

ارائه مدلی طبیعی برای خردشدن قطعات زغال سنگ در معدن زیرآب

محمد یزدی*، عباس اسماعیل نیا

گروه زمین‌شناسی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۸۵/۱۲/۱۲

تاریخ پذیرش: ۸۷/۳/۲۱

چکیده

مقدمه: زغال سنگ‌های ایران در دو حوضه زغالی البرز و ایران مرکزی گسترش دارند. معدن زیرآب از معادن شاخص البرز مرکزی می‌باشد که بزرگ‌ترین و اصلی‌ترین معدن حوضه زغالی البرز محسوب می‌شود. زغال سنگ‌های معدن زیرآب از نظر طبقه‌بندی تجاری از نوع کک شو تا گاز دار چرب هستند. این زغال سنگ‌ها براساس طبقه‌بندی سنگ‌شناسی از نوع کلارودوریت تا کلارو ویتروپیت و از نظر درجه زغال‌شدگی جزء زغال سنگ‌های لاغر تا آنتراسیت محسوب می‌شوند و به عنوان مواد اولیه کارخانجات فولاد استفاده می‌گردند.

هدف: یکی از فعالیت‌های هزینه‌بر در معادن زغال سنگ خرد کردن قطعات زغال در مرحله زغال‌شوئی می‌باشد. سؤال اساسی این است که آیا می‌توان با تعیین ارتفاع مناسب و ارائه مدلی در مورد خرد شدن طبیعی و آسیاب کردن نمونه‌ها قبل از زغال‌شوئی صرفه‌جویی نمود. مدل‌های ریاضی ارائه شده قبلی نشان می‌دهد از جمله مدل کز-رام بین میزان خرد شدن قطعات یک جسم سنگی با ارتفاع رها نمودن آن‌ها ارتباط مستقیمی وجود دارد.

روش بررسی: برای رسیدن به چنین پاسخی، ۱۰ نمونه از زغال سنگ‌های استخراج شده معدن زیرآب برای مطالعه انتخاب گردید. نتایج به دست آمده از اندازه‌گیری جرم و اندازه قطعات نمونه‌های خردشده در نمونه‌های مطالعه شده در این پژوهش نشان دادند که خردشدگی قطعات زغال سنگ بر اثر رهاسازی در محیط آزمایشگاهی از ارتفاع ثابت ۴ متری در ۳ مرحله متفاوت از نظمی ثابت تبعیت می‌کند.

*عهده دار مکاتبات: M-Yazdi@sbu.ac.ir

نتایج: بدین ترتیب که هرچه مراحل خردشدگی افزایش یابد، میزان خردشدگی در یک تابع زمانی در ناحیه کوچک تر رفتاری قانون توانی نشان می دهد.

نتیجه گیری: همچنین داده های این پژوهش نشان داد که اگر ذرات زغال سنگ در طبیعت ۲۰ بار از یک ارتفاع ۴ متری رها شوند، در آن صورت صد درصد ذرات به قطعات ریزتر از ۵ میلی متر خرد خواهند شد. در آن صورت نیازی به صرف هزینه خردشدگی نخواهد بود.

واژه های کلیدی: مدل خرد شدگی، زغال سنگ، معدن زیراب، البرز مرکزی، ایران

مقدمه

نحوه خرد شدن اجسام جامد و مایع همواره مورد توجه فیزیکدان ها بوده است. مثلاً افتادن یک قطعه شیشه یا یک تکه سنگ به زمین از یک ارتفاع معینی و خرد شدن آن به قطعات مختلف با این سؤال ها مواجه بوده است که آیا میزان خردشدگی، نحوه پخش قطعات و اندازه قطعات خرد شده ارتباط مستقیم به ارتفاع رها سازی، اندازه قطعه اولیه، جنس آن و ... دارد؟. در آن صورت بین این عوامل چه رابطه ریاضی وجود دارد؟. چنین موضوعی همواره از طرف فیزیکدان ها مورد پژوهش قرار گرفته است و مقالات زیادی در این زمینه نیز ارائه شده است. (۱ و ۲۸)

این مدل ها در سال های اخیر سعی شده در فرایند های طبیعی و مصنوعی خرد شدن سنگ ها به هنگام معدن کاری استفاده شود. (۱-۲۸) مدل های ریاضی ارائه شده قبلی نشان می دهد بین میزان خرد شدن قطعات یک جسم سنگی واحد با ترکیب نسبتاً مشابه با ارتفاع رها نمودن آن ها ارتباط مستقیمی وجود دارد (مدل های ۱ و ۲). تا کنون از این مدل برای معادن زغال سنگ در جهان و ایران استفاده نشده است.

یکی از فعالیت های هزینه بر در معادن زغال سنگ خرد کردن قطعات زغال در مرحله زغال شوئی می باشد. سؤال اساسی این است که آیا می توان با تعیین ارتفاع مناسب و ایجاد سکوی رهاسازی، درصدی در خرد کردن و آسیاب کردن نمونه ها قبل از زغال شوئی صرفه جوئی نمود و یا آن که در طی فعالیت های معدن کاری و حمل و نقل نمونه ها چه درصدی از مواد معدنی به صورت طبیعی خرد می شوند. هدف از اجرای این پژوهش تعیین مدلی برای نحوه خرد شدن قطعات زغال سنگ ها است که نشان دهد قطعات زغال سنگ را از چه ارتفاعی رها سازیم تا نیازی به آسیاب کردن نباشد و یا کمترین هزینه را صرف خردشدگی نمائیم. با انجام این طرح و رسیدن به جواب درست؛ در آن صورت می توان مدل مناسبی جهت نصب سکوهای آزاد سازی قطعات و بدون صرف انرژی به خرد کردن آن ها (قطعات کمتر از ۳-۵ میلی متر) اقدام نمود. در رسیدن به این اهداف، نمونه های معدن زغال سنگ زیراب مورد بررسی قرار گرفتند.

جایگاه زمین شناسی معدن زیرآب

زغال سنگ های ایران در دو حوضه زغالی البرز و ایران مرکزی گسترش دارند. حوضه زغالی البرز در امتداد رشته کوه البرز تشکیل شده است و به سه بخش البرز شرقی، البرز مرکزی و البرز غربی تقسیم می شود. نمونه های مورد مطالعه در این پژوهش متعلق به معدن زغال سنگ زیرآب در البرز مرکزی است. این معدن در

مجاورت جاده قائم شهر-تهران (مسیر فیروزکوه) در منطقه زغال دار آلاشت و در محل شهری به همین نام (زیرآب) قرار دارد. معدن زیرآب از معادن شاخص البرز مرکزی می باشد که بزرگ ترین و اصلی ترین معدن حوضه زغالی البرز محسوب می شود. لایه های زغال دار معدن زیرآب در بین سنگ های شیل، ماسه سنگ، ماسه سنگ آهکی و آرژیلیت تشکیل شده است. این لایه های زغال دار به همراه رسوبات فوق یک ناودیس محلی را تشکیل داده اند. سن این واحدهای سنگی از تریاس بالائی تا ژوراسیک زیرین است که تحت عنوان سازند شمشک شناخته می شود. زغال سنگ های معدن زیرآب از نظر طبقه بندی تجاری از نوع کک شو تا گاز دار چرب هستند. این زغال سنگ ها براساس طبقه بندی سنگ شناسی از نوع کلارودوریت تا کلارو ویترنیت و از نظر درجه زغال شدگی جزء زغال سنگ های لاغر تا آنتراسیت محسوب می شوند. ^(۲۴-۲۵) میزان خاکستر متوسط آن ها ۱۱,۵ درصد (۱-۳۷ درصد) است. مقدار متوسط گوگرد این زغال سنگ در حدود ۰,۲-۱,۱ درصد می باشد. به طور کلی در این منطقه، حدود ۴۰ میلیون تن زغال سنگ کک شو قابل استخراج شناخته شده است. ^(۲۴-۲۵)

روش نمونه برداری و خرد کردن نمونه ها

به دلیل مطالعات قبلی مجریان طرح در محل معدن زیرآب، نمونه های مورد مطالعه برای بررسی خردشدن زغال سنگ ها، از زغال سنگ های این معدن انتخاب گردید. ۱۰ نمونه از محل دپوی معدن طوری برداشت شدند که نمونه ها سالم و غیر هوازده باشند و در ضمن گویای واقعیت نمونه های شاخص معدن باشند. ابعاد این نمونه ها که همگی درشت دانه بودند اندازه گیری شد تا شکل اولیه آن مشخص باشد. در مرحله اول قطعات طبیعی برداشت شده از نظر دانه بندی اندازه گیری شدند که در جدول شماره ۱ ابعاد آن ها ارائه شده است. آن گاه نمونه ها در داخل پاکت های پلاستیکی قرار داده شدند و از ارتفاع مشخص ۴ متری رها شدند. محل زمین خوردن آن ها آسفالت معمولی بود. همه نمونه ها به یک شیوه یکسان از ارتفاع ۴ متری بالای دیوار رها شدند و در یک محل مشابه و به صورت طبیعی فرود آمدند، تا خردشدن آن ها در شرایط مشابه صورت گیرد. این روش به دلیل مشابهت با فرایند های طبیعی افتادن اجسام از یک ارتفاع مشخص و برخورد آن ها به سطح زمین انتخاب شد. در مطالعات انجام شده قبلی توسط توسلی و اسماعیل نیا (۲۰۰۰) نمونه های مورد بررسی از یک ارتفاع معین به کف اطاق انداخته شدند و سپس قطعات خرد شده شیشه مورد بررسی قرار گرفتند. ^(۱۴) همچنین در مقالات دیگری حتی افتادن تخم مرغ به زمین و نحوه شکستن آن مورد بررسی قرار گرفته است. ^(۱۳-۲۸)

جدول شماره ۱ - اندازه نمونه های اولیه برداشت شده از معدن (مقادیر به سانتی متر)

شماره نمونه	طول نمونه	عرض نمونه	ضخامت نمونه
۱	۱۴	۱۴	۷
۲	۲۰	۱۵	۷
۳	۱۲	۱۲	۳,۵
۴	۱۵	۱۰	۸
۵	۱۶	۱۰	۶
۶	۱۶	۹	۶
۷	۱۱	۹	۶
۸	۱۳	۱۲	۶
۹	۲۲	۱۰	۱۰
۱۰	۱۶	۹	۹

نتایج دانه بندی نمونه ها

کلیه مراحل آماده سازی و دانه بندی نمونه ها در آزمایشگاه رسوب شناسی دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی انجام شد. نمونه های خرد شده در هر مرحله در شرایط طبیعی و رهاسازی از ارتفاع ثابت ۴ متری توسط سرندهای مشخص به ترتیب زیر دانه بندی شدند. بر اساس اندازه قطعات زغال سنگ های خرد شده، در این دانه بندی از سرندهائی در اندازه های ۵۰-۳۷,۵-۱۹-۴,۷۵ میلی متری استفاده شد. هر بخش از نمونه های قرار گرفته بر روی سرندها به صورت مستقل توزین گردید. چنین فرایندی ۳ بار برای هر کدام از نمونه ها به صورت جداگانه تکرار شد. کلیه داده های به دست آمده در جدول شماره ۲-۳-۴ ارائه شده است. مدل های آماری ضرایب خردشدگی داده های به دست آمده این زغال سنگ ها برای هر نمونه جداگانه محاسبه و ترسیم گردید. در نهایت نمودارهای کلی هر مرحله دانه بندی با همدیگر نیز جهت مقایسه بهتر داده ها ارائه می شود (نمودارهای تصاویر ۱ و ۲).

نتایج و بحث

مدل خرد شدن ذرات زغال سنگ

مدل های خرد شدن اجسام به صورت های مختلف ارائه شده است. در همه این نوع مدل ها اساس محاسبه خرد شدگی بر مبنای خردشدن یک قطعه اولیه به قطعات کوچک تر با ابعاد مختلف و جرم های متفاوت است که بر اساس جنس ماده، اندازه قطعات و جرم ذرات مدل هائی برای آن ها ارائه شده است، ولی تا کنون هنوز مدل جامعی وجود ندارد. در این مدل ها یک قطعه اولیه را بین ذرات بزرگ تر و یا کوچک تر از اندازه قطعه اولیه در نظر می گیرند. در حالی که در مدل های اولیه که ارائه شده، اندازه گذار را بین صفر و بزرگ ترین قطعه در نظر می گرفتند. در هر حالت همه آن ها در یک تابع زمانی در ناحیه کوچک تر یک رفتار قانون توانی و در ناحیه بزرگ تر حتی گاهی یک رفتار لگاریتمی نشان داده اند. از طرفی برای خردشدگی زغال سنگ ها هنوز هیچ یک از

این مدل ها مورد بررسی قرار نگرفته اند. طرح حاضر تلاشی در این جهت می باشد. البته باید توجه داشت که اصولاً مواد آلی باعث پایداری چسبندگی شده و باعث کاهش خردشدگی می گردد. بنابراین میزان خردشدگی زغال سنگ در مقایسه با موادی مثل شیشه کمتر است.

نتایج به دست آمده از اندازه گیری جرم و اندازه قطعات نمونه های خردشده در نمودارهای مختلف به صورت ساده و لگاریتمی ترسیم شدند (شکل های ۱ و ۲). این نمودارها چه به صورت جداگانه و چه به صورت تجمعی نشان می دهد که در اندازه ۱۹ و ۳۷٫۵ میلی متری تغییرات کاملاً واضح است. در مراحل اول و دوم خردشدگی در اندازه های ۱۹ میلی متری و ۵۰ میلی متری تراکم وزنی قطعات بیشترین تمرکز را دارد. در حالی که در مرحله سوم خردشدگی نسبت وزنی ذرات ریزتر از ۵ میلی متر افزایش می یابد. این مطلب نشان می دهد که قطعات ۱۹ میلی متری به مرحله دوم خردشدگی و قطعات ۵ میلی متری به مرحله سوم خردشدگی تعلق دارند. این مطلب موید آن است که هرچه مراحل خردشدگی افزایش یابد، میزان خردشدگی در یک تابع زمانی در ناحیه کوچک تر یک رفتار قانون توانی و در ناحیه بزرگ تر یک رفتار لگاریتمی نشان می دهد. با توجه به داده های به دست آمده در این طرح که بیشتر بر مبنای جرم و ابعاد قطعات است می توان مدل توسلی و اسماعیل نیا (۲۰۰۰) و بیتلی و همکارانش (۱۹۹۹) را به صورت زیر پیشنهاد نمود^(۱۳-۳):

$$N(r>R)=CR^{-D} \quad (۱)$$

$$M(r<R)/M_t=(R/RL)^V \quad (۲)$$

در این فرمول ها N تعداد قطعات مورد نظر، r شعاع قطعات بزرگ تر از R ، C ثابت نسبی، D ابعاد قطعات، V ثابت توانی، RL اندازه ذرات اولیه (بزرگ تر اندازه گذار)، R اندازه ذرات بزرگ تر از سوراخ سرند و r اندازه ذرات کوچک تر از آن و M جرم ذرات کوچک تر از R است. این مطلب شبیه به مدل ارائه شده توسط بیتلی و همکارانش^(۳) (۱۹۹۹) برای خرد شدن خاک های درشت به ابعاد ریزتر پیشنهاد شده است. هر دو فرمول ارائه شده از یک تابع توانی تبعیت می کنند.

همچنین این خردشدگی در ابعاد وسیع تر از یک فرایند لگاریتمی تبعیت می کند. چنین تغییر سریعی را حتی در نمودارهای ارائه شده در اندازه های حدود ۵ میلی متر مشاهده نمود. بدین معنی که هرچه مراحل خرد شدگی افزایش می یابد تعداد ذرات افزایش، ابعاد قطعات کاهش و از جرم فراکسیون های درشت تر کاسته شده و به جرم فراکسیون های ریزدانه تر افزوده می شود. با توجه به داده های به دست آمده در این طرح می توان فرمول های زیر را مشابه به مدل ارائه شده در منبع^(۱۳-۳) توسط توسلی و اسماعیل نیا (۲۰۰۰) و بیتلی و همکارانش (۱۹۹۹) پیشنهاد نمود:

$$dN \cong R^{-D-1} dR \quad (۳)$$

$$dM \cong R^{V-1} dR \quad (۴)$$

همان‌طور که در فرمول‌های ۳ و ۴ مشاهده می‌شود تعداد و جرم قطعات تابع مستقیم ابعاد قطعات است. بطوری که در فرمول ۳ وقتی ابعاد قطعات کوچک‌تر می‌شود تعداد افزایش می‌یابد. از طرفی هرچه قطعات بزرگ‌تر باشند جرم آن‌ها بیشتر می‌باشد. ولی تعداد زیاد قطعات از آن ذره در یک فراکسیون باعث افزایش جرم آن فراکسیون می‌باشد. درصد خرد شدن ذرات زغال سنگ در مراحل مختلف

اگرچه به دلیل آن که زغال سنگ یک ماده آلی محسوب می‌شود و تصور اولیه آن است که کمتر خرد شوند ولی به دلیل وجود مواد معدنی در ترکیب آن، زغال سنگ معمولاً در فرایند خردشدن بسیار ریزتر از سنگ‌های دیگر می‌شود. اگر میزان خردشدگی زغال سنگ به هنگام معدن‌کاری در حد مطلوب (قطعات کوچک‌تر از ۵ میلی‌متر) باشد بارگیری آن راحت‌تر می‌باشد و فضای کمتری را نیز در حمل و نقل اشغال می‌کند. از طرفی در زغال‌شوئی متوسط ذرات خرد شده در حدود ۳-۵ میلی‌متری می‌باشند. در نمونه‌های مطالعه شده سعی شد درصد خرد شدگی نمونه‌ها در مراحل مختلف مقایسه شوند. در جداول شماره ۵-۶-۷ و تصاویر نمودارهای شماره ۳ و ۴ محاسبات انجام شده به صورت عددی و تصویری ارائه شده است. داده‌های این جداول و نمودارهای شکل‌های ۱ و ۲ نشان می‌دهند که پس از ۳ بار شکسته شدن میزان ذرات کوچک‌تر از ۵ میلی‌متر در نمونه شماره ۱ از ۶۵,۹۹ گرم (در مرحله اول) به ۲۱۳,۳۹ گرم (در مرحله سوم) افزایش یافته است. این مقدار نشان می‌دهد که در مجموع حدود ۳۰ درصد از وزن اولیه کمتر شده است؛ یعنی به ازای هر دفعه خرد شدن حدود ۱۰ درصد به مقدار وزنی ذرات با ابعاد کمتر از ۵ میلی‌متر در کل نمونه شماره ۱ اضافه شده است. میزان ذرات بزرگ‌تر از ۵۰ میلی‌متر در نمونه شماره ۱ از ۸۶۳,۸۵ گرم به ۳۶۹,۲۱ گرم کاهش یافته است. این مقدار نشان می‌دهد که در مجموع حدود ۴۲ درصد از وزن اولیه کمتر شده است، یعنی به ازای هر دفعه خرد شدن حدود ۱۴ درصد از مقدار وزنی ذرات با ابعاد بزرگ‌تر از ۵۰ میلی‌متر در کل نمونه شماره ۱ کاسته شده است. چنین روندی برای همه نمونه‌ها تقریباً به صورت یکسان قابل مشاهده است. کمی تفاوت در درصد خرد شدگی نمونه‌ها به میزان ماسرال و مینرال نمونه‌ها و میزان سختی اولیه آن‌ها بستگی دارد. مثلاً هر چه درصد مواد آلی زغال سنگ زیادتر باشد، نمونه نرم‌تر است و میزان خردشدگی نسبی آن‌ها کاهش می‌یابد و هرچه زغال سنگ دارای ناخالصی بیشتری باشد، نمونه‌ها شکننده‌تر بوده خردشدگی آن‌ها به صورت نسبی افزایش می‌یابد. از آن‌جا که زغال سنگ‌های این منطقه از نظر درجه زغال‌شدگی و ترکیب شیمیایی شرایط نسبتاً مشابهی دارند^(۲۴)، لذا این عوامل در این‌جا نقش زیادی در نحوه خرد شدن زغال‌ها ندارد. این نمودارها نشان می‌دهد که اگر مقدار خردشدن طبیعی نمونه‌ها ۲۰ برابر تکرار شود تقریباً صد درصد نمونه‌ها به ذرات ریزتر از ۵ میلی‌متر خرد خواهند شد.

در زغال‌شوئی، ذرات زغال سنگ را به اندازه‌های ۳-۵ میلی‌متری می‌رسانند که مطلوب‌ترین حالت برای کانه‌آرایی است در کارخانه زغال‌شوئی زیرآب می‌باشد.^(۲۵) داده‌های به دست آمده از این پژوهش نشان می‌دهد که اگر ذرات زغال سنگ به صورت طبیعی ۲۰ بار از یک ارتفاع ۴ متری رها شوند، در آن صورت صد درصد ذرات به قطعات ریزتر از ۵ میلی‌متر خرد خواهند شد.

جدول شماره ۲ - وزن نمونه های مرحله اول خردشدگی (مقادیر به گرم)

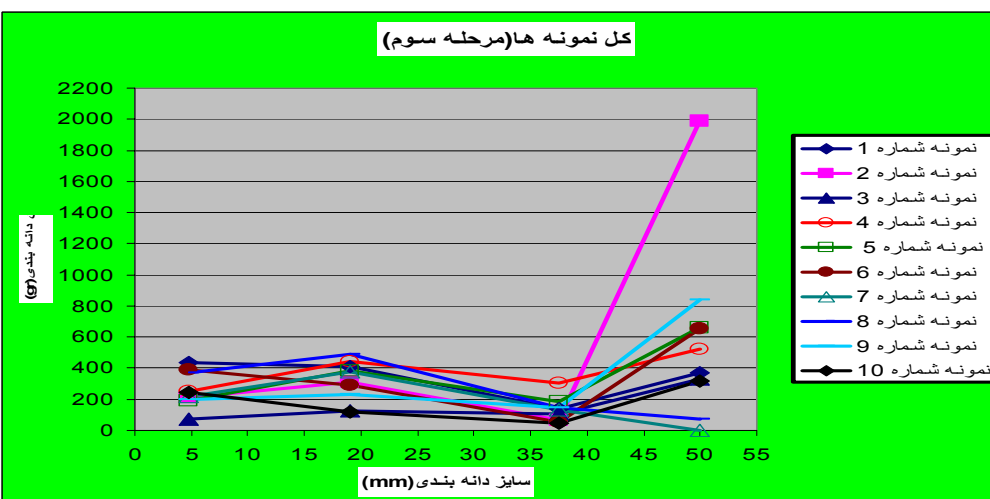
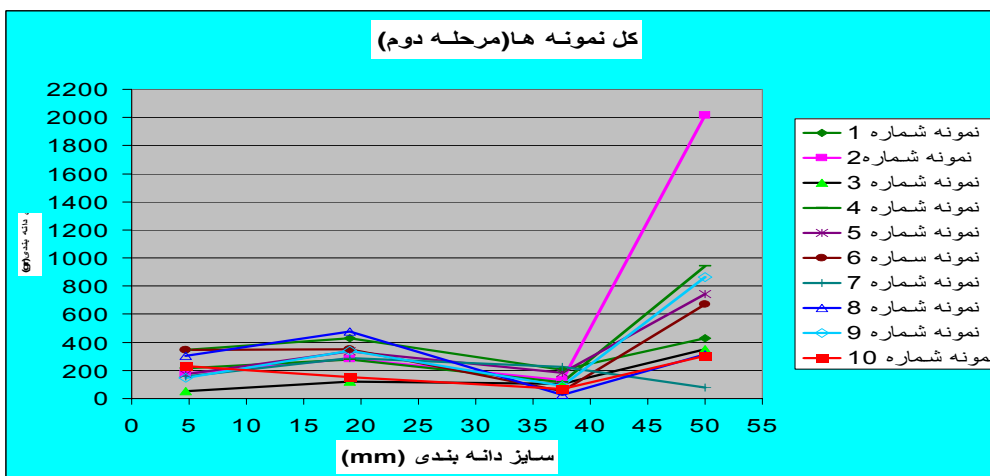
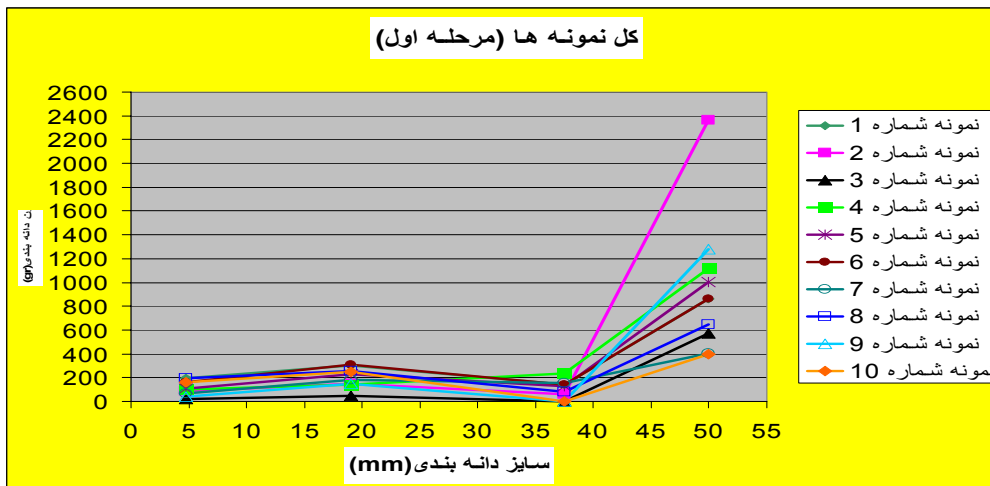
شماره نمونه	غریبال شماره ۱ ۵۰mm	غریبال شماره ۲ ۳۷,۵mm	غریبال شماره ۳ ۱۹mm	غریبال شماره ۴ ۴,۷۵mm	سینی زیرین سینی زیر	کل
۱	۸۶۳,۸۵	۱۳۸,۶۴	۳۰۲,۹۹	۱۹۶,۵	۶۵,۹۹	۱۵۷۲,۰۸
۲	۲۳۶۵,۵۳	۶۳,۵	۱۴۴,۹۹	۸۵,۱۲	۴۳,۳	۲۷۰۳,۱۷
۳	۵۷۵,۷۹	۰	۴۴,۲۳	۲۱,۴۹	۱۳,۷۳	۶۷۵,۲۹
۴	۱۱۱۷,۲۷	۲۳۴,۹۱	۱۴۱,۱۳	۹۸,۵۵	۱۲,۰۱	۱۶۵۲,۶۹
۵	۱۰۰۶,۶۱	۱۲۸,۱۸	۲۳۱,۱۸	۱۰۵,۳۷	۳۲,۹۶	۱۵۰۸,۴
۶	۸۶۲,۷۲	۱۳۹,۴۵	۳۰۸,۸۹	۱۶۱	۳۹,۵۹	۱۵۳۶,۶۹
۷	۴۰۱,۳۴	۱۵۲,۸	۱۷۸,۵۹	۶۹,۲۲	۲۸,۳۱	۸۴۹,۶
۸	۶۴۶,۲۷	۷۸,۱۳	۲۵۵,۲۶	۱۹۶,۷۲	۶۹,۶۵	۱۲۶۶,۸۷
۹	۱۲۸۰,۲۱	۰	۱۴۹,۷۵	۳۹,۸	۱۳,۶۶	۱۴۸۷,۵۷
۱۰	۳۹۵,۳۱	۰	۲۴۹,۷۶	۱۶۲,۳۴	۷۵,۷۹	۸۹۰,۸۴

جدول شماره ۳ - وزن نمونه های مرحله دوم خردشدگی (مقادیر به گرم)

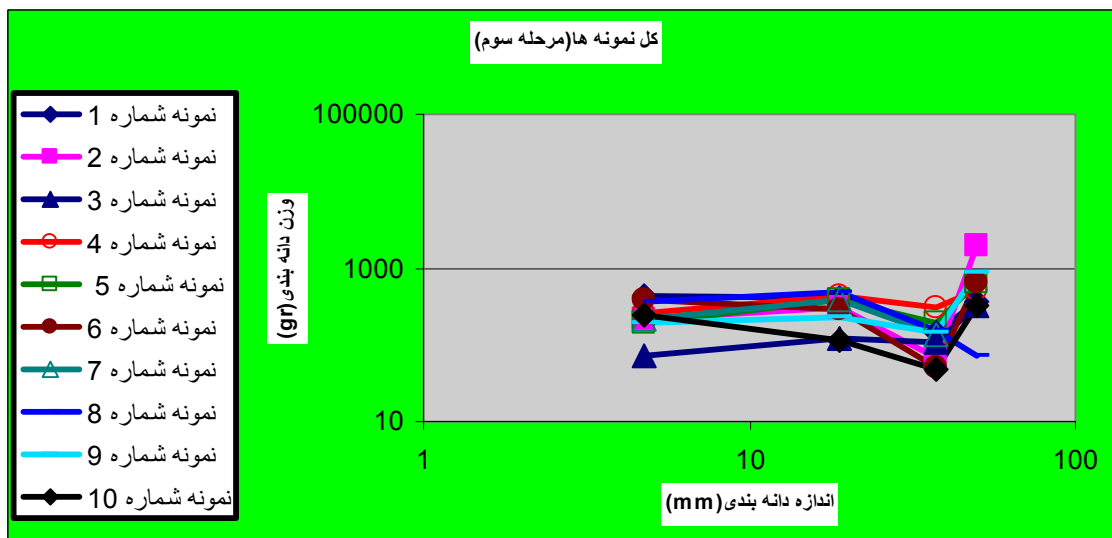
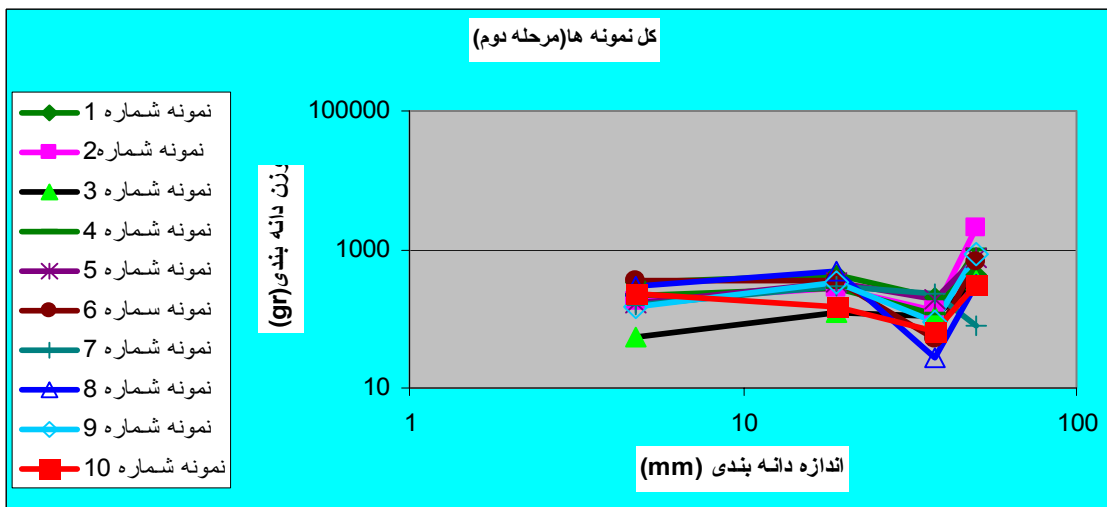
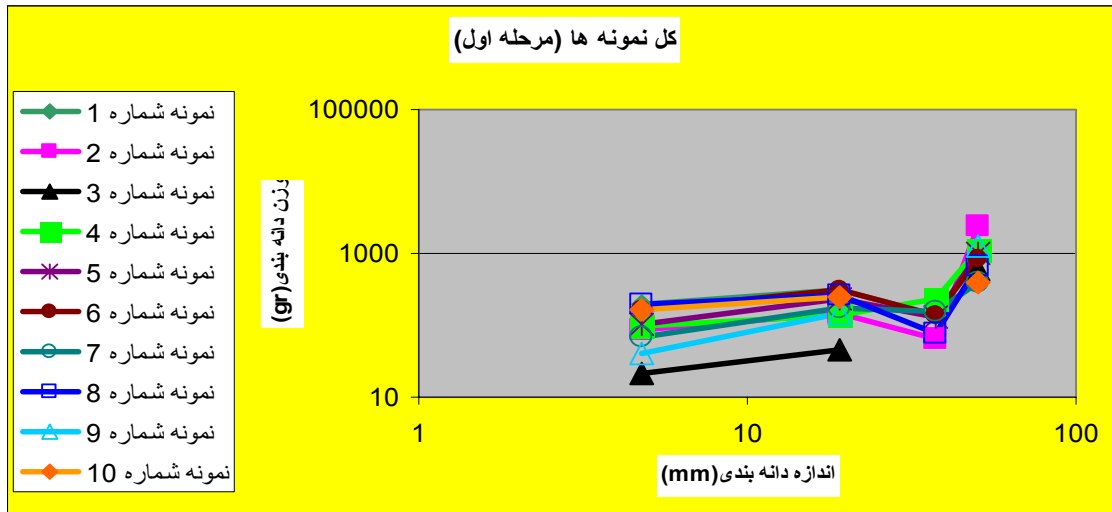
شماره نمونه	غریبال شماره ۱ ۵۰mm	غریبال شماره ۲ ۳۷,۵mm	غریبال شماره ۳ ۱۹mm	غریبال شماره ۴ ۴,۷۵mm	سینی زیر سینی زیر	کل
۱	۴۲۲,۰۱	۲۰۳,۲۸	۴۲۸,۲۵	۳۴۴,۰۲	۱۵۲,۹۷	۱۵۸۲,۵۳
۲	۲۰۱۴,۹	۱۳۱,۷۳	۲۸۲,۴۸	۱۷۹,۸۳	۹۱,۱۴	۲۷۰۰,۰۸
۳	۳۵۱,۰۳	۱۰۷,۳۷	۱۱۸,۹۷	۵۳,۳۵	۲۴	۶۶۸,۹۴
۴	۹۴۴,۴	۱۱۵,۶۴	۲۷۵,۵۳	۲۱۴,۶۱	۶۷	۱۶۳۹,۳۲
۵	۷۴۳,۸۱	۱۸۵,۷۹	۲۸۹,۹۹	۱۷۰,۲۴	۶۶,۵۸	۱۵۲۹,۲۱
۶	۶۶۷,۹۴	۵۰	۳۵۱,۴۷	۳۴۷,۶۶	۹۶,۵	۱۵۳۳,۶۵
۷	۷۹,۳۳	۲۲۴,۳۴	۲۸۹,۹۹	۱۵۶,۰۱	۶۶,۰۳	۸۴۷,۹۹
۸	۳۱۶,۸۶	۲۷,۱۲	۴۷۸,۲۲	۳۰۲,۵۳	۱۲۰,۷۹	۱۲۶۴,۰۲
۹	۸۶۲,۳۴	۸۷,۵۴	۳۴۱,۸۴	۱۴۵,۰۹	۴۷,۹	۱۵۰۳,۲۳
۱۰	۳۰۴,۴۳	۶۷,۳۲	۱۵۲,۱۱	۲۳۲,۳۴	۱۲۶,۶۳	۹۰۷,۹۶

جدول شماره ۴ - وزن نمونه های مرحله سوم خردشدگی (مقادیر به گرم)

شماره نمونه	غریبال شماره ۱ ۵۰mm	غریبال شماره ۲ ۳۷,۵mm	غریبال شماره ۳ ۱۹mm	غریبال شماره ۴ ۴,۷۵mm	سینی زیر سینی زیر	کل
۱	۳۶۹,۲۱	۱۳۹,۸۴	۴۰۸,۰۳	۴۳۵,۱۵	۲۱۳,۳۹	۱۵۸۶,۷۸
۲	۱۹۸۵,۵۸	۶۸,۴۲	۳۰۷,۷۸	۲۰۹,۵	۱۲۸,۳۸	۲۶۹۹,۶۶
۳	۳۳۲,۱۱	۱۰۶,۱۴	۱۲۳,۷۴	۷۱,۲	۳۰,۸۶	۶۶۷,۹
۴	۵۲۲,۹۹	۳۰۳,۲۵	۴۴۳,۴۸	۲۵۰,۷۸	۹۵,۳۲	۱۶۴۲,۴۹
۵	۶۵۸,۳۲	۱۸۷,۱۷	۳۸۱,۰۸	۱۹۰,۲۷	۸۶,۷۲	۱۵۲۰,۹۷
۶	۶۵۱,۷۲	۴۹,۹۵	۲۸۷,۹۴	۳۸۹,۶۸	۱۳۳,۱۹	۱۵۲۸,۱۴
۷	۰	۱۳۴,۰۲	۳۷۸,۷۷	۲۱۷,۹۶	۹۸,۴۴	۸۳۲,۱۷
۸	۷۳,۴۱	۱۴۸,۰۳	۴۸۹,۲۲	۳۶۶,۹۱	۱۵۹,۸۲	۱۲۵۸,۷۲
۹	۸۴۱,۰۷	۱۴۷,۴۴	۲۳۱,۵	۱۹۵,۱	۶۸,۳۲	۱۵۰۳,۲۴
۱۰	۳۱۸,۱۹	۴۸,۷۶	۱۱۶,۰۵	۲۴۲,۱۶	۱۵۶,۸۴	۸۹۷,۴۹



شکل ۱- نمودار معمولی نسبت اندازه دانه بندی به وزن دانه بندی قطعات خردشده برای کل نمونه ها در هر ۳ مرحله خرد شدگی زغال سنگ ها



شکل ۲- نمودار لگاریتمی نسبت اندازه دانه بندی به وزن دانه بندی قطعات خرد شده برای کل نمونه ها در هر ۳ مرحله خرد شدگی زغال سنگ ها

جدول شماره ۵ - درصد وزنی خرد شدگی بزرگترین قطعات به کوچکترین قطعات در مرحله اول خردشدگی (مقادیر به گرم)

شماره نمونه	۱ ۵۰mm	۲ سینی زیر	۳ کل	درصد ۱/۳	درصد ۲/۳
۱	۸۶۳,۸۵	۶۵,۹۹	۱۵۷۲,۰۸	۸	۴
۲	۲۳۶۵,۵۳	۴۳,۳	۲۷۰۳,۱۷	۲	۲
۳	۵۷۵,۷۹	۱۳,۷۳	۶۷۵,۲۹	۲	۲
۴	۱۱۱۷,۲۷	۲۹,۰۱	۱۶۵۲,۶۹	۳	۲
۵	۱۰۰۶,۶۱	۳۲,۹۶	۱۵۰۸,۴	۳	۳
۶	۸۶۲,۷۲	۳۹,۵۹	۱۵۳۶,۶۹	۵	۳
۷	۴۰۱,۳۴	۲۸,۳۱	۸۴۹,۶	۷	۳
۸	۶۴۶,۲۷	۶۹,۶۵	۱۲۶۶,۸۷	۱۱	۵
۹	۱۲۸۰,۲۱	۱۳,۶۶	۱۴۸۷,۵۷	۱	۱
۱۰	۳۹۵,۳۱	۷۵,۷۹	۸۹۰,۸۴	۱۹	۹

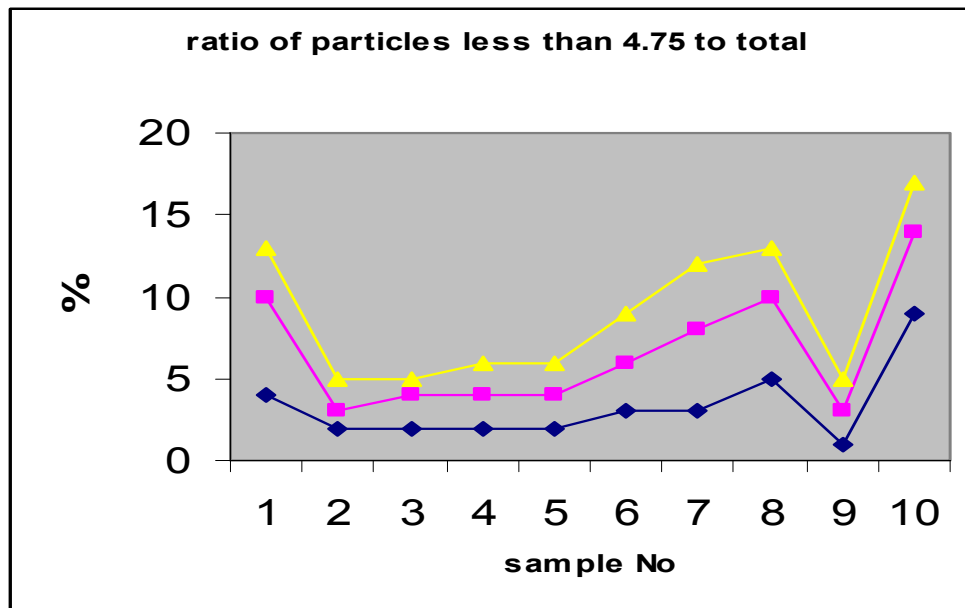
جدول شماره ۶ - درصد وزنی خرد شدگی بزرگترین قطعات به کوچکترین قطعات در مرحله دوم خردشدگی (مقادیر به گرم)

شماره نمونه	۱ ۵۰mm	۲ سینی زیر	۳ کل	درصد ۱/۳	درصد ۲/۳
۱	۴۳۲,۰۱	۱۵۲,۹۷	۱۵۹۲,۸۲	۳۵	۱۰
۲	۲۰۱۴,۹	۹۱,۱۴	۲۷۰۰,۰۸	۵	۳
۳	۳۵۱,۰۳	۲۴	۶۶۸,۹۴	۷	۴
۴	۹۴۴,۴	۶۷	۱۶۳۹,۳۲	۷	۴
۵	۷۴۳,۸۱	۶۶,۵۸	۱۵۲۹,۲۱	۹	۴
۶	۶۶۷,۹۴	۹۶,۵	۱۵۳۳,۶۵	۱۵	۶
۷	۷۹,۳۳	۶۶,۰۳	۸۴۷,۹۹	۸۳	۸
۸	۳۱۶,۸۶	۱۲۰,۷۹	۱۲۶۴,۰۲	۳۸	۱۰
۹	۸۶۲,۳۴	۴۷,۹	۱۵۰۳,۲۳	۶	۳
۱۰	۳۰۴,۴۳	۱۲۶,۶۳	۹۰۷,۹۶	۴۱	۱۴

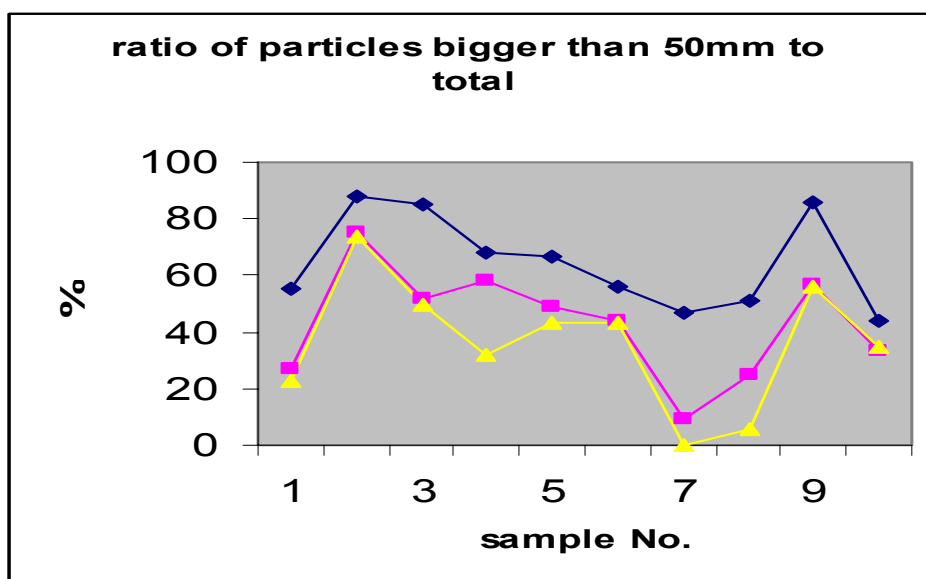
جدول شماره ۷ - درصد وزنی خرد شدگی بزرگترین قطعات به کوچکترین قطعات در مرحله سوم خردشدگی (مقادیر به

گرم)

شماره نمونه	۱	۲	۳	درصد ۱/۳	درصد ۲/۳
	۵۰mm	سینی زیر	کل		
۱	۳۶۹,۲۱	۲۱۳,۳۹	۱۵۸۶,۷۸	۵۸	۱۳
۲	۱۹۸۵,۵۸	۱۲۸,۳۸	۲۶۹۹,۶۶	۶	۵
۳	۳۳۲,۱۱	۳۰,۸۶	۶۶۷,۹	۹	۵
۴	۵۲۲,۹۹	۹۵,۳۲	۱۶۴۲,۴۹	۱۸	۶
۵	۶۵۸,۳۲	۸۶,۷۲	۱۵۲۰,۹۷	۱۳	۶
۶	۶۵۱,۷۲	۱۳۳,۱۹	۱۵۲۸,۱۴	۲۰	۹
۷	۰	۹۸,۴۴	۸۳۲,۱۷	۱۰۰	۱۲
۸	۷۳,۴۱	۱۵۹,۸۲	۱۲۵۸,۷۲	۲۱۹	۱۳
۹	۸۴۱,۰۷	۶۸,۳۲	۱۵۰۳,۲۴	۸	۵
۱۰	۳۱۸,۱۹	۱۵۶,۸۴	۸۹۷,۴۹	۴۹	۱۷



شکل ۳- درصد خرد شدگی برای ذرات ریزتر از ۴,۴۵ میلی متر برای کل نمونه ها در هر ۳ مرحله خرد شدگی زغال سنگ ها



شکل ۴- درصد خرد شدگی برای ذرات بزرگتر از ۵۰ میلی متر برای کل نمونه ها در هر ۳ مرحله خرد شدگی زغال سنگ ها

نتیجه گیری

در مدل های مختلفی که برای خرد شدن اجسام ارائه شده است، سؤال اساسی آن است که نحوه خرد شدن اجسام از چه مدل یا مدل هایی پیروی می کنند. عوامل موثر در خرد شدگی اجسام چه می باشد؟. عوامل متفاوتی نظیر جنس ماده، اندازه قطعات، زمان و جرم ذرات چه تاثیری در میزان خرد شدگی دارند؟. نتایج به دست آمده از اندازه گیری جرم و اندازه قطعات نمونه های خرد شده در نمونه های مطالعه شده در این پژوهش نشان دادند که خرد شدگی قطعات زغال سنگ بر اثر رهاسازی از ارتفاع ثابت ۴ متری در ۳ مرحله متفاوت از یک نظم ثابتی تبعیت می کند. بدین ترتیب که در مراحل اول و دوم خرد شدگی در اندازه های ۱۹ میلی متری و ۵۰ میلی متری تراکم وزنی قطعات بیشترین تمرکز را دارد. در حالی که در مرحله سوم خرد شدگی نسبت وزنی ذرات ریزتر از ۵ میلی متر افزایش می یابد. این مطلب موید آن است که هرچه مراحل خرد شدگی افزایش یابد، میزان خرد شدگی در یک تابع زمانی در ناحیه کوچک تر یک رفتار قانون توانی و در ناحیه بزرگ تر یک رفتار لگاریتمی نشان می دهد.

همچنین داده های این پژوهش نشان می دهد که پس از ۳ بار شکسته شدن نمونه ها در مدل آزمایشگاهی میزان قطعات کوچک تر از ۵ میلی متر مثلا در نمونه شماره ۱ به ازای هر دفعه خرد شدن بطور متوسط حدود ۵ درصد به مقدار وزنی این ذرات اضافه شده است. چنین روندی برای همه نمونه ها تقریبا به شکل یکسان قابل مشاهده است. کمی تفاوت در درصد خرد شدگی نمونه ها به ماهیت اولیه نمونه ها و میزان فشردگی اولیه آن ها بستگی دارد. مثلا هر چه درصد مواد آلی زغال سنگ زیادتر باشد، میزان خرد شدگی نسبی آن ها کاهش می باشد و هرچه زغال سنگ دارای ناخالصی بیشتری باشد، خرد شدگی آن ها به صورت نسبی افزایش می یابد. در زغال شوئی

زغال سنگ ها، معمولا ذرات زغال سنگ را به اندازه های ۳-۵ میلی متری می رسانند که مطلوب ترین حالت برای کانه آرائی است. داده های به دست آمده از این پژوهش نشان می دهد که اگر ذرات زغال سنگ در طبیعت ۲۰ بار از یک ارتفاع ۴ متری رها شوند، در آن صورت صد درصد ذرات به قطعات ریزتر از ۵ میلی متر خرد خواهند شد. در آن صورت نیازی به صرف هزینه خردشدگی نخواهد بود. اگرچه در عمل و در معدن کاری بخشی از این خرد شدگی اتفاق می افتد.

سپاسگزاری

گزارش حاضر نتایج به دست آمده از طرح پژوهشی مصوب دانشگاه شهید بهشتی است که توسط معاونت پژوهشی آن دانشگاه حمایت گردید، از لطف و زحمات همکاران گرامی در معاونت پژوهشی دانشگاه سپاسگزاری می شود. از آقای خالق خشنودی دانشجوی کارشناسی ارشد دانشگاه شهید بهشتی که در تجزیه نمونه ها و اندازه گیری ها در این طرح ما را یاری نمودند، تشکر می شود. همچنین از مسئولین و کارشناسان معدن زیرآب به دلیل همکاری بی دریغ در برداشت نمونه ها سپاسگزاری می شود.

References:

1. Atasoy, Y., Brunton, I., Tapia-Vergara, F and Kanchibotla, S.S. *Proc. Mine-Mill Conf., Brisbane*, 125 (1998).
2. Banasiak, J. Lamb, *Journal of Mathematical Analysis and Applications* (2003).
3. Bittelli Marco, Gaylon S. Campbell and Markus Flury, *Soil Sci. Soc. Am. J.*, **3**, 782 (1999).
4. Cunningham, C.V.B., *Proc. 1st Int. Symp. on Rock Fragmentation by Blasting*, Lulea, 439, (1983).
5. Cunningham, C.V.B. *Proc. 2nd Int. Symp. on Rock Fragmentation by Blasting*, Colorado, 475 (1987).
6. Drugan, W.J., *Journal of the Mechanics and Physics of Solids* (2001).
7. Dukino, R.D, *Proc. Iron making Resources and Reserves Estimation*, Perth, 25 (1997).
8. Ghorbel, M., Huillet, T., *Statistics and Probability Letters* (2005).
9. Kuznetsov, V.M., *Soviet Mining Science*, **9** (2), 144 (1973).
10. Lawn B.R. and Wilshaw, T.R., *Fracture of Brittle Solids*, Cambridge University Press, Cambridge (1975).
11. McGrady E.D. and Robert M. Ziff, *Physical Review Letters*, **58**, 992 (1978).
12. McKee, D.J., Chitombo, G.P. and Morell, S., *Minerals Engineering*, **8**(11), 1265 (1995).
13. Mcleod, N., Bain, M.M., Solomon, S.E., Hancock J.W., *Proceedings of the International Conference of Fracture ICF11*, Torino (2005).
14. Meibom, A. and Balslev, I., *Physical Review Letters*, **76**(14) , 2492 (1996).
15. Oddershede L., P. Dimon and J.Bohr, *Physical Review Letters*, **71**(19), 3107 (1993).

16. Perfect, E., *Eng. Geology*, **48**, 185 (1997).
17. Smith, M.L., Prisbery, K.A and Barron, C.L, *AIME, SME Annual Meeting*, Preprint, 93 (1993)
18. Stolongo-Costa, O., Moreno-Vega, Y., Lioveras-Gonzalez J.J. and Antoranz, J.C., *Physical Review Letters*, **76**(1), 42 (1996).
19. Tavassoli, Z., and Esmailnia Shirvani, A., *Physica*, **286**, 29 (2000).
20. Turcotte, D.L., *Cambridge University Press*, Cambridge, UK (1992).
21. Wittel, F.K., Kun, F., Herrmann, H.J., Kroplin, B. H., *Physical Review Letters*, **93**, 035504 (2004).
22. Wu, Q., Borkovec, M., and Sticher, H., *J. Soil Sci. Soc. Am*, **57**, 883 (1993)
23. Yazdi, M., and Esmailnia, S.A., *International Journal of Coal Geology*, **60**, 73 (2004).
24. Yazdi, M. and Esmailnia, S.A., *International Journal of Coal Geology*, **55**, 151 (2003).
25. Yazdi, M., and Esmailnia, S.A., *Iranian Journal of Geology*, **2**, 61 (2004).
26. Yazdi, M., *Coal (from origin to environmental impacts)*, Polytechniques Jahad Daneshgahi Publishing Co, Iran (2003).
27. Young, I.M., J.W. Crawford, Anderson, A., and McBratney A., *soil structure and fractals*, 24 (1997).
28. Zhou, F., Molinari J.F., Ramesh, K.T., *International Journal of Solids and Structures*, 113 (2005).