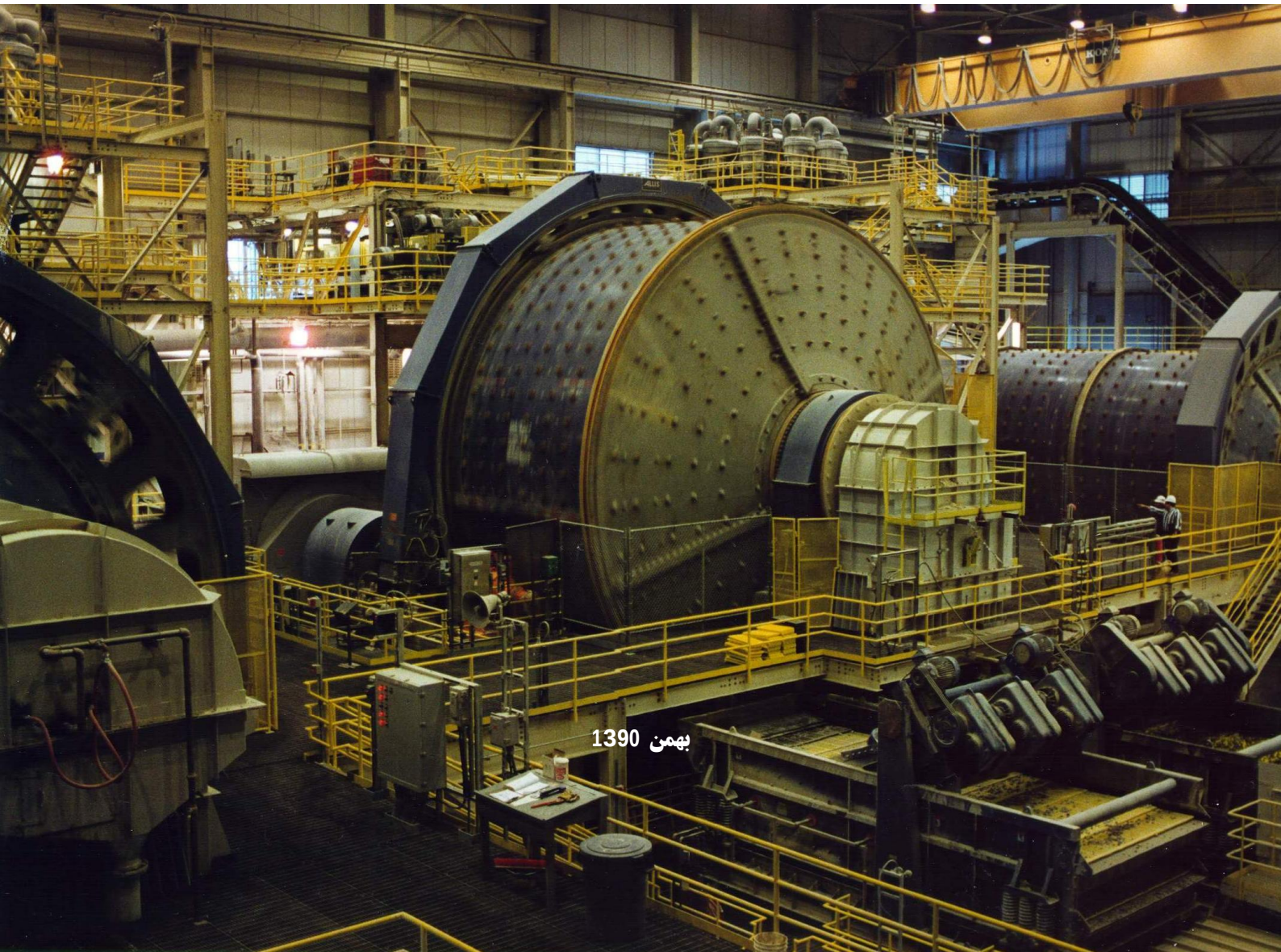
دانشگاه صنعتی اصفهان

دانشکده مهندسی معدن

جزوه درس

کانه‌آرایی

مدرس: دکتر علی احمدی



بهمن 1390

به نام خدا

نام درس: فرآوری مواد معدنی

نام مدرس: علی احمدی

زمان کلاس تئوری: دوشنبه ۱۲-۱۰

زمان آزمایشگاه:

گروه ۱: دوشنبه ۱۵:۳۰-۱۳:۳۰

گروه ۲: سه‌شنبه ۱۰-۸

گروه ۳: یک‌شنبه ساعت ۱۷:۳۰-۱۵:۳۰

زمان رفع اشکال و مشاوره دانشجویی: یکشنبه ۱۲-۱۰

دانشجویان می‌توانند در هر زمان سئولات خود را از طریق پست الکترونیکی به آدرس stu.minproc@gmail.com ارسال نمایند. در اسرع وقت به آنها پاسخ داده می‌شود.

اهداف درس:

هدف اصلی این درس:

- درک مفاهیم اساسی و آشنایی با روشهای کاربردی جداسازی محصولات با ارزش از منابع معدنی
- درک مکانیسمهای حاکم بر دستگاههای مختلف فرآوری مواد معدنی
- آشنایی با عملیات صنعتی و جنبه‌های مهندسی سیستم‌های فرآوری مواد معدنی

انتظار می‌رود تا در پایان درس، دانشجویان قادر باشند:

- اصول علمی و حنبه های مهندسی را در کارخانه‌های فرآوری مواد معدنی به کار گیرند.
- کارآیی دستگاههای مختلف فرآوری مواد معدنی را ارزیابی نماید.
- آزمایشهای فرآوری مواد معدنی را طراحی، هدایت و تفسیر نمایند.
- راه‌حل‌های مناسب را برای مسائل موجود در کارخانه‌های فرآوری ارائه دهند.
- متون انگلیسی در زمینه فرآوری مواد معدنی را مطالعه نمایند.

منابع درس:

منابع اصلی درس (تدریس بر اساس منبع ۱ می‌باشد.)

1. Wills, B. A., Napier-Munn, T.J., 2006. Mineral Processing Technology. Seventh Edition, Elsevier, England.
۲. حسین نعمت اللهی «کانه‌آرایی» جلدهای اول و دوم (چاپ چهارم)، انتشارات دانشگاه تهران، تهران ۱۳۸٤.

منابعی برای مطالعه بیشتر:

۳. **صمد بنیسی «مسائل کاربردی فرآوری مواد معدنی» انتشارات دانشگاه هرمزگان، تهران، ۱۳۸۹ (ضروری).**

4. Kelly, E. G., Spottiswood, D. J., 1989. Introduction to Mineral Processing. Mineral Engineering Services, Australia.
5. Pryor, E.J., 1983. Mineral Processing. Applied Science Publishers, London, UK.
6. Jain, S.K., 2001. Mineral Processing. CBS publisher, Second edition, New Dehli, India.
7. Gupta, A., Yan, D.S., 2006. Mineral Processing Design and Operations: An Introduction. Elsevier, Perth, Australia.
8. Abouzeid, A.Z.M., 1990. Mineral Processing Laboratory Manual. Trans Tech Publications. Clausthal-Zellerfeld, Germany.

۹. بهرام رضایی «تکنولوژی فرآوری مواد معدنی: خردایش و طبقه‌بندی» انتشارات نور، تهران، ۱۳۷۶.

۱۰. بهرام رضایی «تکنولوژی فرآوری مواد معدنی: پرعیارسازی ثقلی» انتشارات دانشگاه هرمزگان، تهران، ۱۳۷۷.

۱۱. بهرام رضایی «تکنولوژی فرآوری مواد معدنی: پرعیارسازی به روش مغناطیسی» انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران، ۱۳۷۸.

۱۲. بهرام رضایی «فلوتاسیون» انتشارات دانشگاه هرمزگان، تهران، ۱۳۷۸.

13. Mular, A.L., Halbe, D., Barratt, D. (Eds.), 2002. Mineral Processing Plant Design, Practice and Control. Volumes 1&2, SME, Colorado, USA.
14. Bulatovic, S. M., 2007. Handbook of Flotation Reagents. Elsevier Science & Technology Books.

تذکرات:

تذکر۱: آوردن ماشین حساب در کلاس الزامی است.

تذکر ۲: کلاس جبرانی کلاسهای مقارن با تعطیلات در اسرع وقت تشکیل می‌گردد.

تذکر ۳: مهلت تحویل گزارش‌های آزمایشگاه و پاسخ تکالیف یک هفته می‌باشد.

تذکر ٤: پوشیدن روپوش در آزمایشگاه الزامی است.

تذکر ۵: پروژه درسی باید حداکثر تا ۲۵ اردیبهشت تحویل داده شود و در هفته اول خرداد ارائه گردد.

تذکر ۶: بازدید از کارخانه فرآوری در نیمه دوم اردیبهشت ماه انجام می‌شود.

تذکر ۷: ۳۰% از محتوای آزمون پایان‌ترم مربوط به مطالب بخش میان‌ترم می‌باشد.

نحوه ارزیابی:

تئوری (۲ واحد)		**آزمایشگاه (۱ واحد)**	
تکالیف	۲ نمره	گزارش‌ها و حضور	۱۲ نمره
کوییز	نمره اضافی	آزمون پایان‌ترم	٤ نمره
آزمون میان‌ترم	۵ نمره	بازدید از کارخانه	۲ نمره
پروژه درسی	۲ نمره	حضور فعال و نظم	۲ نمره
آزمون پایان‌ترم	۱۱ نمره		

تقویم درس فرآوری مواد معدنی

جلسه	موضوع
جلسه اول	مقدمه: آشنائی با فرآوری مواد معدنی و توجیه اقتصادی آن
جلسه دوم	بازدهی عملیات فرآوری مواد معدنی
جلسه سوم	محاسبات متالورژیکی و نمونه‌برداری
جلسه چهارم	موازنه جرم در مدارهای فرآوری مواد معدنی (بخش اول)
جلسه پنجم	موازنه جرم در مدارهای فرآوری مواد معدنی (بخش دوم)
جلسه ششم	تعیین مشخصه ذرات :اندازه ذرات، نمایش دانه‌بندی مواد، شکل ذرات و انواع سرندها
جلسه هفتم	اصول خردایش: مکانیزمهای خردایش، قوانین خردایش و کاربرد آنها
جلسه هشتم	عملیات خردایش: انواع سنگ‌شکنها و روش انتخاب سنگ‌شکنها
جلسه نهم	عملیات نرم کردن: انواع آسیاها، مکانیزم‌های نرم شدن مواد و آسترها
جلسه دهم	آزمون میان‌ترم
جلسه یازدهم	اصول و مکانیزم‌های طبقه‌بندی مواد: کلاسیفایرها و هیدروسیکلونها
جلسه دوازدهم	روشهای جدایش ثقلی مواد: تئوریهای جداکنندههای ثقلی
جلسه سیزدهم	جدایش با واسطه های سنگین
جلسه چهاردهم	فلوتاسیون
جلسه پانزدهم	روشهای جدایش مغناطیسی و الکتریکی: انواع ماشینها و کاربرد آنها، اصول و مکانیزمهای جداسازی،
جلسه شانزدهم	جداکردن فازهای جامد از مایع: ته‌نشین کردن مواد، تیکنرها و فیلتر کردن
جلسه هفدهم	انتقال مواد، سنگ‌جوری

دانشگاه صنعتی اصفهان
دانشکده مهندسی معدن
فرآوری مواد معدنی
مدرس:
علی احمدی
1

دانشکده مهندسی معدن
جلسه اول
آشنائی با فرآوری مواد معدنی و
توجیه اقتصادی آن
2

تعاریف

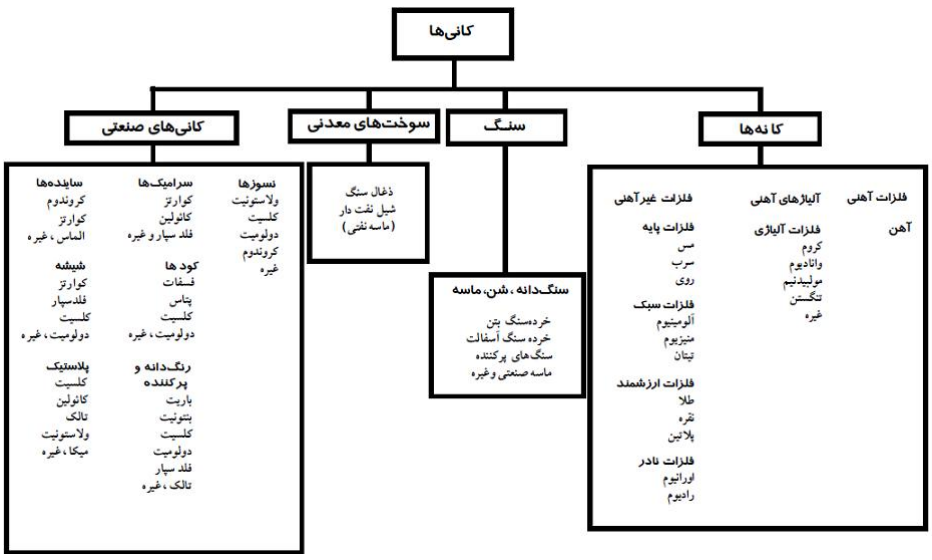
کانه (Ore):

- هر ماده معدنی که به صورت اقتصادی قابل بهره برداری باشد.
  - کانی با ارزش (valuable mineral)
  - گانگ (Gangue)

طبقه بندی کانه ها بر اساس طبیعت کانی با ارزش:

- کانه خالص (Native ores)
- کانه سولفیدی (Sulphide ores)
- کانه اکسیدی (Oxide ores)
- کانه سیلیکاته (Silicate ores)
- کانه کربناته (Carbonate ores)
- کانه پیچیده (Complex ores)

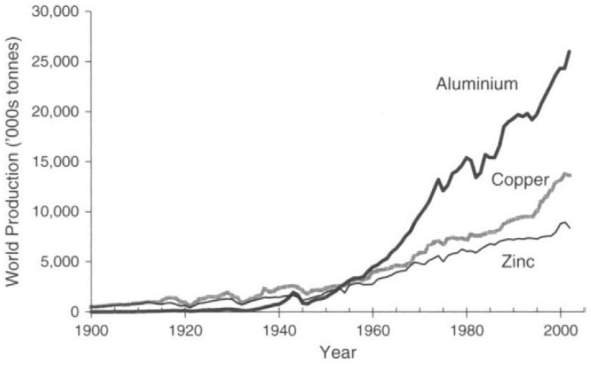
۳



۴

اهمیت فرآوری مواد معدنی

رشد فراوان صنعتی شدن، موجب افزایش تقاضا برای مواد معدنی شده است.



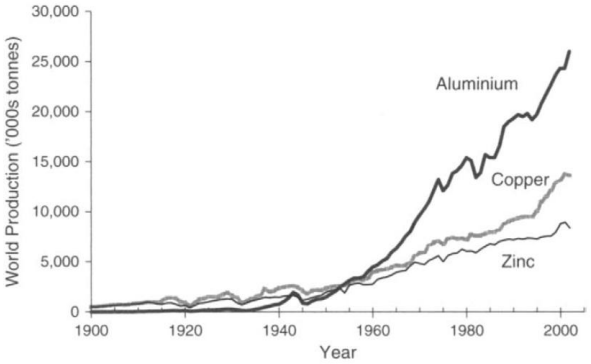
قیمت فلز ← **عرضه**، **تقاضا**

عرضه از مواد معدنی تازه استخراج شده و مواد بازیافت شده است.
مثال: حدود ۶۰% سرب از بازیافت فراهم می شود.

۵

اهمیت فرآوری مواد معدنی

رشد فراوان صنعتی شدن، موجب افزایش تقاضا برای مواد معدنی شده است.



قیمت فلز ← **عرضه**، **تقاضا**

عرضه از مواد معدنی تازه استخراج شده و مواد بازیافت شده است.
مثال: حدود ۶۰% سرب از بازیافت فراهم می شود.

۶

ارزش نهفته کانسار(Contained value)

- **ارزش نهفته**: ارزش هر تن ماده معدنی است که به محتوای فلز کانسار و قیمت روز فلز بستگی دارد.

مثال:

- اگر قیمت مس ۸۰۰۰$/t و قیمت مولیبدن ۱۰۰$/kg ارزش نهفته یک ذخیره حاوی ۱% مس و ۰/۰۱۵% مولیبدن چقدر است؟

۹۵ $/t

- ذخیره اقتصادی است، اگر:

ارزش نهفته هر تن ماده معدنی > (هزینه های کلی فرآوری + افت ها + هزینه های دیگر) برای هر تن ماده معدنی

طلا ۱ گرم بر تن ممکن است اقتصادی باشد. آهن ممکن است کمتر از ۴۵% اقتصادی نباشد.

۷

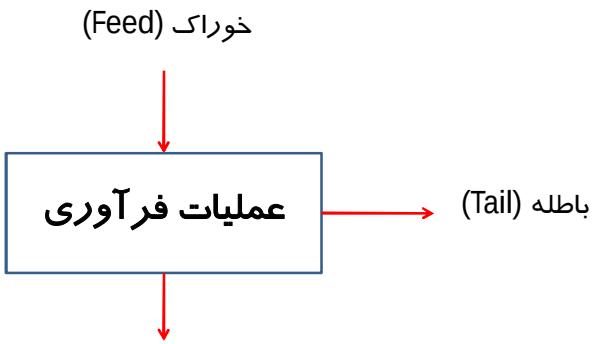
روشهای تولید فلز از ماده معدنی

- پیرومتالورژی
- هیدرومتالورژی
- الکترومتالورژی

- ویژگی روشهای بالا: **مصرف انرژی بالا**
- برای مثال در مورد مس، مصرف انرژی در حدود ۱۵۰۰-۲۰۰۰ kWh/t

۸

فرآوری مواد معدنی



کانه آرایی (Mineral processing)؛ به مجموعه عملیات عمدتاً فیزیکی گفته می شود که بر روی یک ماده معدنی خام انجام می شود تا از آن یک یا چند محصول قابل فروش و یک باطله حاصل گردد.

۹

هدف از انجام عملیات کانه آرایی

- هدف اصلی از عملیات کانه آرایی، کاهش حجم کانه ای که باید انتقال یابد و ذوب شود به صورت جداسازی کانیهای با ارزش از گانگ با روشهای فیزیکی نسبتاً ارزان و کم انرژی.
  - برای مثال برای پرعیار کردن کانه مس از ۱% به ۲۵% فلز، تقریباً ۲۰-۵۰ kWh/t انرژی مصرف می شود. تقریباً ۲۵ برابر کاهش وزن خواهیم داشت که موجب کاهش هزینه حمل و نقل و انرژی می شود.
- **نتیجه:**
- افزایش قابل توجه ارزش نهفته کانه برای اینکه حمل و نقل و ذوب اقتصادی شود.
- به دلیل تولید سرباره با محتوای فلز کمتر، کانه آرایی موجب کاهش اتلاف فلز می شود.
- کانه آرایی موجب می شود که فرآیند ذوب از لحاظ فنی امکان پذیر باشد.
  - به دلیل وجود عناصر مزاحم که عمدتاً در گانگ هستند دستیابی به فلز با عیار بالا ممکن نیست. مثلاً وجود آرسنیک در کنسانتره موجب تولید فلز قلع با کیفیت پایین می شود.

۱۰

- **افت فلز به باطله:**

افت فلز به مینرالوژی کانه، پراکندگی و تکنولوژی موجود تغلیظ بستگی دارد.

- جداسازی کانی های با ارزش از هم برای دستیابی به کنسانتره های تمیز با کمترین سطح آلودگی.
- فرآوری سولفیدهای پیچیده فلزات
- فرآوری باطله ها
- هزینه بازفرآوری باطله ها بعضی اوقات از هزینه فرآوری کانه اولیه کمتر است.

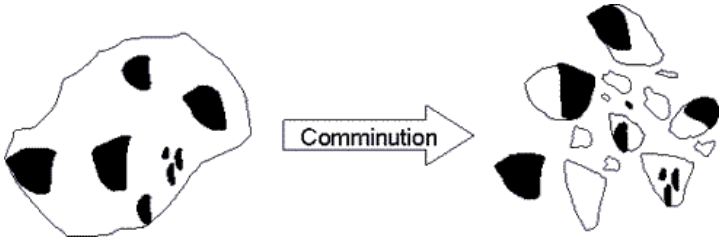
زیرا هزینه های معدنکاری یا خردایش قبلاً انجام شده است.

۱۱

مراحل اساسی در کانه آرایی

آزاد سازی کانیهای با ارزش از کانیهای بی ارزش
جداسازی کانیهای با ارزش از کانیهای بی ارزش

- خردایش ← مخلوطی از ذرات نسبتاً تمیز کانی و گانگ
- هدف اصلی از خردایش آزادسازی کانیهای با ارزش از بی ارزش در درشت ترین اندازه ذره است.



۱۲

خردایش بر اساس هدف فرآوری

- **اگر هدف تولید محصولات با ارزش با عیار بالا باشد باید آزاد سازی به خوبی انجام شود.**
- **اگر هدف عملیات هیدرومتالورژی باشد چنانچه سطحی از کانی آزاد باشد ممکن است خردایش کافی باشد.**
- **درجه آزادی: درصدی از کانی باارزش که به صورت آزاد در کانه موجود است.**

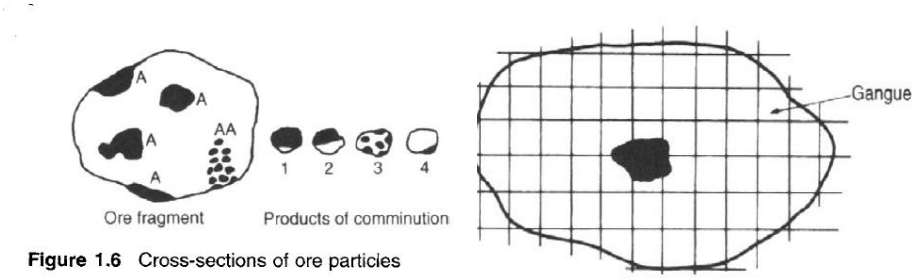


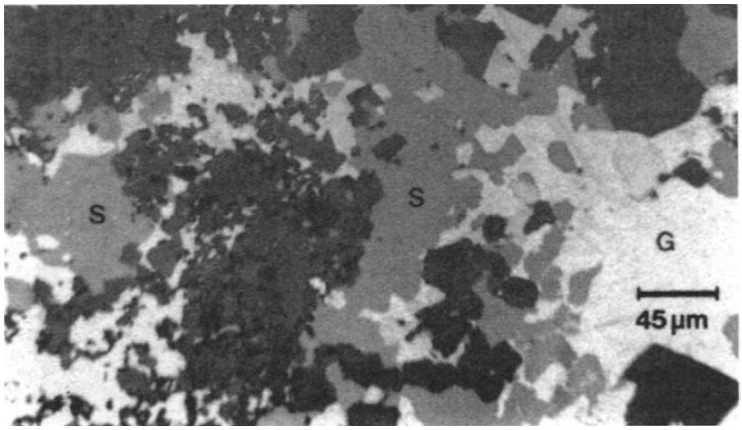
Figure 1.6 Cross-sections of ore particles

۱۳

وضعیت ذرات با ارزش در کانه

- ✓ **بافت:** به اندازه، پراکندگی، بهم پیوستگی وشکل کانیهای درون کانه اشاره دارد.
- ✓ بررسیهای مینرالوژیکی:
- ✓ برای پیش بینی نیازهای خردایش و تغلیظ، عیار احتمالی کنسانتره و مشکلات جداسازی مطالعات مینرالوژی باید انجام شود.
- ✓ آنالیز مینرالوژی باطله و کنسانتره اطلاعات خوبی راجع به کارآیی فرآیندهای آزادسازی و جداسازی می دهد.
- ✓ **ابزار**: میکروسکوپهای نوری و پلاریزان، QEMSCAM و Mineral Liberation Analyser (MLA)

۱۴

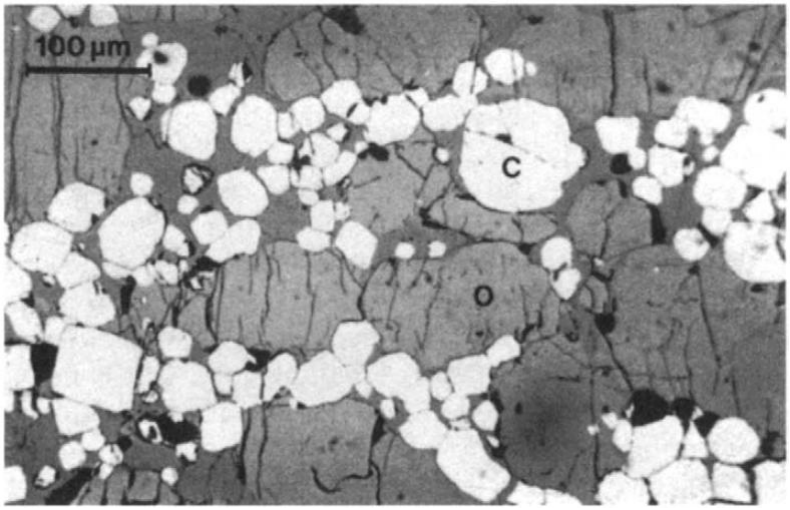


✓کانه سرب و روی معدن Hilton استرالیا

گالن (G)؛ اسفالریت (S)

۱۵

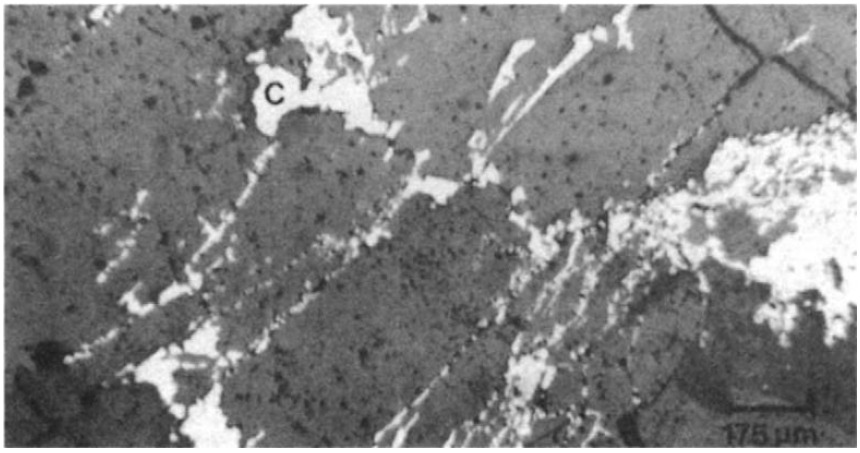
کانه کرومیت (C) درون زمینه ای از الیوین (O)



به دلیل اندازه ذره نسبتاً درشت، آزاد سازی کرومیت از گانگ الیوین آسان است.

۱۶

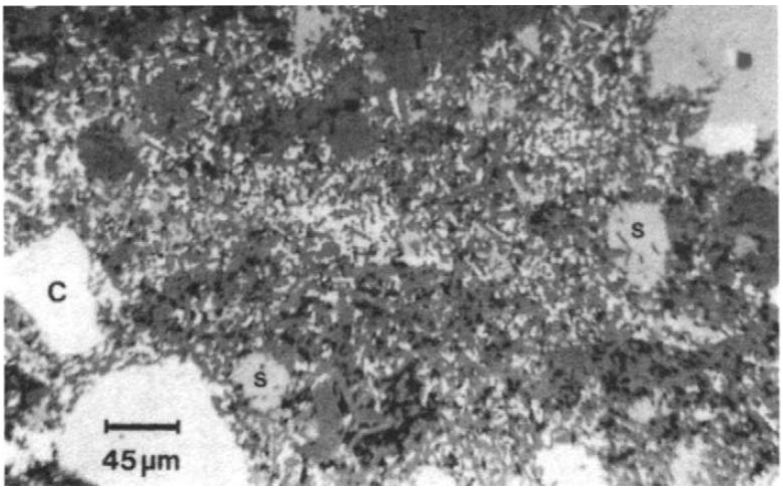
کالکوپیریت (C) با زمینه کوارتز



به علت توزیع زنجیره مانند کانی باارزش، آزاد سازی کانی مشکل است.

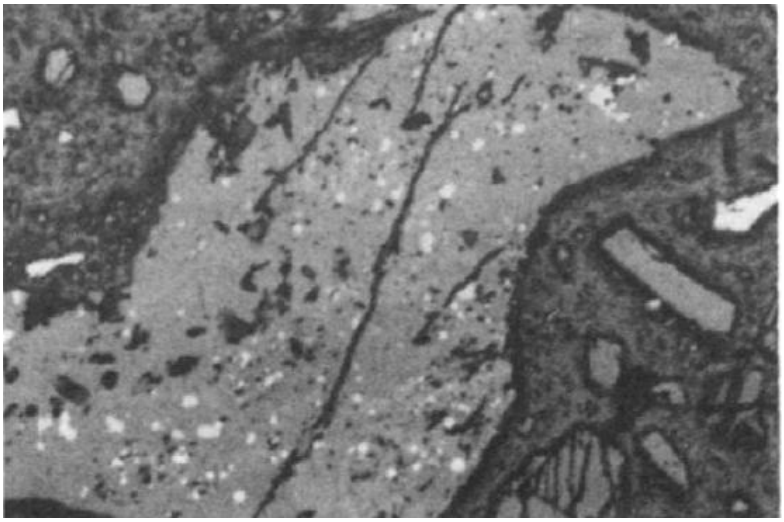
۱۷

کانه سولفید مخلوط (کالکوپیریت (C) – اسفالریت (S) پراکنده شده در تورمالین (T))



- درجه آزادی زیاد نمی شود.

۱۸



باطله فلوتاسیون (معدن مس Palabora آفریقای جنوبی.
ذرات پراکنده و ریز کالکوپیریت (کمتر از ۲۰ میکرون) محبوس در ذره گانگ

۱۹

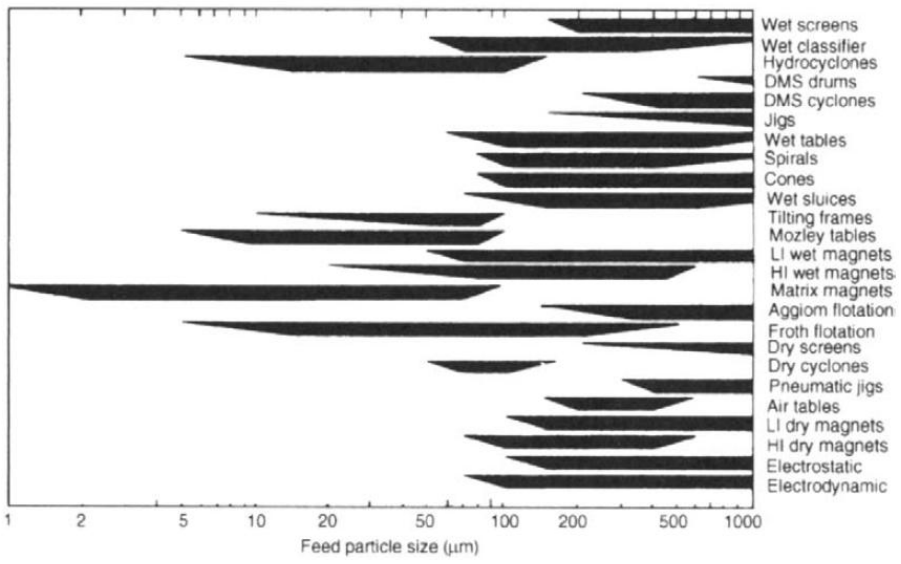
خصوصیات مهم مورد استفاده در جداسازی

Characteristic	Type of separating force	Techniques employed
Colour, lustre	Visual, manual, automated	Hand sorting of graded ore Fluorescent light or impulses triggered by reflected light may be used
Specific gravity	Differential movement in fluids	Jig, sluice, shaking table, spiral Heavy media separation
Ferromagnetism	Magnetic	Magnetic separators
Conductivity	Electrostatic charge	Separation by high tension separators based on differences in conductivity
Shape	Frictional	Sliding action to remove slate from coal
Texture	Crushing, screening, classifying	Techniques based on characteristic shapes and surfaces, which are developed during comminution
Radioactivity	α or β rays	Separating or picking devices used on the basis of activation by signals from emissions
Chemical reactivity	Reaction with suitable chemicals	Leaching of ores, separation of dissolved compounds by solvent extraction and ion exchange, precipitation, etc.
Surface reactivity	Differential surface tension in water	Separation of relatively aerophilic mineral as froth from aerated pulp by froth flotation

بیوتکنولوژی

در اکثر مواقع برای دستیابی به یک جداسازی کارا ترکیبی از روشهای بالا استفاده می شود.

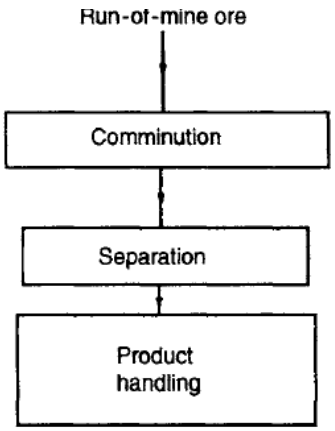
۲۰



۲۱

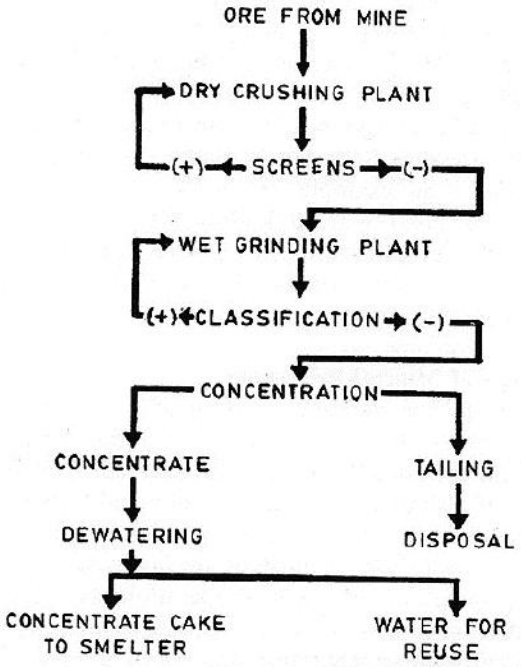
فلوشیت

فلوشیت، توالی عملیاتی کارخانه را به طور دیاگرامی نشان می دهد.



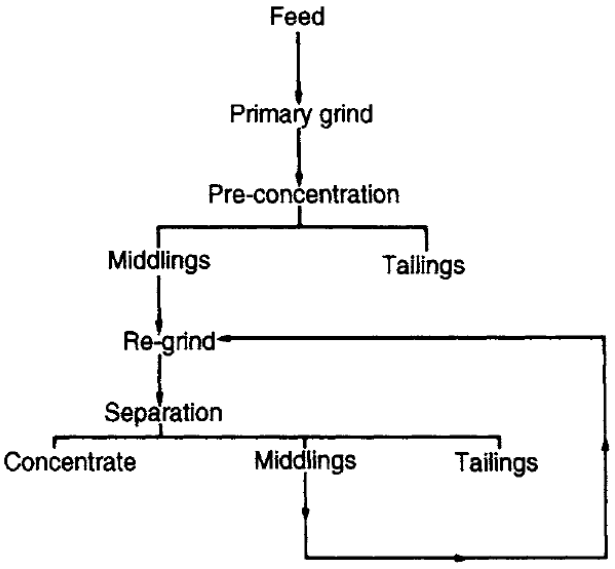
۲۲

فلوشیت



۲۳

خردایش دو مرحله ای

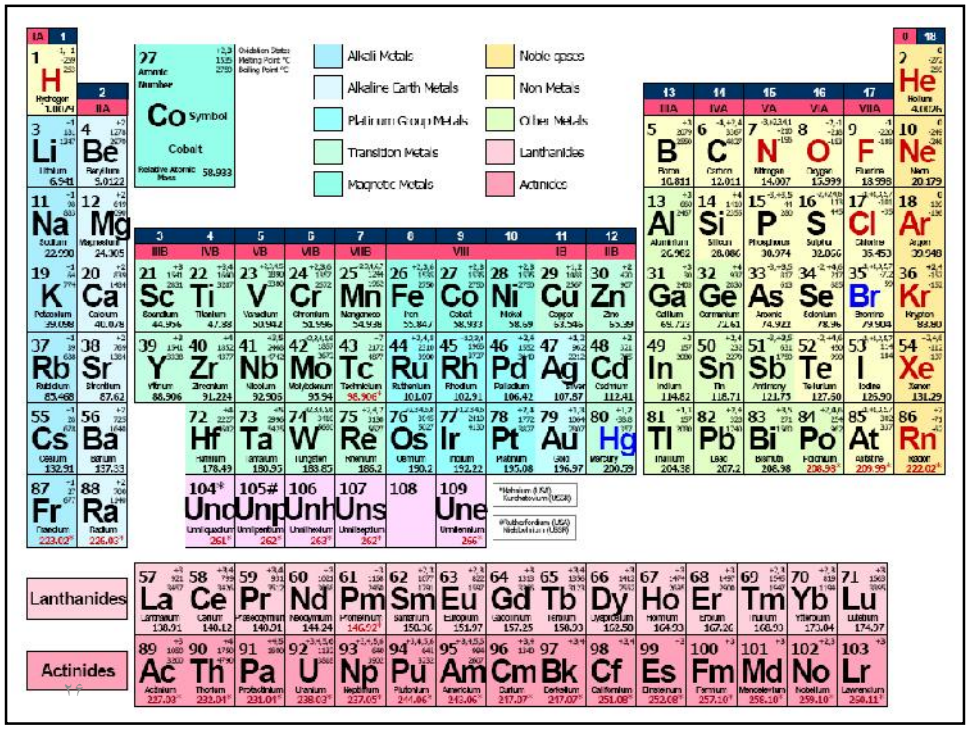


۲۴

؟

به نظر شما فرآوری مواد معدنی چه کاربردهایی در صنایع غیر معدنی می تواند داشته باشد؟

۲۵



دانشگاه صنعتی اصفهان
دانشکده مهندسی معدن

فرآوری مواد معدنی

جلسه دوم

بازدهی عملیات فرآوری مواد معدنی

مدرس:
علی احمدی

1

شاخص های ارزیابی عملیات جدایش

عیار (grade یا assay): محتوای محصول نهایی قابل فروش در ماده، در مورد کنسانتره:

$$\text{عیار (٪)} = \frac{\text{وزن فلز در کنسانتره}}{\text{وزن کنسانتره}} \times ۱۰۰$$

عیار ممکن است به صورت ppm یا g/t باشد، یا ممکن است فلز به صورت اکسیدی به فروش برسد مانند $\%U_3O_8$. در عملیات غیر فلزی، عیار به صورت درصد کانی است. عیار الماس به صورت carats بر ۱۰۰ تن (هر 1 carat=0.2 g). ذغال بر حسب محتوای خاکستر = محتوای کانی غیر قابل اشتعال.

بازیابی (Recover): بخشی از فلز موجود در کانه که به کنسانتره منتقل می شود.

$$\text{بازیابی (٪)} = \frac{\text{مقدار فلز در کنسانتره}}{\text{مقدار فلز در خوراک}} \times ۱۰۰$$

۲

شاخص های ارزیابی عملیات جدایش (ادامه)

نسبت پرعیار شوندگی (Ratio of concentration; C.R.): **نسبت وزن خوراک** (Feed; F) **به وزن کنسانتره** (C).

$$C.R. = \frac{F}{C}$$

نسبت پر عیار شوندگی و بازیابی مستقل از همدیگرند و برای ارزیابی فرآیند نیاز به دانستن هر دوی آنهاست.

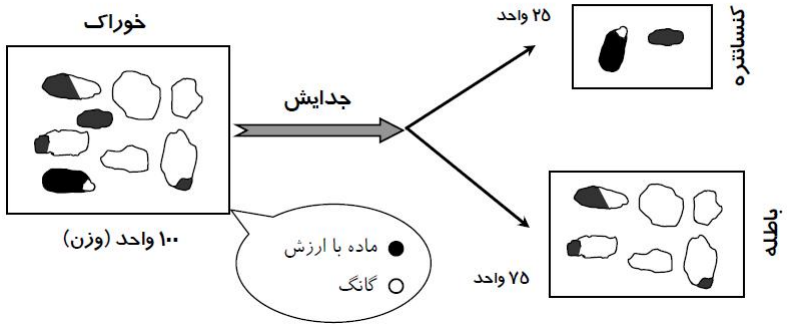
نسبت غنی شدگی (Enrichment ratio; E.R.): **نسبت عیار کنسانتره به عیار خوراک است و به کارآیی فرآیند مربوط می شود.**

$$E.R. = \frac{c}{f}$$

۳

بازیابی

مثال 1: فرض کنید سنگ معدنی که از یک کانی با ارزش و گانگ تشکیل شده دارای وزن 100 واحد باشد. اگر وزن کنسانتره حاصل از عملیات جدایش 25 گرم باشد (20 گرم کانی با ارزش و 5 گرم گانگ) و وزن باطله گرم باشد (65 گرم وزن گانگ و 10 گرم کانی با ارزش)، عیار کنسانتره و بازیابی عملیات جدایش را تعیین کنید.



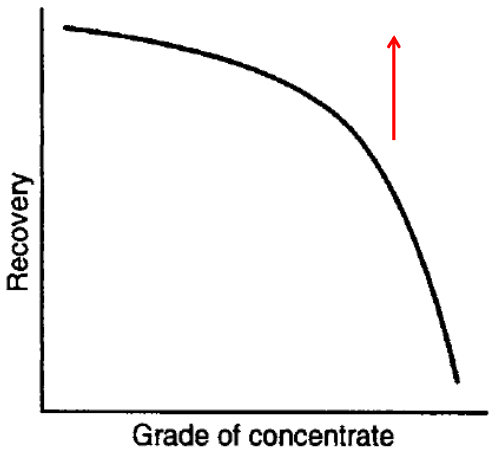
مثال 2: حداکثر عیار قابل کنسانتره مس که کانی با ارزش آن به صورت زیر است چه مقدار می باشد؟

- مس خالص

- کالکوپیریت

۵

رابطه عیار- بازیابی



هدف فرآیندهای فرآوری، انتقال منحنی کلی به نقطه بالاتر است.

۶

در حالتهای زیر فرآیند برتر متالورژیکی کدام است؟

بازیابی (٪)	عیار (٪)
۷۵	۲۶
۶۳	۲۶
۶۸	۲۹
۶۸	۳۲

عیار و بازیابی با همدیگر مهمترین وسیله اندازه گیری ارزیابی کارآیی متالورژیکی یک فرآیند است.

بازیابی (٪)	عیار (٪)
۷۵	۲۸
۸۴	۲۲

کارآیی متالورژیکی جدایش (Schulz، ۱۹۷۰)

$$\text{Separation efficiency (S.E.)} = Rm - Rg$$

R_m: بازیابی کانی با ارزش (%)
R_g: بازیابی گانگ به کنسانتره (%)

$$Rm = \frac{100Cc}{f}$$

c: عیار کنسانتره (%)
f: عیار خوراک (%)
t: عیار باطله (%)
C: بخشی از وزن خوراک که به کنسانتره منتقل شده است.

۸

R_g: بازیابی گانگ به کنسانتره (%):

$$\text{Separation efficiency (S.E.)} = Rm - Rg = \frac{100Cc}{f} - \left\{\frac{100C(m-c)}{(m-f)}\right\} = \frac{100Cm(c-f)}{(m-f)f}$$

۹

مثال ۳:

یک کارخانه پرعیار کننده قلع، خوراکی را با ۱% قلع فرآوری می کند (کانی در برگیرنده قلع کاسی‌تریت (SnO_2) است). سه ترکیب مختلف عیار و بازیابی به صورت زیر موجود است:

نوع کنسانتره	عیار (%)	بازیابی (%)
عیار بالا	۶۳	۶۲
عیار متوسط	٤۲	۷۲
عیار پایین	۲۱	۷۸

مشخص کنید کدام یک از ترکیبهای عیار و بازیابی، بالاترین بازدهی جدایش را ایجاد می کند.

۱۰

جواب:

۱۱

ارزش اقتصادی

هدف اصلی از عملیات فرآوری، افزایش ارزش اقتصادی کانه است. اهمیت رابطه عیار-بازیابی در تعیین اقتصادی ترین ترکیب عیار و بازیابی که بالاترین بازگشت مالی بر تن کانه فرآوری شده را ایجاد می کند است. این موضوع به عوامل زیر بستگی دارد:

- قیمت روز و ارزش محصول با ارزش
- هزینه های حمل و نقل به کارخانه ذوب
- هزینه ذوب و پالایش

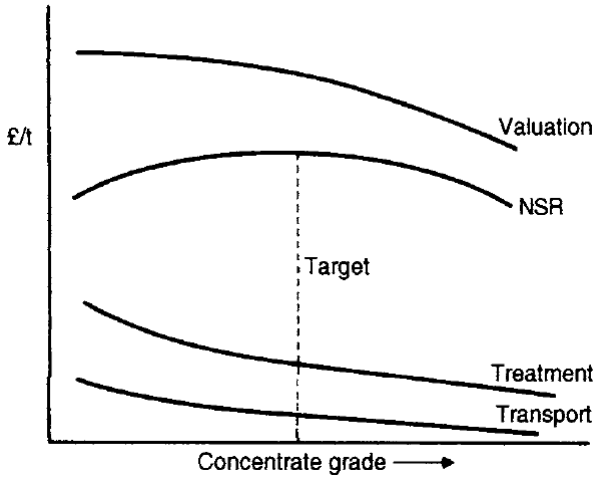
ناخالصی در کنسانتره ممکن است موجب جریمه شدن و حضور فلزات باارزش موجب پاداش توسط کارخانه ذوب شود.

بازده خالص کارخانه ذوب (NSR=net smelter return)

$$\text{NSR} = \text{Payment for contained metal} - (\text{Smelter charges} + \text{Transport costs})$$

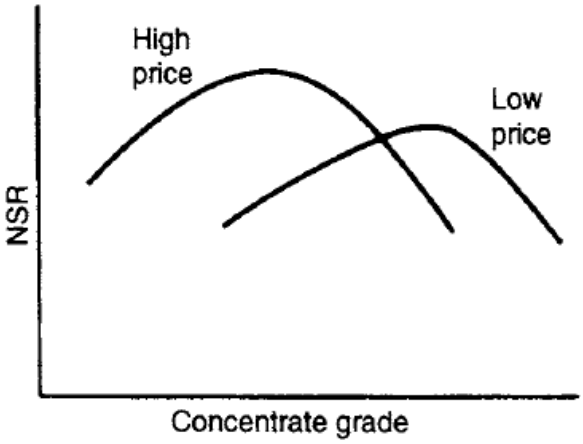
۱۲

تغییرات پرداخت ها و هزینه ها با عیار کنسانتره



۱۳

تأثیر قیمت فلز بر رابطه عیار NSR



۱۴

ادامه مثال ٤:

یک کارخانه تغلیظ قلع، خوراکی را با ۱٪ قلع فرآوری می کند، سه ترکیب مختلف عیار و بازیابی به صورت زیر موجود است:

نوع کنسانتره	عیار (%)	بازیابی (%)
عیار بالا	۶۳	۶۲
عیار متوسط	٤۲	۷۲
عیار پایین	۲۱	۷۸

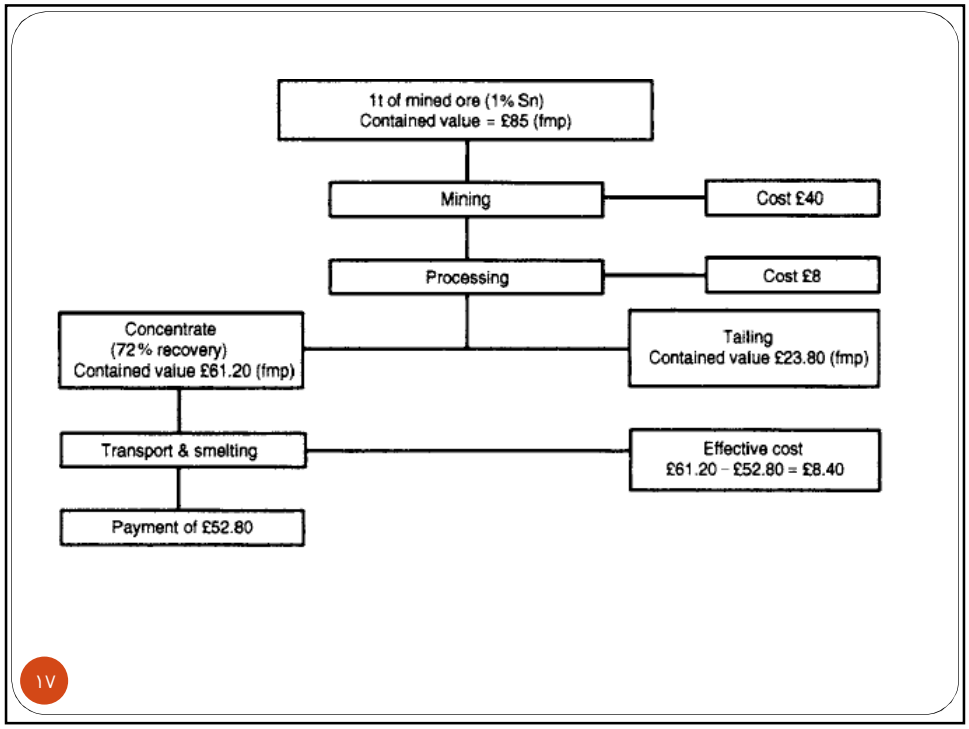
فرض کنید که کنسانتره عاری از آرسنیک است و هزینه حمل و نقل کنسانتره به کارخانه ذوب ۲۰ پوند بر تن کنسانتره خشک است.
الف) بازده خالص از کارخانه ذوب را با توجه به قرارداد زیر محاسبه کنید.
قیمت روز قلع: ۸۵۰۰ پوند بر تن
هزینه ذوب و پالایش: ۳۸۵ پوند بر تن
ارزش گذاری: ۱ واحد عیار بر هر تن کنسانتره خشک کم شود.
ب) اگر هزینه های معدنکاری و فرآوری به ترتیب ٤۰ و ۸ پوند بر تن باشد، برای اقتصادی ترین عیار، معدنی با ظرفیت ۵۰۰ تن بر روز، سود سالیانه چقدر است؟

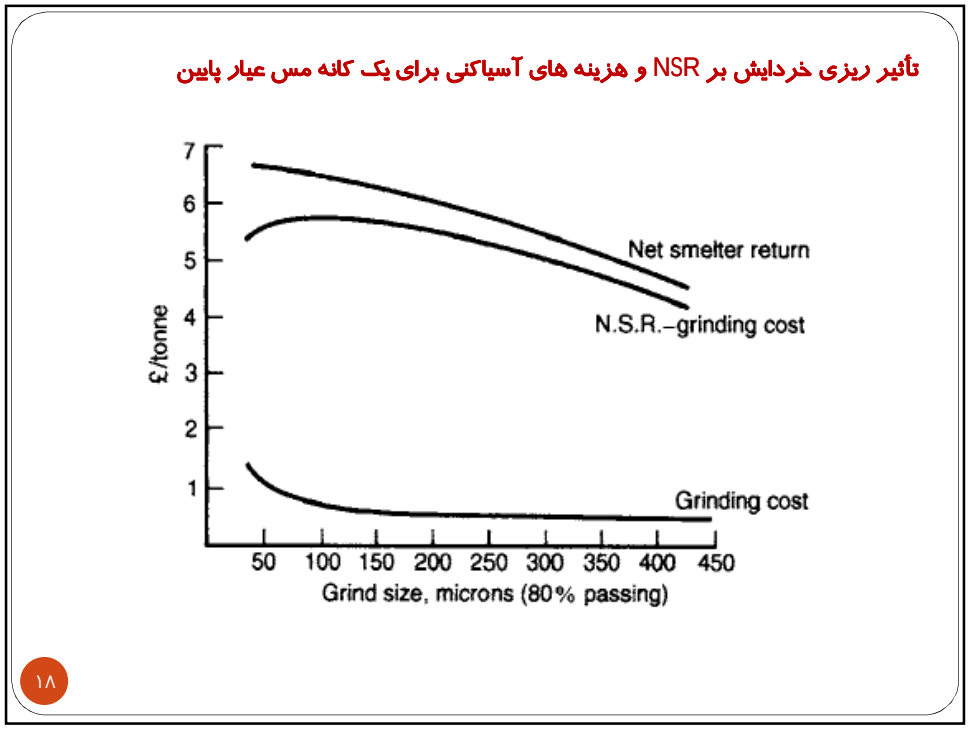
۱۵

جواب:

نتیجه: مدیریت کارخانه تغلیظ باید سیاستهای اقتصادی و متالورژیکی را با هم در نظر بگیرد.

۱۶


1t of mined ore (1% Sn)
Contained value = £85 (fmp)
Mining
Cost £40
Processing
Cost £8
Concentrate
(72% recovery)
Contained value £61.20 (fmp)
Tailing
Contained value £23.80 (fmp)
Transport & smelting
Effective cost
£61.20 – £52.80 = £8.40
Payment of £52.80
۱۷


تأثیر ریزی خردایش بر NSR و هزینه های آسیاکنی برای یک کانه مس عیار پایین
7
6
5
4
3
2
1
£/tonne
Net smelter return
N.S.R.–grinding cost
Grinding cost
50 100 150 200 250 300 350 400 450
Grind size, microns (80% passing)
۱۸

بازدهی یا راندمان اقتصادی (Economic efficiency)

NSR تئوری /NSR واقعی = بازدهی اقتصادی

NSR تئوری = NSR **در هنگامی که همه کانی با ارزش به کنسانتره و همه گانگ به باطله راه می یابد (کانه آرایی ایده آل).**

مثال ۵:

راندمان اقتصادی یک کارخانه فرآوری قلع که از خوراکی با عیار ۱% قلع، کنسانتره ای با عیار ٤٢% قلع و بازیابی ۷۲% تولید می کند را محاسبه نمایید؟

۱۹

جواب:

۲۰

مثال ۶:

داده های عیار زیر از یک کارخانه فرآوری مس – روی بدست آمده است:

خوراک	% 0/7 Cu	%1/94 Zn
کنسانتره مس	% 24/6 Cu	%3/40 Zn
کنسانتره روی	% 0/4 Cu	%49/7 Zn

اندازه گیری دبی جرمی نشان داد که ۳% وزن خوراک به کنسانتره مس و ٤% به کنسانتره روی منتقل می شود، راندمان اقتصادی کلی را شرایط ساده شده زیر محاسبه کنید.

مس	قیمت مس	8500 دلار بر تن
	پرداختی ذوب	%90 محتوی مس
	هزینه عمل آوری ذوب	60 دلار بر تن کنسانتره
	هزینه حمل و نقل	30 دلار بر تن کنسانتره

روی	قیمت روی	2000 دلار بر تن
	پرداختی ذوب	%85 محتوی روی
	هزینه عمل آوری ذوب	200 دلار بر تن کنسانتره
	هزینه حمل و نقل	30 دلار بر تن کنسانتره

۲۱

جواب:

۲۲

منبع

جلسه اول: صفحات ۱-۱۷ کتاب Wills' Mineral Processing Technology

جلسه دوم: صفحات ۱۷-۳۰ کتاب Wills' Mineral Processing Technology

۲۳

دانشگاه صنعتی اصفهان
دانشکده مهندسی معدن

فرآوری مواد معدنی

جلسه سوم

نمونه برداری و محاسبات متالورژیکی

مدرس:
علی احمدی

محاسبات متالورژیکی

- تعیین توزیع محصولات مختلف در کارخانه
- کنترل عملیات

پیش نیازهای اساسی یک سیستم محاسبه و کنترل خوب

- نمونه گیری شاخص و کارای جریانهای فرآیند
- آنالیز صحیح عیار
- اندازه گیری صحیح و مطمئن دبی جرمی جریانهای مهم است.

نکات:

- نمونه گرفته شده باید نماینده ماده اصلی باشد.
- نمونه گیری از مواد خرد شده راحت تر و صحیح تر است.

❖محاسبات متالورژیکی بر اساس وزن جامد خشک است.
❖قبل از اینکه مواد وارد کارخانه فرآوری شوند، باید توزین و نمونه برداری روی مواد استخراج شده از معدن انجام شود.
❖توزین به خوبی انجام می شود اما به دلیل وسعت اندازه ذرات و و ناهمگنی مواد، نمونه گیری صحیح در مراحل اولیه مشکل است.

تعیین رطوبت

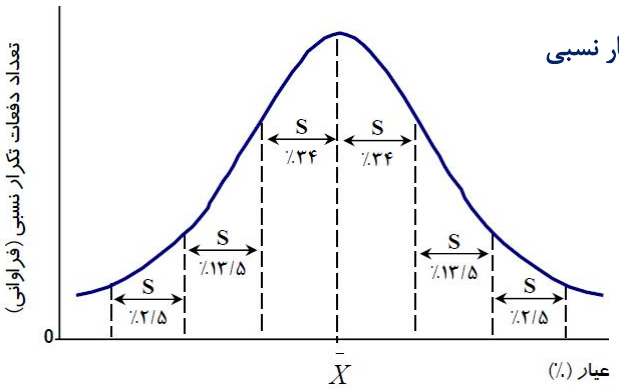
$$\%\ \text{moisture} = \frac{\text{wet weight} - \text{dry weight}}{\text{wet weight}} \times 100$$

- دمای خشک کردن نباید به اندازه ای زیاد باشد که موجب تجزیه فیزیکی و یا شیمیایی نمونه ها شود. در مورد کانیهای سولفیدی، در صورتی که زیاد حرارت داده شوند دی اکسید سولفور آزاد می کنند و دما نباید از ۱۰۵ درجه سانتیگراد تجاوز نماید.

❖مکان مناسب برای تهیه نمونه برای رطوبت سنجی، انتهای نوار نقاله و نزدیک به ترازوی نوار نقاله است (بعد از عبور مواد از روی سنسور توزین).
❖مکان مناسب برای تهیه نمونه برای عیار سنجی، پس از آسیا کردن مواد است.

در یک توزیع نرمال

محدوده	سطح اطمینان
$\bar{X} \mp s$	٪۶۷
$\bar{X} \mp 2s$	٪۹۵
$\bar{X} \mp 3s$	٪۹۹



انحراف معیار نسبی $R = \frac{S}{\bar{X}}$

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}\left(X_i - \bar{X}\right)^2}{n-1}}$$

$\bar{X}$: عیار متوسط

S: انحراف معیار

تأثیر مقدار نمونه بر خطای نمونه برداری

نتایج نمونه گیری یک کانه فرضی حاوی ۵۰% کانی با ارزش (تعداد نمونه گیری = ۱۰۰ بار).

Sample weight (g)	*Mean assay* (%)	*Number of assays within 5%*	*Maximum error* (%)
10	46.70	14	88.55
100	49.70	24	45.60
500	50.35	37	18.38
1000	50.08	74	14.80
2500	50.18	86	9.94
3500	49.82	93	7.09
5000	50.12	98	5.10
10 000	49.97	99	5.01

نمونه گیری به احتمالات وابسته است.

محاسبه حداقل نمونه مورد نیاز با روش Gy

$$\frac{ML}{L-M}=\frac{Cd^3}{R^2}$$

M: حداقل وزن مورد نیاز برای نمونه (g)
L: وزن مواد که باید از آن نمونه گرفته شود (g)
C: ثابت نمونه گیری برای موادی که باید نمونه گیری شوند (g/cm3)
d: اندازه بزرگترین ذره ای است که باید نمونه گیری شود (cm)
R: نشان دهنده خطای آماری نمونه گیری است (انحراف معیار نسبی).

در اغلب موارد L نسبت به M مقدار بزرگی است و معادله جی به صورت زیر ساده می شود:

$$\lim_{L\to\infty}\frac{ML}{L-M}=\frac{ML}{L\left(1-\frac{M}{L}\right)}=\lim_{L\to\infty}\frac{M}{1-\frac{M}{L}}=M \quad\longrightarrow\quad M=\frac{Cd^3}{R^2}$$

- این روش اندازه ذرات، محتوا و درجه آزادی کانیها و شکل ذرات را در نظر می گیرد.

C (ثابت نمونه گیری) مخصوص ماده ای است که باید نمونه گیری شود و محتوای کانی و درجه آزادی را در نظر می گیرد.

$$C = f\ g l m$$

f: فاکتور شکل که معمولاً ۰/۵ در نظر گرفته می شود برای طلا ۰/۲

شکل ذرات	کروی	شبه کروی (دایره‌ای)	چهارگوش	دراز	ورقه‌ای
فاکتور f	۱	۰/۸	۰/۷	۰/۶	۰/۵

g: فاکتوری که به دامنه اندازه ذره بستگی دارد (اگر ۹۵% نمونه شامل ذرات ریزتر از d سانتیمتر و ۹۵% از نمونه شامل ذرات درشت تر از d' سانتیمتر باشد، مقادیر g به صورت زیر بدست می آید.

$$d/d' > 4 \qquad g = 0.25$$
$$d/d' \text{ is } 2-4 \qquad g = 0.5$$
$$d/d' < 2 \qquad g = 0.75$$
$$d/d' = 1 \qquad g = 1$$

l: فاکتور آزادی که برای ماده کاملاً همگن صفر و برای مواد کاملاً ناهمگن یک در نظر گرفته می شود.

$$l = \left(\frac{L}{d}\right)^{1/2}$$

d/L	<1	1–4	4–10	10–40	40–100	100–400	>400
l	1	0.8	0.4	0.2	0.1	0.05	0.02

L: اندازه ای که در آن کانی با ارزش آزاد است.

d: اندازه درشت ترین قطعه موجود که معادل چشمه های سرندی که ۹۰ یا ۹۵% مواد از آن عبور می کند.

m :فاکتور ترکیب کانی شناسی

معادل وزن نمونه به ازای حجم کانی با ارزش است.

$$m = \frac{1-a}{a}[(1-a)r + at]$$

r: دانسیته میانگین ماده باارزش
t: دانسیته میانگین ماده گانگ
a: درصد کانی باارزش در کانه

معادله جی فرض می کند که نمونه ها به صورت اتفاقی گرفته شده اند و برای جریانهای مواد عبوری روی نوار نقاله ها و یا جریانهای پالپ قابل کاربردتر است.

- بهتر است که نمونه برداری از جایی از مسیر گرفته شود که ماده مورد نظر به حداقل اندازه رسیده باشد.

مثال ۱:

در نظر بگیرید که کانه ای از سرب با عیار ۵% سرب باید برای تعیین عیار به طور روزانه با دقت ۰/۱±% سرب (۹۵ بار از ۱۰۰ بار) نمونه برداری شود. در این کانه، گالن از گانگ کوارتز در اندازه ذره ۱۵۰ میکرون آزاد می شود. حداقل مقدار نمونه را برای دو حالت زیر محاسبه کنید.

الف) اگر نمونه برداری در مرحله سنگ شکنی انجام شود که در آن اندازه درشت ترین قطعات کانه ۲۵ میلیمتر است.

ب) هنگامی که نمونه برداری از جریان پالپ بعد از آسیا شدن صورت می گیرد و به منظور آزادسازی ذرات گالن، مواد تا ابعاد کوچکتر از ۱۵۰ میکرون خرد شده اند.

حداقل نمونه لازم برای تجزیه سرندی

فاکتور ترکیب کانی شناسی برای d_{95} در نظر گرفته می شود.

$$m = \frac{b}{0.05}$$

b: دانسیته سنگ معدن

$$M = \frac{20bfgd^3}{R^2}$$

g: **فاکتور دانه بندی ۱ در نظر گرفته می شود.**

نمونه گیری مرحله به مرحله

قبل از عیار سنجی، نمونه گرفته شده از ماده معدنی باید پس از خشک شدن، بصورت مرحله به مرحله خرد شده تا ابعاد ذرات به اندازه مجاز برای عیار سنجی برسد.

برای نمونه کانه سرب (مثال ۱) اگر نمونه بدست آمده از مرحله سنگ شکنی (۲۵ mm) در سه مرحله تا ابعاد ۵ mm، ۱ mm و ۴۰ μm خرد شود مقدار نمونه در هر مرحله باید چقدر باشد؟

$$S_t^2 = S_1^2 + S_2^2 + S_3^2 + S_4^2$$

اگر خطای همه مرحله یکسان فرض شود.

$$S_t^2 = 4S_1^2$$

$$S_1^2 = S_2^2 = S_3^2 = S_4^2 = \frac{S_t^2}{4}$$

از آنجاییکه سطح اعتماد برای عیار 0/1%±5%، 95 بار از 100 بار در نظر گرفته شده است:

$$S_t = 0.01$$

$$S_1^2 = S_2^2 = S_3^2 = S_4^2 = 0.25 \times 10^{-4}$$

برای مرحله اول نمونه گیری در 25 میلیمتر:

$$M = \frac{1.13 \times (2.5)^3}{0.25 \times 10^{-4}} = 706.3\,\text{kg}$$

برای مرحله دوم نمونه گیری در 5 میلیمتر:

$$M = 12.8\,\text{kg}$$

برای مرحله سوم نمونه گیری در 1 میلیمتر:

$$M = 228.2\,\text{g}$$

برای مرحله چهارم نمونه گیری در 40 میکرون:

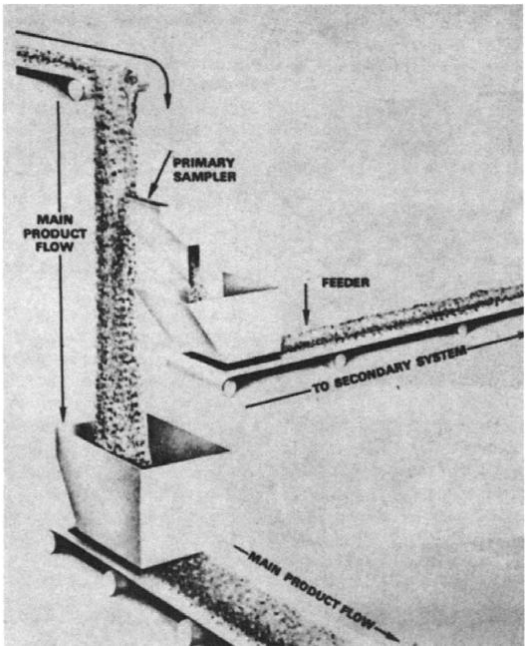
$$M = 0.04\,\text{g}$$

❖ برای کاهش وزن نمونه اولیه می توان خطای مراحل اولیه را بیشتر و خطای مراحل بعدی را کمتر انتخاب کرد.

	Stage 1 (kg)	*Stage 2* (kg)	*Stage 3* (g)	*Stage 4* (g)
Equal sampling error at each stage	1412.6	25.6	456.4	0.08
Fixed weight at stages 2, 3, and 4	570.1	50.0	500.0	1.0

فاکتور ایمنی 2 در نظر گرفته شده است.

سیستمهای نمونه گیری

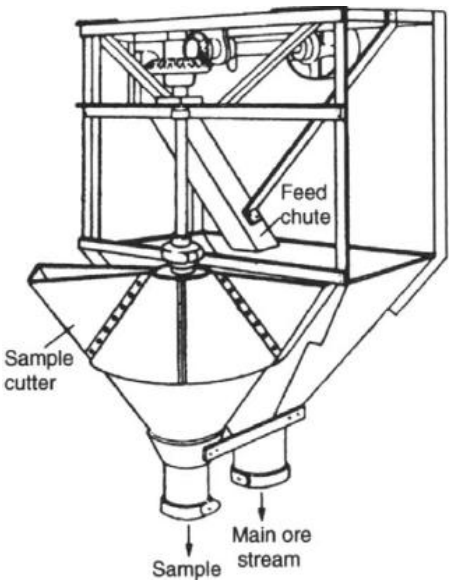


- صورت وسیله جمع کننده عمود بر جریان مواد باشد.
- وسیله جمع کننده تمام جریان را بپوشاند.
- جمع کننده با سرعت ثابتی حرکت کند.
- جمع کننده به اندازه کافی بزرگ باشد تا نمونه عبور کند.

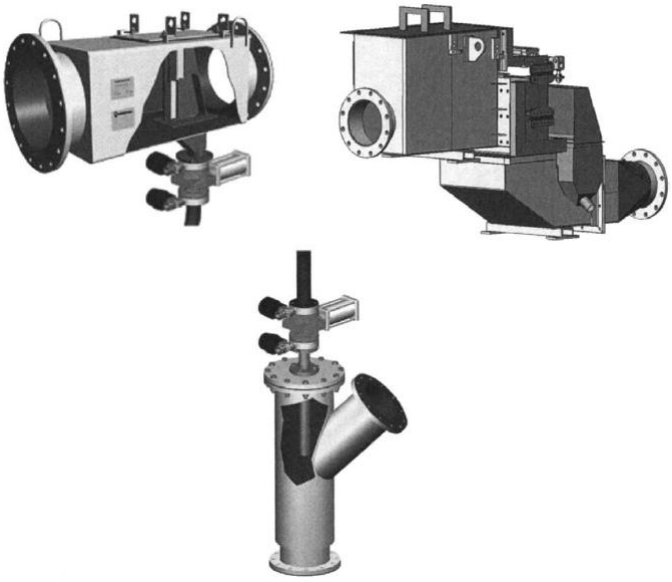
عرض مؤثر نمونه گیر = w-d
که w: عرض نمونه گیر و d: قطر ذره

برای جلوگیری از خطای ناشی از برخورد دانه ها به لبه جمع کننده، عرض ۲۰ برابر بزرگتر از قطر بزرگترین ذره باشد

نمونه گیر Vezin



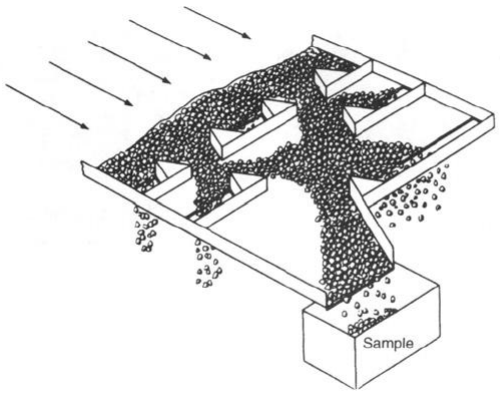
نمونه گیری از پالپ



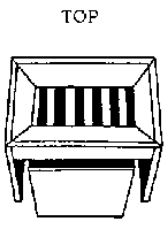
روشهای تقسیم نمونه

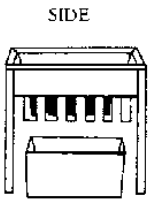
مخروطی و چهار قسمت کردن (Coning and quartering)

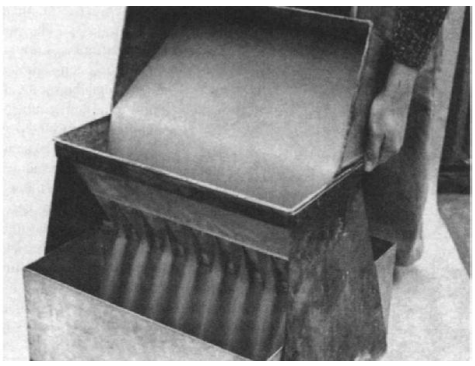
نمونه گیری میزی (Table sampling)

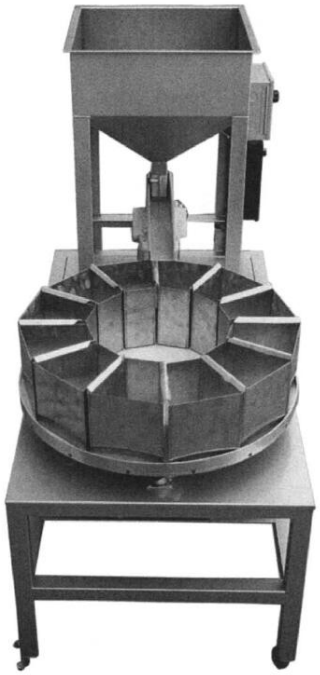


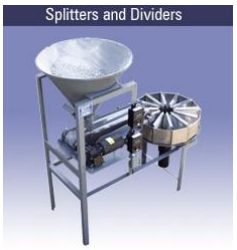
نمونه گیر مجرایی جونز (Jones riffle sampler)

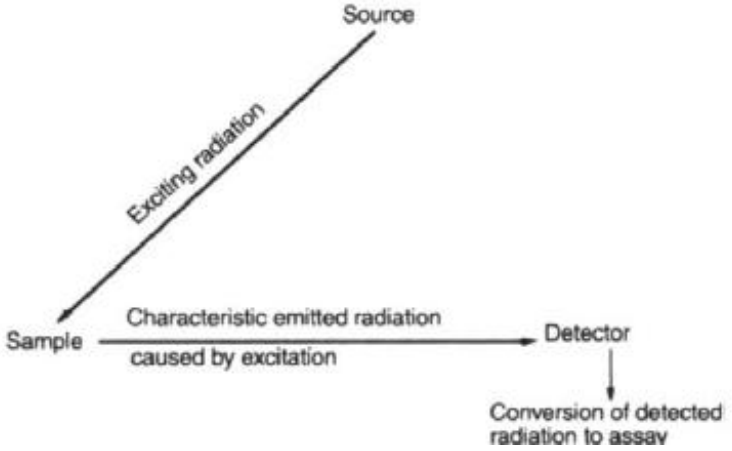


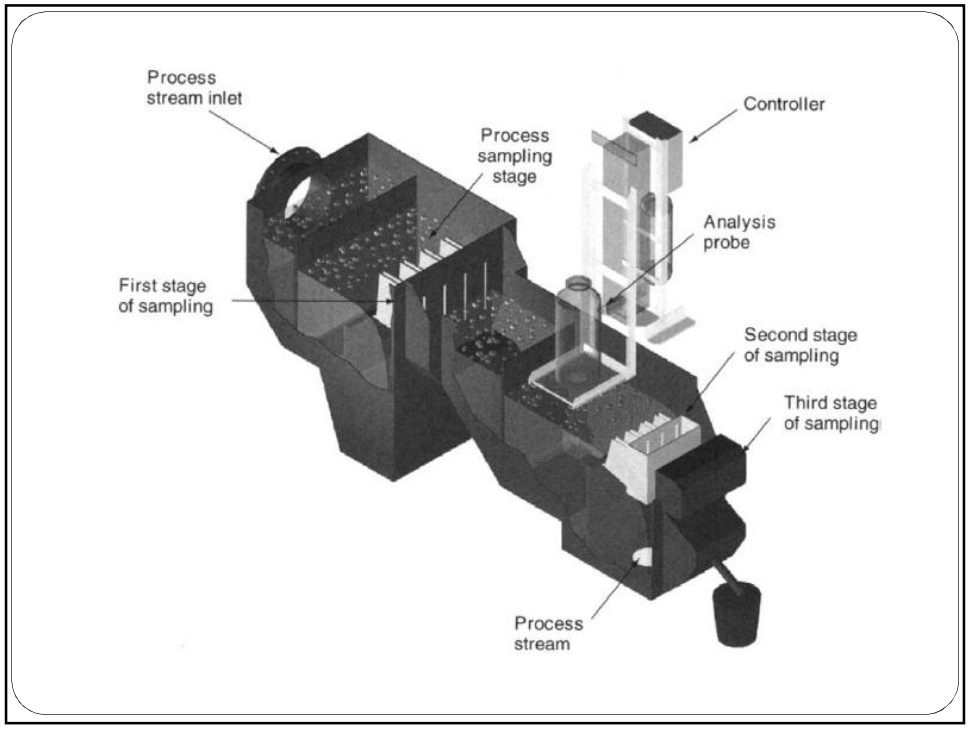


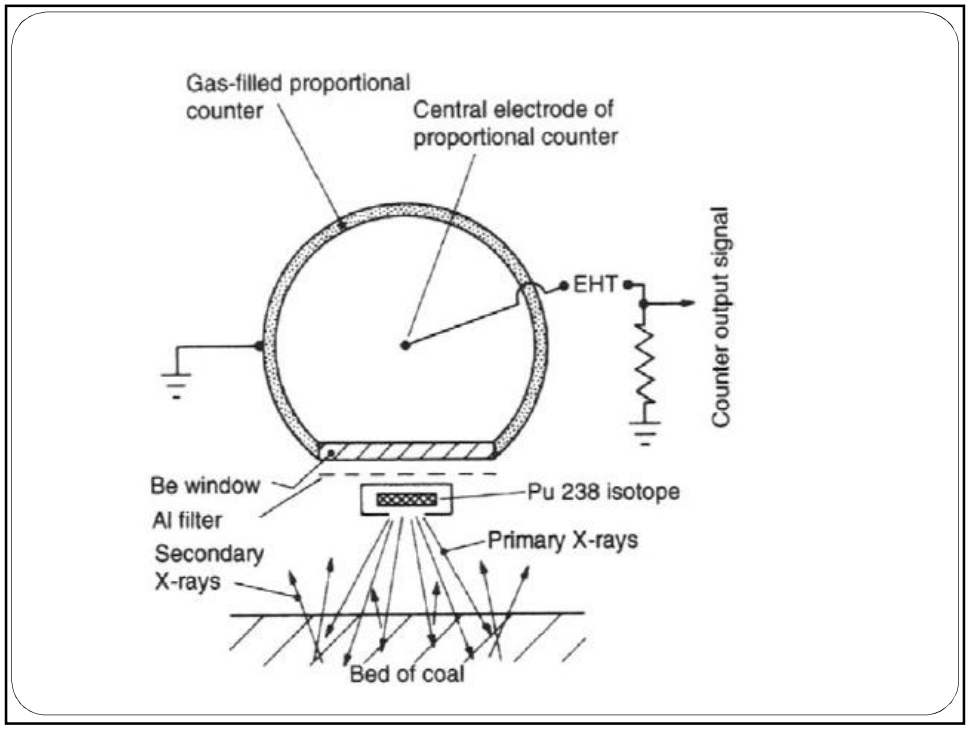





Splitters and Dividers


Source
Exciting radiation
Sample
Characteristic emitted radiation
caused by excitation
Detector
Conversion of detected
radiation to assay


Process
stream inlet
Process
sampling
stage
Controller
Analysis
probe
First stage
of sampling
Second stage
of sampling
Third stage
of sampling
Process
stream


Gas-filled proportional
counter
Central electrode of
proportional counter
EHT
Counter output signal
Be window
Al filter
Pu 238 isotope
Primary X-rays
Secondary
X-rays
Bed of coal

محاسبات مربوط به پالپ

۲۳

محاسبات مربوط به پالپ

نرخ دبی حجمی در محاسبه زمان ماند فرآیندها مهم است.

تعیین زمان ماند:

$$\text{زمان توقف} = \frac{\text{حجم } (m^3)}{\text{دبی } (m^3/h)}$$

اگر ۱۲۰ m3/h اسلاری به سلول فلوتاسیون با حجم ۲۰ m3 خوراک دهی شود بنابراین زمان ماند ذرات در تانک برابر خواهد بود با

$$\text{Tank volume/flow rate} = 20 \times \frac{60}{120} = 10 \text{ min}$$

دانسیته پالپ یا اسلاری = وزن پالپ بر حجم واحد (kg/m3).

درصد جامد (رطوبت - ۱۰۰)

نمونه گیری - وزن کردن اسلاری – خشک کردن – وزن کردن خشک شده

محاسبه درصد وزنی جامد پالپ با استفاده از دانسیته پالپ

$$V_p = V_S + V_W$$

$$V_S + V_W = 1 \Rightarrow \frac{m_S}{S} + \frac{m_W}{W} = 1$$

$$X = \frac{m_S}{m_S + m_W} \times 100$$

$$D = \frac{m_S + m_W}{V_P} \Rightarrow m_S = D - m_W$$

$$X = \frac{D - m_W}{D - m_W + m_W} \times 100 = \frac{100(D - m_W)}{D} \Rightarrow m_W = D - \frac{XD}{100}$$

$$m_S = D - D + \frac{XD}{100} = \frac{XD}{100}$$

X: درصد جامد برحسب وزن

D: دانسیته پالپ (kg/m^3)

S: دانسیته جامد (kg/m^3)

W: دانسیته آب (kg/m^3)

V_S: حجم جامد (m^3)

V_P: حجم پالپ (m^3)

V_W: حجم آب (m^3)

m_S: جرم جامد (kg)

m_W: جرم آب (kg)

$$1 = \frac{\frac{XD}{100}}{S} + \frac{D - \frac{XD}{100}}{W}, \quad W = 1000\, kg/m^3 \Rightarrow X = \frac{100S(D-1000)}{D(S-1000)}$$

- اگر **F** دبی حجمی پالپ (m^3/h) باشد:

$$M = FD\frac{X}{100}$$

$$M = \frac{FS(D-1000)}{(S-1000)}$$

M: دبی جرمی جامد خشک (kg/h)

مثال ۲:

یک جریان پالپ که شامل کوارتز است به داخل ظرف دانسیته سنج ۱ لیتری منحرف می شود، زمان لازم برای پر شدن ظرف ۷ ثانیه می باشد. دانسیته پالپ توسط یک ترازوی کالیبره شده ۱٤۰۰ kg/m3 تعیین شد. درصد جامد وزنی و دبی جرمی کوارتز در پالپ را محاسبه کنید (دانسیته کوارتز = ۲۶۵۰ kg/m3).

$$\%\text{solid by volume} = \frac{XD}{S}$$

نسبت رقت (Dillution Ratio)

$$\text{نسبت رقت} = \frac{\text{وزن آب}}{\text{وزن جامد}} = \frac{m_W}{m_S} = \frac{D - \frac{XD}{100}}{\frac{XD}{100}} = \frac{100 - X}{X}$$

وزن آب = نسبت رقت × وزن جامد

مثال ۳:

یک کارخانه فلوتاسیون ۵۰۰ t/h ماده جامد را فرآوری می کند، پالپ خوراک شامل ٤۰ % جامد بر حسب وزن است و برای ۵ دقیقه با مواد شیمیایی تنظیم می شود. حجم تانک مورد نیاز برای تنظیم را محاسبه کنید (دانسیته جامد ۲۷۰۰ $kg/m3$).

مثال ٤:

یک پمپ با دو جریان خوراک دهی می شود . دبی حجمی یک جریان ۵ $m3/h$ و درصد جامد آن (وزنی) ٤۰% است و دبی حجمی جریان دیگر ۳/٤ $m3/h$ و درصد جامد آن ۵۵% است،
الف) تناژ جامد خشک پمپ شده بر ساعت چقدر است؟ (دانسیته جامد ۳۰۰۰ $kg/m3$)
ب) درصد جامد جریان پمپ شده (جریان ترکیبی) چقدر است؟

Wills (صفحه ٥٤-٤٥)
صفحه ۹۵۶ تا ۹۸۶ کتاب کانه آرایی دکتر نعمت الهی

دانشگاه صنعتی اصفهان
دانشکده مهندسی معدن

فرآوری مواد معدنی

جلسه چهارم

موازنه جرم

مدرس:
علی احمدی

روشهای موازنه جرم

مواد ورودی = مواد خروجی

موازنه جرم فلز یا کانی با ارزش

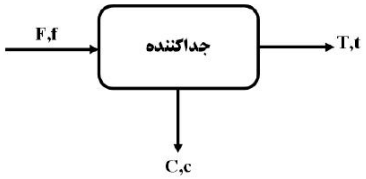
$$F = C + T$$

$$Ff = Cc + Tt$$

$$Ff = Cc + (F - C)t$$

$$F/C = (c - t)/(f - t)$$

$$\text{Recovery} = 100c(f - t)/f(c - t)\%$$



مثال ۱:

خوراک یک کارخانه فلوتاسیون با عیار ۰/۸ % مس است. عیار کنسانتره و باطله به ترتیب ۲۵% و ۰/۱۵% است ، بازیابی مس، نسبت پرعیار شوندگی و نسبت غنی شدگی را محاسبه نمایید.

تراز متالورژیکی

در کارخانه ای فرآوری با استفاده از داده های زیر تراز متالورژیکی کارخانه را تشکیل دهید.

شیفت ۲

Item	*Weight* t	*Assay %*	*Weight metal* t	*Distribution metal %*
Feed	305.0	2.1		
Concentrate		35.0		
Tails		0.15		

شیفت ۱

Item	*Weight* t	*Assay %*	*Weight metal* t	*Distribution metal %*
Feed	210.0	2.5		
Concentrate		40.0		
Tails		0.20		

مجموع دو شیفت

Item	*Weight* t	*Assay %*	*Weight metal* t	*Distribution metal %*
Feed				
Concentrate				
Tails				

Table 3.4 Shift 2 performance

Item	*Weight* t	*Assay %*	*Weight metal* t	*Distribution metal %*
Feed	305.0	2.1	6.41	100.0
Concentrate	17.1	35.0	5.99	93.45
Tails	287.9	0.15	0.42	6.55

Table 3.3 Shift 1 performance

Item	*Weight* t	*Assay %*	*Weight metal* t	*Distribution metal %*
Feed	210.0	2.5	5.25	100.0
Concentrate	12.1	40.0	4.84	92.2
Tails	197.9	0.20	0.40	7.8

Table 3.5 Combined performance

Item	*Weight* t	*Assay %*	*Weight metal* t	*Distribution metal %*
Feed	515.0	2.3	11.66	100.0
Concentrate	29.2	37.1	10.83	92.9
Tails	485.8	0.17	0.83	7.1

۵

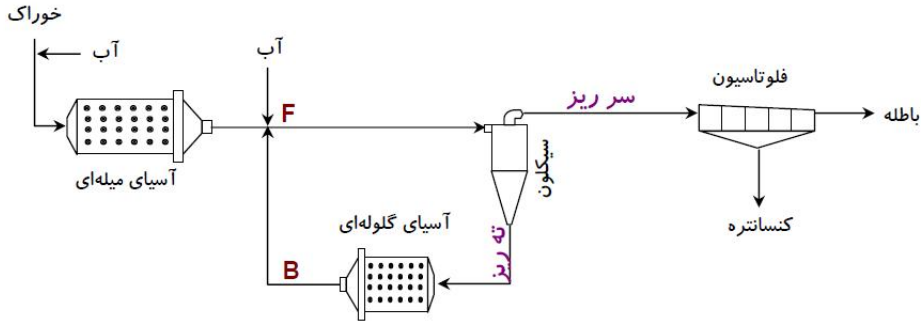
ارزیابی واقعی و افت فلز

اگر مقدار دقیق وزن کنسانتره دو شیفت ۲۸/۸ تن باشد، تراز متالورژیکی را تشکیل دهید.

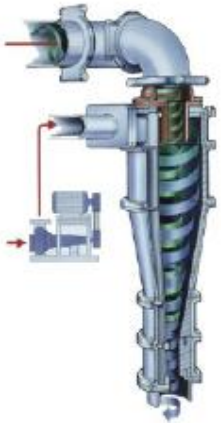
Item	*Weight* t	*Assay %*	*Weight metal* t	*Distribution metal %*
Feed	515.0	2.3	11.66	100.0
Concentrate	28.8	37.1	10.68	91.6
Uncounted loss	–	–	0.15	1.3
Tails	486.2	0.17	0.83	7.1

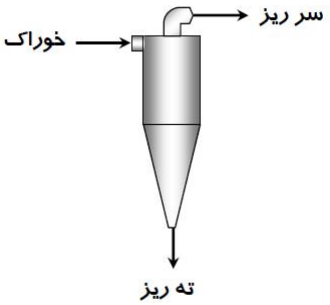
استفاده از آنالیز ابعادی در موازنه جرم

مثال ۲: آسیای میله ای با دبی ۲۰ t/h جامد خشک (دانسیته ۲۹۰۰ kg/m3) خوراک دهی می شود خوراک سیکلون شامل ۳۵ % جامد بر حسب وزن است و نتایج آنالیز دانه بندی نشان داد که درصد ذرات بالای ۲۵۰ µm بر روی خروجی آسیای میله ای، خروجی آسیای گلوله ای و خوراک سیکلون به ترتیب ۲۶/۹٪، ٤/۹٪ و ۱۳/۸٪ است. نرخ دبی حجمی خوراک به سیکلون را محاسبه نمایید.



استفاده از نسبتهای رقت در موازنه جرم





موازنه جرم سیکلون

F: دبی جرمی جامد خوراک (t/h)
V: دبی جرمی جامد سرریز (t/h)
U: دبی جرمی جامد ته ریز (t/h)

f: درصد جامد خوراک
v: درصد جامد سرریز
u: درصد جامد ته ریز

f‘: نسبت رقت خوراک
v‘: نسبت رقت سرریز
u‘: نسبت رقت ته ریز

$$F = U + V$$

$$f' = \frac{100 - f}{f}$$

$$Ff' = Uu' + Vv'$$

$$v' = \frac{100 - v}{v}$$

$$U/F = (f' - v')/(u' - v')$$

$$u' = \frac{100 - u}{u}$$

مثال:

یک سیکلون با نرخ ۲۰ t/h جامد خشک خوراک دهی می شود. خوراک سیکلون شامل ۳۰%، ته ریز ۵۰% و سرریز ۱۵ % جامد بر حسب وزن می باشد. تناژ جامد در ته ریز را در هر ساعت محاسبه کنید.

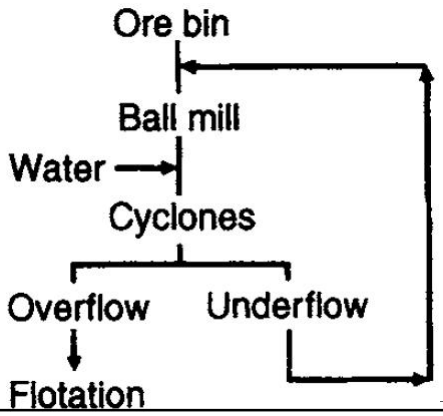
مثال:

یک هیدروسیکلون آزمایشگاهی با یک اسلاری کوارتز (دانسیته جامد kg/m3 ۲۶۵۰) با دانسیته پالپ kg/m3 ۱۱۳۰ خوراک دهی می شود. دانسیته پالپ ته ریز و سرریز به ترتیب kg/m3 ۱۲۸۰ و kg/m3 ۱۰۴۰ است. یک نمونه ۲ لیتری از ته ریز در مدت زمان ۳/۱ ثانیه گرفته شد. دبی جرمی خوراک به سیکلون را محاسبه کنید.

مثال:

در فلوشیت زیر که عملیات خردایش مدار بسته را نشان می دهد، سرریز سیکلون با یک فلومتر مغناطیسی و دانسیته سنج هسته ای مجهز شده و جرم جامد خشک خوراک دهی شده به فلوتاسیون ۲۵ t/h است. خوراک از مخزن کانه خرد شده ۵% رطوبت دارد. درصد جامد خوراک، ته ریز و سرریز سیکلون به ترتیب ۳۳%، ۶۵% و ۱۵% است.

بار در گردش مدار و مقدار آب مورد نیاز برای رقیق کردن خروجی آسیای گلوله ای را محاسبه کنید.

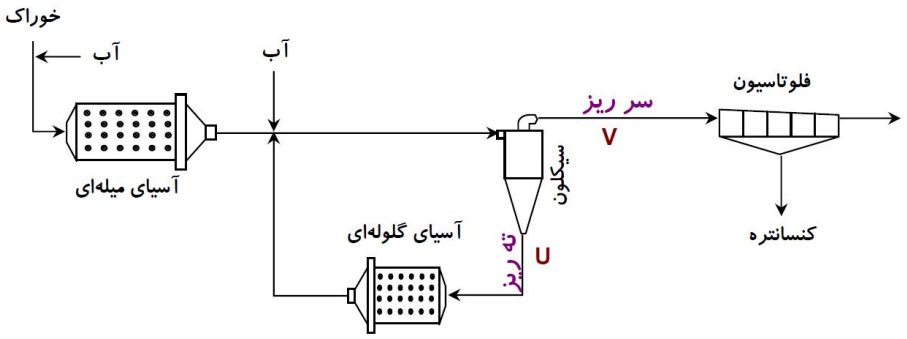


مثال:

بار در گردش، مقدار آب اضافه شده به آسیای میله ای و خوراک سیکلون را در مدار مثال قبلی محاسبه کنید.

درصد جامد خوراک: ٤٨%
درصد جامد سرریز: ٣١%
درصد جامد ته ریز: ٧٤%

خوراک آسیای میله ای: ٥٥ تن بر ساعت
خروجی آسیای میله ای: ٦٢% جامد



منبع این جلسه:

صفحات ٦٤ تا ٧١ کتاب Wills

دانشگاه صنعتی اصفهان
دانشکده مهندسی معدن

فرآوری مواد معدنی

جلسه پنجم

موازنه جرم (بخش دوم)

مدرس:
علی احمدی

Limitations of the two-product formula
محدودیتهای فرمول دو محصولی

-پایداری سیستم

حساسیت معادله بازیابی (Sensitivity of the recovery equation)

$$R = \frac{c(f-t)}{f(c-t)} \times 100 = \frac{\frac{c}{f}}{\frac{c-t}{f-t}} \times 100$$

محاسبه خطای بازیابی

(واریانس: V) = (انحراف معیار: S)^2 = (خطای اندازه‌گیری)^2

$$R = \frac{c(f-t)}{f(c-t)} \times 100$$

$$V_{F(x)} = \sum_i \left(\frac{\partial F}{\partial x_i}\right)^2 V_{x_i}$$

$$V_R = \left(\frac{\partial R}{\partial f}\right)^2 V_f + \left(\frac{\partial R}{\partial c}\right)^2 V_c + \left(\frac{\partial R}{\partial t}\right)^2 V_t$$

$$\frac{\partial R}{\partial f} = \frac{cf(c-t) - (c-t)\times c(f-t)}{f^2(c-t)^2} \times 100 = \frac{ct}{f^2(c-t)} \times 100$$

$$\frac{\partial R}{\partial c} = -\frac{t(f-t)}{f(c-t)^2} \times 100$$

$$\frac{\partial R}{\partial t} = -\frac{c(c-f)}{f(c-t)^2} \times 100$$

$$V_R = \frac{(100)^2}{f^2(c-t)^2}\left(\frac{c^2t^2}{f^2}V_f + \frac{(f-t)^2t^2}{(c-t)^2}V_c + \frac{c^2(c-f)^2}{(c-t)^2}V_t\right)$$

مثال:

اگر در یک کارخانه تغلیظ

الف) عیارهای خوراک، کنسانتره و باطله با انحراف معیار نسبی ۵% به ترتیب ۲%، ۴۰% و ۰/۳% باشند مقدار خطا در بازیابی محاسباتی را بدست آورید.

ب) مقدار خطا را هنگامی که عیارهای خوراک، کنسانتره و باطله به ترتیب ۲%، ۲/۲% و ۱/۳% باشند محاسبه کنید (انحراف معیار نسبی ۵%).

Sensitivity of the mass equation حساسیت معادله جرم

$$C = \frac{f-t}{c-t}\times 100$$

$$V_C = \left(\frac{\partial C}{\partial f}\right)^2 \times V_f + \left(\frac{\partial C}{\partial c}\right)^2 \times V_c + \left(\frac{\partial C}{\partial t}\right)^2 \times V_t$$

$$\frac{\partial C}{\partial f} = \frac{(c-t)}{(c-t)^2}\times 100 = \frac{100}{c-t}$$

$$\frac{\partial C}{\partial c} = -\frac{f-t}{(c-t)^2}\times 100$$

$$\frac{\partial C}{\partial t} = -\frac{c-f}{(c-t)^2}\times 100$$

$$V_C = \left(\frac{100}{c-t}\right)^2 V_f + 100^2\left(\frac{f-t}{(c-t)^2}\right)^2 V_c + 100^2\left(\frac{c-f}{(c-t)^2}\right)^2 V_t$$

مثال:

از یک واحد تغلیظ (اسپیرال) در یک مدار خردایش نمونه برداری شد و عیارهای قلع در خوراک و محصولات به صورت زیر هستند.

Feed	$0.92\% \pm 0.02\%$ Sn
Concentrate	$0.99\% \pm 0.02\%$ Sn
Tailings	$0.69\% \pm 0.02\%$ Sn

دانسیته پالپ ها نیز اندازه گیری شدند و نسبتهای آب-جامد به صورت زیر هستند.

Feed	4.87 ± 0.05
Concentrate	1.77 ± 0.05
Tailings	15.73 ± 0.05

با استفاده از آنالیز حساسیت، درصد خوراک منتقل شده به کنسانتره و میزان عدم قطعیت آن را محاسبه کنید. کدام جزء باید در محاسبات روزانه استفاده شود.

جواب:

بیشینه کردن صحت محاسبات بازیابی از فرمول دو محصولی
Maximising the accuracy of two-product recovery computations

معادله بازیابی حساسیت زیادی به صحت مقادیر جزء و درجه جدایش بستگی دارد.

که در آن:

$$C = 100\,\frac{f-t}{c-t} \qquad R = C\,\frac{c}{f}$$

مقدار C بیانگر درصدی از وزن کلی خوراک که به کنسانتره منتقل می شود است. این مقدار را می توان با استفاده از اجزای دیگری (عیار یا آنالیز سرندی) غیر از جزیی که باید بازیابی آن تعیین شود، محاسبه کرد. برای مثال در یک واحد فلوتاسیون کانه طلا-مس، مقدار C را می توان از عیارهای خوراک، کنسانتره و باطله مس محاسبه کرد و با استفاده از آن بازیابی طلا را محاسبه نمود.

$$M = 100\,\frac{a-d}{b-d} \qquad R = M\,\frac{c}{f}$$

واریانس M:

$$V_M = \frac{100^2}{(b-d)^2}\left[V_a + \left(\frac{a-d}{b-d}\right)^2 V_b + \left(\frac{b-a}{b-d}\right)^2 V_d\right]$$

که در آن Va، Vb و Vd واریانس جزئیهای a، b و d است. اگر تعدادی از اجزا (مانند آنالیز ابعادی کامل) موجود باشد. اطلاعات جزیی که کمترین مقدار انحراف معیار نسبی (RSD) دارد در محاسبات استفاده می شود.

$$\mathrm{RSD}(M) = V_M^{1/2}/M$$

بیشینه کردن صحت محاسبات بازیابی از فرمول دو محصولی (ادامه)

$$R = 100\frac{c(a-d)}{f(b-d)} = M\frac{c}{f}$$

$$V_R = \left(\frac{\partial R}{\partial M}\right)^2 V_M + \left(\frac{\partial R}{\partial c}\right)^2 V_c + \left(\frac{\partial R}{\partial f}\right)^2 V_f$$

$$V_R = \left(\frac{c}{f}\right)^2 V_M + \left(\frac{M}{f}\right)^2 V_c + \left(\frac{Mc}{f^2}\right)^2 V_f$$

$$V_R = \frac{100^2 c^2}{(b-d)^2 f^2}\left[V_a + \left(\frac{a-d}{b-d}\right)^2 V_b + \left(\frac{b-a}{b-d}\right)^2 V_d + \left(\frac{a-d}{c}\right)^2 V_c + \left(\frac{a-d}{f}\right)^2 V_f\right]$$

مثال:

بازیابی قلع به کنسانتره اسپیرال محاسبه شده در مثال قبلی (اسلاید ۶) را محاسبه کنید. نشان دهید که چگونه صحت محاسبات بازیابی با استفاده از نسبت آب-جامد به عنوان جزء کسر جرمی بهبود می یابد.

منبع این جلسه:
از Limitations of the two-product formula **در صفحه ۷۱ تا**
Introduction to mass balances on complex circuits **در صفحه ۷۵**

دانشگاه صنعتی اصفهان
دانشکده مهندسی معدن

فرآوری مواد معدنی

جلسه ششم

آنالیز ابعادی ذرات
Particle size analysis

مدرس:
علی احمدی

اهداف آنالیز ابعادی ذرات

- تعیین کیفیت و کنترل خردایش
- تعیین درجه آزادی کانی با ارزش از بی ارزش در اندازه ابعادی های مختلف
- در مرحله جدایش آنالیز اندازه محصولات برای تعیین اندازه بهینه خوراک فرآیند برای کارآیی بیشینه و تعیین دامنه اندازه ای که افت ها در کارخانه رخ می دهند استفاده می شود.

نکات:

✓ روشهای آنالیز ابعادی باید صحیح و قابل اعتماد باشند.

✓تغییرات مهم در عملیات کارخانه ممکن است که بر مبنای نتایج آزمایشگاهی باشند.

✓ کارکرد اصلی آنالیز ابعادی دقیق، بدست آوردن داده های کمی درباره اندازه و توزیع اندازه ذرات در مواد است.

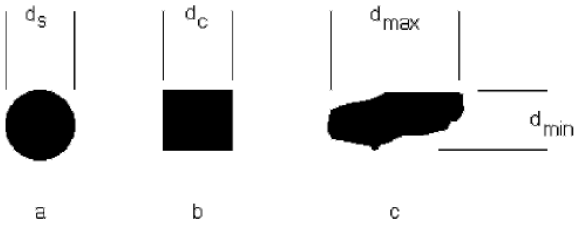
قطر معادل

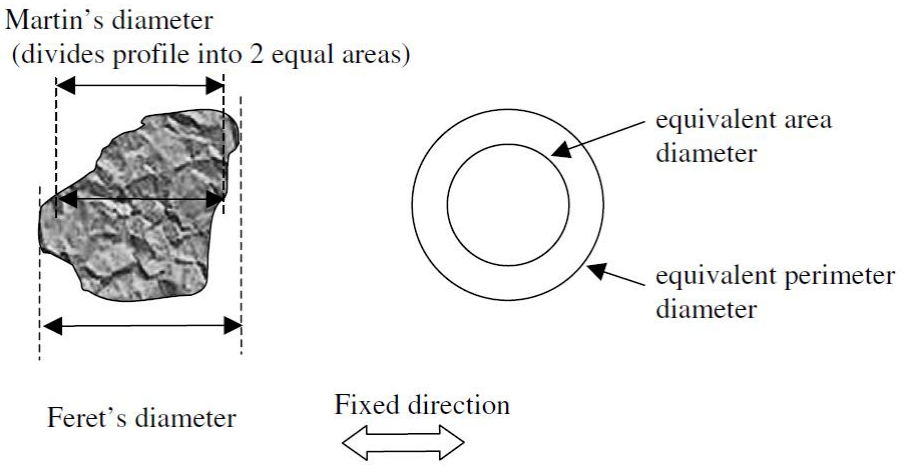
به قطر کره ای که رفتار آن شبیه به یک ذره ای که هنگامی که در سیال قرار می گیرد است گفته می شود.

قطر معادل به روش اندازه گیری بستگی دارد.

روشهای عمده تعیین قطر معادل

روشهای رسوبی (قطر استوکی)
سرند کردن (قطر روزنه سرند)
میکروسکوپی (قطر مساحت در معرض دید)



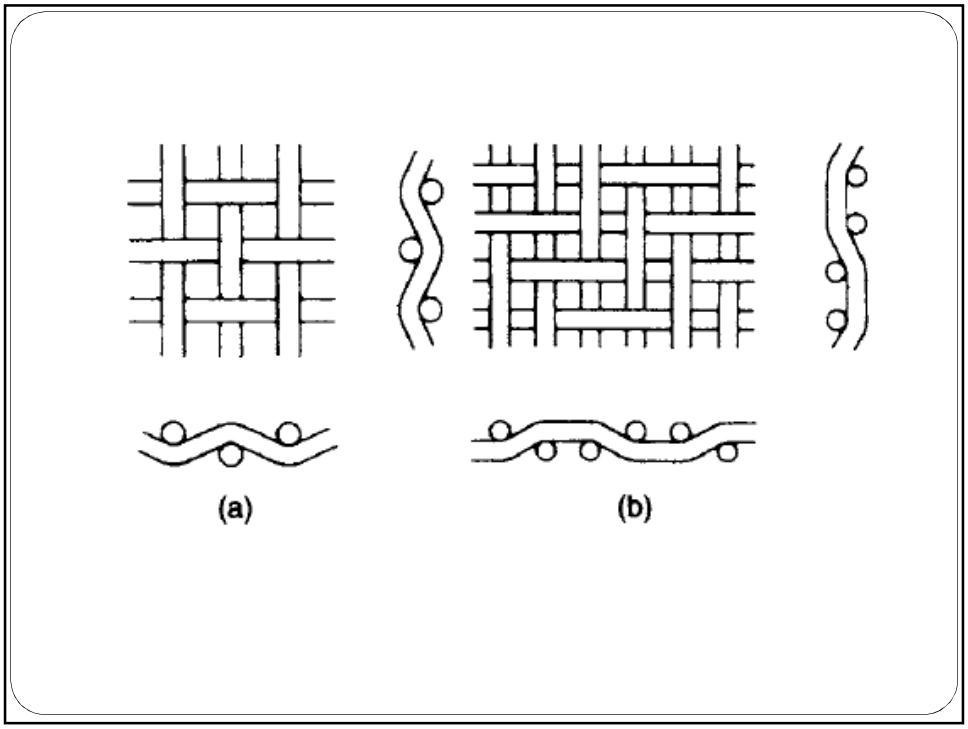


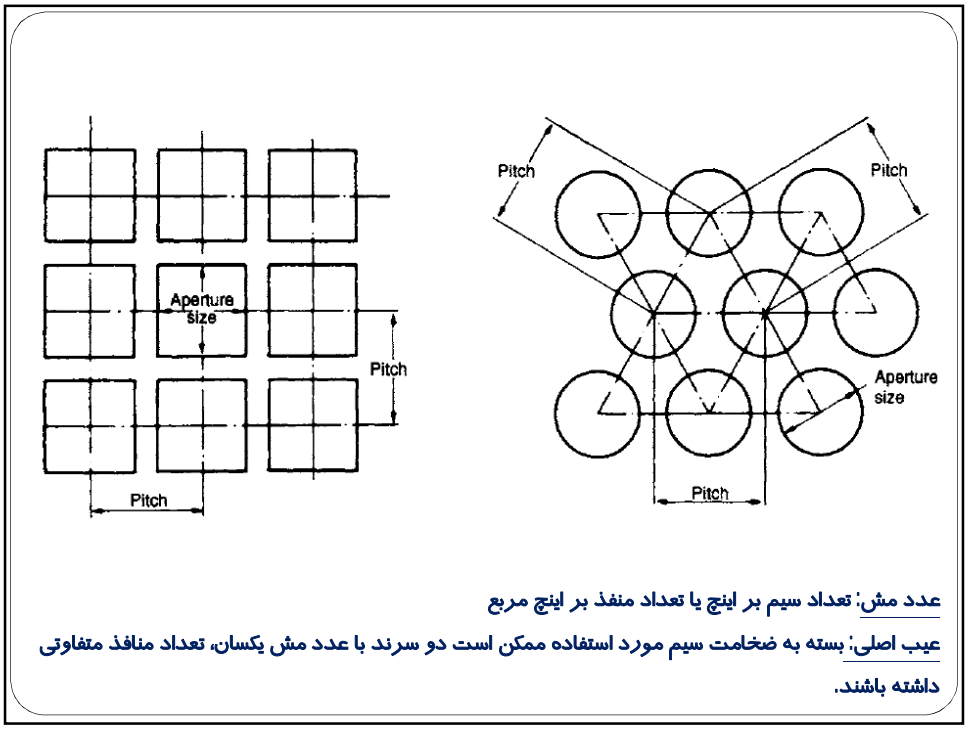
روشهای تعیین اندازه ذرات

Method	*Wet or dry*	*Fractionated sample?*	*Approx. useful size range* (microns)*
Test sieving	Both	Yes	5–100,000
Laser diffraction	Both	No	0.1–2,000
Optical microscopy	Dry	No	0.2–50
Electron microscopy	Dry	No	0.005–100
Elutriation (cyclosizer)	Wet	Yes	5–45
Sedimentation (gravity)	Wet	Yes	1–40
Sedimentation (centrifuge)	Wet	Yes	0.05–5

آنالیز سرندی

آنالیز سرندی یکی از قدیمی ترین روشهای آنالیز ابعادی است که با عبور وزن مشخصی از مواد از سرندهای به طور متوالی ریزتر بدست می آید.



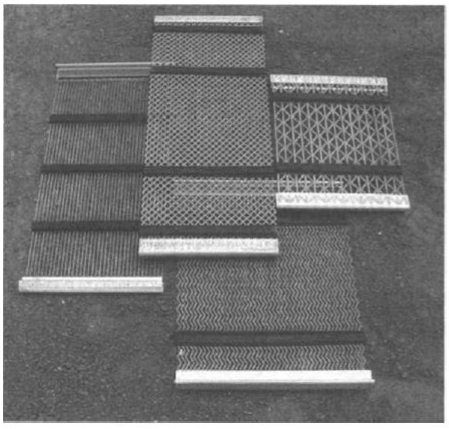


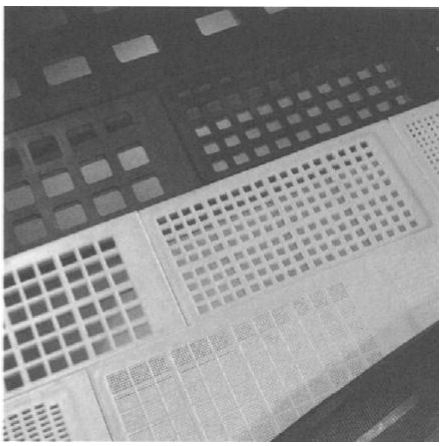
عدد مش: تعداد سیم بر اینچ یا تعداد منفذ بر اینچ مربع

عیب اصلی: بسته به ضخامت سیم مورد استفاده ممکن است دو سرند با عدد مش یکسان، تعداد منافذ متفاوتی داشته باشند.

Table 4.3. Standard coarse screen specifications[a] (Wire diameter and percentage open area for different apertures)

Opening cm	Wire diameters							
	Medium light		Medium		Medium heavy		Heavy	
	Wire dia. cm	Percentage open area	Wire dia. cm	Percentage open area	Wire dia. cm	Percentage open area	Wire dia. cm	Percentage open area
10	1.25	79.0	1.56	74.8	1.875	70.9	2.5	64.0
8.75	1.1	79.0	1.25	76.6	1.56	72.0	1.875	67.8
7.5	1.1	76.0	1.25	73.5	1.56	68.5	1.875	64.0
6.25	0.94	75.6	1.1	72.4	1.25	69.4	1.56	64.0
5.0	0.78	74.8	0.94	71.0	1.1	67.3	1.25	64.0
3.75	0.625	73.4	0.78	68.5	0.94	64.0	1.1	59.9
2.5	0.56	66.6	0.625	64.0	0.78	58.0	0.94	52.9
2.2	0.54	65.3	0.56	63.3	0.62	60.5	0.78	54.3
1.9	0.49	63.4	0.54	61.4	0.62	56.3	0.78	49.8
1.6	0.45	60.7	0.49	58.5	0.56	54.0	0.62	51.0
1.3	0.42	57.1	0.45	54.5	0.49	52.2	0.54	49.8
1.0	0.36	55.6	0.40	51.4	0.41	49.9	0.47	46.4
0.8	0.31	53.1	0.36	48.8	0.38	46.0	0.41	43.6
0.6	0.25	49.6	0.31	45.6	0.35	42.0	0.36	39.6
0.4	0.17	49.1	0.24	42.1	0.30	35.4	0.31	31.6





مراحل مختلف فرآیند سرند کردن:

- حذف ذرات خیلی ریزتر از اندازه سرند (سریع)
- جدایش ذرات نزدیک اندازه منافذ سرند (فرآیند آهسته که به ندرت کامل می شود).

✓ نسبت عرض های منفذ سرندهای متوالی $\sqrt{2}=1.414$

✓ مدرن ترین سری سرندها بر اساس $\sqrt[4]{2}=1.189$ یا $\sqrt[10]{2}=1.259$ هستند که بیشتر برای کارهای تحقیقاتی خاص استفاده می شوند.

✓ به طور کلی، دامنه سرندها باید به گونه ای انتخاب شود که بیش از ۵٪ نمونه روی درشت ترین سرند نماند و از ریزترین سرند عبور نکند.

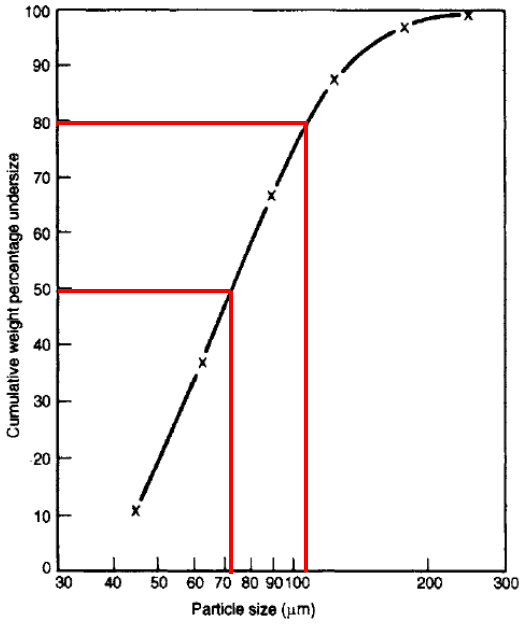
Mesh number	*Nominal aperture size* (μm)	*Mesh number*	*Nominal aperture size* (μm)
3	5600	36	425
3.5	4750	44	355
4	4000	52	300
5	3350	60	250
6	2800	72	212
7	2360	85	180
8	2000	100	150
10	1700	120	125
12	1400	150	106
14	1180	170	90
16	1000	200	75
18	850	240	63
22	710	300	53
25	600	350	45
30	500	400	38

✓ اگر بار خیلی بزرگ باشد، لایه مواد روی سرند به اندازه ای عمیق است که هر ذره شانس ملاقات یک منفذ در مناسبترین موقعیت در یک زمان مشخص را نخواهد داشت. از طرف دیگر نمونه باید به اندازه ای باشد که نمونه شاخص حجم کلی باشد.

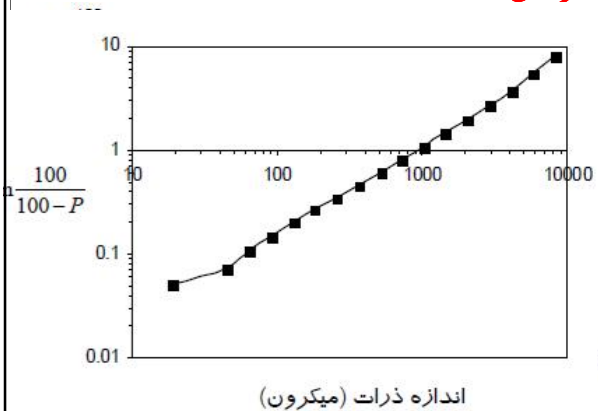
✓ وجود ذرات با اندازه نزدیک به چشمه سرند موجب کور شدگی (blinding) یا مسدود شدن (obstruction) منافذ سرند می شوند و سطح مؤثر محیط سرندکنی را کاهش می دهند. این مشکل در سرندهای با اندازه منفذ خیلی ریز خیلی بیشتر است.

آنالیز سرندی

(1) *Sieve size range* (μm)	(2) *Sieve fractions*	(3)	(4) *Nominal aperture size* (μm)	(5) *Cumulative %*	(6)
	wt (g)	*wt %*		*undersize*	*oversize*
+250	0.02	0.1	250	99.9	0.1
−250 to +180	1.32	2.9	180	97.0	3.0
−180 to +125	4.23	9.5	125	87.5	12.5
−125 to +90	9.44	21.2	90	66.3	33.7
−90 to +63	13.10	29.4	63	36.9	63.1
−63 to +45	11.56	26.0	45	10.9	89.1
−45	4.87	10.9			



روشهای نمایش منحنی آنالیز سرندی

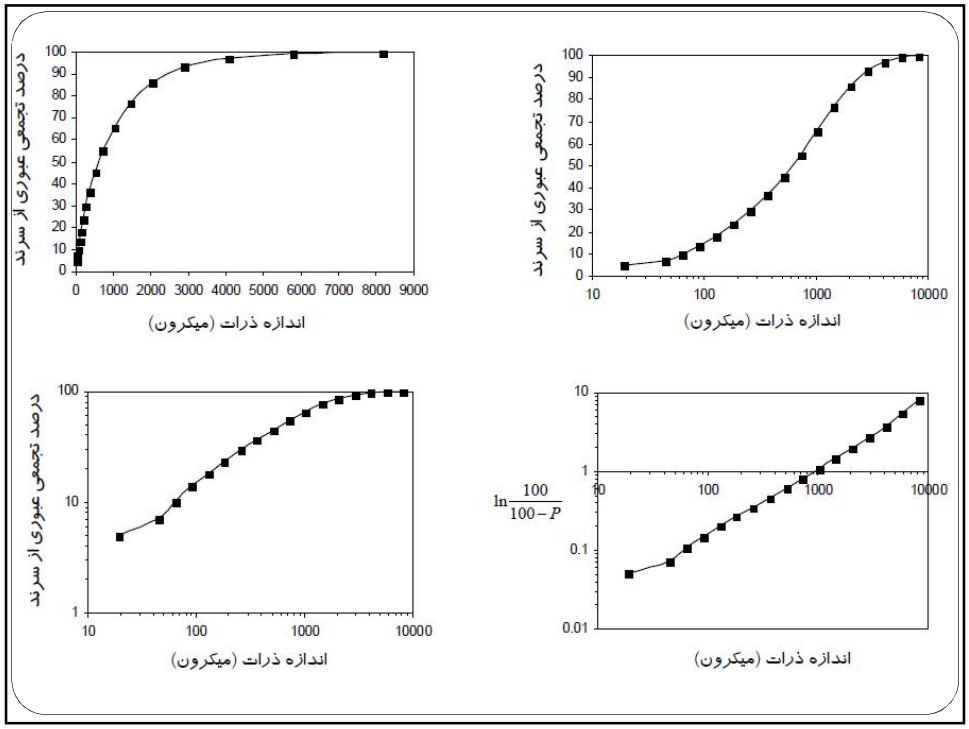


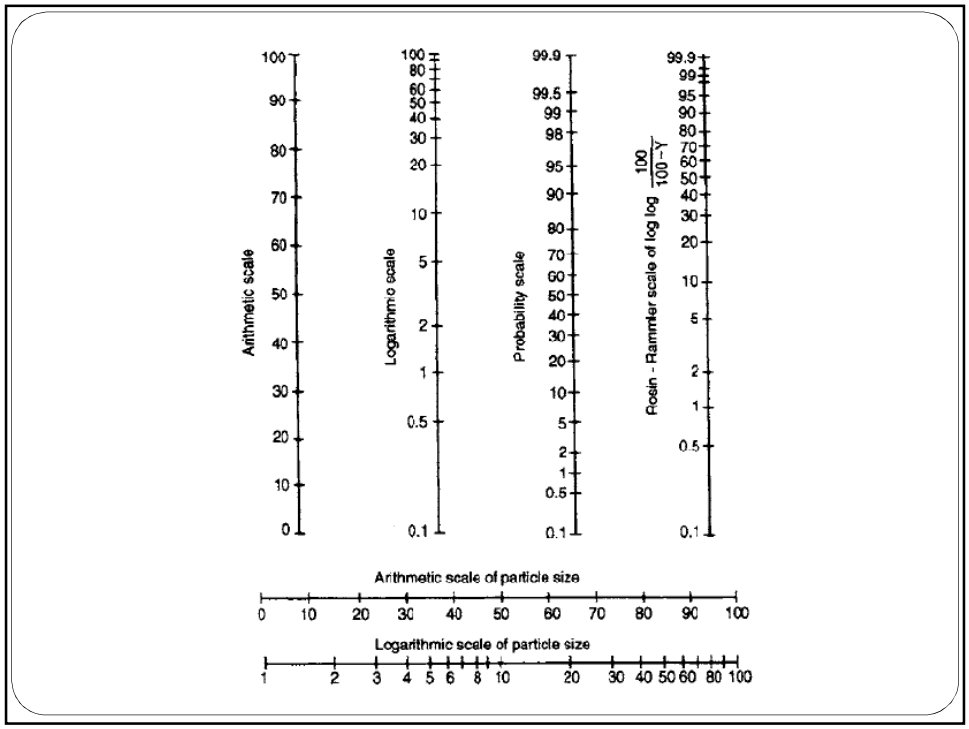
- **خطی**
- **نیمه لگاریتمی**
- **تمام لگاریتمی** (*Gates- Gaudin- Schuhmann*)

$$100 - P = 100\exp(bd^n)$$

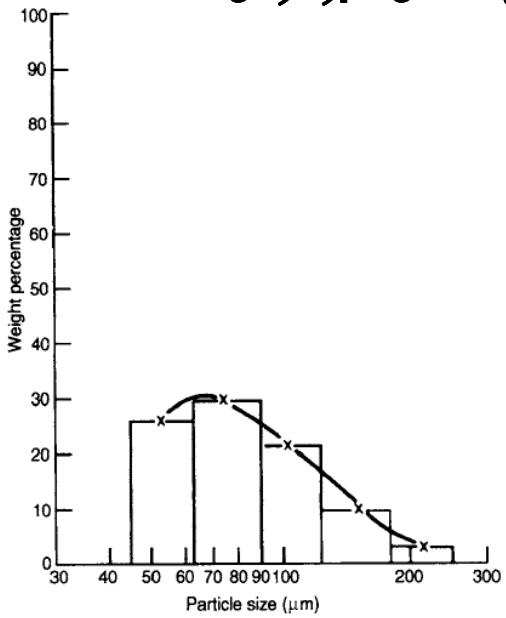
- **رزین – راملر** (*Rosin- Rammler*)

$$\log\left[\ln\frac{100}{100-P}\right] = \log b + n\log d$$


درصد تجمعی عبوری از سرند
اندازه ذرات (میکرون)
درصد تجمعی عبوری از سرند
اندازه ذرات (میکرون)
درصد تجمعی عبوری از سرند
اندازه ذرات (میکرون)
$\ln\frac{100}{100-P}$
اندازه ذرات (میکرون)


Arithmetic scale
Logarithmic scale
Probability scale
Rosin - Rammler scale of log log $\frac{100}{100-Y}$
Arithmetic scale of particle size
Logarithmic scale of particle size

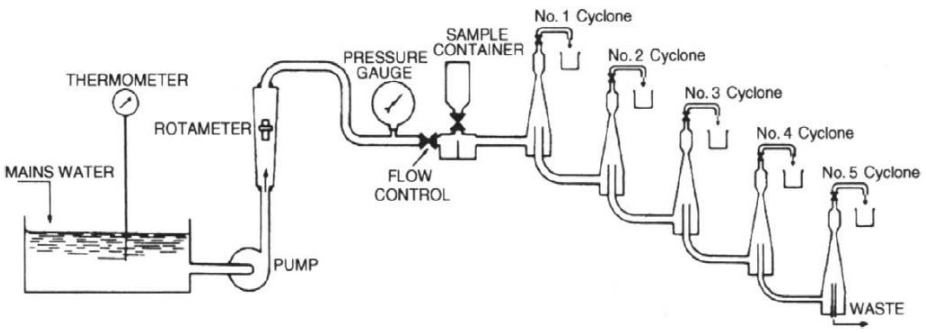
نمایش فراکسیونی داده های آنالیز سرندی



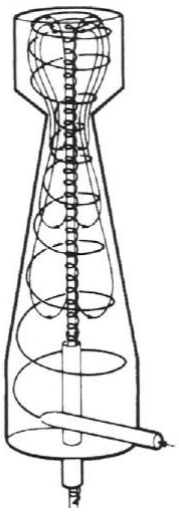
روشهای آنالیز مواد زیر سرندی

- رسوبی (sedomentation): بر مبنای اختلاف سرعت حد سقوط دانه ها
- الوتریاسیون (elutritation): با استفاده از جریان رو به بالای یک سیال
- میکروسکوپی (microscopy)
- پراش لیزر (laser diffration): بر مبنای تفرق اشعه لیزر توسط دانه های جامد

سیکلوسایزر



الگوی جریان در سیکلون سیکلوسایزر

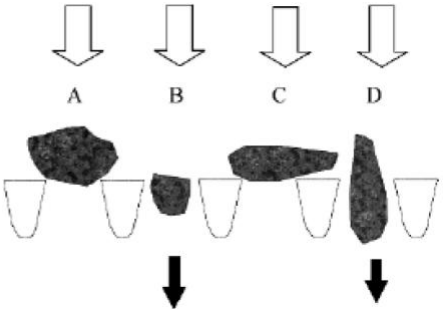


اهداف سرند کردن

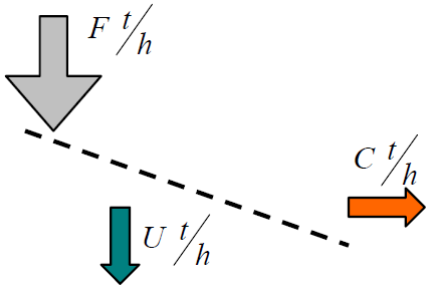
- جلوگیری از پذیرش قطعات بزرگتر از حد سنگ شکن
- جلوگیری از ورود قطعات کوچکتر از گلوگاه سنگ شکن به داخل سنگ شکن
- جلوگیری از ورود بخش دانه درشت مواد از یک مرحله خردایش به مرحله دیگر
- تهیه بار اولیه با دانه بندی محدود
- تهیه محصول نهایی با دانه بندی محدود

فاکتورهای مؤثر در کارآیی عملیات سرندکنی

- دبی مواد ورودی سرند
- تعداد دفعات برخورد ذرات با سطح سرندها
- نحوه حرکت سرند (جهت حرکت، نوع حرکت، دامنه نوسان و فرکانس سرند)
- زاویه برخورد ذرات با سطح سرند
- شکل ذرات
- سطح مؤثر سرند
- روزنه سرند
- رطوبت
- دامنه دانه بندی ذرات ورودی به سرند



بازدهی سرندها



c: کسری از مواد روی سرند که بزرگتر از روزنه سرند است.

f: کسری از مواد خوراک که اندازه آن بزرگتر از روزنه سرند است.

u: کسری از مواد زیر سرند که اندازه آن بزرگتر از روزنه سرند است.

موازنه جرم کلی مواد:

$$F = C + U$$

موازنه جرم مواد درشت‌تر از روزنه سرند:

$$Ff = Cc + Uu$$

موازنه جرم مواد ریزتر از روزنه سرند:

$$F(1-f) = C(1-c) + U(1-u)$$

بنابراین:

$$\frac{C}{F} = \frac{f-u}{c-u} \quad , \quad \frac{U}{F} = \frac{c-f}{c-u}$$

بازیابی مواد درشت‌تر از اندازه روزنه سرند بر روی سرند:

$$\frac{Cc}{Ff} = \frac{c(f-u)}{f(c-u)}$$

بازیابی مواد ریزتر از اندازه روزنه سرند به زیر سرند:

$$\frac{U(1-u)}{F(1-f)} = \frac{(1-u)(c-f)}{(1-f)(c-u)}$$

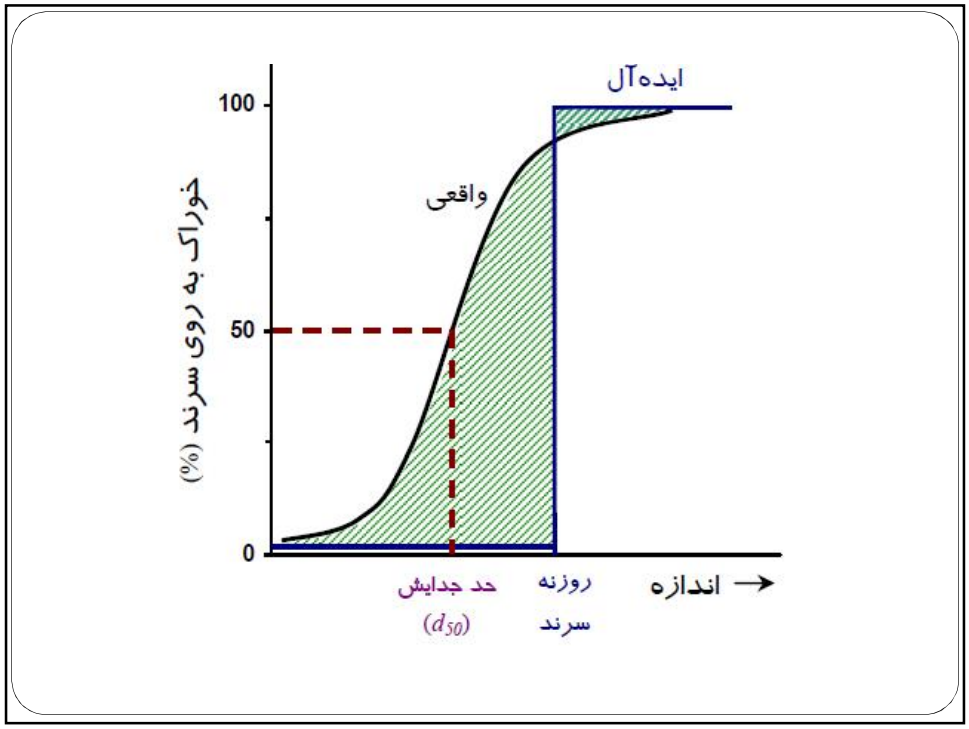
- کارآیی کلی از ضرب دو معادله بالا حاصل می‌شود:

$$E = \frac{c(f-u)(1-u)(c-f)}{f(c-u)^2(1-f)}$$

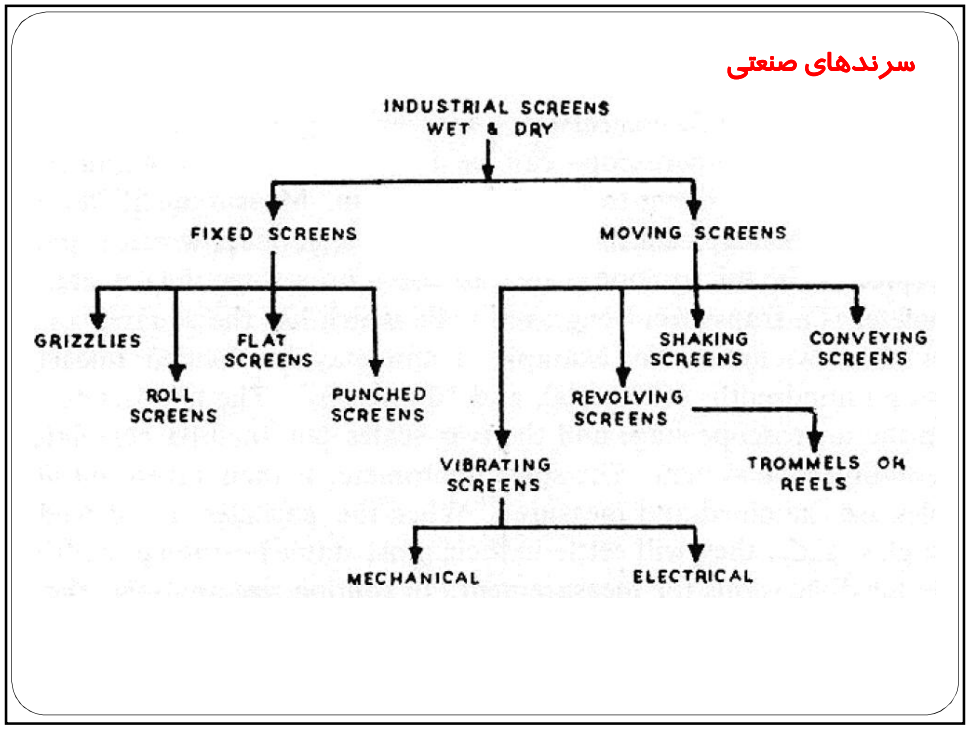
- اگر هیچ روزنه شکسته و یا تغییر شکل یافته وجود نداشته باشد: $u = 0$

درنتیجه فرمول کارآیی کل به شکل زیر خلاصه می‌شود:

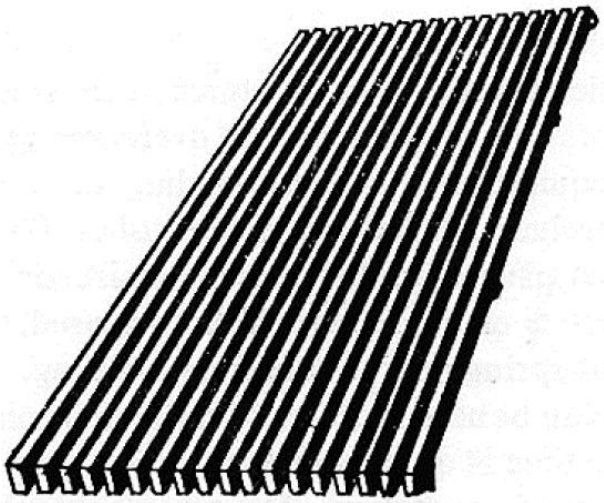
$$E = \frac{c-f}{c(1-f)}$$



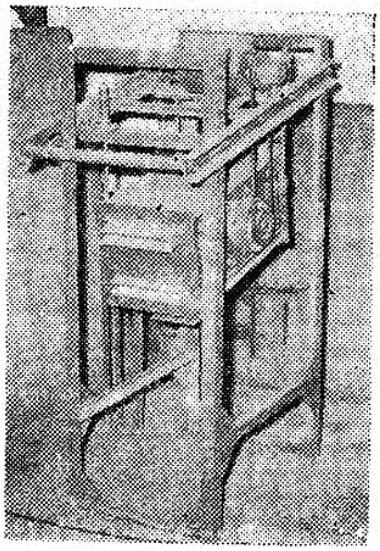
سرندهای صنعتی

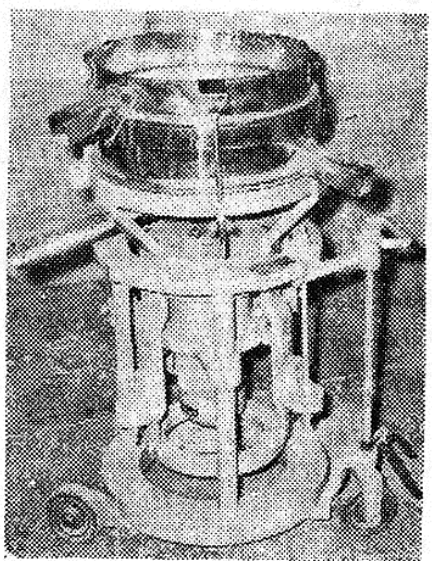


سرند گریزلی

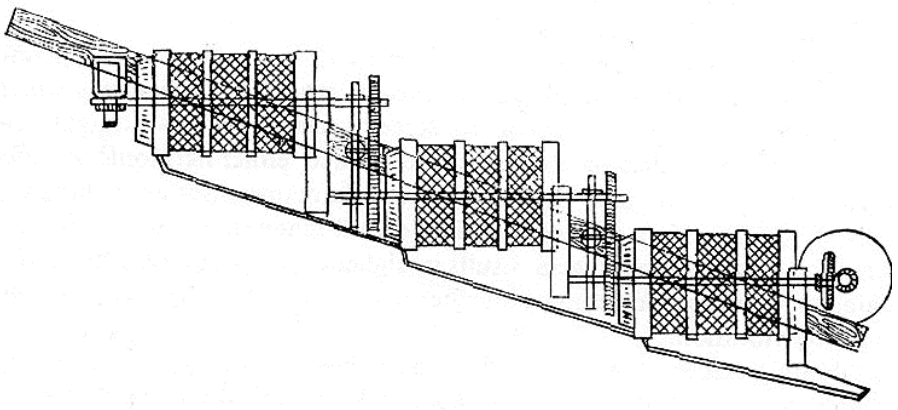


Flat screens



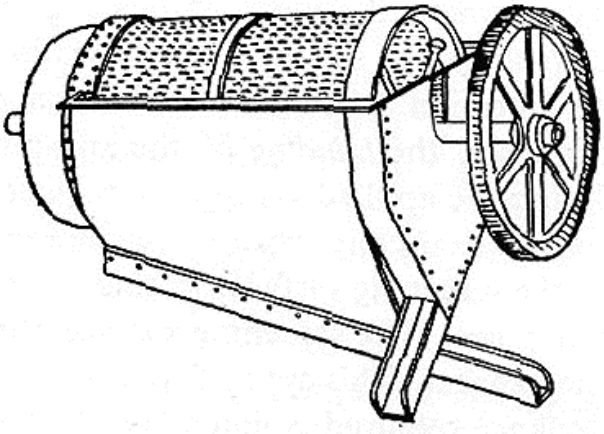


Trommel screens:
(a) cylinders in line, and (b) concentric cylinders.



a

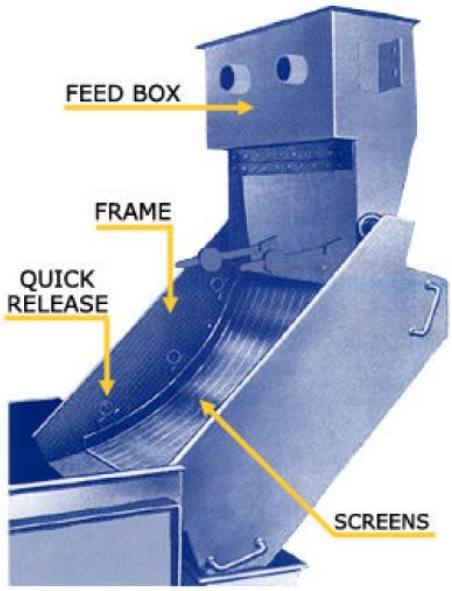
Trommel screens:
(a) cylinders in line, and (b) concentric cylinders.

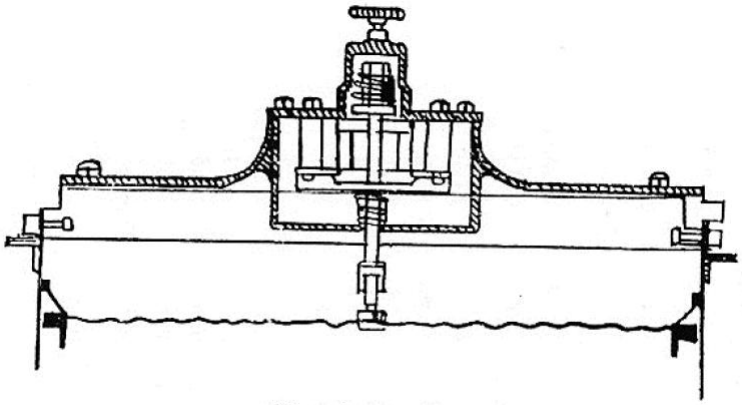


b

سرند لرزان

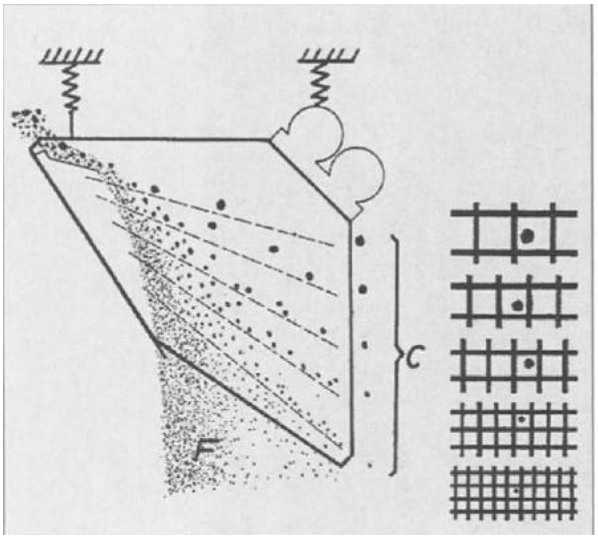
سرند قوسی



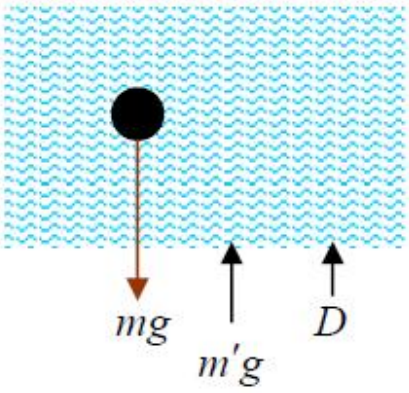


Electrically vibrated screen.

سرند Mogensen



آنالیز ابعاد ذرات به روش ته نشینی



D_F: دانسیته سیال (kg/m^3)

η: وسیکوزیته سیال (Ns/m^2)

V: سرعت حدی (m/s)

d: اندازه قطر ذره (m)

x: سرعت ذره (m/s)

m': وزن آب جابجا شده (kg)

g: شتاب جاذبه (m/s^2)

D_S: دانسیته ذره (kg/m^3)

D: نیروی درگ، مقاومت در مقابل حرکت (N)

$$\text{سرعت حدی} = \frac{dx}{dt} = 0$$

$$\text{حجم} = \frac{m}{D_S}$$

$$mg - m'g - D = \frac{mdx}{dt}$$

$$D = g(m - m') = g(D_S \frac{\pi}{6} d^3 - D_F \frac{\pi}{6} d^3)$$

$$D = \frac{\pi}{6} g d^3 (D_S - D_F)$$

$$D = 3\pi d \eta V$$

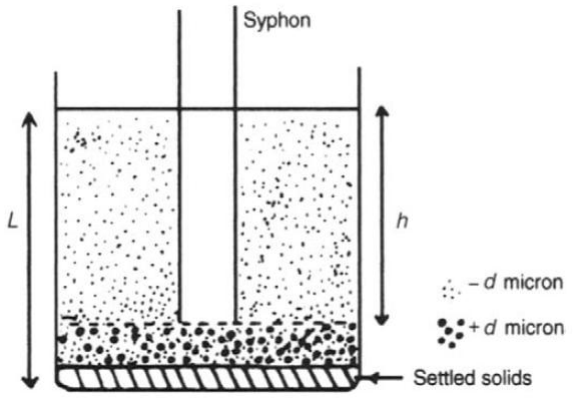
$$3\pi d \eta V = \frac{\pi}{6} g d^3 (D_S - D_F)$$

$$V = \frac{g d^2 (D_S - D_F)}{18\eta}$$

V: سرعت حدی (m/s) — D_S: دانسیته ذره (kg/m^3)

g: شتاب جاذبه (m/s^2) — D_F: دانسیته سیال (kg/m^3)

η: وسیکوزیته سیال (Ns/m^2) — d: اندازه قطر ذره (m)



زمان لازم برای اینکه یک ذره از سطح ب به ته لوله سیفون ته نشین شود.

$$t = h/v$$

برای مثال: برای ذرات ۲۵ میکرون کوارتز با سرعت 0.056 cm/s، ۳/۵ دقیقه طول می کشد که ۱۲ سانتیمتر ذرات عبور کنند و برای ذرات ۵ میکرون با سرعت 0.0022 cm/s، ۱/۵ ساعت طول می کشد که ۱۲ سانتیمتر ذرات عبور کنند.

- **بعد از زمان t ذرات بیرون آورده می شوند.**
- **بعد از زمان t تمام ذرات بزرگتر از d به عمق پایین سطح h سقوط می کنند.**
- **ذراتی با اندازه d>d1 به عمق h1، زیر سطح آب سقوط می کند (h>h1).**

بازدهی حذف ذرات با اندازه d1 به سرریز برابر است با:

$$\frac{h - h_1}{L}$$

از آنجاییکه $t = h/v$ و $v \propto d^2$

$$\frac{h}{d^2} = \frac{h_1}{d_1^2}$$

کارآیی حذف ذرات با اندازه d1:

$$= \frac{h - h(d_1/d)^2}{L} = \frac{h[1-(d_1/d)^2]}{L} = a[1-(d_1/d)^2] = E$$

که در آن $a = h/L$

بازدهی جدا کردن ذرات d1 در مرحله دوم ته نشینی در مخلوط پراکنده شده برابر است با:

$$E + (1-E)E = 2E - E^2 = 1 - [1-E]^2$$

بازدهی جدا کردن ذرات d1 در مرحله n ام ته نشینی برابر است با:

$$= 1 - [1-E]^n = 1 - \{1 - a[1-(d_1/d)^2]\}^n$$

منبع جلسه ششم:
کتاب Wills Mineral Processing Technology صفحه ۹۰ تا ۱۰۷ بخش ٤: Particle size analysis
یا فصول ۵ و ۶ کتاب کانه آرایی دکتر نعمت الهی (صفحه ۱۶۱ تا ۲۳۳)

دانشگاه صنعتی اصفهان
دانشکده مهندسی معدن

فرآوری مواد معدنی

جلسه هفتم

اصول و مکانیسمهای خردایش

مدرس:
علی احمدی

اهداف خردایش

- آزادسازی کانی با ارزش از گانگ یا افزایش درجه آزادی
- افزایش سطح ویژه برای تسریع واکنشهای شیمیایی
- تولید ذرات با اندازه و شکل مورد نیاز

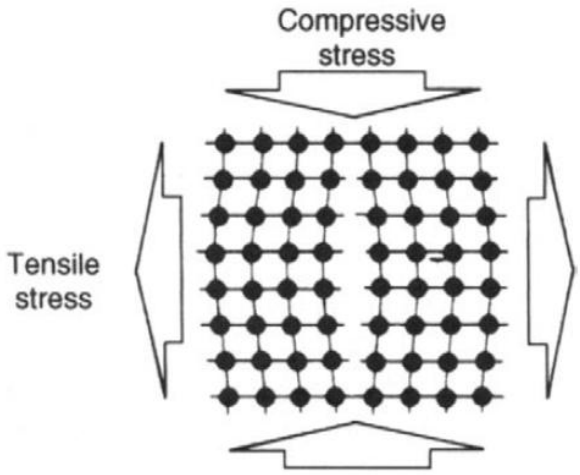
مراحل خردایش

- سنگ شکنی
- آسیا کنی

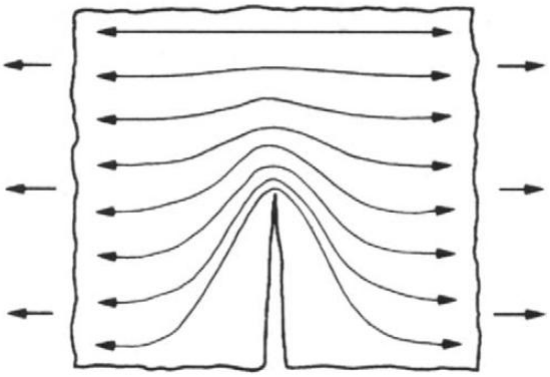
نسبت خردایش (Reduction ratio): نسبت بزرگترین ذره ورودی به بزرگترین ذره خروجی

نسبت خردایش در سنگ شکنی بین ۳ تا ۶ است.

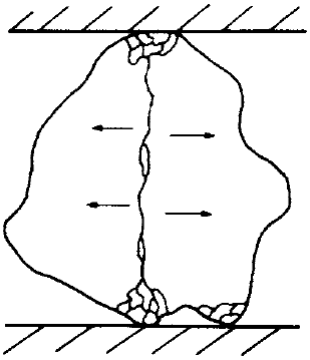
شکست شبکه کریستالی در نتیجه تنشهای کششی و فشاری



تمرکز تنش در نوک یک ترک



- افزایش تنش در نوک ترک متناسب با ریشه دوم طول ترک عمود بر جهت تنش است.
- هنگامی که ترک ایجاد شود بخشی از انرژی ذخیره شده به انرژی سطحی آزاد تبدیل می شود. این سطوح از لحاظ شیمی – فیزیکی خیلی فعالند.



- فشار در ذرات به صورت نقطه ای و یا در سطوح کوچکی انجام می شود.
- توزیع تنش در سنگ به خواص مکانیکی کانیهای موجود در سنگ و وجود ترکها بستگی دارد.

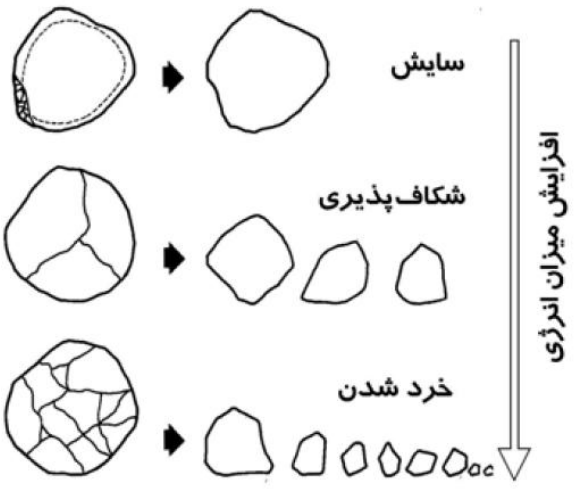
- در تئوری های خردایش فرض بر شکننده بودن مواد است ولی در عمل، کریستا لها می توانند انرژی را بدون شکستن در خود ذخیره کنند و در موقع برداشتن تنش آن را آزاد کنند (رفتار الاستیک).
- انتشار ترک درصورتی که به مرزهای کریستالی برخورد کند متوقف می شود. به همین دلیل سنگ های ریزدانه از سنگ های درشت دانه مقاوم تر هستند.
- با افزایش افزودنیها مانند آب به محیط آسیا و نفوذ آنها درون ترک و شکاف موجود در سنگ، مقاومت پیوند در نوک ترک قبل از متلاشی شدن سنگ کاهش می یابد.

مکانیزمهای شکست

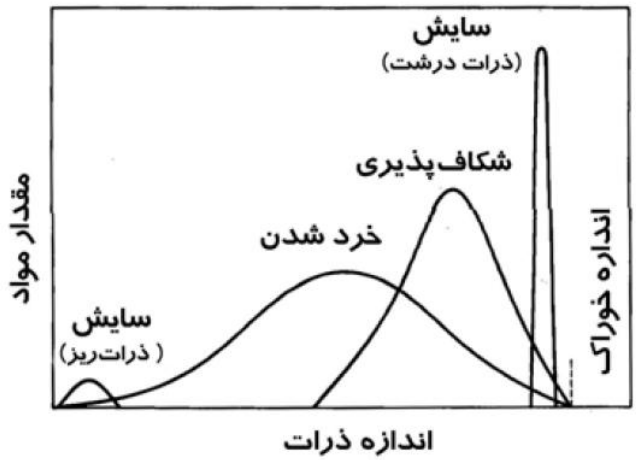
❖ **فشار یا شکاف پذیری** (Cleavage): در اثر بارگذاری نقطه ای بوجود می آید.

❖ **ضربه یا خرد شدن** (Shatter): در اثر سرعت زیاد بارگذاری و بالا بودن تنش بوجود می آید.

❖ **سایش** (Abrasion): در اثر برخورد ذرات به همدیگر فشار نقطه ای روی می دهد که موجب تولید ذرات نر مه می شود.



مکانیزم های مختلف خرد شوندگی و توزیع اندازه ابعاد محصول تولید شده



قوانین خردایش

قانون ریتینگر (Rittinger) ۱۸۶۷

انرژی مصرف شده در کاهش اندازه ذرات متناسب با مساحت سطوح ایجاد شده در اثر خردایش است. سطح ویژه وزن خاصی از ذرات به طور معکوس متناسب با قطر ذرات هستند.

$$E = K\left(\frac{1}{D_2} - \frac{1}{D_1}\right)$$

که در آن

E: انرژی ورودی، D1: قطر ذره اولیه ، D2: قطر ذره نهایی و K یک ثابت است.

کاربرد قانون ریتینگر برای خرد کردن مواد با ابعاد اولیه کوچکتر از ۲ میلیمتر است (در مرحله آسیا کنی)

قانون کیک (Kick)

انرژی لازم متناسب با کاهش حجم ذرات مورد نظر است.

$$E=K \log (F/P)$$

که در آن: F: ابعاد ذرات بار اولیه و P: ابعاد ذرات محصول است.
کاربرد این قانون در مرحله سنگ شکنی برای ذرات بزرگتر از ۱ سانتیمتراست.

قانون باند

- کار ورودی متناسب با طول تر کهای جدید است.

مساحت نسبت عکس با قطر دارد و فرض می شود که طول ترک متناسب با یک وجه سطح باشد. بنابراین نسبت عکس با جذر قطر دارد.

$$W = \frac{10W_i}{\sqrt{P}} - \frac{10W_i}{\sqrt{F}}$$

F: دهانه سرندی که ۸۰ % خوراک از آن می گذرد (میکرون).
P: دهانه سرندی که که ۸۰ % محصول از آن می گذرد (میکرون).
Wi: اندیس کار، نشان دهنده مقاومت مواد در مقابل سنگ شکنی و نرم کردن می باشد (کیلو وات ساعت بر تن کوچک).
W:کار ورودی (کیلو وات ساعت بر تن کوچک).
اندیس کار معادل انرژی لازم برای خرد کردن یک تن کوچک (۹۰۷ kg) از جسم با ابعاد تئوری بینهایت تا ابعادی که ۸۰% آن از سرند ۱۰۰ میکرون عبور می کند.

با استفاده از اندیس کار باند می توان انرژی لازم برای خردایش کانه ها را تخمین زد.

Material	*Work index*	*Material*	*Work index*
Barite	4.73	Fluorspar	8.91
Bauxite	8.78	Granite	15.13
Coal	13.00	Graphite	43.56
Dolomite	11.27	Limestone	12.74
Emery	56.70	Quartzite	9.58
Ferro-silicon	10.01	Quartz	13.57

نکته:

قابلیت خردایش با سختی متفاوت است. برای مثال کوارتز با سختی ۷ دارای اندیس کار ۱۳/۵۷ kWh/st است در حالیکه گرافیت با سختی ۲-۱ دارای اندیس کار ۴۳/۵۶ kWh/st است.

هر چه اندیس کار بدست آمده از دستگاهی کمتر باشد، نشان دهنده کارآیی بالای دستگاه می باشد.

مسئله:

اگر ۸۰% عبوری ذرات بار اولیه به یک آسیای گلوله ای ۳۰ میلیمتر باشد و نسبت خردایش ۲۳ باشد، انرژی مصرفی بر حسب kWh/t حقدر است (۱۳/۲ kWh/st)؟

قانون کلی خردایش (ارائه شده توسط Charls و Schumann)

$$d(E) = -K\frac{d(d)}{d^n}$$

قانون کیک

$$if \quad n=1 \quad d(E) = -K\frac{d(d)}{d} \quad \Rightarrow E = -K[Ln(d)]_{d_2}^{d_1} \quad \Rightarrow E = K\left[Ln\frac{d_2}{d_1}\right]$$

قانون باند

$$if \quad n=1.5 \quad d(E) = -K\frac{d(d)}{d^{3/2}} \quad \Rightarrow E = -K\left[\frac{1}{d^{1/2}}\right]_{d_2}^{d_1} \quad \Rightarrow E = K\left[\frac{1}{\sqrt{d_2}} - \frac{1}{\sqrt{d_1}}\right]$$

قانون ریتینگر

$$if \quad n=2 \quad d(E) = -K\frac{d(d)}{d^2} \quad \Rightarrow E = K\left[-\frac{1}{d}\right]_{d_2}^{d_1} \Rightarrow E = K\left[\frac{1}{d_2} - \frac{1}{d_1}\right]$$

محاسبه اندیس کار به روش مقایسه ای

کانه مرجعی با اندیس کار معلوم برای مدت زمان معینی خرد می شود. یک تن از کانه مورد آزمایش برای همان زمان خرد می شود.

$$W_r = W_t = W_{ir}\left[\frac{10}{\sqrt{P_r}} - \frac{10}{\sqrt{F_r}}\right] = W_{it}\left[\frac{10}{\sqrt{P_t}} - \frac{10}{\sqrt{F_t}}\right]$$

r: اندیس کانه مرجع
t: اندیس کانه مورد آزمایش

$$W_{it} = W_{ir}\left[\frac{10}{\sqrt{P_r}} - \frac{10}{\sqrt{F_r}}\right] \Big/ \left[\frac{10}{\sqrt{P_t}} - \frac{10}{\sqrt{F_t}}\right]$$

مسئله:

با استفاده از اطلاعات زیر اندیس کار کانه مورد آزمایش را بدست آورید:

$W_{ir} = ۱۴ (kWh/t)$ $F_t(80) = ۰/۰۶۸\ in$ $F_r(80) = ۰/۰۷\ in$

$P_t(80) = ۰/۰۲۱۳\ in$ $P_r(80) = ۰/۰۱۵۹\ in$

اندیس کار عملیاتی

با توجه به داده های زیر، اندیس کار عملیاتی را محاسبه کنید.

اندازه F_{80}: $۱۳۰۰ \mu m$ خوراک مسیر: $۱۲۵ t/h$

اندازه P_{80}: $۸۱ \mu m$ توان مصرفی: $۱۰۶۰ kW$

منبع جلسه ششم:
کتاب Wills Mineral Processing Technology صفحه ۱۰۸ تا ۱۱٤ بخش ۵: Comminution
یا فصل ۲ کتاب کانه آرایی دکتر نعمت الهی (صفحه ۱۸ تا ٤۲)
و یا فصل ۲ کتاب خردایش و طبقه بندی دکتر رضایی (صفحه ٤۲ تا ۵۷)

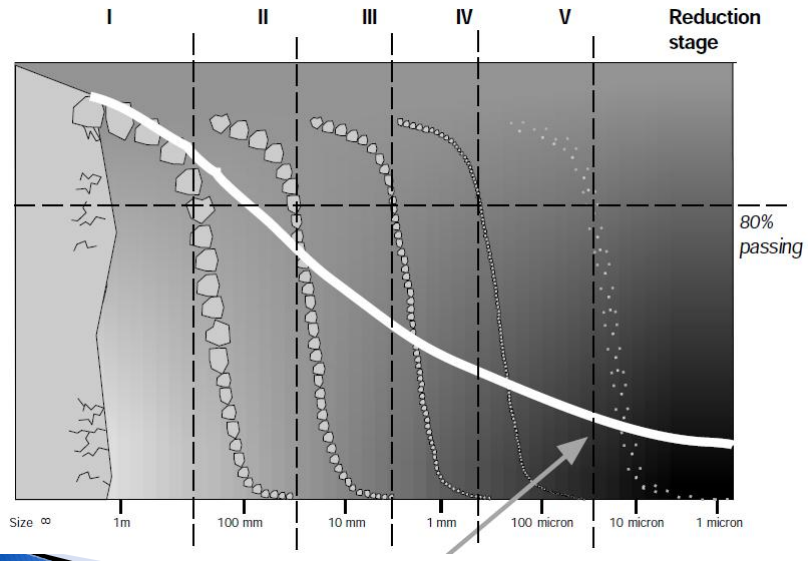
دانشگاه صنعتی اصفهان
دانشکده مهندسی معدن

فرآوری مواد معدنی

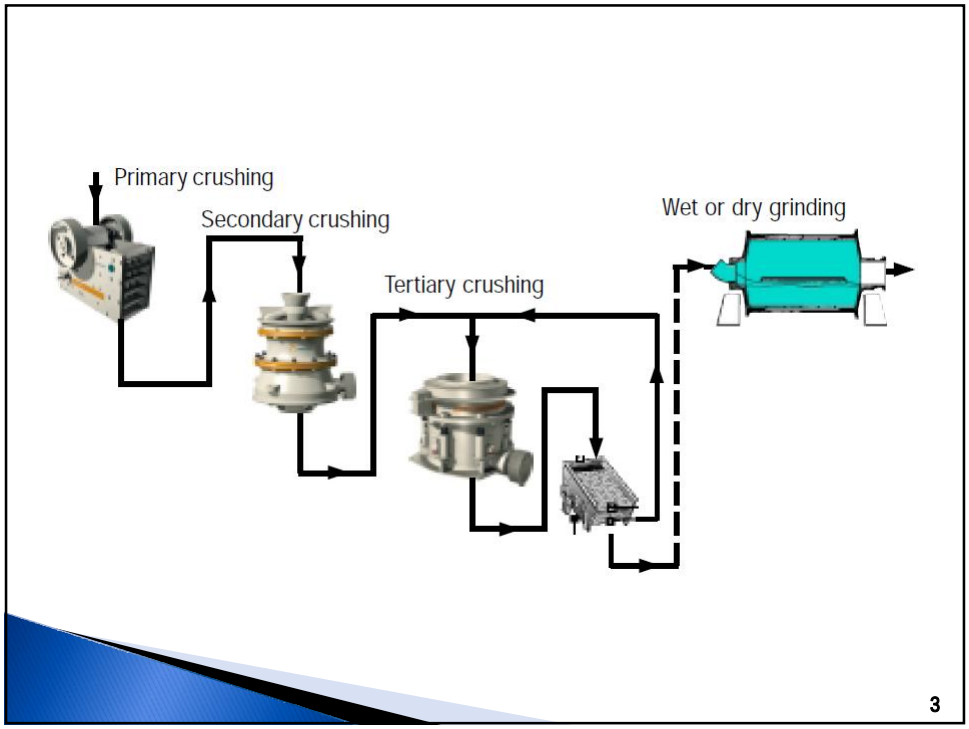
جلسه هشتم

سنگ شکنها

مدرس:
علی احمدی



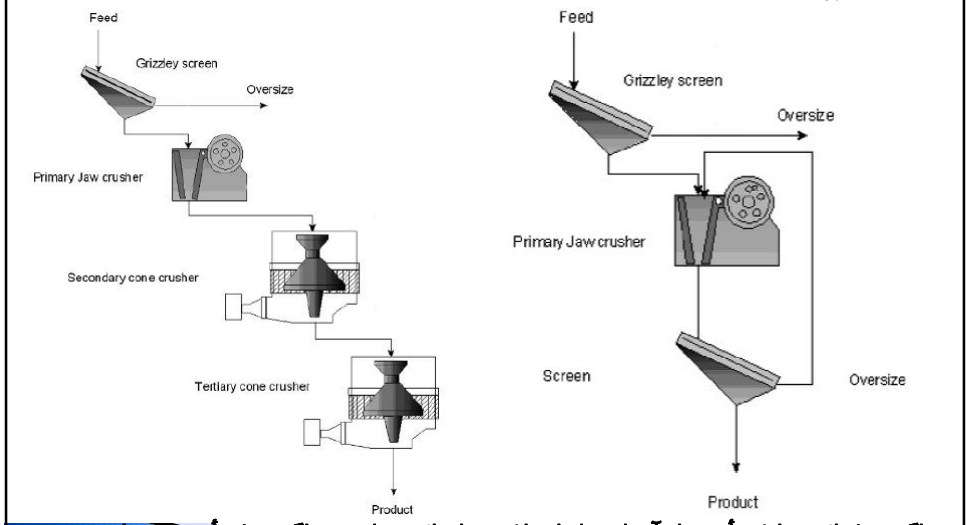
2



نوع مدار سنگ شکنی

مدار باز

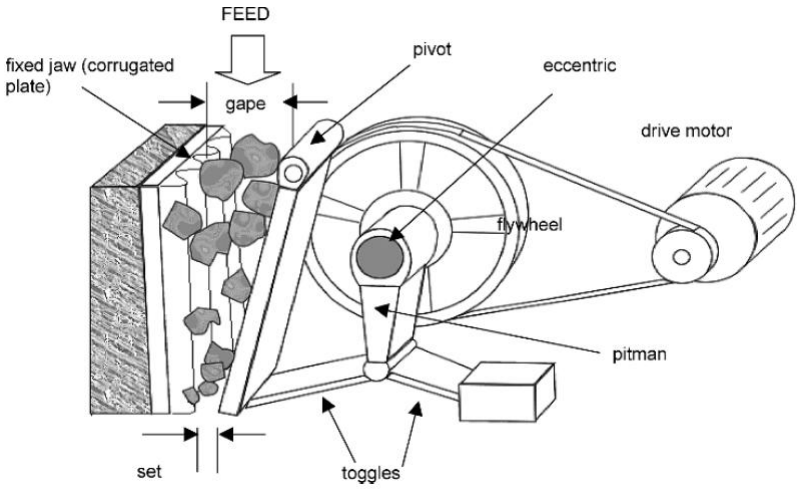
مدار بسته



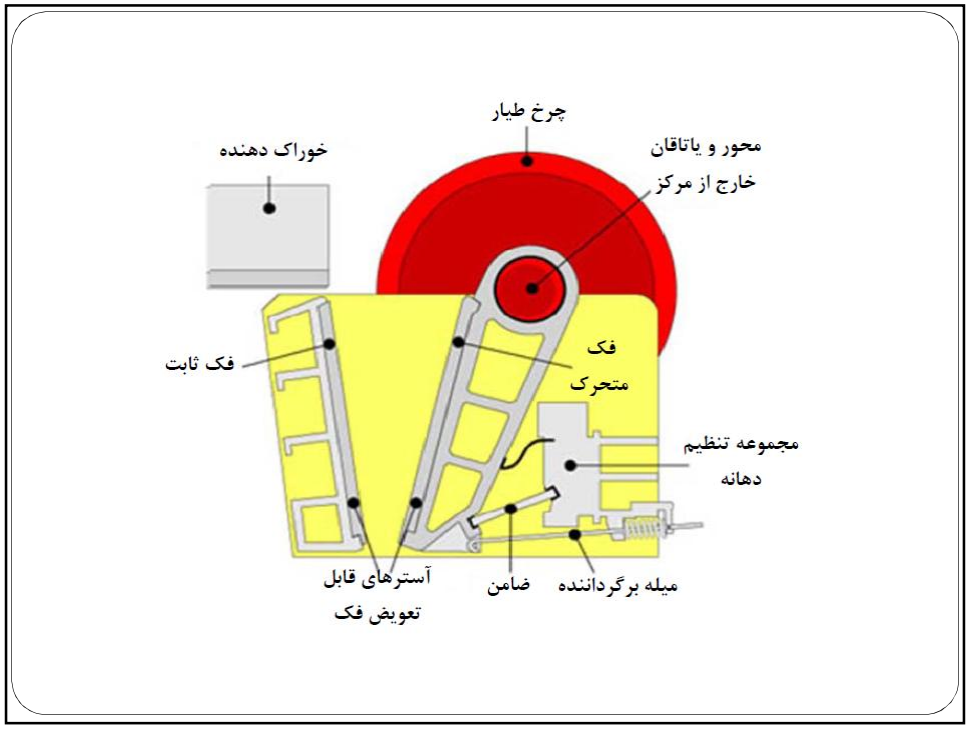
اگر هدف از خردایش تأمین بار آسیای میله ای باشد مدار باز بهتر است و اگر هدف تأمین بار برای آسیای گلوله ای باشد مدار بسته ارجح است.

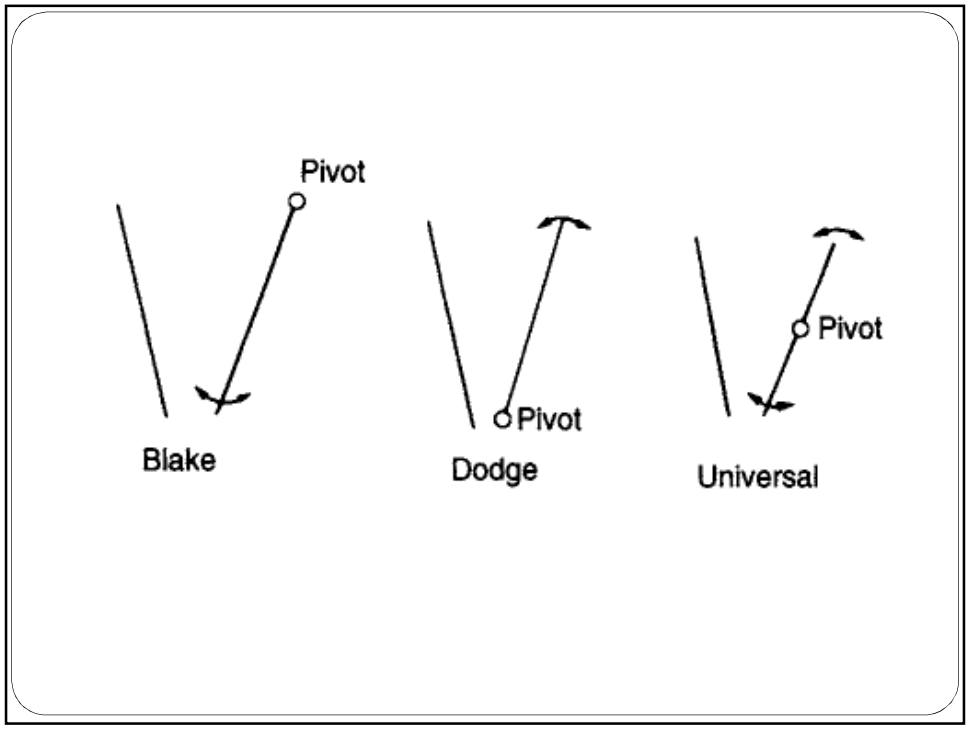
سنگ شکنی اولیه (Primary Crushers)	سنگ شکن فکی (Jaw Crusher) سنگ شکن ژیراتوری (Gyratory Crusher)
سنگ شکنهای ثانویه (Secondary Crushers)	سنگ شکن مخروطی (Cone Crusher) سنگ شکنهای غلتکی (Roll Crushers)

سنگ شکن فکی

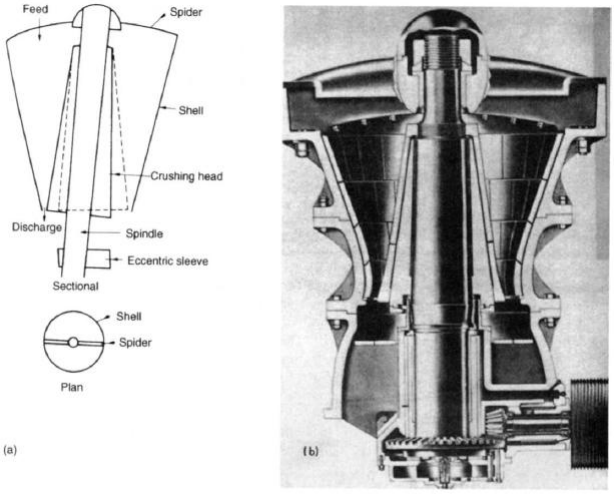


گردش چرخ طیار به صورت خارج از مرکز است.
با حرکت فک، مواد تحت تأثیر نیروی فشاری و گاه ضربه ای و یا برشی خرد می شوند.
بر اساس ابعاد دهانه ورودی مشخص می شوند مثلاً 10''*20'' **(فاصله دو فک در قسمت فوقانی در عرض فک**


چرخ طیار
خوراک دهنده
محور و یاتاقان
خارج از مرکز
فک ثابت
فک
متحرک
مجموعه تنظیم
دهانه
آسترهای قابل
تعویض فک
ضامن
میله برگرداننده

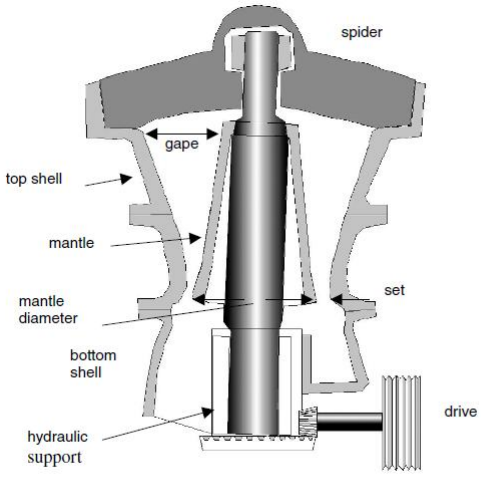

Pivot
Blake
Pivot
Dodge
Pivot
Universal

سنگ شکن ژیراتوری

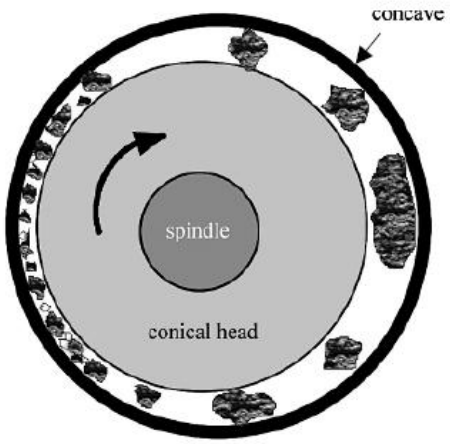


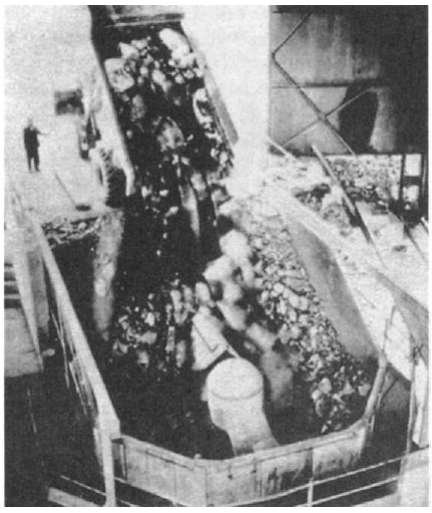
Gyratory crusher: (a) functional diagram, (b) cross-section

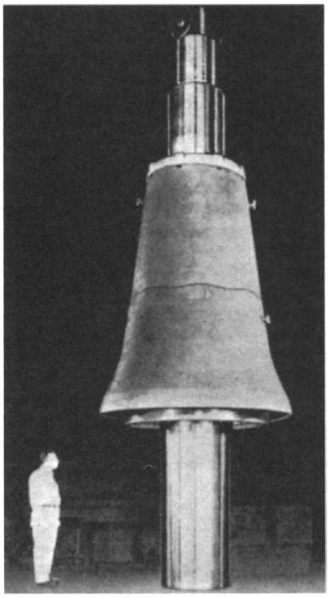
هنگامی که ظرفیت و نسبت خردایش زیاد باشد استفاده می شود.
هسته مرکزی حرکت ژیراتوری دارد (سرعت دورانی ۸۵ تا ۱۵۰ دور بر دقیقه)
نسبت خردایش ۵/۵ تا ۷/۵ در عمل ۳ تا ٤



Sketch of a Gyratory Crusher (Crusher size is designated by the gape and mantle diameter).







ابعاد بار اولیه حدود ۸۰ درصد ابعاد دهانه ورودی است و ابعاد بیش از ۸۵ درصد مواد کوچکتر از بعد گلوگاه در حالت باز است.

ظرفیت حجمی سنگ شکن فکی (Broman, 1984)

$$Q = BSs \cdot \cot[a \cdot k \cdot 60n]\,\mathrm{m}^3/\mathrm{h}$$

Q: ظرفیت سنگ شکن (m3/h)
B: عرض داخلی (m)
S: دهانه خروجی در حالت باز (m)
s: کورس پرتاب (m)
a: زاویه فک متحرک (درجه)
n: سرعت سنگ شکن (دور بر دقیقه)
k: ثابت مواد (معمولاً بین ۲-۱)

ظرفیت حجمی سنگ شکن ژیراتوری

$$Q = (D - S)\pi Ss\cot(a \cdot k \cdot 60n)\ \mathrm{m}^3/\mathrm{h}$$

Q: ظرفیت سنگ شکن (m3/h)
D: قطر بیرونی محور خرد کننده در نقطه خروجی (m)
S: دهانه خروجی (m)
s: کورس پرتاب (m)
a: زاویه فک متحرک با محور عمودی (درجه)
n: سرعت سنگ شکن (دور در دقیقه)
k: ثابت مواد (معمولاً بین ۳-۲)

مقایسه بین سنگ شکن فکی و ژیراتوری

- مدت کار مفید در سنگ شکن فکی نیمه وقت و در سنگ شکن ژیراتوری تمام وقت است.
- ظرفیت سنگ شکن های ژیراتوری در شرایط مشابه دو برابر سنگ شکن های فکی است.
- نیروی مصرفی در سنگ شکن های ژیراتوری کمتر از نوع فکی است.
- نسبت خردایش در سنگ شکن های ژیراتوری تقریباً ۲ برابر نوع فکی است.
- نسبت به محصول تولید شده در شرایط مشابه، وزن انواع فکی بیشتر از انواع ژیراتوری است.
- در سنگ شکن های ژیراتوری نیازی به تغذیه کننده نیست اما در سنگ شکن های فکی به منظور جلوگیری از گرفتگی مواد در بین فکها، تغذیه کننده لازم است.
- ساییدگی فکها در سنگ شکن ژیراتوری بیشتر از نوع فکی است.
- مخارج و نگهداری سنگ شکنهای ژیراتوری بیشتر از نوع فکی است.
- مخارج نصب و فونداسیون در سنگ شکنهای فکی به دلیل لرزش زیاد بیشتر از نوع ژیراتوری است.
- قیمت سنگ شکن ژیراتوری در شرایط مشابه تقریباً دو برابر نوع فکی است.
- برای ظرفیتهای بسیار زیاد (بیش از ۱۵۰۰ تن بر ساعت) و ابعاد اولیه درشت (بیش از ۶۰۰ میلیمتر) سنگ شکن ژیراتوری مناسب تر است.

اگر ۸۲(دهانه خروجی) * 161.7 > t/h
از سنگ شکن فکی استفاده شود در غیر اینصورت از سنگ شکن ژیراتوری استفاده شود.

سنگ شکنهای ثانویه (Secondary Crushers)

سنگ شکن مخروطی (Cone Crusher)
سنگ شکنهای غلتکی (Roll Crushers)

سنگ شکن مخروطی (Cone Crusher)

ابعاد ذرات خوراک این نوع سنگ شکنها معمولاً کمتر از ۱۵ سانتیمتر است.
کار این مرحله از سنگ شکنی به دلیل کنار گذاشتن مواد مزاحم مانند فلزات به تله افتاده، چوب و نرمه راحت تر می باشد.

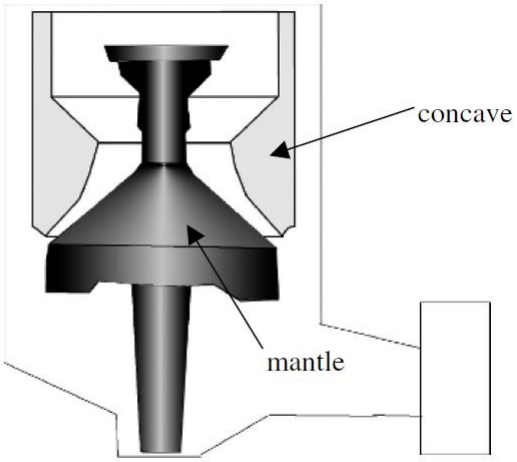
سنگ شکن مخروطی استاندارد (مرحله دوم)

بار اولیه از معدن یا سنگ شکن مرحله اول
در مسیر باز
۵۵٪ محصول دارای ابعاد کوچکتر از دهانه گلوگاه در حالت بسته
نسبت خردایش ۳ تا ۵

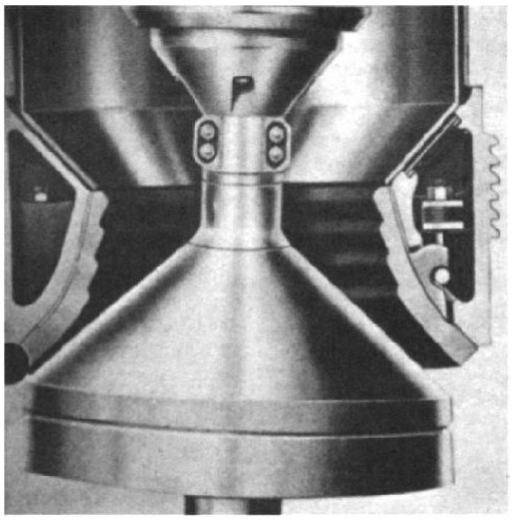
سنگ شکن مخروطی سرکوتاه (مرحله سوم)

در مسیر بسته
برای دستیابی به ظرفیت ماکزیمم باید گلوگاه در حالت بسته ۰/۷ تا ۰/۸ دهانه سرند باشد.
بار در گردش معمولاً ۲۵ تا ۵۰ درصد بار اولیه است.
ژیرادیسک یک نوع سنگ شکن مخروطی وابعاد محصول تا mm ۵ است.

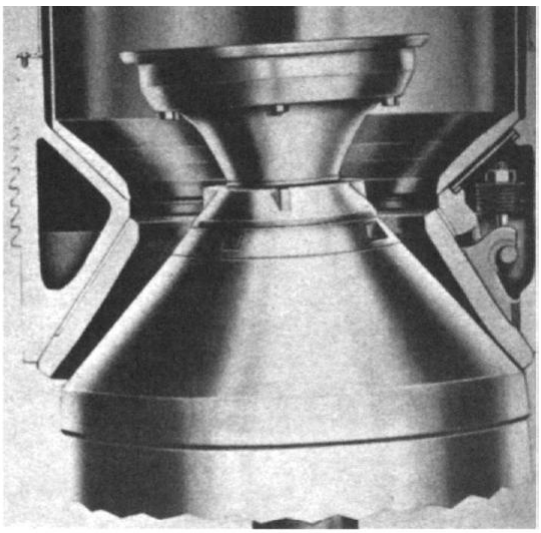
نسبت خردایش بین ۳ تا ۵



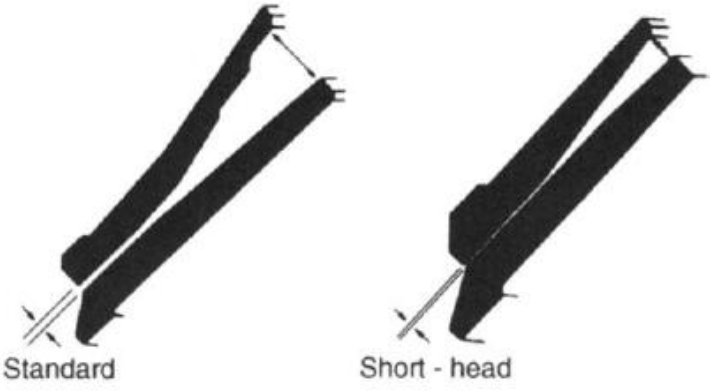
Sketch of a secondary cone crusher.



Standard cone crusher



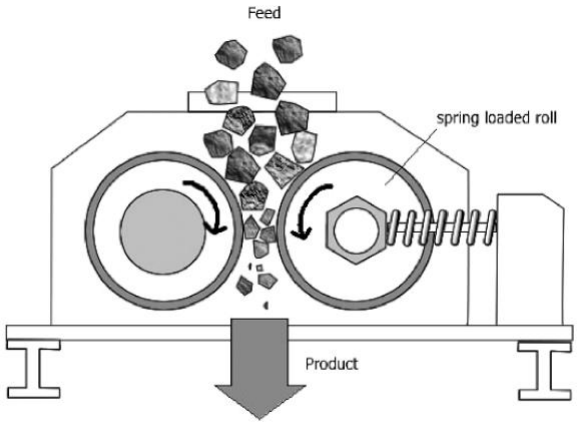
Short-head cone crusher



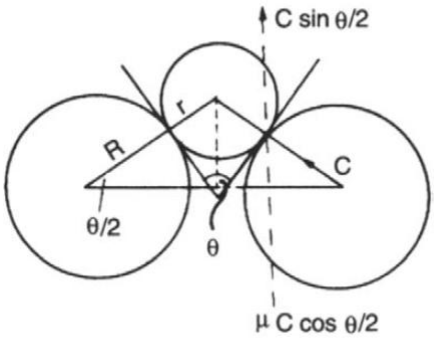
Liners of standard and short-head cone crushers

ظرفیت سنگ شکنهای غلتکی

برای مواد ترد و شکننده، چسبناک، یخ زده و موادی مانند سنگ آهک، زغال سنگ، گچ و فسفات مناسب می باشند
یکنواخت توزیع کردن خوراک روی غلتکها از سایش زیاد جلوگیری می کند.



Schematic Diagram of Roll Crusher



Forces on a particle in crushing rolls

مؤلفه قائم $= C\ sin(\theta/2)$

نیروی اصطکاکی مماسی(E) $= \mu C$

مولفه عمودی نیروی اصطکاک $= \mu C\ cos(\theta/2)$

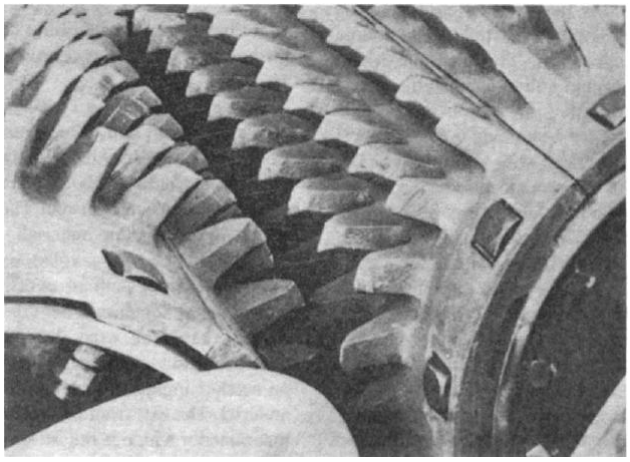
تعادل نیروها در جهت عمودی : $2C\ sin(\theta/2) = 2\mu C\ cos(\theta/2)$

$$\mu = \frac{\sin\left(\theta/2\right)}{\cos\left(\theta/2\right)} = \tan\left(\theta/2\right)$$

بنابراین بایستی $\mu > \tan\left(\theta/2\right)$

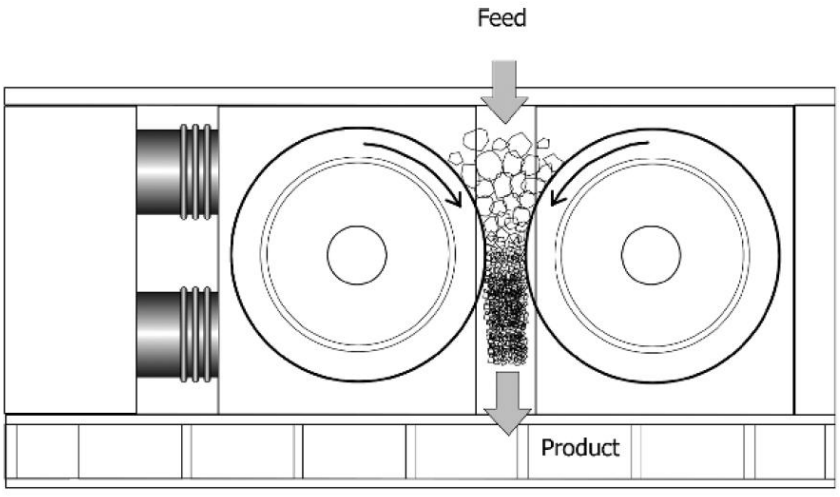
$$\cos\left(\theta/2\right) = \frac{R+a}{R+r}$$

ضریب اصطکاک سنگ و فولاد بین ۰/۲ و ۰/۳ است بنابراین زاویه اصطکاک نباید بیش از ۳۰ درجه باشد. زیرا منجر به لغزیدن ذرات در سطح غلطک ها می شود.



زاویه درگیر شدن کوچک است بنابراین قطعات درشتی را می توان خرد نمود (مواد ترد مانند زغال سنگ)

HPGR



مثال:

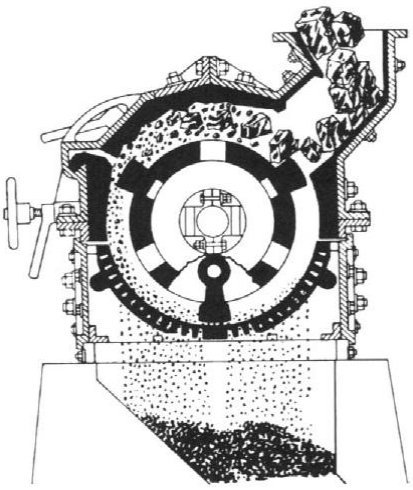
حداکثر شعاع ذره قابل خرد شدن را هنگامی که شعاع غلطک ۲۰۰ میلیمتر، نسبت خردایش ۲ و زاویه 2θ درجه است را محاسبه کنید.

سنگ شکنهای ضربه ای (Impact Crushers)

برای خردایش از ضربه بجای فشار استفاده می شود.

تنش های داخلی در این نوع سنگ شکنی ذخیره نمی شود .

نسبت خردایش در مسیر بسته به حدود ۱۰ تا ۳۰ می رسد
(خردایش ذرات تا ابعاد ۱۵ میلیمتر)
نرمه زیاد تولید می شود.



Hammer mill

منبع جلسه ششم:
کتاب Wills Mineral Processing Technology صفحه ۱۱۸ تا ۱۴۰
یا فصل ۲ کتاب کانه آرایی دکتر نعمت الهی (صفحه ۴۲ تا ۵۰)
و یا فصل ۳ کتاب خردایش و طبقه بندی دکتر رضایی (صفحه ۲۸۰ تا ۳۰۰)

دانشگاه صنعتی اصفهان
دانشکده مهندسی معدن

فرآوری مواد معدنی

جلسه نهم

آسیاها

مدرس:
علی احمدی

1

آسیاها

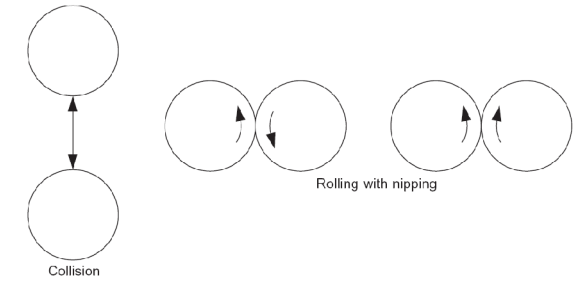
- آسیا کردن آخرین مرحله فرآیند خردایش است که در آن کاهش ابعاد ذرات با دو مکانیسم ضربه (Impact) و سایش (Abrasion) در حضور و غیاب آب انجام می شود.
- بار خرد کننده معمولاً میله ها یا گلوله های فولادی، سنگهای مقاوم و یا قطعاتی از خود ماده معدنی هستند.
- بدنه داخلی آسیا از حفاظهای مقاومی تشکیل شده است که نه تنها بدنه داخلی آسیا را در مقابل ضربه و سایش محافظت می کنند، بلکه بار خرد کننده را نیز بالا می برند و از لغزش آنها در سطح جدار آسیا جلوگیری می کنند.
- معمولا در عملیات آسیا کنی ابعاد بار اولیه بین ۵ تا ۲۵۰ میلیمتر است و ابعاد محصول به ۱۰ تا ۳۰۰ میکرون می رسد.

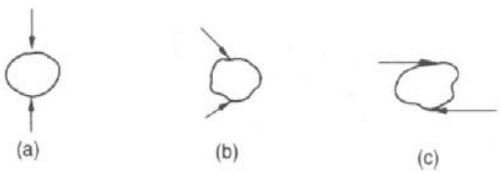
۲

با ارزش آزاد　　گانگ آزاد　　قفل شده

۳

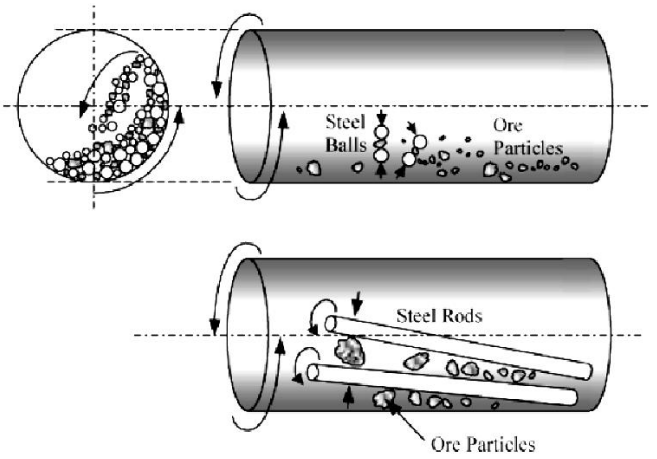
نحوه تاثیر نیروها در فرآیند شکست





Mechanisms of breakage: (a) impact or compression, (b) chipping, (c) abrasion

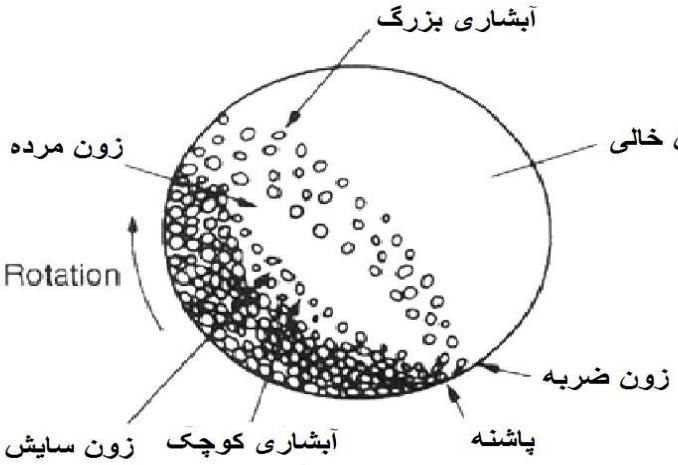
۴



اندازه محصول نهایی توسط بار خرد کننده، سرعت چرخش آسیا، نوع کانه تغذیه شده، نوع مواد مورد استفاده و زمان توقف ذرات در آسیا تعیین می شود.

۵

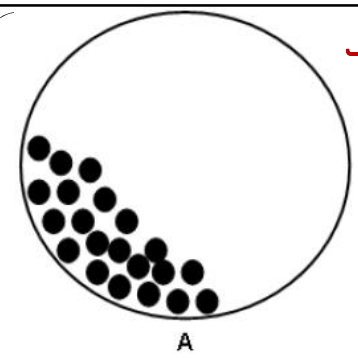
حرکت بار خردکننده داخل آسیا

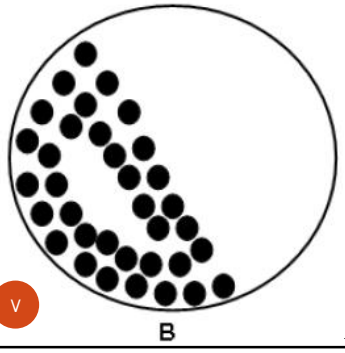


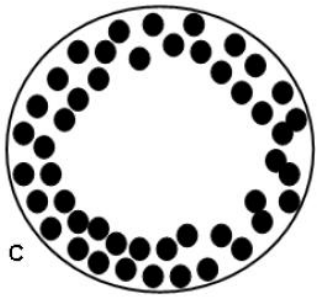
۶

نحوه حرکت بار داخل آسیا در سرعت های مختلف

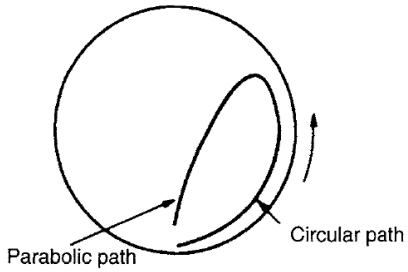
- سرعت کم: سایش
- سرعت زیاد: ضربه
- سرعت خیلی زیاد = سرعت بحرانی



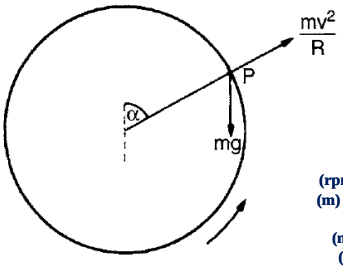




۷



(a)



(b)

N: سرعت آسیا (rpm)
D: قطر داخلی آسیا (m)
d: قطر گلوله (m)
g:شتاب جاذبه (m/s²)
m: جرم گلوله (Kg)
V: سرعت خطی گلوله (m/s)
R : (شعاع استوانه آسیا (m

(a) Trajectory of grinding medium in tumbling mill, (b) forces acting on the medium

$$mV^2/R = mg\cos\alpha$$

$$V = \frac{2\pi RN}{60}$$

$$\cos\alpha = \frac{4\pi^2 N^2 R}{60^2 g} = 0.0011N^2R$$

در نقطه بحرانی $\alpha = 0$ و $\cos\alpha = 1$

بنابراین:

$$N_c = \frac{42.3}{\sqrt{D-d}}$$

Nc: سرعت بحرانی (دور بر دقیقه)

۸

نکات:

- سرعت آسیا باید طوری باشد که گلوله های در حال سقوط به پاشنه بار برخورد کنند نه روی آستر، زیرا در غیر اینصورت آستر سریع ساییده می شود.
- در سرعت آسیای یکسان، هر چه بار به ارتفاع بیشتری برده شود، عمل خرد کردن بهتر انجام می شود.
- سرعت کم و یا آستر صاف باعث لغزش گلوله ها روی هم می شود و خردایش اساساً سایشی می شود.
- در سرعتهای زیاد، حرکت آبشاری (Cataracting) مواد خرد کننده به خردایش توسط ضربه منجر می شود و محصول نهایی درشت تر و سایش کمتر می شود.
- در عمل، لغزش بین بار خرد کننده و آستر آسیا وجود دارد و در نتیجه سرعت بحرانی بیش از مقدار محاسباتی در نظر گرفته می شود.
- آسیاها معمولاً با سرعتهایی معادل ۹۰- ۵۰ درصد سرعت بحرانی کار می کنند.
- افزایش سرعت آسیا، ظرفیت آن را افزایش می دهد.
- سرعت کم وقتی استفاده می شود که ظرفیت کامل قابل دسترسی نیست و سرعت زیاد برای ظرفیت بالا و نرم کردن ذرات درشت به کار می رود.
- هر چه ابعاد ذرات خوراک بزرگتر باشد، قطر آسیا نیز برای خرد کردن مناسب بایستی بزرگتر شود.
- طول آسیا با توجه به حجم مورد نیاز (ظرفیت) تعیین می شود.

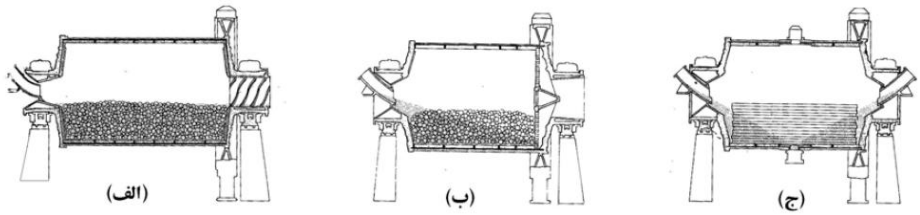
۹

آسیاهای غلطان یا گردان (Tumbling Mills)

- گلوله ای
- میله ای
- خود شکن و نیمه خودشکن

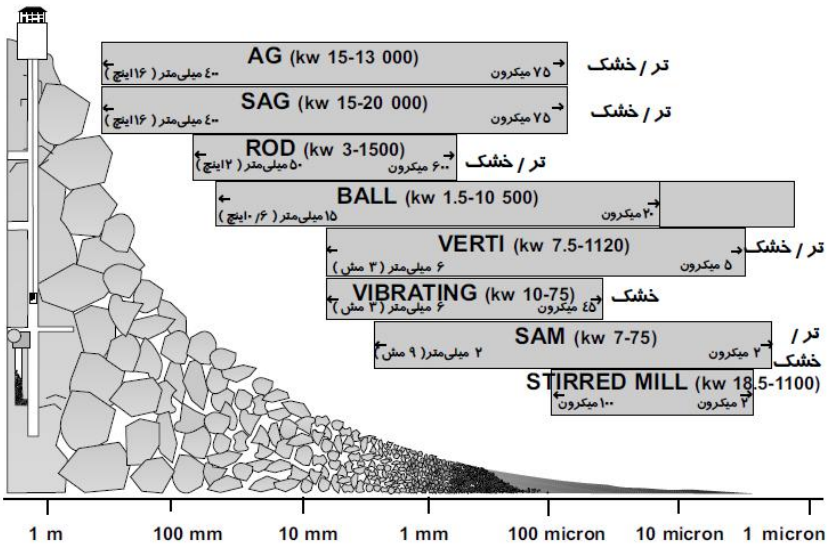
۱۰

انواع آسیاها بر حسب ورود و خروج مواد



(الف) خروجی به‌صورت سرریز، **(ب)** خروجی توسط شبکه و **(ج)** خروجی از محفظه‌های اطراف پوسته

۱۱



۱۲

آسیای گلوله ای (Ball Mills)

۱۳

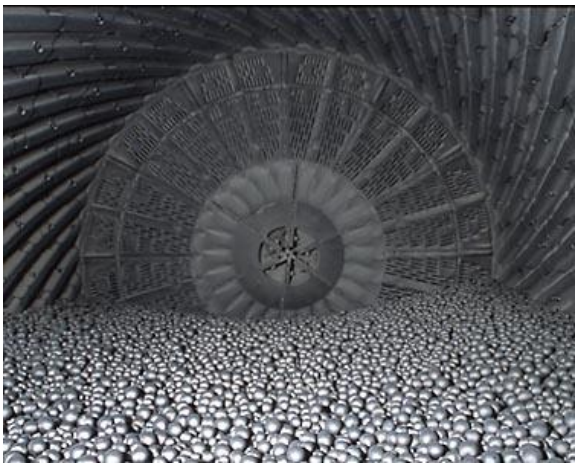
آسیای گلوله ای (Ball Mills)

- در آسیاهای گلوله ای نسبت طول به قطر کمتر از ۲/۵ است.
- چون گلوله ها دارای سطح جانبی بر واحد وزن بیشتری نسبت به میله ها می باشند در نتیجه برای نرم کردن ریزتر مناسب می باشند.
- در نرم کردن اولیه، معمولاً قطر گلوله ها بین ۱۰-۵ سانتیمتر است و در نرم کردن مجدد قطر گلوله ها بین ۵-۲ سانتیمتر است
- دانسیته پالپ نبایستی خیلی زیاد باشد چون جریان مواد در طول آسیا مشکل می شود و از طرف دیگر نبایستی خیلی رقیق باشد چون باعث تماس فلز و درنتیجه افزایش مصرف فولاد می شود.
- گلوله ها از فولاد آلیاژی با کربن بالا (حاوی کرم و منگنز) ساخته می شوند و مصرف آنها بسته به سختی کانه، ریزی نرم کردن و کیفیت بار خرد کننده بین ۰/۱ تا ۱ کیلوگرم بر تن ماده معدنی است.
- مصرف گلوله در آسیا به دلیل سایش، ضربه و یا خوردگی شیمیایی است.
- اگر بار اولیه درشت تر باشد، باید از گلوله هایی با قطر بزرگتر استفاده کرد و چنانچه جرم مخصوص بار اولیه زیاد باشد، تعداد گلوله ها باید زیادتر باشد و هر قدر سختی مواد بیشتر باشد، قطر آسیا باید بیشتر باشد.

۱۴

آسیای گلوله ای (Ball Mills)

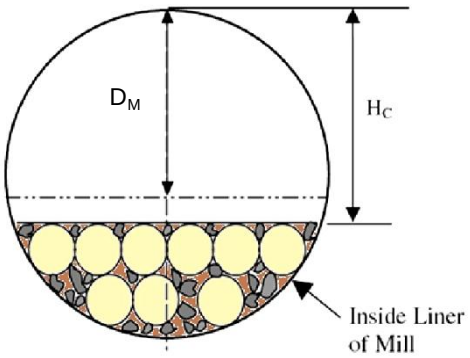
گلوله های ریز به دلیل سطح زیاد، ظرفیت آسیا کردن را افزایش می دهند. ولی از طرف دیگر ممکن است انرژی لازم برای خرد کردن ذرات درشت را نداشته باشند. افزایش سرعت و قطر آسیا می تواند تا حدی این مشکل را کاهش دهد.



۱۵

حجم بار (Charge Volume)

به درصد حجم اشغال شده فضای داخل آسیا توسط گلوله ها که شامل فضای خالی بین گلوله ها نیز می شود، حجم بار گفته می شود.



۱۶

$$\text{حجم گلوله‌ها} = \left[\frac{1}{2}\pi\frac{D_M^{\,2}}{4} - D_M\left(H_c - \frac{D_M}{2}\right)\right]L$$

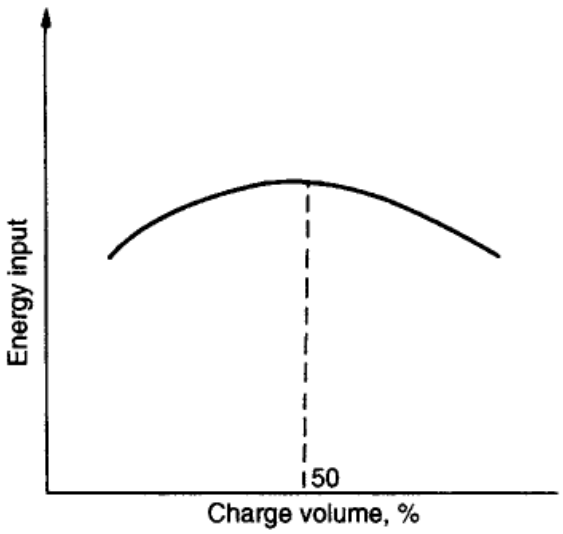
$$\text{درصد حجم آسیا اشغال شده توسط گلوله‌ها} = \left[\frac{\left[\left(\pi/8 + 1/2\right)D_M^{\,2} - D_M H_C\right]L}{\frac{L\pi D_M^{\,2}}{4}}\right]100$$

$$\text{حجم بار}(\%) = 113.7 - 127.3\frac{H_c}{D_M}$$

$$113.7D_M - 127.3H_c > 0$$

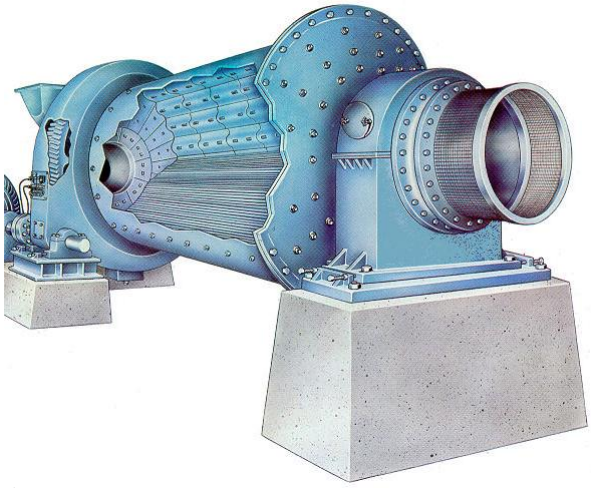
برای آسیاهای سرریز شونده (Overflow Mills) **حداکثر حجم گلوله ها٪ ٤٤-٤٠حجم آسیا است.**

۱۷



۱۸

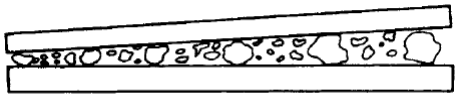
آسياي ميله اي



ابعاد بار اوليه حداكثر ٢٠ و حداقل ۴ ميليمتر و ابعاد محصول حدود ٢ تا ٠/٥ ميليمتر و گاهي كمتر است.

١٩

٢٠



Grinding action of rods

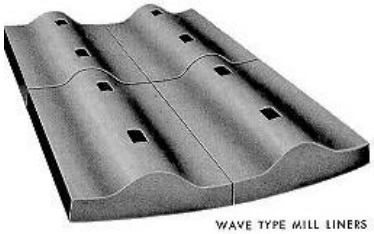
٣١

Top Ball Size, mm	Distribution % mass							
	114	101	89	76	63.5	51	38	25.4
114	23.0							
101	31.0	23.0						
89	18.0	34.0	24.0					
76	15.0	21.0	38.0	31.0				
63.5	7.0	12.0	20.5	39.0	34.0			
51	3.8	6.5	11.5	19.0	43.0	40.0		
38	1.7	2.5	4.5	8.0	17.0	45.0	51.0	
25.4	0.5	1.0	1.5	3.0	6.0	15.0	49.0	100
	100	100	100	100	100	100	100	100

Max.Dia of Rod, mm	125	115	100	90	75	65
125	18					
115	22	20				
100	10	23	20			
90	14	20	27	20		
75	11	15	21	33	31	
65	7	10	15	21	39	34
50	9	12	17	26	30	66
Total %	100	100	100	100	100	100

٣٢

آستر یا لاینر

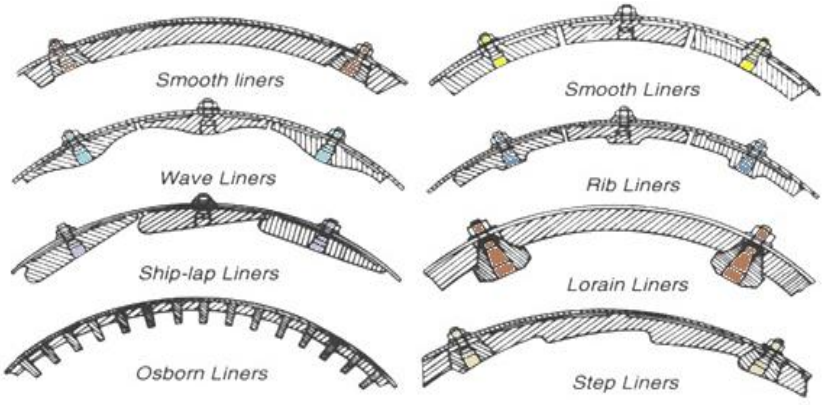

WAVE TYPE MILL LINERS

حفاظت بدنه داخلی آسیا در مقابل سایش و ضربه ناشی از گردش بار خرد کننده، آب و مواد معدنی.
کمک به گردش بار آسیا و جلوگیری از لغزش بار خرد کننده داخل آسیا.

Wedge Bar Or Lifter Bar Mill Liners

Lorain Rolled Steel Mill Liners

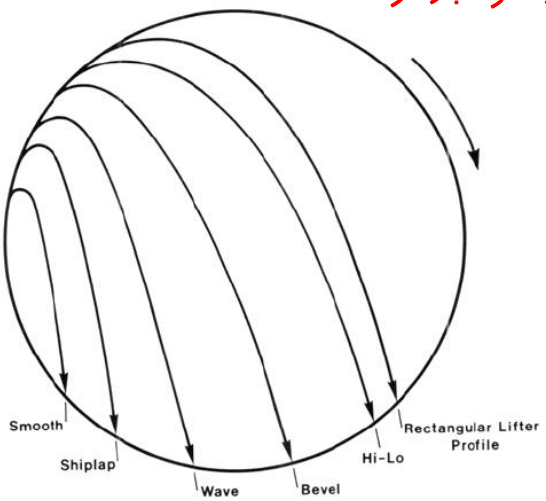
۳۳



Mill shell liners

۳۴

تأثیر نوع آستر در سقوط بار خرد کننده

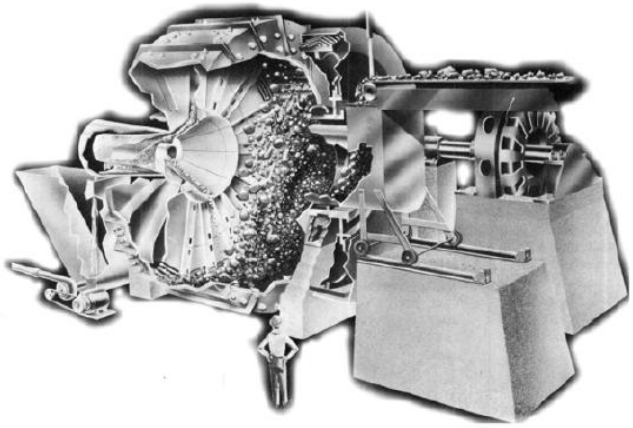


آسترهای لاستیکی به جهت عمر زیاد، نصب آسانتر و صدای کمتر در مواردی جانشین آسترهای فولادی ش
اند.

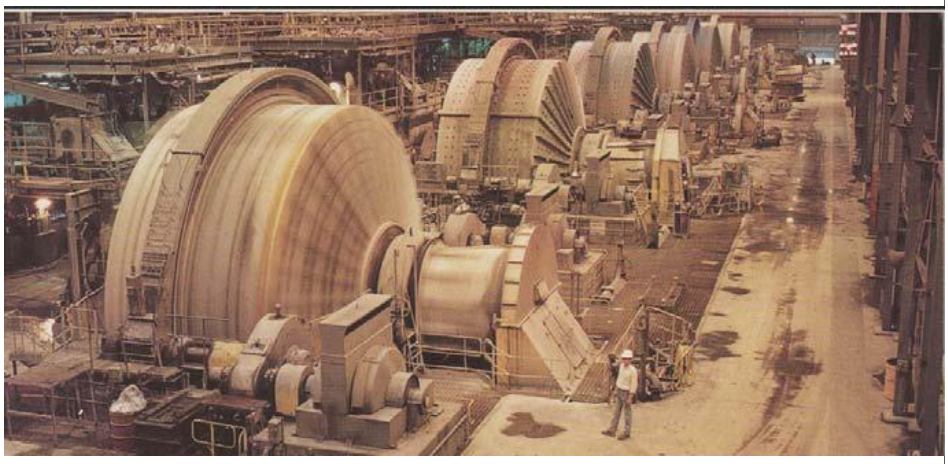
۲۵

آسیاهای خود شکن و نیمه خودشکن

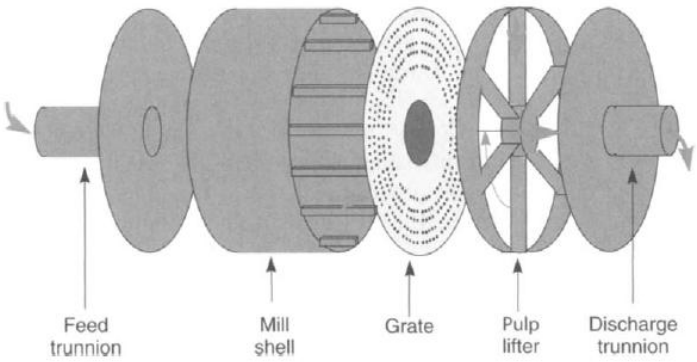
مشخصه اصلی این نوع آسیاها، نسبت قطر به طول زیاد آنهاست (بیش از ۲).



۲۶



٢٧

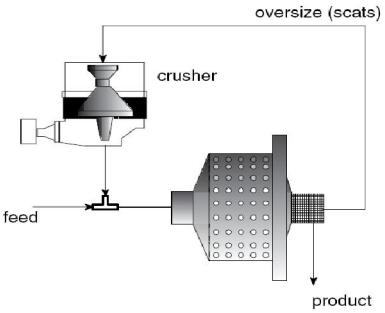


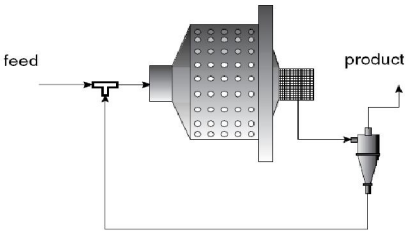
Schematic of various sections of an AG mill (Courtesy Latchireddi, 2002)

٢٨

آسیای نیمه خود شکن

بار خردکننده نه تنها قطعات درشتی از خود ماده معدنی است بلکه در آن ها از گلوله های فولادی نیز استفاده می شود. گلوله ها معمولاً ۶ تا ۱۰ درصد حجمی آسیا را تشکیل می دهند (با احتساب فضای بین آنها) و قطعات درشت بار خردکننده نیز از آسیاهای خود شکن تامین می شود.





۲۹

مدارهای نرم کردن (Grinding Circuits)

آسیاکنی تر
آسیاکنی خشک

مزایای آسیاکنی تر:

مصرف کمتر انرژی به ازای هر تن محصول

ظرفیت بیشتر به ازای واحد حجم آسیا

امکان استفاده از عملیات سرند کردن تر برای کنترل دقیق اندازه ذرات محصول

حذف مسئله گرد و غبار

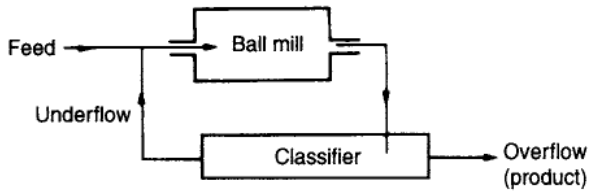
امکان استفاده از روشهای ساده انتقال و حمل و نقل، مانند پمپ و لوله

۳۰

انواع مدارها:

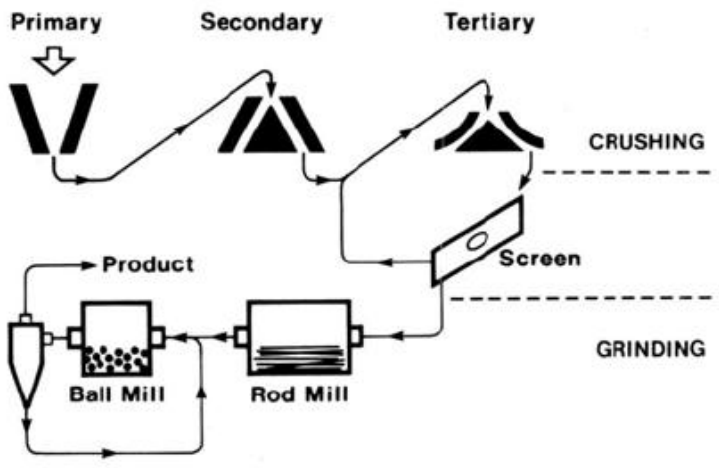
۱) مدار باز: بدون کنترل اندازه ذرات محصول (بدون بار در گردش)

۲) مدار بسته: کنترل اندازه ذرات محصول (با بار در گردش) (هدف، خارج کردن مواد به محض رسیدن به اندازه مورد نظر می باشد.)

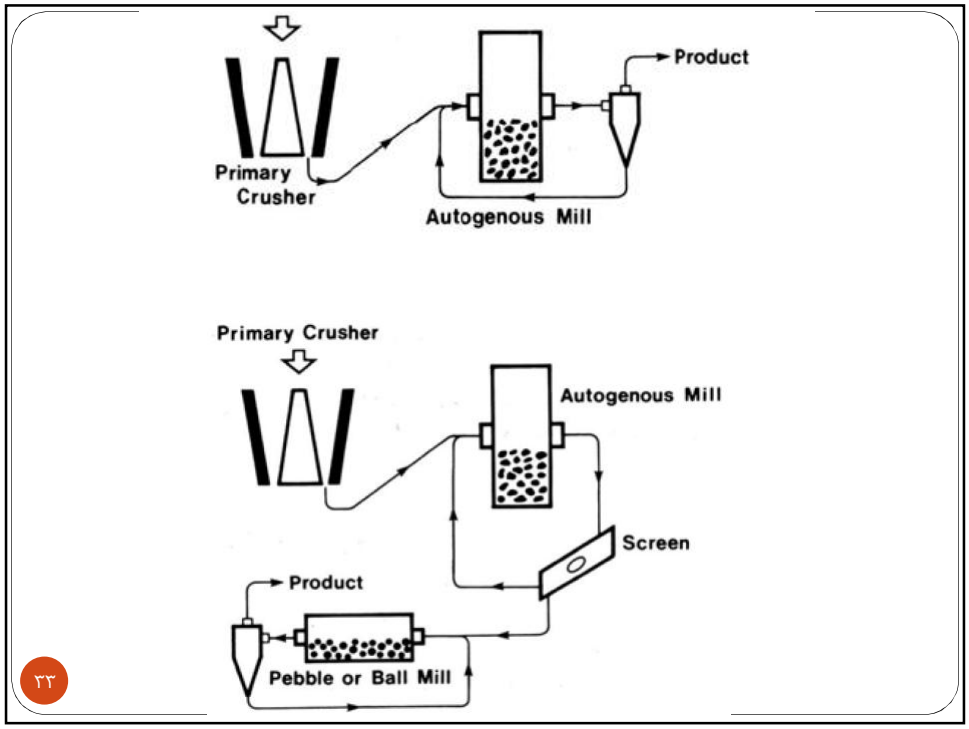


Simple closed-grinding circuit

۳۱



۳۲



۳۳

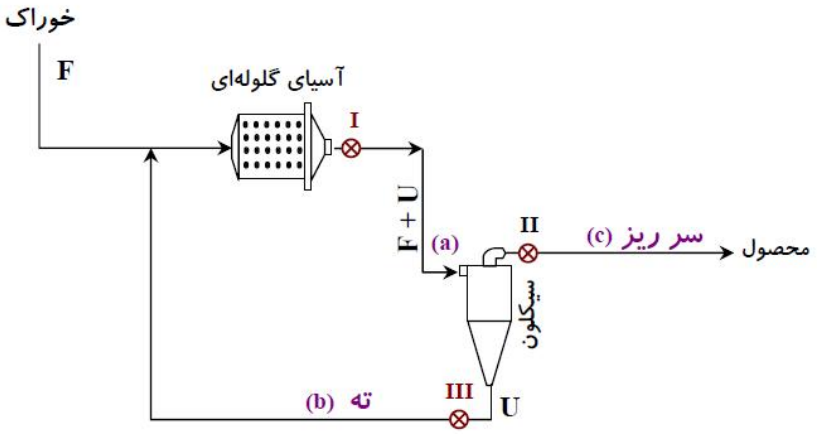
بار در گردش

معمولاً آسیاهای مرحله نهایی با کلاسیفایر ها در مدار بسته قرار می گیرند، زیرا محصولی که از آسیا خارج می شود باید دانه بندی مورد نظر را به منظور انتقال به مراحل بعدی پر عیار سازی(فلوتاسیون) داشته باشد. نقش بار در گردش در واقع کم کردن زمان اقامت ذراتی است که در اثر خردایش به اندازه مطلوب رسیده اند.

روشهای تعیین بار در گردش

الف) با استفاده از چگالی پالپ (رقت)
ب) با استفاده از آنالیز سرندی

۳۴

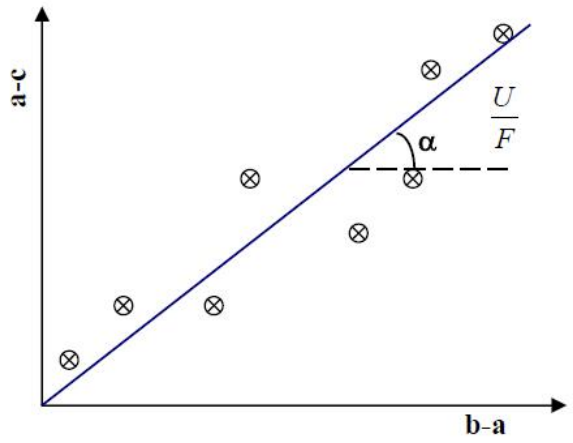


موازنه جرم در سیکلون:

$$(F+U)a = Fc + Ub$$

نسبت بار در گردش $= \frac{U}{F} = \frac{a-c}{b-a}$

۳۵



۳۶

کنترل مدار آسیاکنی

اهداف:

۱) بالا بردن دبی مواد ورودی با حفظ اندازه ذرات محصول

۲) فراهم کردن محصولی با اندازه ذرات مورد نظر در دبی مواد ثابت

پارامترهای اصلی که ممکن است با تغییر در نرخ خوراک جدید در کنترل مدار مؤثر باشند، بار در گردش، دامنه اندازه ذرات، سختی کانه و نرخ افزایش آب به مدار می باشد.

نوسانات در اندازه و سختی خوراک مهمترین عامل برهم زننده موازنه مدار نرم کننده می باشند . این نوسانات می توانند از تفاوت در ترکیب کانی شناسی، اندازه ذرات قسمتهای مختلف معدن و از تغییرات در دهانه سنگ شکنها به دلیل سایش و یا خراب شدن سرندهای مدارهای نرم کننده ناشی شود.

اگر افزایش در اندازه ذرات یا سختی خوراک ایجاد شود، محصول درشت تری بدست خواهد آمد . مگر اینکه مقدار خوراک کاهش یابد.

محصول درشت در آسیا باعث افزایش بار در گردش و دبی حجمی ورودی به سیکلون می شود که این خود دامنه اندازه ذرات محصول سیکلون را تغییر خواهد داد.

اندازه ذرات خروجی از سرریز سیکلون و بار در گردش دو عامل اصلی در کنترل مدارهای نرم کنی

۳۷

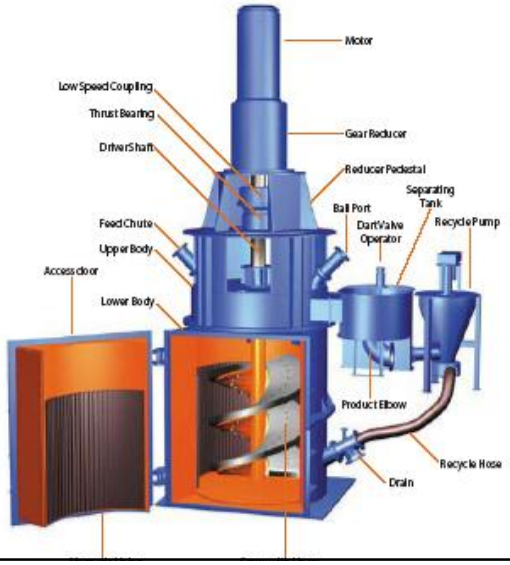
آسیای برجی
Vertimill or tower mill

مشخص

- ✓ همزن چر
- ✓ خوراک 0
- ✓ پیوسته یا
- ✓ مدار باز ی
- ✓ واسطه فو pebs" و "
- ✓ در مقیاس
- ✓ در مقیاس

Scre

Power " مانند



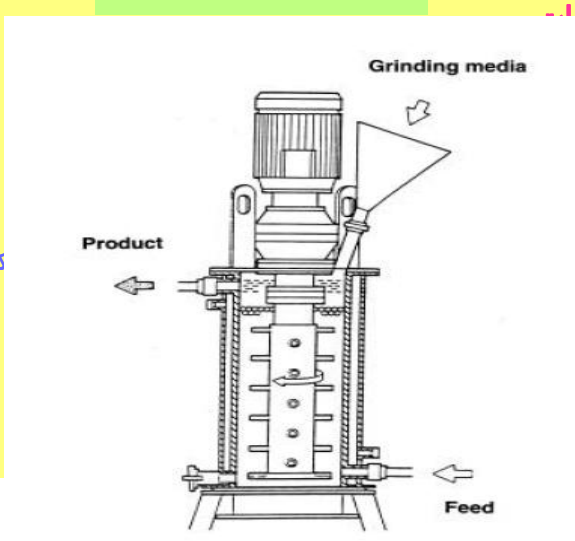
۳۸

آسیای برجی
Vertimill or tower mill

- کاربردها
  - آسیای اولیه
  - آسیای ثانویه
  - آسیای کنسانتره
  - آسیا کنی سنگ آهک
- مزایای استفاده از آسیای برجی
  - کارایی بالای انرژی مصرفی
  - آسیاکنی مجدد اندک
  - سروصدای پایین
  - هزینه های عملیاتی کم
  - اجزای متحرک کم
  - توقف کم
  - هزینه نصب پایین
  - اشغال فضای افقی اندک
  - فونداسیون ساده
  - امنیت عملیاتی بالا

۳۹

Pin Mill



- مشخص
  - همزر
  - واسط
  - واسط
  - خشک
  - خورا
  - سایش
    ساین

ک غیر

۴۰

Stirred-media Detritor or Sand mill (SMD)

- مشخصات
  - همزن دیسکی
  - واسطه سیلیسی
    های 1-3mm
  - سرعت همزن
  - خوراک 00µm
  - فلزات آهنی (

یکی در اندازه

٤١

منبع جلسه ششم:
کتاب خردایش و طبقه بندی دکتر رضایی (صفحه ۳۶۳تا ٤۰۰)
یا ۲ کتاب کانه آرایی دکتر نعمت الهی (صفحه ۹۲ تا ۱۳۵)
یا کتاب Wills Mineral Processing Technology صفحه ۱٤۶ تا ۱۷۶

٤٢