

تعیین رابطه بین قابلیت خردایش باند و هاردگرو بر مبنای مطالعات آزمایشگاهی

محمد نوع پرست
دانشیار
دانشکده فنی، دانشگاه تهران

بهرام رضایی
استاد
دانشکده معدن، متالورژی و نفت، دانشگاه صنعتی
امیرکبیر

مهدی نورمحمدی
کارشناسی ارشد
دانشکده معدن، متالورژی و نفت، دانشگاه صنعتی امیرکبیر

مسعود غراوی
کارشناسی
دانشکده معدن، متالورژی و نفت، دانشگاه صنعتی امیرکبیر

چکیده

دو روش قابلیت خردایش باند و هاردگرو در صنعت فرآوری مواد معدنی برای تعیین قابلیت خردایش مواد معدنی استفاده می‌شوند. روش هاردگرو عمدتاً در تعیین قابلیت خردایش زغال و موادی که در آسیای غیرگردان نرم می‌شوند مورد استفاده است، در حالی که از روش باند برای تعیین قابلیت خردایش سایر مواد معدنی استفاده می‌شود. مزیت روش قابلیت خردایش باند، تعیین میزان انرژی مصرفی در مدارهای خردایش است. در حالی که مزیت آزمایش هاردگرو آسان بودن و امکان اجرای آن در زمان کوتاه است. در این مقاله سعی شده با تغییر دادن ابعاد سرنده کنترل در ابعادی ریزتر و درشت‌تر از ابعاد سرنده کنترل استاندارد (۲۰۰ مش)، تأثیر تغییر ابعاد سرنده کنترل بر رابطه قابلیت خردایش باند و هاردگرو بررسی شود و روابط جدیدی با به کار بردن این ابعاد سرنده کنترل به دست آید. برای این منظور از سه کانسنگ مس، آهن و فلورین با سرندهای کنترل ۲۷۰، ۱۰۰، ۶۰، ۴۰ و ۳۰ مش استفاده شده و نتایج ارائه شده‌اند.

کلمات کلیدی

قابلیت خردایش باند، قابلیت خردایش هاردگرو، سرنده کنترل استاندارد.

Study of a Relation Between Bond and Hardgrove Grindabilities Based on Laboratory Studies

B. Rezaei
Professor
Amirkabir University of Technology

M. Noaparast
Associate Professor
Mining Faculty, Tehran University

M. Ysapan Gharavi
B. Sc.
Engineering Mining Department,
Amirkabir university of Technology

M. Noor Mohammadi
M.Sc.
Engineering Mining Department,
Amirkabir University of Technology

Abstract

Bond and Hardgrove methods are usually used in mineral processing industry for determining grindability of mineral materials. The Hardgrove method is often used for determining grindability of coal and materials that are grinded in the nntumbling mills. While the Bond method is used for determining grindability of other materials. Advantage of Bond method is to determine the amount of energy usage in comminution. While Hardgrove method is easy and no lenty method. In this study the control screen have been changed for finer and coarser than the standard one (200 mesh).. in this paper the effect of this change on reloation between the Bond and Hardgrove grindabilities have been investigated and new equations are found. In this connection a sample of copper, iron and flouride ores along with control sxreens like 30, 40, 60, 100 and 270 mesh were used. and final results are presented.

Keywords

Bond grindability, Hardgrove grindability

مقدمه

یکی از مراحل اساسی در فرآوری مواد معدنی، خردایش مواد است. از آنجایی که بیشتر کانی‌هایی که از عملیات آتشیاری و انفجار، در معادن حاصل می‌شوند، از نظر کانی شناختی، ماهیتی پراکنده دارند و بیشتر همراه گانگ هستند، برای این از ورود به مرحله‌ی جدا سازی باید به درجه‌ی آزادی مناسب برسند.

بیشتر هزینه و انرژی مصرفی در صنعت فرآوری مواد معدنی متعلق به دستگاه‌های خردایش است، پس در انتخاب و طراحی آنها باید دقت کرد تا ضمن دستیابی به محدوده‌ی ابعادی مورد نظر، از خرد شدن بیش از حد مواد و مصرف بی‌رویه انرژی جلوگیری شود.

یکی از کارهای قابل اجرا، شناخت ویژگی‌ها و خواص مواد معدنی از جمله قابلیت خردایش، سختی، مقاومت، تخلخل و الاستیسیته است. مقاومت مواد در برابر خرد شدن (قابلیت خردایش) از جمله ویژگی‌هایی است که هر ماده‌ی معدنی به طور اختصاصی داراست. با آگاهی یافتن از این ویژگی می‌توان به مقدار انرژی مورد نیاز برای خردایش دست یافت.

تاکنون تئوری‌ها و روش‌های مختلفی در زمینه‌ی قابلیت خردایش ارائه شده است که از آن جمله می‌توان به روش باند، هاردگرو، زیسل، میتاژ و بسیاری دیگر اشاره کرد. روش تعیین قابلیت خردایش باند بسیار وقت گیر و مشکل است. روش تعیین قابلیت خردایش هاردگرو آسان و در زمان کوتاهی قابل اجراست. دانستن روابط بین مقادیر به دست آمده از این روش‌ها به منظور صرفه‌جویی در هزینه و وقت و شناخت دقیق از خصوصیات خردایشی کانه اهمیت دارد.

قابلیت خردایش

از مسائل مهم در طراحی مدار خردایش، محاسبه‌ی انرژی مورد نیاز برای خرد کردن مواد تا ابعاد مناسب است. تا به حال قوانین مختلفی برای پیش بینی انرژی مصرفی پیشنهاد شده است. موادی که برای خردایش انتخاب می‌شوند، دارای مشخصه‌ی ویژه‌ای به نام قابلیت خردایش هستند. قابلیت خردایش، مقاومتی است که ماده در مقابل تغییر ابعاد از خود نشان می‌دهد، و به بیان دیگر قابلیت خردایش یک ماده، می‌تواند به صورت کار مورد نیاز برای دستیابی به سطح مخصوص خاص و یا تغییر ابعاد مشخص تعریف شود [۱]. مفهوم قابلیت خردایش، به عنوان معیاری برای انرژی مصرفی مورد نظر است. با این حال، قابلیت خردایش یک ماده، بر مقدار کار مصرفی در خردایش ماده از ابعاد اولیه به ابعاد مورد نظر دلالت دارد. همان طور که گفته شد، آگاهی از قابلیت خردایش مواد، یکی از مهمترین داده‌های لازم برای طراحی مدارهای خردایش است. قابلیت خردایش در واقع بیان‌کننده‌ی بسیاری از پارامترهای مکانیکی مواد از جمله سختی، الاستیسیته، پلاستیسیته، مقاومت و تخلخل است و با ناهمگن شدن بیشتر، پیچیدگی آن نیز بیشتر می‌شود. افزون بر مسائل عنوان شده، ارزیابی بازدهی فرآیندهای سنگ شکنی و آسیا کردن، محاسبه‌ی بار خرد کننده، انرژی مصرفی و دیگر پارامترها به قابلیت خردایش مواد بستگی دارد [۳]. به دلیل اهمیت موضوع، در سال‌های گذشته روش‌های متعددی برای تعیین قابلیت خردایش توسط افراد مختلف ارائه شده است. از آن

جمله می‌توان به روش‌های تعیین قابلیت خردایش باند توسط آسیای گلوله‌ای و میله‌ای، تعیین قابلیت خردایش در اشل نیمه صنعتی، و یا تعیین قابلیت خردایش به روش‌های ضربه‌ای، تقریبی، کالیبراسیون، سریع، هاردگرو، میتاژ و زیسل اشاره کرد.

رابطه‌ی بین قابلیت خردایش باند و هاردگرو به ازای سرندهای کنترل با ابعاد مختلف

مروری بر رابطه باند

باند پس از مطالعات بسیار و آزمایش‌های متعددی که بر روی مواد معدنی مختلف اجرا کرد، داد اولین رابطه‌ی خود را در سال ۱۹۵۴ به صورت زیر ارائه کرد [۴]:

$$W_i = \frac{88}{(HGI)^{0.5}} \quad (1)$$

که در آن:

W_i : قابلیت خردایش باند

HGI: قابلیت خردایش هاردگرو

سپس در سال ۱۹۶۱ آزمایش‌های دیگری اجرا کرد که منجر به ارائه رابطه زیر شد [۴]:

$$W_i = \frac{435}{(HGI)^{0.91}} \quad (2)$$

وی آزمایش‌های دیگری بر روی تعداد زیادی از مواد مانند سنگ آهک، زغال ساب بیتومینوس و زغال بیتومینوس اجرا کرد و رابطه دیگری را به شرح زیر ارائه کرد [۳]:

$$W_i = \frac{1622}{(HGI)^{1.08}} \quad (3)$$

همه‌ی روابط یاد شده که توسط باند عرضه شده است در محدوده‌ای از مواد معدنی با قابلیت خردایش باند و قابلیت خردایش هاردگرو نتایج مطلوبی را ارائه می‌دهد. امروزه رابطه‌ی (۲) به عنوان رابطه‌ی بین قابلیت خردایش باند و قابلیت خردایش هاردگرو مورد قبول است که رابطه‌ی باند نام دارد.

تأثیر ابعاد سرند کنترل بر رابطه‌ی بین قابلیت خردایش باند و قابلیت خردایش

هاردگرو

در رابطه‌ی (۲) با قرار دادن مقدار HGI به دست آمده از آزمایش استاندارد تعیین قابلیت خردایش هاردگرو، W_i به دست می‌آید. در آزمایش استاندارد هاردگرو اندازه‌ی چشمه‌ی سرند کنترل باید ۷۵ میکرون (۲۰۰ مش) باشد. با قرار دادن قابلیت خردایش هاردگرو استاندارد در رابطه‌ی باند مقدار قابلیت خردایش باند در حالت استاندارد (سرند کنترل ۷۵ میکرون) حاصل می‌شود.

اکنون چنانچه آزمایش باند و هاردگرو از حالت استاندارد خارج شود، مقادیر به دست آمده برای قابلیت خردایش باند و قابلیت خردایش هاردگرو برای نمونه‌های مختلف نسبت به حالت استاندارد نیز تغییر خواهد کرد. نتایج این آزمایش‌ها با به کار بردن سرندهای کنترل با اندازه‌ی چشمه‌های ۲۷۰، ۱۰۰، ۶۰، ۴۰ و ۳۰ مش در جداول ۱ الی ۵ درج شده است:

جدول (۱): نتایج آزمایش باند و هاردگرو با به کار بردن سرند کنترل ۳۰ مش.

HGI	$W_i \left(\frac{\text{kwh}}{t} \right)$	نمونه
۱۶۲/۴۶	۱۴/۲۶۷	کانسنگ آهن
۱۶۴/۸۸	۱۱/۵۹۷	کانسنگ فلورین
۱۹۹/۳۲	۹/۶۲۸	کانسنگ مس

جدول (۲): نتایج آزمایش باند و هاردگرو با به کار بردن سرند کنترل ۴۰ مش.

HGI	$W_i \left(\frac{\text{kwh}}{t} \right)$	نمونه
۱۶۶/۲۶	۱۳/۳۲۴	کانسنگ آهن
۱۷۴/۷۲	۹/۲۸۵	کانسنگ فلورین
۱۷۱/۸۸	۸/۸۷۴	کانسنگ مس

جدول (۳): نتایج آزمایش باند و هاردگرو با به کار بردن سرند کنترل ۶۰ مش.

HGI	$W_i \left(\frac{\text{kwh}}{t} \right)$	نمونه
۱۲۳/۲۳	۱۳/۱۸۲	کانسنگ آهن
۱۴۰/۹۷	۸/۲۷۲	کانسنگ فلورین
۱۳۴/۷۸	۷/۴۰۶	کانسنگ مس

جدول (۴): نتایج آزمایش باند و هاردگرو با به کار بردن سرند کنترل ۱۰۰ مش.

HGI	$W_i \left(\frac{\text{kwh}}{t} \right)$	نمونه
۸۴/۲۹	۱۲/۵۴۱	کانسنگ آهن
۹۴/۳۳	۸/۲۱۴	کانسنگ فلورین
۹۲/۴۵	۸/۰۹۲	کانسنگ مس

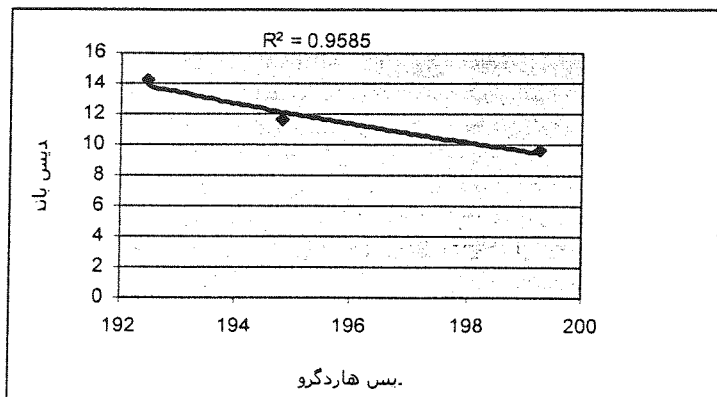
جدول (۵): نتایج آزمایش باند و هاردگرو با به کار بردن سرند کنترل ۲۷۰ مش.

HGI	$W_i \left(\frac{\text{kwh}}{t} \right)$	نمونه
۵۸/۰۲	۱۲/۰۴۱	کانسنگ آهن
۶۶/۱۳	۸/۰۲۵	کانسنگ فلورین
۷۰/۴۸	۷/۳۵۱	کانسنگ مس

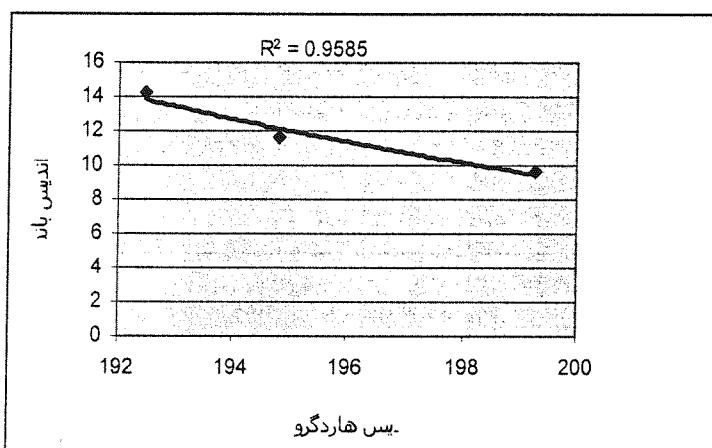
برازش منحنی بر داده‌های به دست آمده از آزمایش

برای تعیین رابطه بین قابلیت خریدایش باند و قابلیت خریدایش هاردگرو به ازای سرندهای کنترل با اندازه چشمه‌ی مختلف، با برازش منحنی بر داده‌های به دست آمده از آزمایش‌های باند و هاردگرو به ازای سرندهای کنترل مختلف ابتدا صورت کلی منحنی‌ها تعیین و سپس رابطه بین دو شاخص تعیین می‌شود. منحنی‌های به دست آمده از برازش منحنی بر داده‌ها به ازای سرندهای کنترل مختلف در شکل‌های (۱) تا (۵) نشان داده شده است.

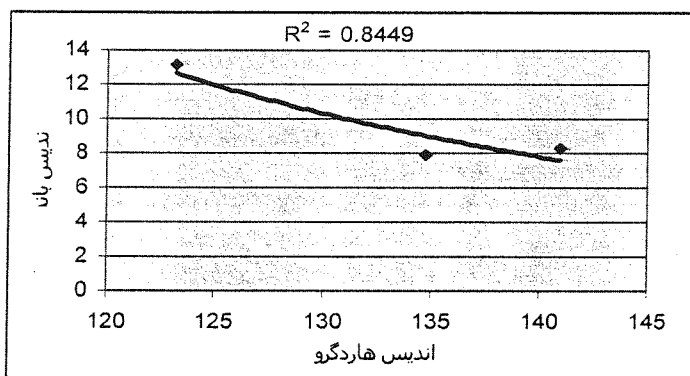




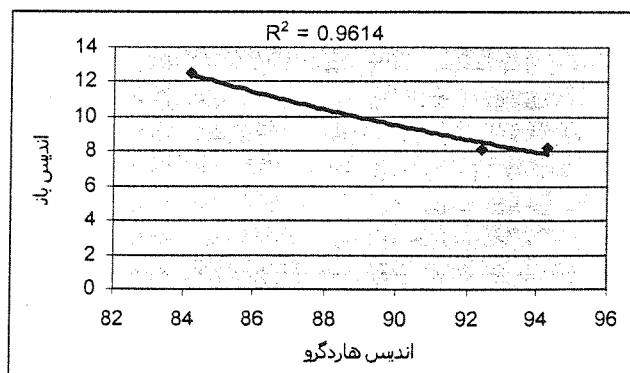
شکل (۱): برازش منحنی بر داده‌های به دست آمده با به کار بردن سرند کنترل ۳۰ مش.



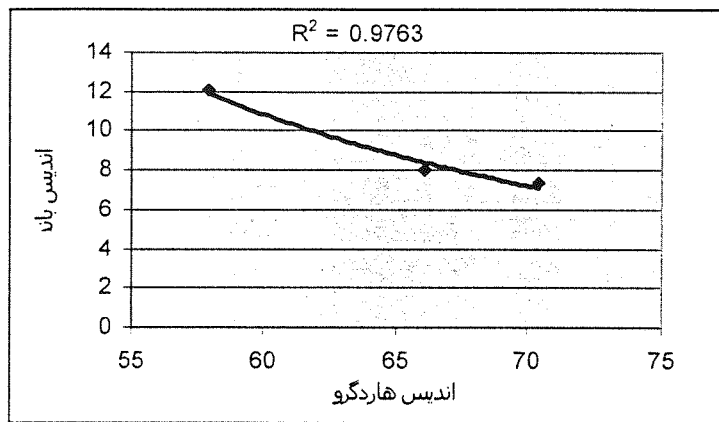
شکل (۲): برازش منحنی بر داده‌های به دست آمده با به کار بردن سرند کنترل ۴۰ مش.



شکل (۳): برازش منحنی بر داده‌های به دست آمده با به کار بردن سرند کنترل ۶۰ مش.



شکل (۴): برازش منحنی بر داده‌های به دست آمده با به کار بردن سرند کنترل ۱۰۰ مش.



شکل (۵): برازش منحنی بر داده‌های به دست آمده با به کار بردن سرند کنترل ۲۷۰ مش.

با توجه به نتایج به دست آمده رابطه‌ی بین قابلیت خردایش باندا و قابلیت خردایش هاردگرو برای سرندهای کنترل مختلف مطابق روابط زیر خواهد بود:

جدول (۶): روابط به دست آمده بین قابلیت خردایش باندا و قابلیت خردایش هاردگرو.

روابط به دست آمده	سرندهای کنترل مورد استفاده
$W_i = \frac{435}{(HGI)^{0.685}}$	سرند ۳۰ مش
$W_i = \frac{435}{(HGI)^{0.727}}$	سرند ۴۰ مش
$W_i = \frac{435}{(HGI)^{0.785}}$	سرند ۶۰ مش
$W_i = \frac{435}{(HGI)^{0.851}}$	سرند ۱۰۰ مش
$W_i = \frac{435}{(HGI)^{0.931}}$	سرند ۲۷۰ مش

نتیجه گیری

- ۱- تغییر سرندهای کنترل در میزان اندیس باندا و هاردگرو تاثیر گذار است.
- ۲- رابطه‌ی بین این دو معیار قابلیت خردایش با به کار بردن سرندهای کنترل با ابعاد ۳۰، ۴۰، ۶۰، ۱۰۰ و ۲۷۰ مش به صورت‌های مختلفی به دست آمده‌اند که در جدول (۶) داده شده است.
- رابطه بین قابلیت خردایش باندا و هاردگرو به ازای سرند ۳۰ مش:
- ۳- آزمایش‌های اجرا شده، تائید کننده‌ی این مطلب هستند که قابلیت خردایش باندا و هاردگرو ارتباط تنگاتنگی با یکدیگر دارند و زمینه‌ی مطالعه و تحقیق در این موضوع بسیار گسترده است.

مراجع

- [1] R.Zisslemer (1981). "Grindability Testing of Materials with Different Physical Properties as a Basis for the Design of Grinding Plants". Translation ZKG , NO.481,PP.187-196.
- [2] H.Nematollahi (1994). "New Size Laboratory Ball Mill for Bond Work Index Determination". Mining Engineering , Vol 46 , No.4 , PP.252-352
- [3] بهرام رضایی (۱۳۷۶). " تکنولوژی فرآوری مواد معدنی (خردایش و طبقه بندی). چاپ اول. انتشارات موسسه تحقیقاتی و انتشاراتی نور. صفحات ۴۳ تا ۵۸.
- [3] Meintyre and L.R.Plit (june 1981). "The Interrelationship Between Bond and Hardgrove Grindabilities". Mineral Engineering.