مقایسه شده اند. نمونه مورد مطالعه، سنگ آهک آتشکاری شده در معدن جاجرم است. به همین منظور، ابتدا تصویر مورد نظر با هر دو نرم افزار به روش دستی، مرزبندی شده و نتایج آن با تجزیه سرندي مقایسه شده است که نشان می دهد، منحنی خروجی از Split Desktop، بیشترین مطابقت را با تجزیه سرندي دارد. بیشینه اختلاف تجزیه سرندي با نتایج Split Desktop و WipFrag، به ترتیب برابر ۳/۵۹ و ۱۱/۳۸ درصد است. حالت های مختلف مقایسه ای شامل بررسی اثر نوع مرزبندی (خودکار و دستی)، اثر دوران تصویر با ثابت ماندن مقیاس و تفکیک یک تصویر به چهار تصویر مجزا و ترکیب نتایج بررسی شده است. برای نرم افزارهای Split Desktop و WipFrag، بیشینه اختلاف نتایج مرزبندی خودکار و دستی به ترتیب برابر با ۱/۲۸ و ۳/۷۹ درصد، بیشینه اختلاف ایجاد شده در اثر چرخش تصویر به ترتیب برابر با ۱/۹۶ و ۸/۰۹ درصد و بیشینه اختلاف ایجاد شده در اثر تفکیک تصویر و ترکیب منحنی ها، به ترتیب برابر با ۳/۰۱ و ۹/۵۸ درصد است. بنابراین همواره نتایج نرم افزار Split Desktop در مقایسه با WipFrag قابل قبول تر بوده است.

### کلمات کلیدی

توزیع دانه بندی، تجزیه سرندي، پردازش تصویر دیجیتال، Split Desktop، WipFrag.

## ۱- مقدمه

قطعات، تار شدگی تصاویر، سرعت نوار نقاله و تولید گرد و غبار انجام داده‌اند [۸].

صدیقی<sup>۴</sup> و همکارانش، برای تحلیل خردشدگی حاصل از انفجار در معدن سنگ آهک از نرم‌افزار Split Desktop استفاده کرده‌اند و با استفاده از نتایج آن، عملیات آتشکاری را مورد ارزیابی قرار داده‌اند [۳]. تورلی<sup>۵</sup> نیز کاربرد پردازش تصویر را برای سنگ آهک روی نوار نقاله مورد بررسی قرار داده است و از پردازش تصویر برخط به عنوان ابزاری مناسب در تعیین توزیع دانه‌بندی مواد در حال حرکت یاد کرده است [۹].

سروی<sup>۶</sup> و ثوت<sup>۷</sup> با استفاده از نرم‌افزار WipJoint و WipFrag، اثر درزه‌داری توده‌سنگ بر خردایش حاصل از ۱۰ مورد آتشکاری در معدن سنگ آهن و ۸ مورد آتشکاری در معدن سنگ آهک را با هدف ارزیابی دانه‌بندی سنگ معدن برجا، مورد بررسی و تحلیل قرار داده‌اند [۱۰]. ونکاتش<sup>۸</sup> و همکارانش با استفاده از نرم‌افزار WipFrag و با هدف بهینه‌سازی عملیات حفاری و انفجار در معدن سنگ آهن، نتایج خردشدگی حاصل از انفجار چال‌های ۱۰۲ و ۱۶۵ میلی‌متری را ارزیابی کرده‌اند [۱۱]. شانتی<sup>۹</sup> و همکارانش، قابلیت کاربرد برخط<sup>۱۰</sup> نرم‌افزارهای پردازش تصویر و تعیین توزیع دانه‌بندی لحظه‌ای بار روی نوار نقاله را بررسی کرده‌اند [۱۲].

جهانی و تاجی طی پژوهش خود، با استفاده از نرم‌افزار Split Desktop، مدل‌های پیش‌بینی‌کننده خردایش پس از آتشکاری را برای دو کانسنگ هماتیت و مگنتیت اعتبارسنجی کرده‌اند [۱۳]. حسینی و همکارانش با هدف ساده‌سازی و سرعت بخشیدن به اندازه‌گیری خردایش حاصل از آتشکاری از کدنویسی در نرم‌افزار Matlab استفاده کرده و نتایج پردازش تصاویر با Matlab را با نتایج تجزیه سرنندی نمونه‌های آزمایشگاهی و نتایج نرم‌افزارهای Goldsize و Split Desktop اعتبارسنجی کرده‌اند [۱۴]. آن‌چه که گفته شد عموماً در مورد کاربرد نرم‌افزارهای پردازش تصویر در معدنکاری برای اهداف خاص است.

پژوهش حال حاضر برای اعتبارسنجی دو نرم‌افزار WipFrag و Split Desktop با نتایج تجزیه سرنندی و انتخاب نرم‌افزار مناسب برای پردازش تصویر سنگ آهک خرد شده، انجام شده است. از مهم‌ترین ویژگی این دو نرم‌افزار می‌توان به قابلیت تشخیص و تعیین مرز قطعات سنگی اشاره کرد که در کاهش زمان پردازش و سرعت بخشیدن به کار، تاثیر به سزایی دارد.

اصلی‌ترین هدف آتشکاری در سنگ‌ها، دستیابی به خردشدگی مناسب است. توزیع دانه‌بندی توده‌سنگ خرد شده از مهم‌ترین عوامل در مدیریت هر عملیات آتشکاری است. کیفیت خردشدگی توده‌سنگ انفجاری بر عملیات پایین دستی مانند بارگیری، باربری و سنگ‌شکنی اثرگذار است و می‌تواند باعث کاهش یا افزایش هزینه‌های مرتبط شود. ارزیابی قابلیت اطمینان خردشدگی در معادن یکی از مسایل مورد توجه است. دقیق‌ترین، قابل اعتمادترین و تنها روش مستقیم تعیین توزیع ابعادی قطعات، تجزیه سرنندی است اما در این روش برای به دست آوردن توزیع مناسب دانه‌بندی باید هزینه و زمان زیادی را صرف کرد [۱]. با وجود این، روش تجزیه سرنندی به صورت جزئی و در برخی انفجارهای آزمایشی با حجم کم قابل کاربرد است [۲].

به دلیل محدودیت‌های تجزیه سرنندی، روش‌های غیرمستقیم مانند روش‌های مشاهده‌ای، تجربی و پردازش تصویر توسعه پیدا کرده‌اند [۳]. با پیشرفت‌های رایانه‌ای، پردازش تصویر دیجیتال در کارهای صنعتی و معدنی، توانسته به عنوان یک روش غیرمستقیم و نسبتاً قابل اعتماد مورد توجه قرار گیرد [۴]. در معدنکاری، تعیین توزیع دانه‌بندی توده انفجاری برای ارابه‌الگوهای آتشکاری بهینه و رسیدن به خردایش مناسب از مهم‌ترین کاربردهای پردازش تصویر است [۵]. Split Desktop، Goldsize و WipFrag از نرم‌افزارهای پردازش تصویر پرکاربردند [۶].

## ۲- پیشینه پژوهش

تاکنون تحقیقات زیادی در زمینه کاربرد پردازش تصویر برای تعیین توزیع دانه‌بندی مواد حاصل از آتشکاری با نرم‌افزارهای مختلف انجام شده است. مایرز<sup>۱</sup> و همکارانش با استفاده از نسخه‌های اولیه نرم‌افزار WipFrag، تصاویر نمونه‌های سنگ خرد شده را تحلیل کرده‌اند و مزایا و محدودیت‌های این نرم‌افزار را برشمرده‌اند [۶]. اسن<sup>۲</sup> و بیلگین از نرم‌افزار Split Desktop برای پردازش تصاویر و مقایسه نتایج خردشدگی حاصل از آتشکاری سنگ آهک استفاده کرده‌اند [۷].

الطیبت<sup>۳</sup> و همکارانش، تحقیقات خود را با تمرکز روی مشکلات پردازش تصاویر ذرات زغال‌سنگ روی نوار نقاله در حال حرکت مانند موقعیت قرارگیری دوربین، همپوشانی

### ۳- روش تحقیق

مقایسه فنی بین دو نرم افزار WipFrag و Split Desktop در حالت های متفاوتی انجام شده است. نرم افزارهای مورد استفاده ابتدا با نتیجه حاصل از تجزیه سرندي اعتبارسنجی شده، سپس حالت های متفاوت برای پردازش یک تصویر در نظر گرفته شده است. در شکل ۱، تصویری که به این منظور تهیه شده، ارایه شده است. نمونه سنگ آهک نشان داده شده در این تصویر در مرکز کنترل کیفیت کارخانه آلومینای جاجرم تهیه شده و روی آن تجزیه سرندي انجام شده است.

نمونه سنگ یاد شده به صورت لایه ای روی زمین پخش شده است و وزنی در حدود ۱۵ کیلوگرم دارد. همچنین ابعاد تصویر ۱×۱٫۵ متر مربع و شاخص مورد استفاده، یک خط کش فلزی به طول ۳۰ سانتی متر است. عکس برداری با فاصله ای در حدود ۱٫۲ متر و به گونه ای که محور لنز دوربین بر سطح نمونه عمود باشد، انجام شده است. برای جلوگیری از ایجاد سایه نیز، تصویربرداری در شرایط نور مناسب انجام شده است.

#### ۳-۱- اعتبارسنجی نرم افزارها با تجزیه سرندي

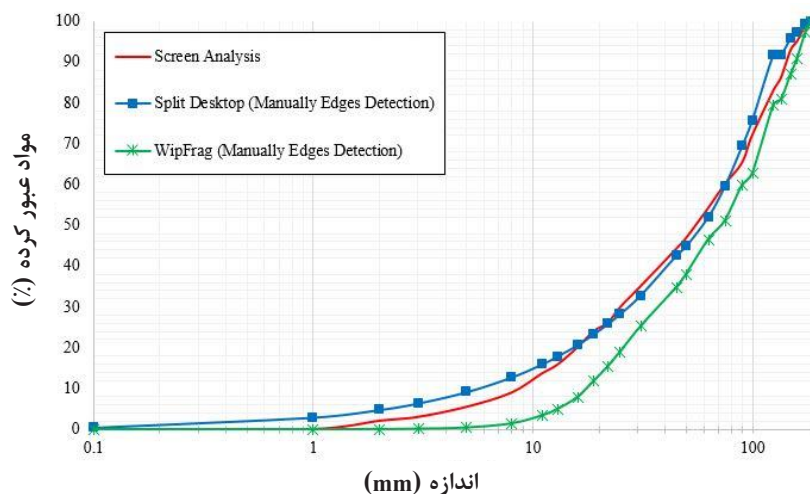
تجزیه سرندي تنها روش دقیق و قابل اطمینان برای تعیین توزیع دانه بندی مواد است، بنابراین ضروری است که نتایج دانه بندی نرم افزارهای مورد نظر با تجزیه سرندي مقایسه و اعتبارسنجی شود. شکل ۲، منحنی دانه بندی حاصل از پردازش تصویر به وسیله نرم افزارهای WipFrag و Split Desktop

مقایسه آن با منحنی دانه بندی تجزیه سرندي را نشان می دهد. مرزبندی قطعات در هر دو نرم افزار به صورت دستی و با دقت بالا انجام شده است.

اختلاف نتایج پردازش تصویر این دو نرم افزار و نتایج تجزیه سرندي برای برخی ابعاد در جدول ۱ ارایه شده است. اطلاعات مندرج در جدول ۱ نشان می دهد که اختلاف نتایج حاصل از Split Desktop نسبت به نتایج حاصل از WipFrag، مطابقت بیشتری با نتایج تجزیه سرندي دارد. از سوی دیگر، مندرجات جدول ۱ نشان می دهد که اعتبار نتایج حاصل از نرم افزار WipFrag در محدود ابعادی کوچک تر، کمتر است. حال آن که در مورد اعتبار نتایج حاصل از Split Desktop، چنین قانون مندی وجود ندارد.



شکل ۱: تصویر نمونه پردازش شده با نرم افزارهای مورد نظر



شکل ۲: منحنی دانه بندی حاصل از تجزیه سرندي و پردازش تصویر با WipFrag و Split Desktop

با دقت بالا انجام شده است. از آن جا که دو نرم افزار مورد استفاده قابلیت مرزبندی قطعات به صورت خودکار را نیز دارند، بنابراین مهم است که دقت تشخیص مرز قطعات در این نرم افزارها مشخص شود. برای تعیین دقت هر دو نرم افزار در تشخیص مرز قطعات به صورت خودکار، منحنی حاصل از آن با منحنی خروجی از تعیین مرز دستی مقایسه شده است. شکل ۳ و شکل ۴ به ترتیب منحنی های مقایسه ای از تعیین مرز خودکار و دستی در دو نرم افزار WipFrag و Split Desktop را نشان می دهد. اختلاف نتایج حاصل از مرزبندی دستی و خودکار قطعات با استفاده از نرم افزارهای Split Desktop و WipFrag در جدول ۲ ارایه شده است. همان طور که در جدول ۲ مشاهده

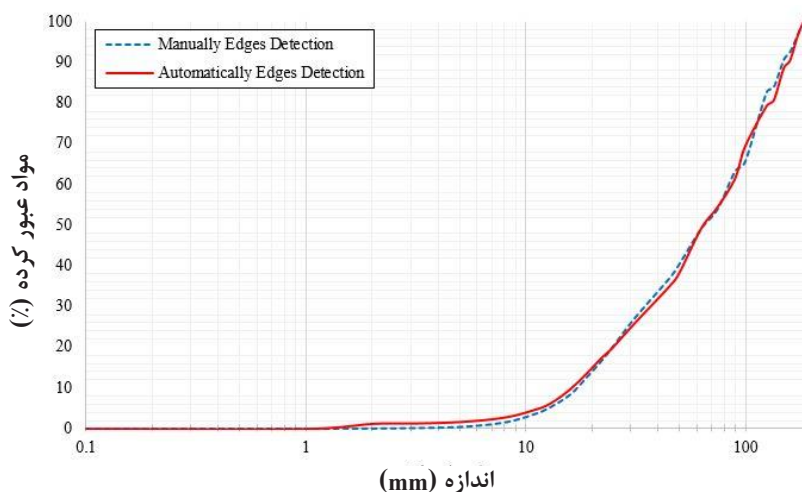
با توجه به جدول ۱، کمترین و بیشترین اختلاف با نتایج تجزیه سرندی برای نرم افزار Split Desktop به ترتیب ۰٫۵۷ و ۳٫۵۹ درصد است. این مقادیر برای نرم افزار WipFrag به ترتیب برابر با ۲٫۲۹ و ۱۱٫۳۸ درصد است. همچنین جذر میانگین مربعات اختلاف نتایج با تجزیه سرندی برای دو نرم افزار Split Desktop و WipFrag به ترتیب برابر ۲٫۲۳ و ۷٫۲۱ است. بنابراین، نتایج حاصل از نرم افزار Split Desktop و نتایج تجزیه سرندی دارای تطابق و نزدیکی بیشتری اند.

### ۳-۲- اثر نوع مرزبندی بر نتایج پردازش

برای اعتبارسنجی نتایج نرم افزارهای مورد بحث با تجزیه سرندی، مرزبندی قطعات در هر دو نرم افزار به صورت دستی و

جدول ۱: اختلاف نتایج پردازش تصویر با استفاده از دو نرم افزار Split Desktop و WipFrag و نتایج تجزیه سرندی

اختلاف با تجزیه سرندی		درصد عبوری			ابعاد قطعات (میلی متر)	ردیف
Split Desktop	WipFrag	تجزیه سرندی	Split Desktop	WipFrag		
۲٫۳۶	۱۰٫۴۲	۱۴	۱۵٫۹۲	۳٫۵۸	۱۰	۱
۰٫۶۸	۱۱٫۳۸	۲۴	۲۳٫۳۲	۱۲٫۶۲	۲۰	۲
۲٫۱۸	۸٫۲	۳۵	۳۲٫۷۸	۲۶٫۸	۳۰	۳
۱٫۹۸	۶٫۶۷	۴۷	۴۴٫۸۳	۴۰٫۳۳	۵۰	۴
۲٫۱۹	۴٫۸۶	۵۴	۵۱٫۹۳	۴۹٫۱۴	۶۳	۵
۰٫۵۷	۵٫۹۸	۶۰	۵۹٫۴۳	۵۴٫۰۲	۷۵	۶
۲٫۰۶	۳٫۶۶	۶۷	۶۹٫۳۶	۶۳٫۳۴	۹۰	۷
۳٫۵۹	۶٫۳۷	۷۲	۷۵٫۵۷	۶۵٫۶۳	۱۰۰	۸
۲٫۸	۲٫۲۹	۹۳	۹۵٫۸	۹۰٫۷۱	۱۵۰	۹



شکل ۳: منحنی حاصل از تعیین مرز خودکار و دستی با نرم افزار WipFrag

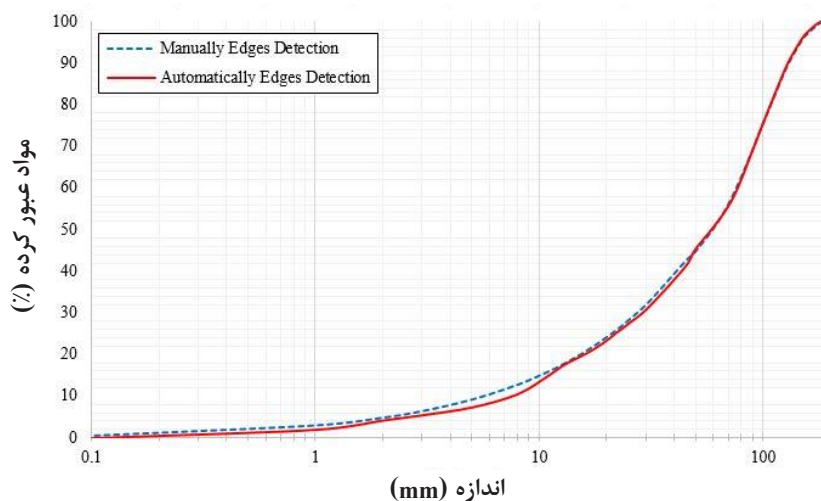
اشتباه تشخیص داده است. مرزبندی دستی قطعات در هر دو نرم افزار برای تصویر مورد نظر، حدود ۱۲۰ دقیقه زمان برده است. در حالی که مرزبندی خودکار بر روی ماشین های مشابه برای هر دو نرم افزار مورد استفاده به زمانی حدود ۱۵ دقیقه نیاز داشته است.

### ۳-۳- اثر دوران تصویر

با توجه به شکل نامنظم قطعات خرد شده، ممکن است در صورت دوران تصویر، اندازه محاسبه شده برای قطعات تغییر کند و نتایج پردازش را تغییر دهد. به همین منظور شکل ۱ با ثابت نگه داشتن مقیاس به مقدار ۹۰ درجه پادساعتگرد چرخیده و با دو نرم افزار پردازش شده است. با توجه به دقت

می شود، کمینه و بیشینه اختلاف در نرم افزار Split Desktop به ترتیب ۰٫۰۱ و ۱٫۲۸ درصد است. در حالی که کمترین و بیشترین اختلاف برای نرم افزار WipFrag به ترتیب برابر با ۰٫۰۷ و ۳٫۷۹ درصد است، همچنین جذر میانگین مربعات اختلاف نتایج مرزبندی خودکار و دستی برای دو نرم افزار Split Desktop و WipFrag به ترتیب برابر ۰٫۷۱ و ۱٫۸۳ است، بنابراین نتایج حاصل از مرزبندی قطعات به روش خودکار و دستی با نرم افزار Split Desktop مطابقت بیشتری دارد.

پردازش تصاویر با استفاده از تعیین مرزها به صورت خودکار باعث افزایش سرعت و صرفه جویی در زمان می شود. تعیین مرز قطعات به روش خودکار با اصلاحاتی همراه بوده است که این اصلاحات، ویرایش مرز قطعاتی است که نرم افزار



شکل ۴: منحنی حاصل از تعیین مرز خودکار و دستی با نرم افزار Split Desktop

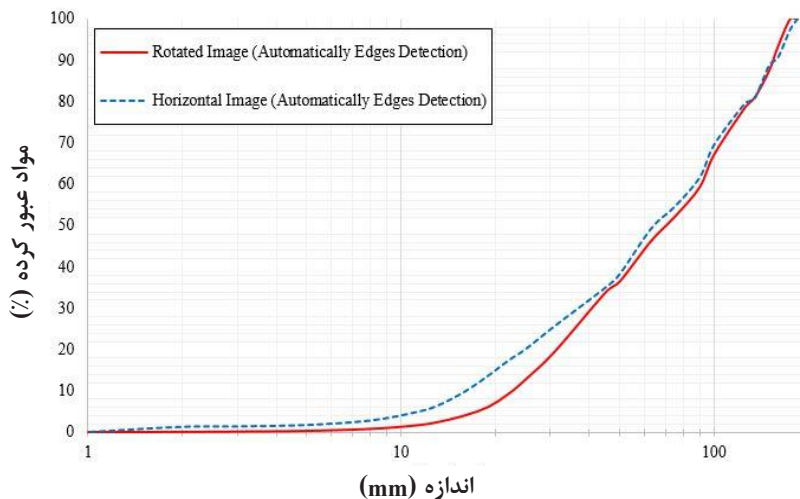
جدول ۲: اختلاف نتایج مرزبندی دستی و خودکار قطعات با استفاده از نرم افزارهای WipFrag و Split Desktop

WipFrag			Split Desktop			ابعاد قطعات (میلی متر)	ردیف
اختلاف	مرزبندی خودکار	مرزبندی دستی	اختلاف	مرزبندی خودکار	مرزبندی دستی		
۱٫۱۲	۴٫۷	۳٫۵۸	۰٫۹۴	۱۴٫۹۸	۱۵٫۹۲	۱۰	۱
۱٫۰۲	۱۳٫۶۴	۱۲٫۶۲	۰٫۸۲	۲۲٫۵	۲۳٫۳۲	۲۰	۲
۱٫۱۴	۲۵٫۶۶	۲۶٫۸	۱٫۲۸	۳۱٫۵	۳۲٫۷۸	۳۰	۳
۲٫۱۱	۳۸٫۲۲	۴۰٫۳۳	۰٫۴۷	۴۵٫۳	۴۴٫۸۳	۵۰	۴
۰٫۰۷	۴۹٫۲۱	۴۹٫۱۴	۰٫۰۵	۵۱٫۹۸	۵۱٫۹۳	۶۳	۵
۰٫۵۵	۵۴٫۵۷	۵۴٫۰۲	۰٫۹۶	۵۸٫۴۷	۵۹٫۴۳	۷۵	۶
۱٫۷۹	۶۱٫۵۵	۶۳٫۳۴	۰٫۳۹	۶۸٫۹۷	۶۹٫۳۶	۹۰	۷
۳٫۷۹	۶۹٫۴۲	۶۵٫۶۳	۰٫۲۸	۷۵٫۲۹	۷۵٫۵۷	۱۰۰	۸
۲٫۰۳	۸۸٫۶۸	۹۰٫۷۱	۰٫۰۱	۹۵٫۷۹	۹۵٫۸	۱۵۰	۹

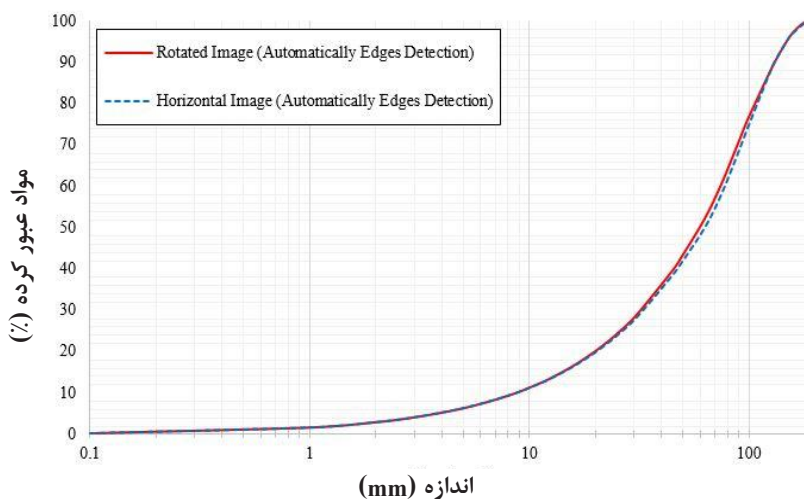


نتایج مقایسه دو نرم‌افزار برای بررسی اثر دوران تصویر در جدول ۳، ارایه شده است. با توجه به جدول ۳، کمترین و بیشترین اختلاف برای نرم‌افزار Split Desktop به ترتیب ۰.۲ و ۱.۹۶ درصد است. در حالی که کمترین و بیشترین اختلاف برای نرم‌افزار WipFrag به ترتیب برابر با ۱.۱۴ و ۸.۰۹ درصد است. همچنین جذر میانگین مربعات اختلاف نتایج دوران یافتن تصویر برای دو نرم‌افزار Split Desktop و WipFrag به ترتیب برابر ۱ و ۴.۶۷ است، بنابراین نتایج حاصل از دوران‌یافتگی تصویر در نرم‌افزار Split Desktop نسبت به WipFrag مطابقت بهتری دارند.

کافی دو نرم‌افزار، از مرزبندی خودکار برای پردازش این تصویر استفاده شده است. شکل ۵ و شکل ۶ به ترتیب منحنی‌های خروجی از نرم‌افزار WipFrag و Split Desktop را برای حالت افقی (شکل ۱) و حالت دوران‌یافته تصویر نمایش می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود، منحنی‌های خروجی از نرم‌افزار Split Desktop در هر دو حالت بر هم منطبق‌اند. در حالی که منحنی‌های خروجی از نرم‌افزار WipFrag اختلاف‌هایی دارند که نشان‌دهنده اثرگذاری دوران تصویر بر نتایج خروجی از این نرم‌افزار است و می‌تواند ناشی از تفاوت در توابع تشخیص مرز قطعات در نرم‌افزارهای مورد نظر باشد.



شکل ۵: منحنی‌های خروجی در حالت افقی و دوران شده تصویر در نرم‌افزار WipFrag



شکل ۶: منحنی‌های خروجی در حالت افقی و دوران شده تصویر در نرم‌افزار Split Desktop

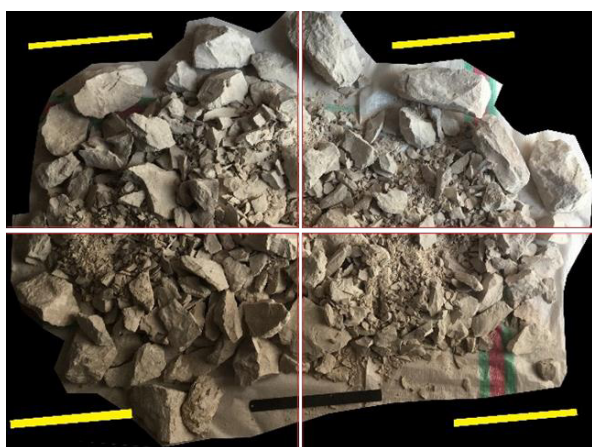
۳-۴- اثر تفکیک تصویر و ترکیب منحنی ها

برای بررسی اثر حجم نمونه بر نتایج پردازش، تصویر مورد نظر در شکل ۱ به چهار قسمت تفکیک شده است که در شکل ۷ نشان داده شده و در هر قسمت آن مقیاس مورد نظر با خط زرد رنگ ترسیم شده است. هر ربع تصویر به صورت مجزا و مرزبندی خودکار با هر دو نرم افزار پردازش شده است.

پس از پایان پردازش چهار تصویر، منحنی دانه بندی هر ربع تصویر و منحنی حاصل از ترکیب چهار منحنی با منحنی حاصل از مرزبندی خودکار تصویر کامل (شکل ۱) مقایسه شده است. شکل ۸ و ۹ به ترتیب نتایج مربوط به پردازش تصویر حاصل از WipFrag و Split Desktop را نشان می دهد. همان طور که در شکل ۸ و شکل ۹ مشاهده می شود، برای نرم افزار WipFrag، منحنی های مربوط به پردازش تصویر کامل (منحنی خط چین قرمز) و ترکیب منحنی چهار ربع تصویر (منحنی ضخیم آبی) با هم اختلاف دارند اما در مورد نرم افزار Split Desktop، دو منحنی تقریباً بر هم منطبق اند، همچنین منحنی مربوط به ربع تصویر بالا سمت چپ و منحنی ترکیب ربع تصاویر مشابه یکدیگرند.

مقادیر کمی اختلاف نتایج حاصل از پردازش تصویر در جدول ۴ ارائه شده است. همان طور که در جدول ۴ مشاهده می شود، کمترین و بیشترین اختلاف برای نرم افزار Split

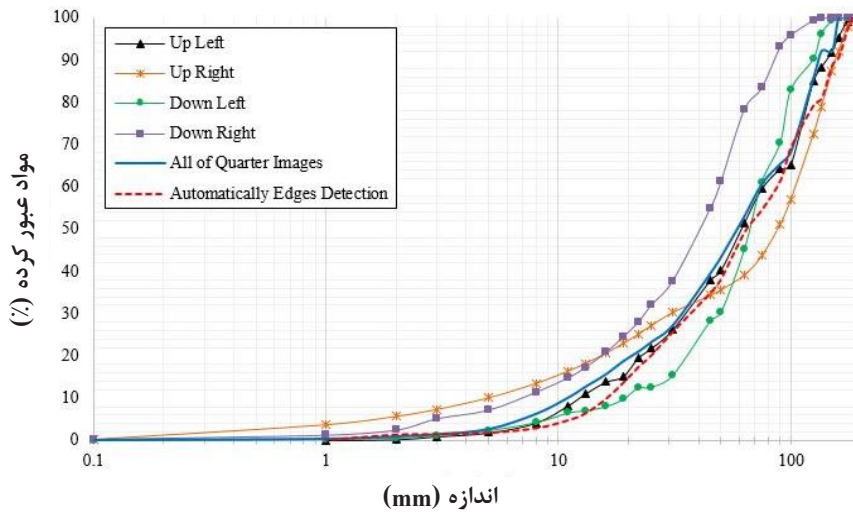
Desktop به ترتیب ۰.۰۹ و ۳.۰۱ درصد است. در حالی که کمترین و بیشترین اختلاف برای نرم افزار WipFrag به ترتیب برابر با ۰.۹۸ و ۹.۵۸ درصد است. همچنین جذر میانگین مربعات اختلاف نتایج تفکیک تصویر و ترکیب منحنی ها برای دو نرم افزار Split Desktop و WipFrag به ترتیب برابر ۱.۳۶ و ۵.۳۲ است، بنابراین نتایج حاصل از تفکیک تصویر و ترکیب منحنی در نرم افزار Split Desktop تطابق بیشتری نسبت به نرم افزار WipFrag دارند.



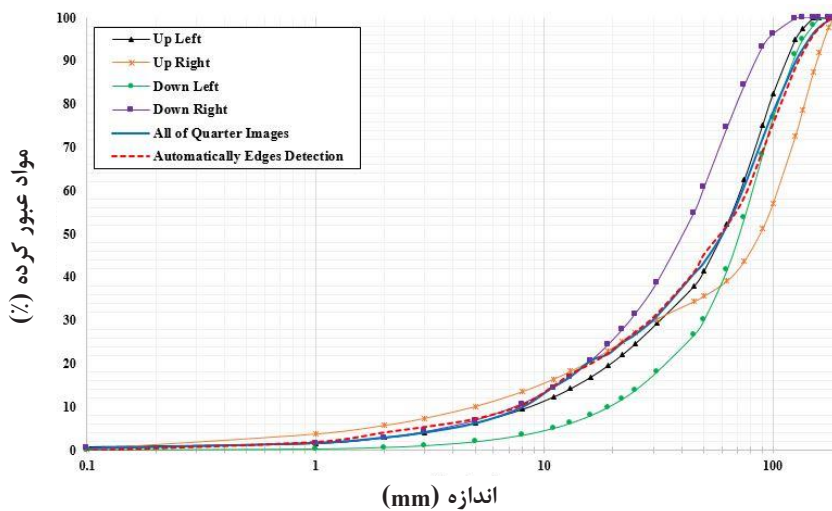
شکل ۷: تصویر تفکیک شده شکل ۱

جدول ۳: نتایج اثر دوران تصویر بر منحنی توزیع دانه بندی با استفاده از نرم افزارهای Split Desktop و WipFrag

WipFrag			Split Desktop			ابعاد قطعات (میلی متر)	ردیف
اختلاف	تصویر دوران یافته	تصویر افقی	اختلاف	تصویر دوران یافته	تصویر افقی		
۲.۰۳	۰.۷۷	۲.۸	۰.۱۵	۹.۲۹	۹.۴۴	۸	۱
۳.۱۴	۱.۵۶	۴.۷	۰.۱۱	۱۲.۱۵	۱۲.۲۶	۱۱	۲
۳.۹۴	۲.۳۶	۶.۳	۰.۰۸	۱۳.۹۸	۱۴.۰۶	۱۳	۳
۵.۷۷	۴.۰۳	۹.۸	۰.۰۲	۱۶.۶۴	۱۶.۶۶	۱۶	۴
۷.۵۶	۶.۰۸	۱۳.۶۴	۰.۰۵	۱۹.۲۳	۱۹.۱۸	۱۹	۵
۸.۰۹	۹.۱۸	۱۷.۲۷	۰.۱۲	۲۱.۷۴	۲۱.۶۲	۲۲	۶
۷.۳۱	۱۲.۷۴	۲۰.۰۵	۰.۲	۲۴.۲	۲۴	۲۵	۷
۶.۱۴	۱۹.۵۲	۲۵.۶۶	۰.۳۷	۲۸.۹۹	۲۸.۶۲	۳۱	۸
۱.۱۴	۳۳.۸	۳۴.۹۴	۰.۸۲	۳۹.۶۲	۳۸.۸	۴۵	۹
۱.۷۴	۳۶.۴۸	۳۸.۲۲	۱.۰۷	۴۳.۲۸	۴۲.۲۱	۵۰	۱۰
۲.۹	۴۶.۳۱	۴۹.۲۱	۱.۸	۵۲.۱	۵۰.۳	۶۳	۱۱
۲.۳۸	۵۲.۱۹	۵۴.۵۷	۱.۹۶	۶۰.۴۳	۵۸.۴۷	۷۵	۱۲
۲.۲۳	۵۹.۳۲	۶۱.۵۵	۱.۷۲	۷۰.۶۹	۶۸.۹۷	۹۰	۱۳
۲.۲۶	۶۷.۱۶	۶۹.۴۲	۱.۳۸	۷۶.۶۷	۷۵.۲۹	۱۰۰	۱۴



شکل ۸: منحنی پردازش چهار ربع تصویر و منحنی پردازش تصویر کامل با نرم افزار WipFrag



شکل ۹: منحنی پردازش چهار ربع تصویر و منحنی پردازش تصویر کامل با نرم افزار Split Desktop

#### ۴- نتیجه گیری

در مورد مرزبندی خودکار قطعات و اختلاف آن با مرزبندی دستی، بیشینه اختلاف در نرم افزار Split Desktop برابر ۱٫۲۸ درصد و جذر میانگین مربعات اختلافها ۰٫۷۱ است. در حالی که این مقدار برای نرم افزار WipFrag برابر ۳٫۷۹ درصد و جذر میانگین مربعات اختلافها ۱٫۸۳ است. این نتایج نشان می دهد که نتایج حالت مرزبندی خودکار و دستی تقریباً مشابه یکدیگر است. هر چند که نتایج حاصل از نرم افزار Split Desktop در مقایسه با نرم افزار WipFrag مناسب تر است. در هر حال، مرزبندی خودکار از دقت مناسبی دارد که باعث صرفه جویی در زمان پردازش تصاویر خواهد شد.

با توجه به نتایج پردازش تصویر در حالت های مختلف مشخص می شود که با استفاده از مرزبندی دستی، بیشینه اختلاف منحنی دانه بندی حاصل از نرم افزار Split Desktop برابر با ۳٫۵۹ درصد و جذر میانگین مربعات اختلافها ۲٫۲۳ است. بیشینه اختلاف برای نرم افزار WipFrag برابر با ۱۱٫۳۸ درصد و جذر میانگین مربعات اختلافها ۷٫۲۱ است، بنابراین برای سنگ مورد مطالعه به لحاظ نزدیکی نتایج به واقعیت (تجزیه سرندي)، نرم افزار Split Desktop عملکرد بهتری را نسبت به نرم افزار WipFrag دارد.



جدول ۴: مقایسه نتایج ترکیب چهار ربع تصویر و تصویر کامل با استفاده از نرم افزارهای WipFrag و Split Desktop

WipFrag			Split Desktop			ابعاد قطعات (میلی متر)	ردیف
اختلاف	ترکیب چهار ربع تصویر	تصویر اولیه (تفکیک نشده)	اختلاف	ترکیب چهار ربع تصویر	تصویر اولیه (تفکیک نشده)		
۵,۳۵	۱۰,۰۵	۴,۷	۰,۱۸	۱۴,۸	۱۴,۹۸	۱۱	۱
۶,۲۷	۱۲,۵۷	۶,۳	۰,۶	۱۷,۰۵	۱۷,۶۵	۱۳	۲
۵,۷۹	۱۵,۵۹	۹,۸	۰,۷۳	۲۰,۸۳	۲۰,۱	۱۶	۳
۵,۰۶	۱۸,۷	۱۳,۶۴	۰,۲	۲۲,۳	۲۲,۵	۱۹	۴
۳,۶۵	۲۰,۹۲	۱۷,۲۷	۰,۱۵	۲۴,۹۹	۲۵,۱۴	۲۲	۵
۳,۱۳	۲۳,۱۸	۲۰,۰۵	۰,۵	۲۶,۸۶	۲۷,۳۶	۲۵	۶
۱,۵۴	۲۷,۲	۲۵,۶۶	۰,۴۸	۳۱,۰۲	۳۱,۵	۳۱	۷
۴,۶۲	۳۹,۵۶	۳۴,۹۴	۰,۲۸	۴۰,۸	۴۱,۰۸	۴۵	۸
۵,۲۲	۴۲,۴۴	۳۸,۲۲	۱,۸	۴۳,۵	۴۵,۳	۵۰	۹
۳,۸۶	۵۲,۰۷	۴۹,۲۱	۰,۰۹	۵۱,۸۹	۵۱,۹۸	۶۳	۱۰
۶,۲۱	۶۰,۷۸	۵۴,۵۷	۲,۶۳	۶۱,۱	۵۸,۴۷	۷۵	۱۱
۳,۹۴	۶۵,۴۹	۶۱,۵۵	۳,۰۱	۷۱,۹۸	۶۸,۹۷	۹۰	۱۲
۰,۹۸	۶۸,۴۴	۶۹,۴۲	۲,۸۷	۷۸,۱۶	۷۵,۲۹	۱۰۰	۱۳
۶,۶۹	۸۵,۹۷	۷۹,۲۸	۱,۵۴	۸۹,۶۶	۸۸,۱۲	۱۲۵	۱۴
۹,۵۸	۹۰,۳۳	۸۰,۷۵	۱,۱۱	۹۲,۸۳	۹۱,۷۲	۱۳۵	۱۵
۳,۴۷	۹۲,۱۵	۸۸,۶۸	۰,۶۳	۹۶,۴۲	۹۵,۷۹	۱۵۰	۱۶
۹,۴۸	۱۰۰	۹۰,۵۲	۰,۴۳	۹۷,۹۶	۹۷,۵۳	۱۶۰	۱۷
۲,۷۱	۱۰۰	۹۷,۲۹	۰,۱۴	۹۹,۴۵	۹۹,۳۱	۱۷۵	۱۸

برای نرم افزار WipFrag برابر با ۹,۵۸ درصد و جذر میانگین مربعات اختلافها ۵,۳۲ است.

در پایان و پس از انجام مقایسه دو نرم افزار در شرایط مختلف مشخص شده است، نرم افزار Split Desktop نسبت به نرم افزار WipFrag دقت بالاتر و کمترین اثرپذیری از شرایط مختلف برای پردازش را دارد.

### ۵- مراجع

- [1] Sudhakar, J., Adhikari, G. R., and Gupta, R. N. (2006). "Comparison of Fragmentation Measurements by Photographic and Image Analysis Techniques". Rock Mechanics and Rock Engineering, 39(2): 159-168.
- [2] Maerz, N., and Palangio, T. W. (2004). "Post-Muckpile, Pre-Primary Crusher, Automated Optical Blast Fragmentation Sizing". International Journal for Blasting and Fragmentation (Fragblast), 8(2): 119-136.
- [3] Siddiqui, F. I., Ali Shah, S. M., and Behan, M. Y. (2009). "Measurement of Size Distribution of Blasted Rock Using Digital Image Processing". Engineering Science, 20(2): 81-93.

با توجه به شکل نامنظم قطعات خرد شده، اثر دوران تصویر مورد بررسی قرار گرفته و نتیجه آن با حالت اولیه تصویر مقایسه شده است. نرم افزار WipFrag تا حدودی تحت تاثیر این تغییر قرار گرفته است. بیشینه اختلاف با منحنی حاصل از حالت اولیه تصویر برای این نرم افزار ۸,۰۹ درصد و جذر میانگین مربعات اختلافها ۴,۶۷ است. در حالی که می توان گفت چنین پدیده‌ای بر روی نتایج نرم افزار Split Desktop بدون اثر است و بیشینه اختلاف منحنی آن با منحنی حالت اولیه تصویر برابر با ۱,۹۶ درصد و جذر میانگین مربعات اختلافها ۱ است.

برای تعیین دقت دو نرم افزار در ترکیب نتایج و تحلیل قسمت‌های مختلف یک تصویر، تصویر مورد تحلیل به چهار ربع تصویر تفکیک شده و هر کدام از ربع تصاویر به شکل مجزا پردازش شده است. در پایان، منحنی دانه بندی نهایی حاصل از ترکیب نتایج ربع تصاویر با نتایج حاصل از تصویر یکپارچه مقایسه شده است. بیشینه اختلاف منحنی ترکیبی با منحنی تصویر یکپارچه برای نرم افزار Split Desktop برابر با ۳,۰۱ درصد و جذر میانگین مربعات اختلافها ۱,۳۶ است. این مقدار

- and Assessment of Fragmentation Through Image Processing*". Taylor & Francis Group, London, pp. 10.
- [12] Shanthi, C., Kingsley Porpatham, R., and Pappa, N. (2014). "Image Analysis for Particle Size Distribution". International Journal of Engineering and Technology (IJET), 6(3): 1340-1345.
- [13] Jahani, M., and Taji, M. (2015). "Comparison of Empirical Fragmentation Models at the Gol-e-Gohar Iron Ore Mine". The 11th International Symposium on Rock Fragmentation by Blasting, 11: 707-713.
- [14] Hoseini, S. M., Sereshki, F., and Ataei, M. (2016). "Blast Fragmentation Analysis Using Image Processing". International Journal of Mining and Geo-Engineering, 50(2): 211-218.
- [4] Palangio, T. W., Palangio, T. C., and Maerz, N. (2005). "Advanced Automatic Optical Blast Fragmentation Sizing and Tracking". In European Federation of Explosives Engineers, Brighton, 259-267.
- [5] Karaca, K., Hopkins, D., Kemeny, J., and Segui, J. (2003). "Technologies for Optimizing Drilling and Blasting in Open-Pit Mines". In International Mining Congress and Exhibition of Turkey-IMCET, 191-198.
- [6] Maerz, N. H., Palangio, T. C., and Franklin, J. A. (1996). "WipFrag Image Based Granulometry System". In FRAGBLAST 5 Workshop on Measurement of Blast Fragmentation, Montreal, Quebec, Canada, 91-99.
- [7] Esen, S., and Bilgin, H. A. (2012). "Effect of explosive on fragmentation". Middle East Technical University, Ankara, Turkey, 1-12.
- [8] Al-Thybat, S., Miles, N. J., and Koh, T. S. (2007). "Estimation of the Size Distribution of Particles Moving on a Conveyor Belt". Minerals Engineering, 20(1): 72-83.
- [9] Thurley, Matthew J. (2011). "Automated Online Measurement of Limestone Particle Size Distributions Using 3D Range Data". Journal of Process Control, 21: 254-262.
- [10] Sirveiya, A. K., and Thote, N. R. (2013). "Assessing the Effect of Rock Mass Properties on Rock Fragmentation". Taylor & Francis Group, London, 139-144.
- [11] Venkatesh, H. S., Vamshidhar, K., Gopinath, G., Theresraj, A. I., and Balachander, R. (2013). "Optimisation of Blast Design for an Iron Ore Mine
- 
- <sup>1</sup> Maerz  
<sup>2</sup> Esen  
<sup>3</sup> Al-Thybat  
<sup>4</sup> Siddiqui  
<sup>5</sup> Thurley  
<sup>6</sup> Sirveiya  
<sup>7</sup> Thote  
<sup>8</sup> Venkatesh  
<sup>9</sup> Shanthi  
<sup>10</sup> Online



DOI: 10.30479/jmre.2019.8892.1136

## Performance Comparison of Commercial Software Tools to Determine Size Distribution of Fragmented Rocks

Masumi Nasab S.M.<sup>1</sup>, Jalali S.E.<sup>2\*</sup>, Noroozi M.<sup>3</sup>

- 1- M.Sc Student, Faculty of Mining Engineering, Petroleum and Geophysics, Shahrood University of Technology, Shahrood, Iran  
masumi.nasab@gmail.com
- 2- Associate Professor, Faculty of Mining Engineering, Petroleum and Geophysics, Shahrood University of Technology, Shahrood, Iran  
jalalisme@gmail.com
- 3- Assistant Professor, Faculty of Mining Engineering, Petroleum and Geophysics, Shahrood University of Technology, Shahrood, Iran  
mnoroozi.mine@gmail.com

(Received: 06 Jun. 2018, Accepted: 24 Feb. 2019)

**Abstract:** Rock fragmentation can show the quality of blasting. Screen analysis can be also a precise method to determine size distribution of blasted rocks, but it is a difficult undertaking and sometimes impossible that is due to the time consumed and large volume of crushed rocks. Nowadays, digital image processing is used to evaluate the rocks fragmentation due to its acceptable accuracy and speed. In this research, WipFrag and Split Desktop were compared for evaluation of crushed rocks. Case study was focused on fragmented rock in Jajarm limestone mine. At the first, an image was delimited manually in the both software. Then the results were compared with screen analysis, showing that the results of Split Desktop are closer to the screen analysis results. Maximum difference between screen analysis and results of Split Desktop and WipFrag is equal to 3.59% and 11.38%, respectively. Some comparative modes including the delimitation method effect (automatically and manually), the image rotation effect, and the separation of an image into four quarter images and a combination of the results are investigated. Maximum difference between the automatically and manually delimitation by Split Desktop and WipFrag is equal to 1.28% and 3.79%. Maximum difference for the image rotation effect for Split Desktop and WipFrag is equal to 1.96 percent and 8.09% and Maximum difference for the separation of an image effect for Split Desktop and WipFrag is equal to 3.01 percent and 9.58 percent. Consequently, in all modes investigated the Split Desktop shows more efficient results.

**Keywords:** Size distribution, Screen analysis, Digital image processing, Split Desktop, WipFrag.

### INTRODUCTION

Distribution of fragmented rock mass is one of the most important factors in blasting management.

The most accurate and reliable and the only direct way to determine the dimensional distribution of the fragments is screen analysis. But this method requires a great deal of time and cost spending to obtain the proper distribution of the fragmentation [1]. Due to the limitations of screen analysis, indirect approaches such as observational, experimental and image processing methods have been developed [2]. Determining the distribution of blasted rock mass to provide optimal blasting patterns and achieve proper crushing is one of the most important applications of image processing [3]. Goldsize, Split Desktop and WipFrag are popular image processing software.

Maerz et al. (1996), using early versions of the WipFrag software, are analyzed images of crushed rock samples and outlined the advantages and limitations of this software [4]. Esen et al. (2000) are used Split Desktop software to process images and compare the results of crushing due to limestone blasting [5]. Venkatesh et al. (2013) are evaluated the crushing results of 102 and 165 mm explosive borehole by using WipFrag software to optimize drilling and blasting operations in the iron ore mine [6]. In 2015, Jahani and Taji have validated post-blasting fragmentation prediction models for both hematite and magnetite ore using Split Desktop software [7].

The present study was conducted to validate two WipFrag and Split Desktop software with the results of screen analysis and selection of suitable software for fragmented limestone image processing. The most important feature of the two software is the ability to detect and determine the boundaries of rock fragments, which greatly reduces processing time.

## METHODS

The technical comparison between Split Desktop and WipFrag is done in different ways. The software used is first validated by the result of the screen analysis, and then different modes are considered for image processing of special picture.

### Step 1- Validation of software by screen analysis

Screen analysis is the only accurate and reliable method for determining the distribution of material. Therefore, it is necessary to compare and validate the distribution results of the softwares with screen analysis results.

### Step 2- Studying of the effect of boundary type on processing results

In order to validate the software results by screen analysis, the Bordering of fragments in the both software was done manually and with high accuracy. Since the two software have still the capability of automatically bordering of fragments, it is important to determine the precision of the fragment's bordering in the software.

### Step 3- Investigation of image rotation effect

Due to the irregular shape of the fragmented rocks, the calculated size for the fragments may change when the image is rotated and therefore change the processing results.

### Step 4- Investigation of the effect of image segmentation and composition of curves

In order to investigate the effect of sample size on processing results, a specific image is divided into four parts. Each quarter of the image is automatically bordered and processed separately by the both software. After finishing the processing of the four images, the resulting distribution curve of the combination of the four curves (for each quadrant) is compared with the curve of the full image auto-bordering.

## FINDINGS AND ARGUMENT

Figure 1 shows the distribution curve obtained by image processing using WipFrag and Split Desktop software and its comparing with the distribution curve of screen analysis. As can be seen in the figure, the results of Split Desktop software are more in line with the results of the split analysis.

Table 1 presents the differences between the results of manual and automatic bordering of fragmentations using Split Desktop and WipFrag software. As can be seen in Table 1, the minimum and maximum differences in Split Desktop software are 0.01% and 1.28%, respectively. While the minimum and maximum differences for WipFrag software are 0.07% and 3.79%, respectively. Therefore, the results of automated and manual bordering are more consistent with Split Desktop software.

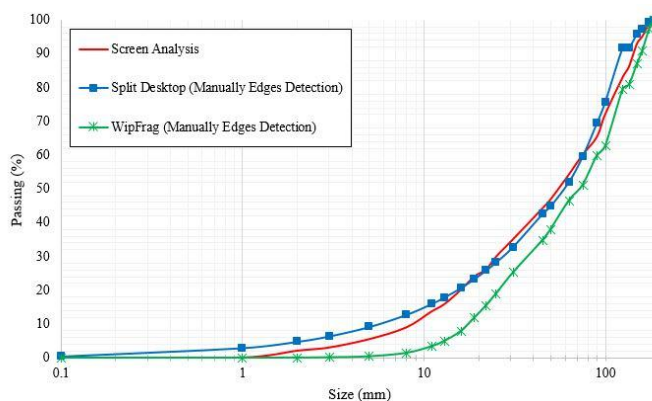
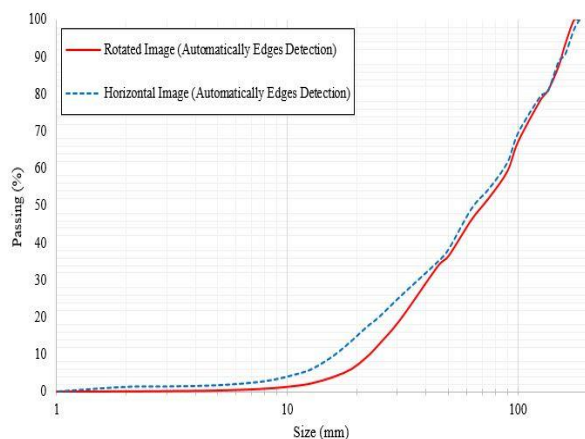


Figure 1. Distribution curve results

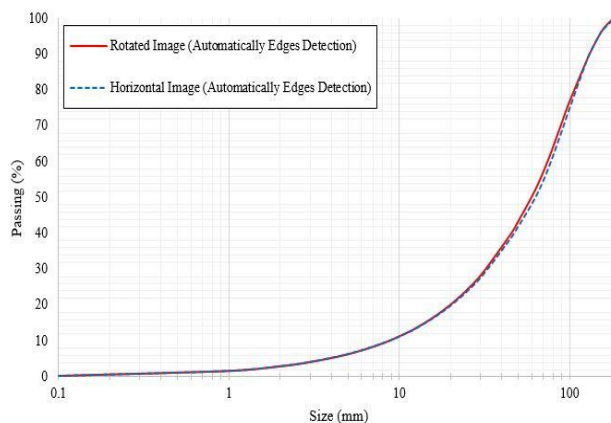
Table 1. Differences between manual and automatic bordering

Row	Fragment size (mm)	WipFrag			Split Desktop		
		Automatic bordering	Manual bordering	Differences	Automatic bordering	Manual bordering	Differences
1	10	4.7	3.58	1.12	14.98	15.92	0.94
2	20	13.64	12.62	1.02	22.5	23.32	0.82
3	30	25.66	26.8	1.14	31.5	32.78	1.28
4	50	38.22	40.33	2.11	45.3	44.83	0.47
5	63	49.21	49.14	0.07	51.98	51.93	0.05
6	75	54.57	54.02	0.55	58.47	59.43	0.96
7	90	61.55	63.34	1.79	68.97	69.36	0.39
8	100	69.42	65.63	3.79	75.29	75.57	0.28
9	150	88.68	90.71	2.03	95.79	95.8	0.01

Figure 2 shows the output curves of the WipFrag and Split Desktop software for landscape image and image rotation mode. As can be seen, the output curves of the WipFrag software have differences that indicate the effect of image rotation on the output results of this software. On the other hand, Split Desktop software results are more consistent in both cases.



WipFrag Software



Split Desktop Software

Figure 2. Output Curves in Horizontal and Image Rotation



Comparative analysis of the results obtained from the two software for evaluating the effect of image segmentation is presented in Table 2. The lowest and highest differences for Split Desktop software are 0.09% and 3.01%, respectively. While, the lowest and highest differences for WipFrag software are 0.98% and 9.58%, respectively. Therefore, the results of image segmentation and curve composition in Split Desktop software are more consistent than WipFrag software.

**Table 2.** Comparison of results of composition of four-quadruple and results of full-image

Row	Fragment size (mm)	WipFrag			Split Desktop		
		Initial Image (Not segmented)	Combination of four quadrants of the image	Differences	Initial Image (Not segmented)	Combination of four quadrants of the image	Differences
1	11	4.7	10.05	5.35	14.98	14.8	0.18
2	13	6.3	12.57	6.27	17.65	17.05	0.6
3	16	9.8	15.59	5.79	20.1	20.83	0.73
4	19	13.64	18.7	5.06	22.5	22.3	0.2
5	22	17.27	20.92	3.65	25.14	24.99	0.15
6	25	20.05	23.18	3.13	27.36	26.86	0.5
7	31	25.66	27.2	1.54	31.5	31.02	0.48
8	45	34.94	39.56	4.62	41.08	40.8	0.28
9	50	38.22	43.44	5.22	45.3	43.5	1.8
10	63	49.21	53.07	3.86	51.98	51.89	0.09
11	75	54.57	60.78	6.21	58.47	61.1	2.63
12	90	61.55	65.49	3.94	68.97	71.98	3.01
13	100	69.42	68.44	0.98	75.29	78.16	2.87
14	125	79.28	85.97	6.69	88.12	89.66	1.54
15	135	80.75	90.33	9.58	91.72	92.83	1.11
16	150	88.68	92.15	3.47	95.79	96.42	0.63
17	160	90.52	100	9.48	97.53	97.96	0.43
18	175	97.29	100	2.71	99.31	99.45	0.14

## CONCLUSIONS

Split Desktop software performs better than WipFrag software in terms of proximity of results to reality (screen analysis). Regarding the automatic bordering of *fragmentations* and its difference with manual bordering, the results are almost identical. However, the results from Split Desktop software are better than WipFrag software. Due to the irregular shape of the fragments, the effect of the image rotation is investigated and the result is compared with the original image state. WipFrag software has been somewhat affected by this effect, while such a phenomenon has no effect on the results of Split Desktop software. Also, the investigation of image segmentation and curve composition show that the Split Desktop software is more reliable than WipFrag software. Finally, after comparing the two software in different conditions, Split Desktop software is more accurate than WipFrag software and has the least effect of different processing conditions.

## REFERENCES

- [1] Sudhakar, J., Adhikari, G. R., and Gupta, R. N. (2006). "Comparison of Fragmentation Measurements by Photographic and Image Analysis Techniques". *Rock Mechanics and Rock Engineering*, 39(2): 159-168.
- [2] Siddiqui, F. I., Ali Shah, S. M., and Behan, M. Y. (2009). "Measurement of Size Distribution of Blasted Rock Using Digital Image Processing". *Engineering Science*, 20(2): 81-93.
- [3] Karaca, K., Hopkins, D., Kemeny, J., and Segui, J. (2003). "Technologies for Optimizing Drilling and Blasting in Open-Pit Mines". In *International Mining Congress and Exhibition of Turkey-IMCET*, 191-198.

- [4] Maerz, N. H., Palangio, T. C., and Franklin, J. A. (1996). “*WipFrag Image Based Granulometry System*”. In FRAGBLAST 5 Workshop on Measurement of Blast Fragmentation, Montreal, Quebec, Canada, 91-99.
- [5] Esen, S. (2000). “*What’s New With The Digital Image Analysis Software Split-Desktop?*”. by Tom BoBo, Split Engineering, LLC, Tucson, Arizona, USA.
- [6] Venkatesh, H. S., Vamshidhar, Gopinath, K. G., Theresraj, A. I., and Balachander, R. (2013). “*Optimisation of Blast Design for an Iron Ore Mine and Assessment of Fragmentation Through Image Processing*”. Taylor & Francis Group, London, pp. 10.
- [7] Jahani, M., and Taji, M. (2015). “*Comparison of Empirical Fragmentation Models at the Gol-e-Gohar Iron Ore Mine*”. The 11th International Symposium on Rock Fragmentation by Blasting, 11: 707-713.