

# مطالعه سینتیک خردایش کانه آهن معدن سنگان خراسان در آسیای گلوله ای آزمایشگاهی

مختار اعظمی<sup>i</sup>؛ اکبر فرزنانگان<sup>ii</sup>؛ احمد خدادادی<sup>iii</sup>

## چکیده

تابع انتخاب ( Si ) با سینتیک درجه اول، یکی از مهم ترین فاکتورهای مورد نیاز برای ارزیابی فرایند خردایش بخصوص در مراحل اولیه خردایش در انواع آسیاهاست. در این مقاله، تاثیر ابعاد خوراک و قطر گلوله بر روی تابع انتخاب نمونه های کانه آهن فاز B و C معدن سنگ آهن سنگان در آسیای گلوله ای غیر پیوسته بر پایه یک مدل سینتیکی بررسی می شود. هشت نمونه تک سایز با ابعاد ۵۰۰ تا ۲۰۰۰ میکرون با اختلاف سطح  $\sqrt{2}$  برای کانه B و C انتخاب شده اند. آنالیز ابعادی این نمونه ها پس از خردایش با استفاده از هشت طبقه سرندی انجام می شود. تابع انتخاب و توزیع ابعادی در زمان های مختلف تعیین شده و سپس تابع انتخاب برای هشت طبقه ابعادی مختلف با هم مقایسه می شود.

## کلمات کلیدی

آسیای گلوله ای، تابع انتخاب، خردایش و سنگ آهن

## *A Study on the Specific Rate of Breakage of Iron Ore of Sangan Mine in a Laboratory Ball Mill*

M.Aazami; A.Farzanegan; A.Khodadadi

### ABSTRACT

The specific rate of breakage is one of the most important factors in evaluation of grinding process especially in ball mill.

In this article the effect of ball size and feed size on selection function were investigated in a batch grinding circuit on tow iron ore anomaly (B,C) from Sangan mine in north of Iran . Eight different monosize fractions were prepared between 2000 and 500 micron, using a  $\sqrt{2}$  sieve series. The specific rates of breakage (Si) were determined from the size distributions at different grinding times, and the specific rates of breakage were compared for three different ball diameters.

### KEYWORDS:

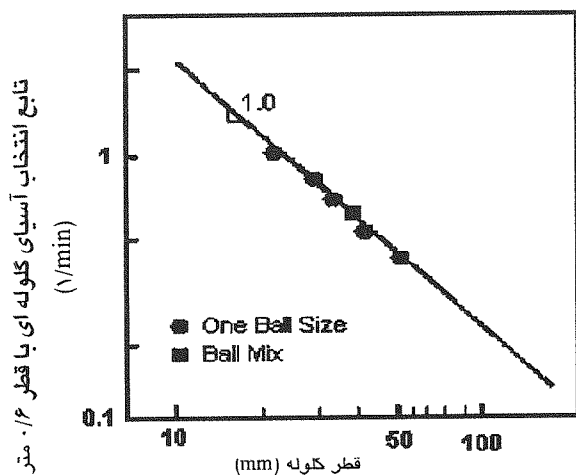
ball mill; grinding; selection function; iron ore.

<sup>i</sup> دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی فرآوری؛ دانشگاه تربیت مدرس: E-Mail: m\_Aazami@yahoo.com

<sup>ii</sup> استادیار گروه فرآوری و محیط زیست؛ دانشکده فنی و مهندسی؛ دانشگاه تربیت مدرس

<sup>iii</sup> عضو هیات علمی دانشگاه کاشان





شکل (۲): تغییرات تابع انتخاب نسبت به قطر گلوله

نتایج این مقاله نشان دادند که اندازه خوراک بر روی تابع انتخاب کانه آنومالی B و C در یک آسیای آزمایشی گلوله ای کوچک در شرایط استاندارد موثر است.

## ۲- تئوری آزمایش

در مورد آسیاهای گلوله‌ای در اغلب موارد شکست ذرات از سینتیک مرتبه اول پیروی می‌کند. در یک آسیای ناپیوسته، ترسیم کسر جرم باقیمانده روی یک سرند روی کاغذ لگاریتمی بر حسب زمان باید یک خط راست را نشان دهد؛ البته در اغلب اوقات، چون مواد از سرندهای بالاتر نیز خرد می‌شوند این مطلب پنهان می‌ماند. در مورد بزرگ‌ترین طبقه سرندهای، هیچگونه موادی به علت خردایش به این طبقه افزوده نمی‌شود و رابطه خطی هنگامیکه مواد همگن باشند نمایان می‌شود. توصیف ریاضی این رابطه به صورت ذیل است:

$$\frac{-dw_1}{dt} = S_1 w_1(t) \quad (1)$$

$w_1(t)$ : کسر وزنی مواد موجود در آسیا با اندازه اولیه در زمان های  $t$ .  
 $S_1$ : تابع انتخاب.

تغییرات تابع انتخاب نسبت به اندازه ذره نیز به صورت ذیل است:

$$S_i = a_i X_i^\alpha \quad (2)$$

که  $X_i$  محدوده بالایی طبقه سرندهای  $\alpha$  و  $a_i$  پارامترهای مدل می‌باشند که بستگی به خواص مواد و شرایط خردایش دارند [۹]، [۱۰].

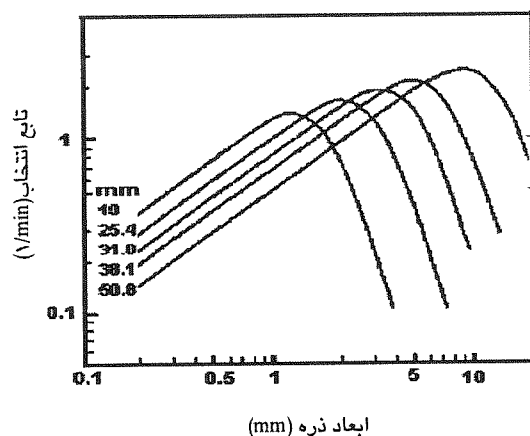
خردایش یکی از فرایندهای بشدت مصرف کننده انرژی است که حدود ۳ تا ۴٪ انرژی الکتریکی تولید شده در جهان و ۷۰٪ انرژی مصرفی در کاخانه فرآوری را مصرف می‌کند. با در نظر گرفتن این فاکتور، بهینه سازی این فرایند موجب کاهش قابل توجهی در مصرف انرژی می‌شود [۱].

در دهه گذشته، به دلیل بهبود ساختار ماشین‌های خردایش و طراحی بهینه سیستم خردایش و متغیرهای عملیاتی مؤثر بر این فرایند، پیشرفت‌های قابل توجهی در صنعت خردایش انجام شده است [۲]، [۳].

در سال‌های اخیر، تجزیه و تحلیل کاهش ابعاد در آسیاهای گلوله‌ای بر اساس مفهوم تابع انتخاب و توزیع محصول اولین شکست بسیار مورد توجه قرار گرفته است [۴].

اوستین و همکارانش نشان دادند که تغییرات تابع انتخاب نسبت به اندازه ذره برای قطرهای مختلف گلوله در یک آسیای گلوله‌ای از منحنی‌های شکل (۱) پیروی می‌کند. بعلاوه با در نظر گرفتن یک حجم واحد برای آسیا، نرخ برخورد گلوله‌ها در واحد زمان با کاهش قطر گلوله‌ها افزایش می‌یابد که دلیل آن افزایش تعداد گلوله‌ها با ضریب  $1/d^3$  است؛ بنابراین، نرخ شکست ذرات کوچک‌تر به وسیله گلوله‌های با قطر کمتر بیشتر می‌شود. شکل (۲) تاثیر قطر گلوله در یک آسیا با قطر ۰/۶ متر را نشان می‌دهد که رابطه  $a_T \propto 1/d$  را نتیجه می‌دهد [۵].

[۶]، [۷]، [۸]



شکل (۱): تغییرات تابع انتخاب نسبت اندازه ذره برای اندازه گلوله‌های مختلف

### ۳- آماده سازی نمونه ها

برای انجام این آزمایش‌ها نمونه‌ها از معدن سنگ آهن سنگان خراسان (از دو آنومالی B و C) تهیه شدند. ترکیب شیمیایی این نمونه‌ها با انجام آنالیزهای XRD و XRF تعیین شد.

### ۴- روش آزمایش

نمونه‌های تهیه شده از آنومالی B و C معدن سنگ آهن سنگان دارای ابعاد اولیه ۲۰ mm و وزن مخصوص ۳ gr/cm<sup>3</sup> ۴/۵ بودند.

در ابتدا، تست اندیس باند برای نمونه‌ها انجام شد و مقدار اندیس باند برای نمونه آنومالی C و B به ترتیب ۱۵/۱ و ۱۳ کیلو وات ساعت بر تن به دست آمد.

عملیات خردایش در یک آسیای گلوله‌ای آزمایشگاهی با مشخصات جدول (۱)، با بار گلوله کمتر از ۲۰٪ انجام شد. خردایش با قران دادن گلوله‌ها و پس از آن ریختن خوراک تک سایز به داخل آسیا آغاز شد. سپس در آسیا بسته شده و با سرعت ۸۴ دور بر دقیقه بحرکت در آمد. پس از اتمام زمان مورد نظر (۵ ثانیه)، آسیا بلافاصله متوقف و مواد و گلوله‌ها به داخل یک ظرف خالی شد و سپس مواد را جدا کرده و به داخل یک سری طبقه سرندهی با اختلاف سطح  $\sqrt{2}$  هدایت می‌شود. اندازه سرندها از سرندهی با ابعاد چشمه برابر با ابعاد اولیه خوراک شروع شده و به ۵۰۰ میکرون ختم می‌شود.

مواد خرد شده به مدت ۱۵ دقیقه به وسیله دستگاه سرنده شدن. برای بالا بردن دقت عملیات جدایش هر سرنده قبل از وزن شدن، مواد روی آن به مدت ۵ دقیقه به صورت دستی نیز سرنده شد. پس از آن مواد باقیمانده بر روی هر سرنده وزن شده و یادداشت شد.

عملیات بالا آنقدر تکرار شد تا وزن مواد باقیمانده بر روی سرنده اول به حدود ۴۵ تا ۵۰٪ وزن مواد اولیه برسد. سپس تابع انتخاب و تابع شکست بر اساس روش‌های محاسبه این توابع و نتایج به دست آمده محاسبه شد.

### ۵- نتایج و بحث:

#### ۵-۱- تاثیر ابعاد ذرات بر تابع انتخاب

منحنی سینتیک خردایش برای ابعاد مختلف هر دو نمونه در

شکل‌های (۳) تا (۸) برای قطر گلوله‌های مختلف نشان داده است. نتایج حاصله نشان می‌دهد که شکست این نمونه‌ها از سینتیک درجه یک پیروی می‌کند. شیب هر کدام از این منحنی‌ها، تابع انتخاب ( $S_i$ ) هر طبقه سرندهی را نشان می‌دهد.

جدول ۱ - مشخصات دستگاه‌های خردایش

۲۰۰	قطر آسیا (mm)
۲۰۰	طول آسیا (mm)
۹۴/۶	سرعت بحرانی آسیا (rpm)
۸۴	سرعت عملیاتی آسیا (rpm)
۱۶/۶	متوسط قطر گلوله (mm)
۷/۸	وزن مخصوص گلوله (gr/cm <sup>3</sup> )
۴۰	تخلخل (U) (%)
۲۴/۳	حجم پرشدگی گلوله‌ها (J) (%)
۴/۵	وزن مخصوص مواد (gr/cm <sup>3</sup> )

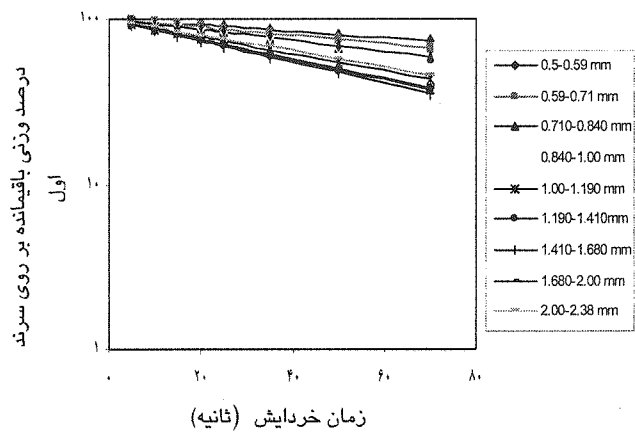
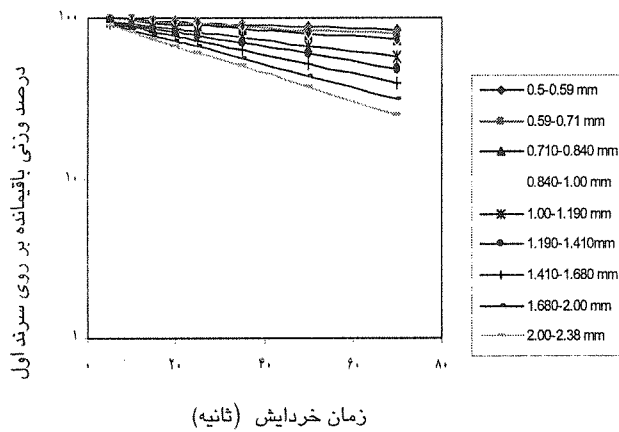
نتایج حاصل از نمودارها نشان می‌دهند که تابع انتخاب با کاهش اندازه ذره کاهش پیدا می‌کند که کاهش احتمال گیر افتادن ذرات ریز بین دو گلوله‌ای که به یکدیگر برخورد می‌کنند، می‌تواند دلیل آن باشد. ارتباط بین تابع انتخاب و اندازه ذره اغلب به صورت یک تابع لگاریتمی - خطی به شکل ذیل است:

$$S_i = a(x_i)^b \quad (3)$$

مطابق این معادله، نمودار کسر جرم باقیمانده بر روی سرنده نسبت به زمان آسیا کردن به صورت خطی با شیب منفی است که شیب آن با افزایش اندازه ذره افزایش می‌یابد. همانطور که مشاهده می‌شود شیب منحنی‌های مربوط به نمونه آنومالی C کمتر از شیب منحنی‌های نمونه آنومالی B است و این نشان می‌دهد که که کانسنگ آنومالی C سخت تر از کانسنگ آنومالی B می‌باشد.

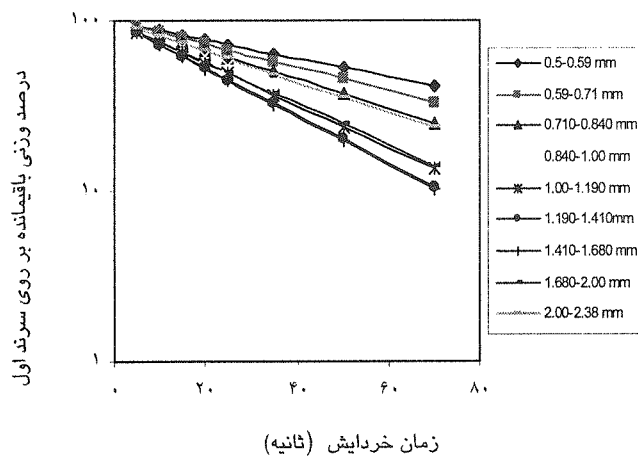
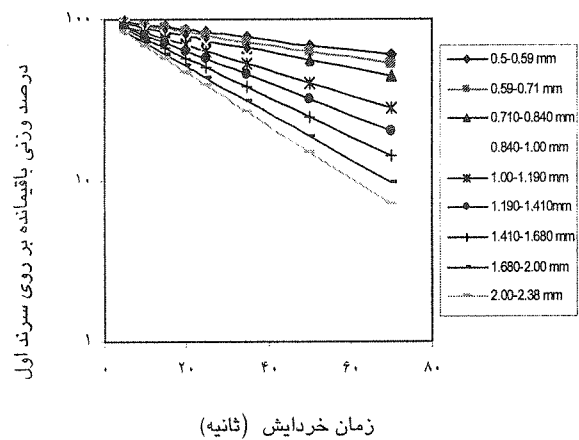
#### ۵-۲- تاثیر قطر گلوله‌ها بر تابع انتخاب

در شکل‌های (۹) و (۱۰) تغییرات تابع انتخاب نسبت به اندازه طبقه سرندهی برای سه قطر مختلف گلوله نشان داده شده است. نتایج حاصل از این نمودار نشان می‌دهند که تابع انتخاب، به صورت تابعی از قطر گلوله‌هاست.



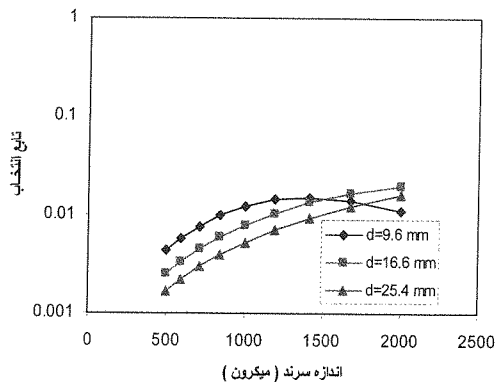
شکل (۳): منحنی سینتیک درجه یک شکست نمونه آنومالی C،  
اندازه گلوله ۹/۶ mm

شکل (۵): منحنی سینتیک درجه یک شکست نمونه آنومالی C،  
اندازه گلوله ۱۶/۶ mm

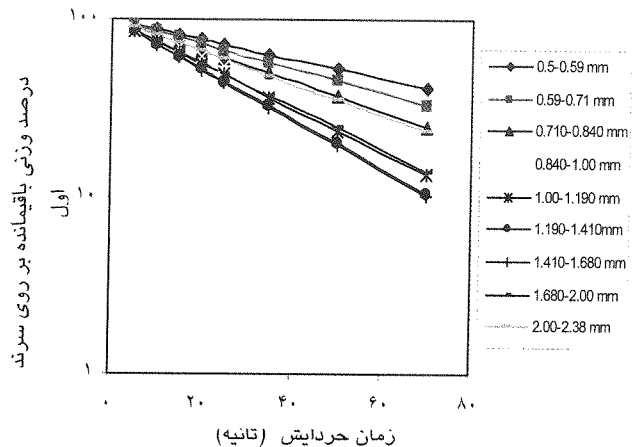


شکل (۴): منحنی سینتیک درجه یک شکست نمونه آنومالی B،  
اندازه گلوله ۹/۶ mm

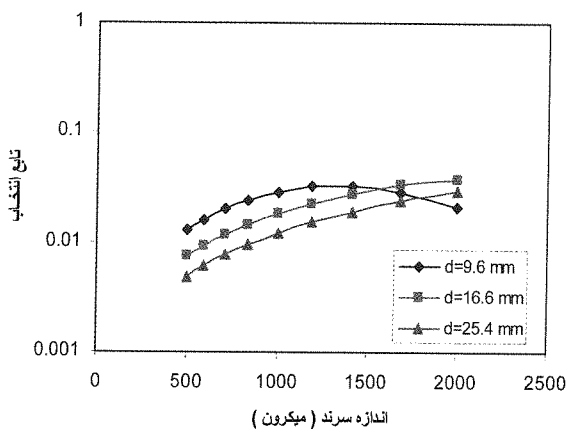
شکل (۶): منحنی سینتیک درجه یک شکست نمونه آنومالی B،  
اندازه گلوله ۱۶/۶ mm



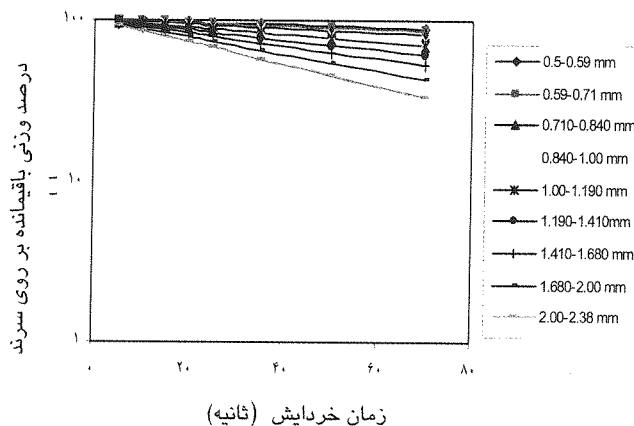
شکل (۹): تابع انتخاب نمونه آنومالی C



شکل (۷): منحنی سینتیک درجه یک شکست نمونه آنومالی B، اندازه گلوله ۲۵/۴ mm



شکل (۱۰): تابع انتخاب نمونه آنومالی B



شکل (۸): منحنی سینتیک درجه یک شکست نمونه آنومالی C، اندازه گلوله ۲۵/۴ mm

## ۶- نتیجه گیری

در این مطالعه، تست ناپیوسته بر روی نمونه سنگ آهن با یک آسیای گلوله ای انجام شد و تاثیر اندازه گلوله و ابعاد خوراک بر روی تابع انتخاب بررسی شد. نتایج حاصله از این آزمایش ها بطور خلاصه بشرح زیر است:

- ۱- کانسنگ آنومالی C سخت تر از کانسنگ آنومالی B است که مقادیر اندیس باند نیز صحت این مطلب را تایید می کند.
- ۲- گلوله های با قطر ۹/۶ میلی متر برای این نمونه ها مناسب نبوده و اندازه بهینه گلوله بین ۹/۶ تا ۱۶/۶ است.

با بررسی منحنی مربوط به گلوله هایی با قطر ۹/۶ mm مشاهده می شود که تابع انتخاب با افزایش اندازه ذره (۱۴۰۰ میکرون) به یک نقطه حداکثر رسیده و سپس شروع به کاهش می کند. این امر نشان دهنده این است که گلوله های با قطر معین برای خردایش ذرات تا ابعاد مشخصی مناسب بوده و پس از آن تابع انتخاب افت پیدا می کند؛ به عبارت دیگر، ذرات بزرگ تر برای خردایش به گلوله های بزرگ تری نیاز دارند.

با مقایسه منحنی های مربوط به دو نمونه آنومالی B و C مشاهده می شود که هرچه مواد سخت تر باشند، گلوله های بزرگتری برای خرد کردن آنها نیاز است. همچنین براساس منحنی های شکل (۹) و (۱۰) می توان نتیجه گرفت که برای ذرات کوچکتر، افزایش قطر گلوله به کاهش بیشتر تابع انتخاب منجر می شود.

- [۱] رضائی، بهرام؛ تکنولوژی فرآوری مواد معدنی (خردایش و طبقه بندی)، موسسه تحقیقاتی و انتشاراتی نور، تهران، ویرایش اول، ۱۳۷۶.
- [۲] Mishra, B.K.; "A review of computer simulation of tumbling mills by the discrete element method ( Part I—contact mechanics )" Department of Materials and Metallurgical Engineering, Indian Institute of Technology, 2003.
- [۳] Deniz, V.; "A study on the specific rate of breakage of cement materials in a laboratory ball mill", Department of Mining Engineering, Süleyman Demirel University, 2002.
- [۴] Fuerstenau, D.W.; "Lutch, J.J. The effect of ball size on the energy efficiency of hybrid-pressure roll mill/ball mill grinding", Powder Technol, p.p. 199–204, 1999.
- [۵] ner ,M. O". "Ball size rationing affects clinker grinding", World Cem. Res., p.p. 101– 106, 1999.
- [۶] Kotake, N., Suzuki, K., Asahi, S., Kanda Y., "Experimental study on the grinding rate constant of solid materials in a ball mill ", Powder Technol, p.p. 101– 108, 2002.
- [۷] Zhenhua, Ma, Sian Hu, Shaoming Zhang, "Breakage behavior of quartz in a laboratory stirred ball mill", Nanjing University of Chemical Technol, 1997.
- [۸] Yekeler, M.; Ozkan, A.; Austin L.G., "Kinetics of fine wet grinding in a laboratory ball mill", Department of Mining Engineering, 2000.
- [۹] Deniz, V., "A study on the specific rate of breakage of cement materials in a laboratory ball mill", Department of Mining Engineering, 2002.
- [۱۰] Fuerstenau, D.W.; Lutch, J.J., "The effect of ball size on the energy efficiency of hybrid-pressure roll mill/ball mill grinding", Powder Technol, p.p. 199–204, 1999.