فصل ۱ کلیات

هدف‌های رفتاری: در پایان این فصل از هنرجو انتظار می‌رود که بتواند:

۱ـ کانه‌آرائی را تعریف کند.

۲ـ فرآوری مواد معدنی را تعریف کند.

۳ـ تفاوت بین کانه‌آرائی و فرآوری را بداند.

۴ـ اهمیت فرآوری مواد معدنی را شرح دهد.

۱ــ آشنایی

دنیای صنعت و تکنولوژی مدرن با روندی که امروزه در پیش گرفته است هر روز نیاز بیشتری به مواد معدنی پیدا می‌کند و در جهت تأمین نیازها، بهره‌وری از معادن نیز روز به روز افزایش می‌یابد. مستقل زیستی و استقلال صنعتی در جامعه زمانی به وجود می‌آید که مواد اولیه صنعت در داخل کشور تأمین شود.

در کشور ما نیز چنانچه بخواهیم از وابستگی به اقتصاد تک محصولی نفت رهایی یابیم، باید اهمیت و ارزش بیشتری برای مواد معدنی قائل شویم. در این راستا مجموعه فعالیت‌های معدنی را از زمین‌شناسی و اکتشاف گرفته تا استخراج و فرآوری باید به صورت سیستماتیک دنبال کنیم. بدین‌ترتیب نیازهای مواد اولیه صنایع کشور را که از عمده‌ترین وابستگی‌ها و مشکلات صنعت است، تأمین خواهیم کرد و حتی شرایط صادرات آن‌ها را نیز فراهم خواهیم ساخت.

نقش معادن و مواد معدنی از دیرباز مشخص بوده و بشر همواره جهت رفع نیازها در جستجو و تکاپوی مواد معدنی بوده است. هیچ صنعتی نیست که به طور مستقیم و یا غیرمستقیم با مواد معدنی در ارتباط نباشد،به عنوان مثال می‌توان صنایع سیمان (با ماده اولیهٔ سنگ آهک،دولومیت، رس و

غیره)، صنایع فولاد (آهن، مواد غیرفلزی متالورژیکی مانند زغال، کمک ذوب، عایق و مواد دیرگداز)، مواد شیمیایی (کلسیت، نمک‌ها، گوگرد و موارد مشابه)، سنگ‌های ساختمانی (گچ، شن، ماسه، مرمر، گرانیت، لابرادوریت و موارد مشابه)، صنایع شیشه (سیلیس، فلدسپات، سلستین، کربنات سدیم و موارد مشابه)، صنایع سرامیک (پودرکائولین، تالک، فلدسپاتهای سدیک و موارد مشابه)، صنایع کاغذ (دیاتومیت و موارد مشابه)، صنایع رنگسازی (دیاتومیت، میکا، ایلمنیت، آهک و موارد مشابه)، صنایع ریخته‌گری (ماسه‌های سیلیسی، خاک نسوز، بنتونیت و موارد مشابه)، صنایع لاستیک‌سازی (کائولین، دیاتومیت و موارد مشابه)، صنایع ساینده‌ها (گرونا و موارد مشابه)، صنایع اتمی (اورانیوم، توریوم، رادیوم و موارد مشابه)، صنایع نظامی (مس، مولبیدن و موارد مشابه)، صنایع سنگین، صنایع الکترونیک و حتی صنایع کشاورزی بدون استفاده از مواد معدنی مانند، فسفات، ورومیکولیت و پرلیت نمی‌تواند به تولید بهینه دسترسی یابند.

بنابراین مواد معدنی را می‌توان از عمده‌ترین و اساسی‌ترین مواد اولیه صنعت دانست و با توجه به رشد جمعیت و بالطبع افزایش نیاز به مواد اولیه و اینکه رشد صنایع مادر، جز با توسعه سریع تولید مواد اولیه امکان‌پذیر نیست، منابع معدنی را کشف کنیم، استخراج و بهره‌برداری از معادن را با طراحی صحیح انجام دهیم و در نهایت بتوانیم کانی‌ها و عناصر با ارزش را بازیابی کنیم.

افزایش تولید مواد معدنی به عنوان مادهٔ اولیه مورد مصرف در صنعت، موجب ایجاد معادن بزرگ‌تر و در نتیجه کم عیارتر می‌شود و پیشرفت تکنولوژی، استفاده از مواد اولیه با مشخصات فنی دقیق‌تری را ضروری می‌سازد. بنابراین کاهش ذخایر معدنی با عیار بالا و ترکیبات کانی‌شناختی ساده، سبب شده است که معادنی با عیار بسیار پایین و ترکیبات کانی‌شناختی بسیار پیچیده مورد استفاده قرار گیرند و به موازات آن، فرآوری مواد معدنی نیز اهمیت بیشتری یابند.

ذخیره مواد معدنی، محل معدن، عیار نسبی، ترکیبات کانی شناختی، بافت و ترکیب مواد معدنی از یک سو و هزینه‌های استخراج (روباز و زیرزمینی) و تغلیظ‌پذیری از سوی دیگر از پارامترهای مهم در سنجش اقتصادی یک معدن به شمار می‌رود. به عنوان مثال در بسیاری مواد هزینه‌های استخراج به روش زیرزمینی گرانتر از استخراج به روش روباز است که در این راستا عیار ماده معدنی پارامتر تعیین‌کننده‌ای به شمار می‌رود.

بنابراین هرچه عیار ماده معدنی مورد نظر بیشتر باشد ارزش بیشتری خواهد داشت و در نتیجه هزینه‌های فرآوری نیز به همان نسبت کمتر خواهد بود. حداقل فلز موجود درکانساری که بتوان آن‌را کانسنگ قلمداد کرد از فلزی به فلز دیگر تغییر می‌کند و یکسان نیست. به عنوان مثال بیشتر کانسنگ‌های

غیرآهنی عیاری کمتر از یک درصد دارند و از طرفی این عیار برای طلا کمتر از ppm ۴ است همچنین کانسنگ آهنی که کمتر از ۱۵ درصد آهن داشته باشد کانسنگ کم عیار نامیده می‌شود.

از نظر نوع ذخیره نیز، ذخایر رگه‌ای با عیار بالا نسبت به نوع توده‌ای با عیار پایین ارزش بیشتری دارند و چنانچه پدیده‌های تکتونیکی باعث شکستگی و تغییر وضعیت ماده معدنی شده باشند، علیرغم داشتن عیار بالا و میزان ذخیره مناسب، به دلیل چنین بی‌نظمی، هزینه‌های استخراج و در نتیجه فرآوری افزایش خواهد یافت و ممکن است کلیه هزینه‌ها از ارزش ذخیره بیشتر شود و عملیات را غیراقتصادی سازد.

موادی که از معادن استخراج می‌شوند، همیشه با میزان قابل توجهی از ناخالصی‌ها همراه‌اند و چنانچه مقیاس استخراج بزرگتر و عملیات با وسایل کاملتری انجام گیرد، مواد استخراج شده ناخالصی بیشتری خواهد داشت. در اکثر مواقع، وجود این ناخالصی‌ها و باطله همراه، عیار ماده معدنی را به‌قدری کاهش می‌دهد که فروش آن بدون عملیات فرآوری ارزش اقتصادی نخواهد داشت. عواملی مانند ترکیبات کانی‌شناختی و بافت ماده معدنی، شکل، ابعاد و نحوه قرارگیری کانی‌های با ارزش و کم ارزش، درجه آزادی، درجه اکسایش، نوع کانی مفید، نوع باطله همراه (کربناته و یا سیلیکاته)، خواص فیزیکی، شیمی ــ فیزیکی و شیمیایی، میزان درگیر بودن کانی‌ها و بسیاری دیگر از پارامترها نقش تعیین‌کننده‌ای را در انتخاب روش و یا روش‌های فرآوری ایفا می‌کنند. ماهیت یک ماده معدنی از نظر پارامترهای عنوان شده بسیار متفاوت است و هزینه و نحوه فرآوری برای حالات مختلف نیز متفاوت و قابل بررسی است.

۱ــ۱ــ تاریخچه

بشر از دیرباز در تکاپوی تهیه فلزاتی از جمله طلا، نقره، مس، جیوه، آهن و دیگر عناصر بوده است و اساساً فرآوری مواد معدنی به شکل ابتدایی خود تاریخچه جدیدی ندارد. به عنوان مثال فروشوئی (لیچینگ) به روش توده‌ای[۱] و اکسایش سولفیدهای توده‌ای ازهزاران سال پیش در کشور اتریش معمول بوده است.

فلز مس در اواخر عصر حجر یعنی ۸ تا ۱۰ هزار سال پیش شناخته شده بود و شواهد زیادی مبین عملیات ذوب و احیاء در آن زمان بوده است. در حقیقت در همین عصر بود که نطفهٔ فلزآرائی[۲]

۱ــ Heap Leaching ۲ــ Metal Processing

بسته شد. شواهد دیگر نیز مبنی بر ذوب، اکسایش و احیاء آهن در ۵ تا ۶ هزار سال پیش وجود دارد. یونانیان قدیم اولین کسانی بودند که فرآوری کانسنگ سولفیدی سرب را بنیان‌گذاری کردند و این رومی‌ها بودند که فلز سرب را برای ساخت لوله‌های آب به کار بردند. آلیاژ برنج و برنز به شکل تصادفی در همین ایام کشف شد.

۱ــ۲ــ اصول کانه‌آرائی

کانه‌آرائی[۱]، سلسله عملیاتی است که پس از استخراج از معدن (در بعضی مواقع توأم با عملیات استخراج) بر روی مواد معدنی انجام می‌شود تا محصول حاصل شده حداقل شرایط فنی لازم جهت مصرف در صنایع مختلف را داشته باشد. عملیات باید کاملاً اقتصادی باشد و تغییری در ترکیب شیمیایی مواد داده نشود. البته از دیگر روش‌های بازیابی مواد معدنی مانند لیچینگ (فروشوئی زیستی) حرارتی و الکتریسیته نیز در این زمینه استفاده می‌شود (متالورژی استخراجی). بنابراین مطابق نظر جین[۲] می‌توان تعریف جامع‌تری را در این زمینه مطرح کرد. سلسله عملیاتی که بر روی مواد معدنی انجام می‌شود تا محصولی با مشخصات قابل قبول در صنعت به‌دست آید خواه خواص شیمیایی ماده معدنی تغییر یابد و یا در ماهیت شیمیایی آن تغییری ایجاد نشود و فرآیند اقتصادی قابل انجام باشد فرآوری مواد معدنی[۳] گفته می‌شود. البته از واژه‌های دیگری مانند پرعیارسازی مواد معدنی[۴] تهیه مواد معدنی[۵] تغلیظ مواد معدنی[۶] آرایش مواد معدنی[۷] شستشوی مواد معدنی[۸] نیز در این زمینه استفاده شده است. لازم به ذکر است که تکنولوژی سوخت که در آن جدایش گازهای مایع از جامد مطرح است و از تلفیق دو فرآیند فیزیکی و شیمیایی تشکیل شده است نیز جزء شاخه‌ای از فرآوری مواد معدنی نیز محسوب می‌شود.

کانسنگی که از معدن استخراج می‌شود بار اولیه[۹] نامیده می‌شود و پس از عملیات فرآوری محصولی که مشخصات فنی آن مانند عیار، عناصر مفید و مضر، توزیع دانه‌بندی، کیفیت و کمیت کلیه کانی‌های همراه، درصد رطوبت و غیره از سوی مصرف کننده مشخص است به محصول پرعیار شده و یا کنسانتره[۱۰] اطلاق می‌شود. بقیه مواد، باطله[۱۱] نامیده می‌شود. به محصولی که از ترکیب باطله و

۱ــ Mineral Processing
۲ــ Jain
۳ــ Beneficiation (Ore Processing)
۴ــ Up grading
۵ــ Ore Preparation
۶ــ Enrichment Process
۷ــ Mineral Dressing (Ore dressing)
۸ــ Washing of the Ore
۹ــ Feed
۱۰ــ Concentrate
۱۱ــ Tailing

کنسانتره تشکیل شده باشد محصول حد واسط گفته می‌شود. بنابراین چنانچه ماده معدنی از دو کانی گالن و کوارتز تشکیل شده باشد، پس از عملیات فرآوری ممکن است برحسب ترکیب کانی‌شناختی و بافت و از دیدگاه درجه آزادی سه نوع محصول تولید شود (کنسانتره، باطله و حد واسط). ذرات حدواسط را نه می‌توان به عنوان باطله در نظر گرفت (زیرا بخش قابل توجهی از گالن در آن به هدر می‌رود) و نه می‌توان به محصول کنسانتره اضافه کرد (زیرا کیفیت کنسانتره را کاهش می‌دهد). بنابراین برای بازیابی چنین ذراتی بهتر است محصول حد واسط را مجدداً خرد و نرم کرد. البته میزان خردایش به ماهیت مواد از نظر عیار، ارزش فلز و یا غیرفلز، وضعیت کانی‌ها از نظر درگیر بودن، شکل و ابعاد ذرات بستگی دارد.

همانگونه که گفتیم، به محصولات غیرمفید معادن وکارگاه فرآوری، باطله اطلاق می‌شود و کمیت و کیفیت این مواد با کمیت و کیفیت تولیدات معادن و کارخانجات تغییر می‌یابد. توسعه معادن کم عیار و به موازات آن فرآوری این مواد باعث گردیده تا حجم باطله‌ها نیز افزایش یابد، به طوری که امروزه بیش از ۲/۳ میلیارد تن باطله در سال تولید می‌شود. چنین افزایشی لزوم توجه به انباشت باطله، احداث سد باطله، پایداری سد، حفاظت آن، جلوگیری از آلودگی محیط زیست، آبگیری[1] باطله و استفاده مجدد از آن را در کارگاه فرآوری ایجاد می‌کند.

در وضعیت‌های استثنایی مسافت بین معدن، کارخانه فرآوری و متالورژی نقش مهمی را در مشخصات فنی محصول (عیار) به عهده دارد.

صرفنظر از چند حالت خاص که فرآوری به روش خشک انجام می‌گیرد. اکثر روش‌های فرآوری با مصرف بسیار زیاد آب همراه است و در نتیجه محصول کنسانتره باید آبگیری شود. آبگیری از کنسانتره هزینه حمل و نقل و خورندگی وسایل را کاهش می‌دهد و از بعضی از واکنش‌های گرمازا جلوگیری می‌کند. از این گذشته از آنجا که بیش از ۹۰ درصد آب مصرفی در کارخانه باید قابل برگشت باشد حتماً باید کنسانتره یا باطله، آبگیری و مجدداً درکارخانه استفاده شود.

۱ــ۳ــ اهمیت و توجیه ضرورت کانه‌آرائی

مواد معدنی بر اساس وجود عناصر مفید به چندین گروه به شرح زیر تقسیم می‌شوند :

ــ خالص[2] که فلز موجود در این کانه‌ها به شکل اولیه وجود دارد (طلا و . . .)

۱ــ Heap Leaching ۲ــ Native

ــ سولفیدها، کانه‌هایی که فلز موجود در کانی آن‌ها به شکل سولفید وجود دارد (گالن و . . .)
ــ اکسیدها که کانی با ارزش آن‌ها به صورت، اکسید، سولفات، سیلیکات، کربنات و نوع هیدراته این مواد وجود دارد.

هر تن از مواد معدنی موجود در یک کانسار دارای ارزش بالقوّه[1] مشخصی است و به بعضی از پارامترها از جمله، عیار فلز، ارزش فلز، وجود عناصر مفید و یا مضر و بسیاری دیگر بستگی دارد.

هزینه اصلی، هزینه استخراج است و ممکن است از کمتر از یک پوند تا بیش از پنجاه پوند برتن نیز تغییر کند. هزینه‌های عملیاتی برای ظرفیت‌های بسیار زیاد ارزان است ولی به هزینه‌های سرمایه‌گذاری بالا نیاز می‌باشد که طی چند سال جبران خواهد شد. بنابراین هرچه ظرفیت عملیات بالاتر باشد کانسار نیز باید به همان نسبت بزرگ باشد و به‌عکس برای کانسارهای کوچک، ظرفیت عملیاتی نیز کوچک است و بدین ترتیب می‌توان هزینه‌های سرمایه‌گذاری کل را کاهش داد ولی هزینه سرمایه‌گذاری و عملیاتی برای هر تن افزایش خواهد یافت.

روش‌های استخراج آبرفتی، روش‌های ارزان قیمتی هستند به شرط آنکه ظرفیت بالا باشد و ماده معدنی ارزش بالقوّه پایینی ناشی از عیار کم و ارزش پایین فلز و یا هر دو حالت را داشته باشد. به عنوان مثال در کشور مالزی ماده معدنی کاسیتریت کمتر از ۰/۰۱ درصد قلع دارد و ارزش بالقوّه این ماده کمتر از یک پوند برتن است. ولی هزینه‌های بسیار ارزان کانه‌آرائی باعث شده که عملیات کاملاً اقتصادی باشد.

وقتی هدف از استخراج، استخراج انتخابی باشد، بخصوص در مورد مواد رگه‌ای، هزینه‌های استخراج بسیار گران تمام می‌شود مگر آنکه ارزش بالقوه ماده معدنی زیاد باشد.

یکی از مهم‌ترین اهداف کانه‌آرائی تبدیل سنگ معدن به کانسنگ است. موادی که به کارخانه ذوب فرستاده می‌شود باید علاوه بر یکنواختی در ابعاد و میزان رطوبت، مشخصات فنی دیگری از لحاظ عیار کانی با ارزش و عناصر مضر در حد قابل قبول را نیز داشته باشد در غیر این صورت نه تنها هزینه حمل و نقل افزایش می‌یابد بلکه، کارآئی دستگاه‌های ذوب نیز کم شده و باعث افزایش سرباره و تلفات فلز نیز می‌شود.

۱ــ Contained Value

مطالعه آزاد

به‌عنوان مثال در مورد کانسنگ آهن با توجه به شرایط فنی مورد نیاز کارخانه احیاء مستقیم، کنسانتره باید بیش از ۶۸ درصد آهن، کمتر از ۰/۲ درصد گوگرد و کمتر از ۰/۰۴ درصد فسفر داشته باشد و در مورد کوره بلند نیز کنسانتره باید محتوی بیش از ۶۱ درصد آهن و کمتر از ۰/۲ درصد فسفر باشد، ولی در بعضی مواقع کانسنگ چنین شرایطی را ندارد و بدون عملیات کانه‌آرائی استفاده از آن غیرممکن است. به عنوان مثال وجود فسفر در کنسانتره آهن مشکلات زیر را پدید می‌آورد:

ـ نقطه ذوب آهن را کاهش می‌دهد.

ـ شکنندگی فولاد را افزایش می‌دهد.

ـ خورندگی فولاد را زیاد می‌کند.

ـ ترکیب فسفر و آهن به صورت FeP_3 مشکل‌زا است.

ـ محدودیت پایداری آستینیت را کاهش و فولاد را گرافیت‌زا می‌کند.

ـ قابلیت حرارتی فولاد را کاهش می‌دهد.

از طرفی گوگرد باعث شکنندگی فولاد در دمای بالا می‌شود و سوختن آن در گندله‌سازی باعث آلودگی هوا و احیاء مستقیم باعث صدمه‌زدن به کاتالیست‌ها می‌گردد. وجود ارسنیک در کنسانتره آهن باعث می‌شود تا چدن و فولاد شکننده شوند. وجود اکسیدسدیم و پتاسیم باعث کاهش مقاومت مکانیکی گندله می‌شود که این امر تورم گندله در احیاء مستقیم را به دنبال دارد. بالا بودن درصد گانگ اسیدی و عدم کنترل گانگ قلیایی نیز مشکلاتی را به وجود می‌آورد. به عنوان مثال چنانچه درصد گانگ اسیدی بالا باشد لازم است تا مقدار قابل توجهی سنگ‌آهک و دولومیت با ابعاد ریزتر از ۴۵ میکرون به کاربرد و در این صورت نیاز به هزینه بالایی خواهد بود. بنابراین با توجه به مسائل عنوان شده بدون عملیات فرآوری نمی‌توان محصولی با شرایط فنی قابل قبول و مورد نیاز صنعت را تولید کرد.

در تهیه کک متالورژی نیز، کانه‌آرائی جایگاه ویژه‌ای دارد. به عنوان مثال وجود خاکستر به‌عنوان یک ماده مضر مشکلات زیر را پدید می‌آورند:

ـ خاکستر موجود در زغال سنگ مصرف مواد را بیش از حد افزایش می‌دهد.

ـ با افزایش یک درصد خاکستر زغال کک شو تولید فولاد به میزان قابل توجهی کاهش خواهد یافت.

ـ خاکستر زیاد حجم سرباره را افزایش می‌دهد.

ـ اکسایش کک افزایش می‌یابد.

ـ حساسیت و کارایی کوره کاهش می‌یابد.

ـ وجود گوگرد بیش از حد استاندارد، باعث تردی و شکنندگی آهن می‌شود و خورندگی

فولاد نیز افزایش می‌یابد.

بنابراین تهیه کک متالورژی با شرایط فنی قابل قبول بدون عملیات فرآوری امکان‌پذیر نمی‌باشد.

کانسارهای سیلیس مورد استفاده در صنعت شیشه جام نیز باید مشخصات فنی قابل قبول را داشته باشند. به عنوان مثال علاوه بر کنترل دانه‌بندی حداکثر درصد اکسید آهن ۰/۱ و آلومینیوم ۲/۵ و درصد Sio_2 باید بیش از ۹۸ درصد باشد و چنانچه کنسانتره چنین کیفیتی را نداشته باشد مشکلاتی را در ساخت شیشه پدیده می‌آورد.

بنابراین:

- کانه‌آرائی انرژی مصرفی کارخانه ذوب را کاهش می‌دهد.
- تلفات فلز در سرباره را کاهش می‌دهد.
- حجم سرباره را کاهش می‌دهد.
- کارایی سیستم‌های متالورژی را افزایش می‌دهد.
- هزینه حمل ونقل مواد را کاهش می‌دهد.
- باعث جدایش چند کانی با ارزش از یکدیگر می‌شود.
- باعث جدایش کانی با ارزش و کانی مزاحم همراه می‌شود.
- بازیابی عناصر با ارزش موجود در باطله‌های قدیمی معادن را باعث می‌شود.
- باعث بازیابی مجدد پساب‌های صنعتی و استفاده مجدد آب در چرخه کارخانه می‌شود.
- در مسائل مربوط به زیست محیطی نیز نقش کلیدی دارد.
- باعث بازیابی عناصر با ارزش از سرباره‌ها می‌شود.

خودآزمایی

۱ـ دلیل اصلی فرآوری مواد معدنی چیست؟ با ذکر مثال توضیح دهید.

۲ـ فرآوری مواد معدنی به چه عملیاتی گفته می‌شود؟ و تفاوت آن با کانه‌آرائی در چیست؟

۳ـ با پیشرفت‌هایی که در امر پرعیارسازی مواد معدنی حاصل گردیده چه تحولات تازه‌ای در زمینهٔ استخراج معادن صورت پذیرفته است؟ با ذکر مثال توضیح دهید.

فصل ۲

خواص سنجی و شناسایی اولیه نمونه و نقش آن در کانه آرائی

هدف‌های رفتاری: در پایان این فصل از هنرجو انتظار می‌رود که بتواند:

۱ـ نمونه‌برداری را تعریف و نقش آن را در کانه‌آرائی بنویسد.

۲ـ خواص مواد معدنی را که در کانه‌آرائی اهمیت دارند را بنویسد.

۳ـ روش‌های متداول فرآوری را بر مبنای خواص کانی‌ها نام ببرد.

۴ـ نحوه انتخاب روش فرآوری را گام‌به‌گام توضیح دهد.

۲ــ آشنایی

انتخاب و طراحی یک مدار صحیح در مورد یک معدن خاص، یکی از مهم‌ترین و اساسی‌ترین مراحل تصمیم‌گیری در امر طراحی کارگاه فرآوری مواد معدنی است. به عنوان مثال در طراحی فرآیندهای خردایش و انتخاب صحیح مدار فرآوری که از جمله پرهزینه‌ترین مراحل فرآوری هستند می‌توان هزینه‌های سرمایه‌گذاری و عملیاتی را نام برد که عدم توجه به این مسائل ممکن است خسارات جبران‌ناپذیری را در پی داشته باشد. اگر هدف طراحی مدار فرآوری معدن جدیدی باشد کلیه پارامترهای لازم باید مورد ارزیابی قرار گیرند و چنانچه هدف تصحیح یک خط تولید و یا توسعه مدار فرآوری به‌منظور افزایش ظرفیت باشد عملیات موجود نقش کلیدی در انتخاب و ارزیابی پارامترهای لازم را خواهد داشت.

تعداد پارامترهایی که در طراحی مدار فرآوری باید مورد بررسی قرار گیرند بسیارند و شاید این تعداد به اندازه انواع کانه‌های مختلف موجود باشد. بنابراین هر نوع ماده معدنی مدار فرآوری مخصوص به خود را خواهد داشت.

یکی از مهم‌ترین مسائل در طراحی مدار فرآوری، آنالیز و شناخت خواص مواد است. سختی، ساینده‌گی، شکنندگی، رطوبت، عیار، ترکیبات کانی‌شناختی (اعم از کانی‌های مفید و مضر)، خواص فیزیکی، شیمیایی، شیمی ــ فیزیکی و بسیاری دیگر از جمله پارامترهایی هستند که در مرحله مقدماتی باید مورد مطالعه و بررسی قرار گیرند. مرحله بعدی تعیین پارامترهایی مانند ابعاد کارخانه، ظرفیت، محل و آب و هوا، دسترسی، وجود آب و بسیاری دیگر است

۲ــ۱ــ نمونه‌گیری

یکی از مهم‌ترین پارامترهای لازم در طراحی مدار فرآوری مهندسی فرآیند، نمونه‌گیری دقیق از ذخیره معدنی است و به عبارتی هرچه در مورد نمونه‌گیری اطمینان بیشتری داشته باشیم طراحی مدار فرآوری اعتبار بیشتری خواهد داشت.

بررسی محصولات فرعی و نحوه بازیابی آن‌ها، جهت‌دهی مهندسین اکتشاف به زون‌های پرعیار و مناسب فقط و فقط در گروه یک سیستم نمونه‌گیری سیستماتیک است. از آنجا که تعداد و وزن نمونه‌ها، ماهیت نمونه‌برداری، بررسی ائتلاف نمونه‌ها، نمونه‌گیری جداگانه و یا به صورت ترکیبی، دقت لازم در حمل و نگهداری نمونه‌ها چه از لحاظ آلودگی و یا از نظر اکسایش و بسیاری پارامترهای دیگر براساس نوع کانسنگ و فرآیندهای بعدی صورت می‌گیرد، لذا نظارت و کنترل نمونه‌گیری فقط و فقط باید توسط مسئول مربوطه انجام گیرد. به عنوان مثال برای انجام آزمایشات قابلیت خردشوندگی و نرم‌شوندگی به منظور تعیین انرژی لازم به روش اندیس‌کار باند حداقل ۲۵ کیلوگرم نمونه لازم است. در روش قابلیت خرد شوندگی به روش ضربه‌ای، ابعاد نمونه‌ها باید در حدود ۷ الی ۸ سانتیمتر باشد و چنانچه آزمایشات مقدماتی نشان دهند که کانسنگ استعداد خردایش به وسیله خودشکنی را دارد حداقل ۲۵ تا ۵۰ تن نمونه (در مقیاس نیمه صنعتی) با ابعاد ماکزیمم ۲۰ سانتیمتر لازم است. به‌طورکلی نتایج حاصل از آزمایشات آزمایشگاهی وسعت مورد نیاز پروژه را مشخص می‌سازد و درجه یکنواختی ماده معدنی حجم آزمایشات را تعیین می‌کند. پس از نمونه‌گیری و آماده‌سازی آن‌ها نوبت به مطالعات خواص‌سنجی نمونه‌ها از دیدگاه فرآوری می‌رسد. شکل ۲ــ۱ نحوه نمونه‌گیری، کاهش وزن و کاهش ابعاد نمونه را جهت تهیه نمونه‌های آزمایشگاهی نشان می‌دهد.

۲ــ۲ــ آنالیز شیمیایی نمونه

تعیین عیار واقعی یک نمونه و آنالیز صد درصد آن یکی از پارامترهای مهمی است که در طراحی

مدار فرآوری و تکمیل عملیات بعدی نقش بسزایی دارد. خطاهای احتمالی در این مرحله از عملیات، جبران‌ناپذیر است و برای جلوگیری از بروز این خطاها نمونه‌بردار باید در تهیه، آماده‌سازی و بررسی روش‌های آنالیز و کنترل نتایج کوشا باشد. به عنوان مثال در مورد یک ماده معدنی اکسیدی، وجود عناصر با ارزش و یا مزاحم، در تهیه نمونه و روش عیارسنجی پارامتر مهمی به شمار می‌رود. نتایج حاصل از تجزیه شیمیایی کامل نمونه، اطلاعات با ارزشی است که به کمک آن می‌توان مسائل مورد نیاز را بررسی کرد.

مطالعه آزاد

موارد مهّم و قابل برّرسی پس از آنالیز شیمیایی نمونه عبارتند از:

ـ عیار فلز (و یا فلزات) با ارزش

ـ عناصر مضر که مزاحمت‌هایی را در فرآیندهای متالورژیکی و یا در مرحله پرعیارسازی فراهم می‌سازد (وجود گوگرد و فسفر در آهن و موارد مشابه)

ـ تشخیص اولیه نوع باطله (سیلیکاته یا کربناته) که نقش بسیار مهمی را در انتخاب نوع فرآیند دارد.

ـ میزان کلی یک عنصر و مقدار اکسید آن (FeO،Fe، و موارد مشابه)

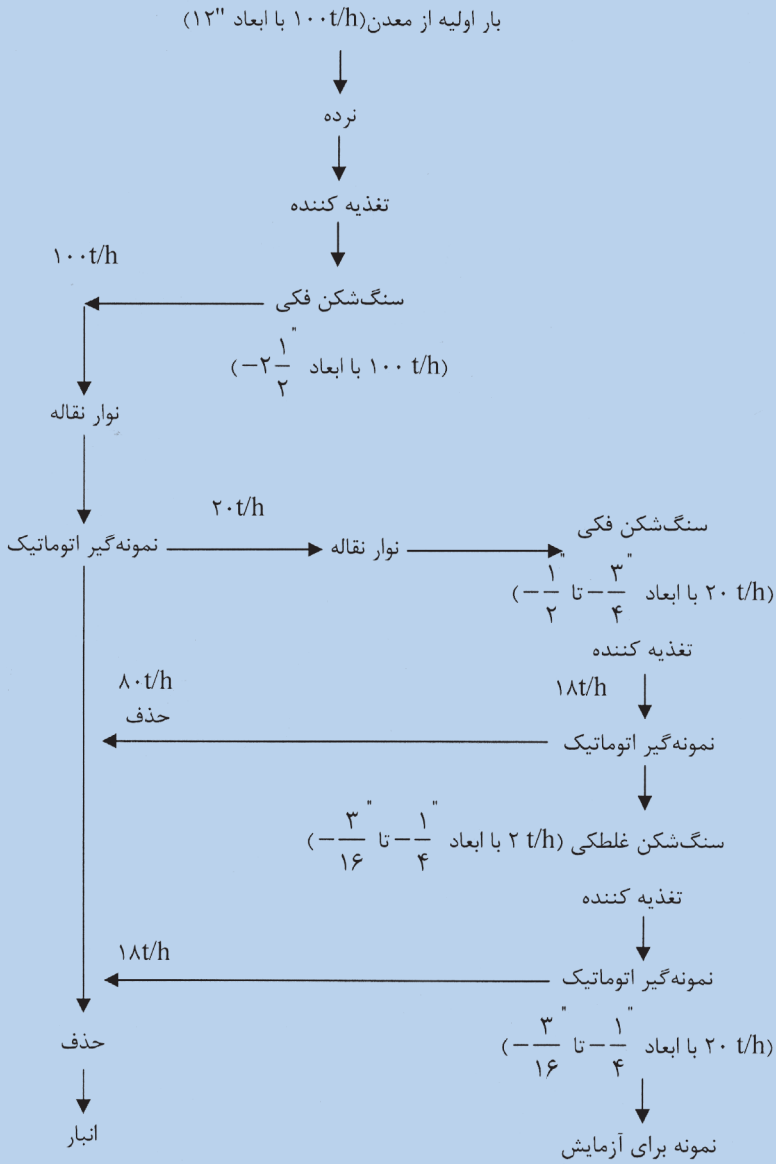
ـ میزان قابلیت انحلال فلزات در آب (حلالیت)

ـ تعیین میزان CaO و MgO که تعیین کننده گانگ کربناته است و بررسی نقش مفید و یا مضر آن در نمونه‌های مختلف

ـ میزان اکسیدهای پتاسیم و سدیم که مشخص کننده وجود رس است و به کمک آن می‌توان به شکل تقریبی وضعیت ویسکوزیته و وجود نرمه در فرآیندهای پرعیارسازی را بررسی کرد.

ـ تعیین میزان سولفات که به کمک آن می‌توان وضعیت پالپ را از نظر اسیدی بررسی و وضعیت خوردگی و سائیدگی بار خرد کننده و بدنه دستگاه‌ها را مشخص کرد و اگر لازم باشد، در طراحی مدار فرآوری مرحله شستشو با آب را پیش‌بینی نمود.

ـ تشخیص عنصر با ارزشی که به عنوان محصول فرعی بتوان مدار فرآوری مستقلی را جهت بازیابی آن طراحی کرد (وجود درصد قابل توجهی طلا در کانسنگ‌های مس پرفیری)



نمونه‌گیری ضمن کاهش وزن و ابعاد (۱″ = ۲/۵۴cm)

۲ــ۳ــ مطالعات کانی‌شناسی و میکروسکوپی

یکی دیگر از پارامترهای تعیین کننده در امر طراحی مدار فرآوری، مطالعه و بررسی وضعیت ماده معدنی از نظر کانی‌شناسی و میکروسکوپی است.

در بسیاری از موارد دانستن عیار فلز به تنهایی کافی نیست و باید نوع ترکیب شیمیایی فلز مورد نظر و نیز باطله همراه مشخص شود. بنابراین قطعاتی از نمونه برای تهیه مقاطع صیقلی و یا فلزی باید انتخاب و آماده‌سازی شوند. با مطالعه میکروسکوپی مقاطع فلزی و یا نازک می‌توان مشخصات نمونه را از لحاظ درصد حجمی کانی و یا کانی‌های موجود و دیگر پارامترهای مهم مشخص کرد. اگر با میکروسکوپ‌های معمولی نتوان هویت نمونه را مشخص کرد باید وسایل پیشرفته‌تری (مثل میکروسکوپ الکترونی) را به کار برد. مطالعات کانی‌شناسی جزء مسائل تخصصی است که باید به‌وسیله کارشناس متخصص در این زمینه انجام گیرد.

۲ــ۴ــ خواصّ کانی‌ها

۲ــ۴ــ۱ــ سختی : مقاومت یک کانی در برابر خراشیده شدن (یا خط افتادن) سختی خوانده می‌شود و در مقیاس مُوس[۱] با اعداد ۱۰ تا ۱ برای سخت‌ترین و نرم‌ترین کانی‌ها بیان می‌شود (الماس، کرندوم، توپاز، کوارتز، ارتوز، آپاتیت، فلورین، کلسیت، ژیپس و تالک). اگر مقیاس اندازه‌گیر مُوس در اختیار نباشد، به کمک بعضی از اجسام می‌توان سختی تقریبی مواد را مشخص کرد ناخن شست (۲/۵)، سکه مسی و یا نقره‌ای (۳)، چاقو (۵)، شیشه (۶)، کوارتز (۷)، کروندم (۹) و الماس (۱۰). مطالعه سختی به همراه سایندگی در مراحل طراحی مدار فرآوری خردایش به کار می‌رود.

۲ــ۴ــ۲ــ شفافیت[۲] : وقتی داخل کانی به راحتی قابل رؤیت باشد، کانی را شفاف[۳] (کوارتز، بریل، کلسیت و الماس) و وقتی کانی نور را عبور دهد ولی دیده نشود کانی را نیمه شفاف[۴] و چنانچه حتی نور از تیغه بسیار نازک نیز عبور نکند به آن غیرشفاف و یا کدر[۵] (نقره، مس، گالن، پیریت، هماتیت و منیتیت) می‌گویند. از آنجا که بیشتر کانی‌ها خالص نیستند، شفافیت مختلفی دارند. در بیشتر مواقع کانی‌های شفاف نیز خاصیت نیمه‌شفاف دارند، بخصوص هنگامی که خالص نباشند.

۲ــ۴ــ۳ــ جلاء[۶] : کیفیت انعکاس نور از سطح کانی را جلای آن می‌گویند. جلاء به ظاهر سطح کانی مربوط است و به دو گروه فلزی و غیرفلزی تقسیم می‌شود. به عنوان مثال‌هایی در این زمینه می‌توان از جلای صدفی (ژیپس)، شیشه‌ای (کوارتز)، چرب و روغنی (نفلین) ابریشمی (آزبست)، مومی (سرپانتین)، و رزینی (اسفالریت) نام برد.

۱ــ Dorr
۲ــ Mohs Scale
۳ــ Transparency
۴ــ Transparent
۵ــ Translucent
۶ــ Opaque

۲ــ۴ــ۴ــ سطوح رَخ (کلیواژ) : کلیواژ خاصیتی است که بعضی از کانی‌ها به هنگام شکستگی از خود نشان می‌دهند و طی آن شکستگی با ایجاد صفحاتی صاف و موازی هم توأم است. کانی‌هایی که بدین شکل شکسته می‌شوند سطوح کلیواژ کاملی دارند و در مطالعات فلوتاسیون درخصوص آبرانی طبیعی کانی نقش بسیار مهمی را به عهده دارند.

۲ــ۴ــ۵ــ رنگ : در بیشتر مواقع رنگ کانی ناشی از جذب طول موج‌هایی از انرژی نور توسط اتم‌های موجود در بلور است. باقی‌مانده طول موج‌هایی که جذب نمی‌شوند توسط چشم قابل رؤیت‌اند. به جزء موارد استثنایی رنگ کانی به دلیل وجود ناخالصی‌های موجود بسیار متغیر است. به عنوان مثال کلسیت بی‌رنگ به دلیل وجود مقدار بسیار ناچیزی هورنبلند سبز سوزنی و یا سبز رنگ خواهد بود. در بعضی از کانی‌ها به دلیل وجود مقدار بسیار کمی از ناخالصی‌ها تشخیص رنگ مشکل است. بعضی از کانی‌های غیرفلزی تنوع رنگ بسیار زیادی دارند مانند فلورین و کوارتز و برخی مانند گوگرد (زرد) و گرافیت (سیاه) رنگشان ثابت است. مع‌الوصف از اختلاف رنگ کانی‌ها می‌توان به کمک نور منعکسه توسط سنگ جوری خودکار (الکترونیکی)[۱] و یا دستی[۲] در جدایش آن‌ها استفاده کرد.

۲ــ۴ــ۶ــ خواص رادیواکتیویته : در بعضی موارد می‌توان از خواص رادیواکتیویته در بعضی از کانی‌ها برای جدایش آن‌ها استفاده کرد. این عملیات به سنگ جوری رادیواکتیویته نیز معروف است. کانی‌هایی که خواص رادیواکتیویته دارند، دارای عناصر رادیواکتیو مانند اورانیوم (کانی اورانیتیت) و توریوم (کانی توریت) هستند که با روش سنگ جوری خودکار می‌توان جدایش آن‌ها را ممکن ساخت.

۲ــ۴ــ۷ــ خواص مغناطیسی : از اختلاف خواص مغناطیسی کانی‌ها می‌توان برای جدایش این مواد توسط جدا کننده‌های مغناطیسی تر و خشک، شدت بالا و شدت پایین استفاده نمود.

علاوه بر کاربرد این روش در فرآوری کانسنگ‌های آهن، در جدایش کانی‌های پارامنیتیتی (به‌عنوان مواد مزاحم) از کانی‌های غیرآهنی و همچنین در فرآوری کانی‌های غیرفلزی (ماسه‌های ساحلی) نیز می‌توان از آن استفاده نمود.

۲ــ۴ــ۸ــ خواص الکتریکی : از خاصیت الکتریسیته ساکن و یا هدایت الکتریکی کانی‌های هادی، نیمه هادی، و یا غیرهادی می‌توان جدایش آن‌ها راتوسط جداکننده‌های الکترواستاتیکی و یا

۱ــ Automatic (Electronic) Sorting ۲ــ Hand Sorting

الکتریکی ممکن ساخت.

از آنجا که اکثر کانی‌ها کمابیش اختلاف هدایت الکتریکی دارند، بنابراین با استفاده از روش الکتریکی می‌توان آن‌ها را جدا کرد. این روش به دلیل آنکه بیشتر در جدایش کانی‌های موجود در ماسه‌های ساحلی به کار می‌رود، کاربرد محدودی دارد.

۲ــ۴ــ۹ــ خواص سطحی (شیمی ــ فیزیکی) : از اختلاف قابلیت ترشوندگی ذرات (تمایل به آبران و یا آبگیر شدن) در یک محیط سیال و جریان هوا برای ایجاد حبابهای مناسب و در حضور بعضی از مواد شیمیایی که هدف آن‌ها افزایش خاصیت آبرانی یک یا چند کانی و یا بازداشت بعضی از کانی‌ها است می‌توان برای جدایش کانی‌های آبران و آبگیر استفاده کرد (روش فلوتاسیون).

۲ــ۴ــ۱۰ــ خاصیت گرانشی (ثقلی) : از اختلاف جرم مخصوص بین دو کانی می‌توان استفاده کرد و جدایش آن‌ها را ممکن ساخت. علاوه بر جرم مخصوص، ابعاد و شکل ذرات نیز بر روی حرکت نسبی آن‌ها در محیط آب تأثیر می‌گذارند. در روش‌های ثقلی یا از جریان آب به طور نوسانی استفاده می‌شود (جیگ) و یا با ایجاد جرم مخصوص کاذبی بین جرم مخصوص کانی با ارزش و گانگ (واسطه سنگین) جدایش صورت می‌گیرد. بدین ترتیب که کانی با جرم مخصوص بیشتر از جرم مخصوص واسطه غرق و کانی دیگر با جرم مخصوص کمتر شناور می‌شود.

خودآزمایی

۱ـ نمونه‌برداری را تعریف کنید و چگونگی به دست آوردن اطلاعات بهتر در مورد مادهٔ معدنی را بیان نمایید.

۲ـ مراحل مختلف نمونه‌برداری را بیان کنید.

۳ـ چگونه از خواص کانی‌ها می‌توان در فرآوری آن‌ها استفاده کرد.

۴ـ نقش کانی‌شناسی و آنالیز شیمیایی مواد را در کانه‌آرائی بنویسید.

۵ـ مدار فرآوری چیست و چگونه بوجود می‌آید؟

فصل ۳

اصول خرد کردن و سنگ شکن ها

هدف‌های رفتاری : در پایان این فصل از هنرجو انتظار می‌رود که بتواند :

۱ـ عوامل مؤثر در خردایش مواد را شرح دهد.

۲ـ حد لازم در خرد کردن مواد را بیان کند.

۳ـ سطح مخصوص را تعریف کند.

۴ـ تئوری خرد کردن را توضیح دهد.

۵ـ انواع مختلف سنگ‌شکن‌ها شامل فکی، ژیراتوری، چکشی، استوانه‌ای و ضربه‌ای را شرح دهد.

۳ــ آشنایی

چنانکه قبلاً نیز اشاره شد باطله، به مادهٔ با ارزش چسبیده و برای آزاد کردن آن ابتدا باید مادهٔ معدنی را خرد کرد تا در مراحل بعدی بتوان به طور کامل آن‌ها را از هم جدا کرد. خرد کردن عمل افزایش سطوح خارجی به کمک نیروهای وارد شده بر جسم است. به محض اینکه این نیروها با ضربهٔ دو جسم متحرک به یکدیگر، ضربهٔ یک جسم متحرک به یک جسم ثابت، نیروهای برشی، خمشی، کششی و پیچشی اعمال شوند از مجموع این نیروها مواد معدنی در نقاطی ضعیف شده، شکسته وخرد می‌شوند و اجزاء کوچکتری به وجود می‌آید. شکستن و خرد کردن سنگ‌ها و تجهیزاتی که برای این منظور مورد استفاده قرار می‌گیرد، مهم‌ترین قسمت یک کارخانه کانه‌آرایی را تشکیل می‌دهند به نحوی که معمولاً ۷۰ تا ۹۰ درصد نیروی مصرفی و ۵۰ تا ۷۰ درصد کل هزینه‌ها را به خود اختصاص می‌دهد.

۳ــ۱ــ عوامل مؤثر در خرد شدن ماده معدنی

موادی که در طبیعت وجود دارند از لحاظ خرد شدن به دو دسته تقسیم می‌شود. دستهٔ اول

آن‌هایی هستند که در اثر ضربه یا فشار به آن‌ها در تمام جهات به طور یکنواخت خرد می‌شوند و دستهٔ دوم موادی که عمل خرد شدن در آن‌ها در تمام جهات مختلف یکسان نیست و عواملی مانند صفحات کلیواژ، وجود حفره و شکاف و رگه باعث می‌گردد تا ماده معدنی در بعضی جهات آسان‌تر شکسته و خرد شود. در این میان سختی، چکش‌خواری و شکل تبلور نیز مؤثر است.

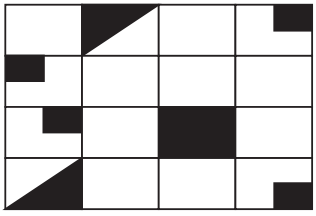
۳ــ۲ــ حد لازم در خرد کردن

ابعاد کانی‌ها تشکیل دهندهٔ ماده معدنی متغیر بوده به طوری که ممکن است از چند میکرون تا چندین سانتی‌متر برسد و چون هدف از خرد کردن آزاد شده کانی با ارزش از دیگر مواد است، لذا این فرآیند به درشتی و ریزی دانه‌های کانی و بافت آن بستگی دارد. مثلاً اگر کانی به شکل بسیار ریز پخش شده باشد عمل نرم کردن باید تا حد بیشتری ادامه یابد و در نتیجه مخارج بیشتری نیزخواهد داشت.

۳ــ۳ــ تعیین درجه آزادی

یکی از مهم‌ترین اهداف خردایش مواد معدنی توسط سنگ‌شکن‌ها (و کنترل دانه‌بندی با سرندها) و آسیاها (کنترل دانه‌بندی مواد توسط کلاسیفایرها) دست‌یابی به آزادسازی کانی‌های با ارزش از مواد باطله همراه در درشت‌ترین ابعاد ممکن است. دست‌یابی به درجه آزادی ۱۰۰ درصد یک فرض ایده‌آل است و معمولاً بر مبنای ۸۰ درصد آزاد شدن مواد مورد بررسی قرار می‌گیرد و عبارت است از نسبت کانی با ارزش به صورت کاملاً آزاد، به کل همان کانی با ارزش موجود در ماده معدنی برحسب درصد. این پارامتر بسیار مهم در کانی‌آرائی به نوع ماده معدنی، تفرق کانی‌شناختی، خواص مکانیکی کانی‌ها، نیروهای وارده، ارزش فلز و یا کانی و بسیاری عوامل دیگر وابسته است. تعیین درجه آزادی معمولاً با دانه‌بندی مواد و توزیع عناصر با ارزش در آن‌ها، مطالعات میکروسکوپی، مطالعات غرق و شناورسازی و دیگر روش‌ها صورت می‌گیرد.

مثال : درجه آزادی کانی با ارزش (قطعات سیاه‌رنگ) را از مواد باطله (گانگ) سفید رنگ بدست آورید. تعداد ذرات حاصل از شکست ماده بر اثر وارد شدن ضربه ۱۶ عدد است.



$$\text{درجه آزادی} = \frac{\text{کانی با ارزش آزاد}}{\text{کل کانی با ارزش}} \times ۱۰۰ = \frac{۱}{۳} \times ۱۰۰ = ۳۳/۳۳\%$$

قطعه کامل آزاد شده (مربع سیاه) (در صورت کسر) و کل کانی با ارزش مجموع ۳ قطعه کامل است در مخرج کسر (۴ قطعه $\frac{۱}{۴}$ + ۲ قطعه $\frac{۱}{۲}$ + ۱ قطعه $\frac{۱}{۱}$)

بنابراین چون حداقل درجه آزادی ۸۰ درصد است، ماده باید از این هم خردتر شود.

مطالعه آزاد

نیروی لازم برای خرد کردن مواد معدنی

تعیین نیروی لازم برای خرد کردن مواد اشکالات فراوانی دارد، در این مورد فرضیه‌های زیادی ارائه شده که معروف‌ترین آن‌ها تئوری «ریتینگر»[۱] می‌باشد و براساس این نظریه مقدار کار و انرژی لازم برای خرد کردن با سطوح جدیدی که به‌وجود می‌آید متناسب است و از رابطهٔ:

$$W = K(\frac{۱}{d} - \frac{۱}{D})$$

محاسبه می‌شود و در فرمول فوق W مقدار انرژی لازم، D قطر اولیه، d قطر محصول و K ضریبی است که به شکل و سختی سنگ بستگی دارد. فرمول فوق با آنکه جنبهٔ تئوری دارد ولی در عمل نتایجی نزدیک به واقعیت به دست می‌دهد.

مثال: برای خرد کردن ماده‌ای از ابعاد متوسط ۵۰ میلی‌متر به ابعاد متوسط ۴ میلی‌متر و ۲۰ اسب بخار نیرو لازم است. برای خرد کردن همان سنگ به ابعاد ۰/۷۵ میلی‌متر چه مقدار نیرو لازم است؟

$$W = K(\frac{۱}{d} - \frac{۱}{D})$$

$$W_۱ = ۲۰ = K(\frac{۱}{۴} - \frac{۱}{۵۰})$$

$$W_۲ = K(\frac{۱}{۰/۷۵} - \frac{۱}{۵۰})$$

از تقسیم $\frac{W_۱}{W_۲}$ مقدار انرژی لازم بدست می‌آید. ضریب K در مورد ماده معدنی مقدار ثابتی است، لذا در تقسیم حذف می‌شود.

$$\frac{W_۱}{W_۲} = \frac{۲۰}{W_۲} = \frac{\frac{۱}{۴} - \frac{۱}{۵۰}}{\frac{۱}{۰/۷۵} - \frac{۱}{۵۰}} \Rightarrow W_۲ = ۱۱۵H.P$$

درصنعت فرمول‌های تجربی بسیاری موجود است که در مورد سنگ‌های معینی بکار می‌رود مانند فرمول تجربی «پیرت»[۲] که در مورد سنگ‌های معدنی کلسیت، اسفالریت، فلورین، آپاتیت، کوارتز، توپاز و موارد مشابه معتبر است. این رابطه به قرار زیر است:

$$E = ۲۱/۵H + ۲۳$$

E انرژی لازم برحسب ژول است بر هر مترمربع از سطح جدیدی که بوجود می‌آید و H درجهٔ سختی سنگ در میزان «موهس» می‌باشد.

۱ــ Rittinger ۲ــ Piert

۳ــ۴ــ سطح مخصوص

اندازه‌گیری سطح مخصوص پودرها بخصوص در کارخانه‌های سیمان اهمیت زیادی دارد. سطح مخصوص عبارت است از مجموع سطوح خارجی ذرات که در یک گرم از جسم وجود دارد و برحسب Cm^2/gr تعیین می‌گردد. امروزه در مورد اکثر پودرها، به جای درشتی، عدد سطح مخصوص آن را ارائه می‌دهند. مهم‌ترین روش‌های تعیین سطح مخصوص عبارت‌اند از :

۳ــ۴ــ۱ــ روش نوری (توربیدی متری)[۱] : در این روش که در کارخانه‌های سیمان معمول است، شدت نوری را که از مخلوط پودر سیمان در یک مایع (معمولاً آب) می‌گذرد نسبت به نوری که از همان ضخامت مایع ولی بدون سیمان می‌گذرد، اندازه می‌گیرند. این نسبت به غلظت سیمان در مایع و سطح مخصوص آن بستگی دارد. اگر شدت نوری که از ضخامت معینی از آب خالص عبور می‌کند «I_o» و شدت نوری که از همان منبع صادر می‌شود ولی از مخلوط سیمان و آب با همان ضخامت عبور کند «I_D» باشد، به طور تجربی ثابت شده است که :

$$S_b = C(\text{Log}I_o - \text{Log}I_D)$$

نوعی دستگاه توربیدی متر

S_b سطح مخصوص پودر و C ضریبی است که به غلظت، ضخامت و سایر مشخصات و خواص مایع بستگی دارد. در کارخانه‌های سیمان هم برای کنترل خرد کردن از این روش استفاده می‌شود و دستگاهی بنام توربیدی متر واگنر[۲] به کار می‌رود که در آن منبع نور، یک لامپ ۶ شمعی است و شدت نور را می‌توان با یک رئوستا تنظیم نمود. نور پس از عبور از فیلترهای مخصوص و عدسی‌ها از لولهٔ آزمایش مخصوصی گذشته به یک سلول فتوالکتریک می‌تابد و شدت جریانی که توسط سلول فتوالکتریک تولید می‌گردد به وسیلهٔ یک میکروآمپرمتر اندازه‌گیری می‌شود.

۱ــ Turbidimietry ۲ــ Wagner Turbidimeter

۳ــ۴ــ۲ــ روش شیمیایی : در صنعت پس از آزمایش‌های متعدد در مورد بعضی از اجسام جدول‌هایی تهیه نموده‌اند که از روی حل شدن پودر یک جسم در اسید معین و در شرایط کاملاً مشخص، می‌توان به کمک جدول «سطح مخصوص» را به دست آورد.

۳ــ۴ــ۳ــ روش جذب گازی : اصولاً بسیاری از اجسام گرایش معینی به جذب بعضی از گازها دارند و مقدار گاز جذب شده به سطح جسم بستگی دارد. از این خاصیت نیز برای تعیین «سطح مخصوص» بعضی از پودرها استفاده می‌شود.

۳ــ۵ــ تئوری‌های خرد کردن

در مقاومت مصالح، جسم مورد اندازه‌گیری، تحت شرایط و عوامل متغیر خارجی ولی با خاصیت فیزیکی و مکانیکی مشخص، بررسی می‌شود تا مجهولات آن براساس فرمول‌های فیزیکی و تغییرات مکانیکی تعیین گردد. امّا در فرآیند خرد کردن، فاکتورهای اثر کنندهٔ آن،چه از لحاظ ساختمان مواد خرد شونده و چه از لحاظ نوع و چگونگی تأثیرگذاری نیروهای خرد کننده و شرایط تأثیر آن‌ها در آسیاها تا حدودی نامعلوم می‌باشد. بنابراین به کمک خاصیت فیزیکی مواد خرد شونده، تئوری خرد کردن که اغلب تجربی می‌باشد، بررسی می‌شود. پایهٔ این تئوری بر مبنای آزمایش‌های مختلف از اجسام خرد شوندهٔ سریع مانند شیشه استوار می‌باشد. در اینجا چند قانون مهم به اختصار بیان می‌شود :

۳ــ۵ــ۱ــ قانون کیک[1] : تجربه نشان می‌دهد که تمام انرژی که یک سنگ‌شکن مصرف می‌کند صرف شکستن سنگ نمی‌شود، بلکه همواره قسمتی از این انرژی در تغییر شکل ذرات به کار می‌رود. به طور کلی هر جسمی در اثر نیروی وارد شده بر روی آن، قبل از شکستن تغییر شکل می‌دهد و وقتی که نیرو به حد معینی که آن را «حد مقاومت» می‌نامند برسد جسم خرد و شکسته می‌شود. مقدار تغییرات و مقدار انرژی که صرف این تغییرات می‌شود، به خواص جسم و نوع نیروی وارد شده بستگی دارد برای مثال در مورد ضربه، مقدار انرژی که صرف تغییر شکل می‌شود به مراتب کمتر از وقتی است که نیرو به آرامی بر جسم وارد شود؛ طبق قانون مذکور مقدار انرژی که صرف تغییر شکل (بدون شکستگی) به جسم می‌شود متناسب با وزن یا حجم آن جسم بوده و به ابعاد آن ارتباطی ندارد و فقط به خواص ذاتی جسم، مربوط است. البته در شکستن سنگ‌ها علاوه بر انرژی لازم برای شکستن و تغییر شکل آن‌ها، مقداری انرژی نیز به صورت اصطکاک بین سنگ‌ها و جدار سنگ‌شکن مصرف می‌شود

۱ــ Kick

که مقدار آن به شکل و مشخصات سنگ‌شکن بستگی دارد.

۳ــ۵ــ۲ــ قانون ریتینگر : این قانون از بین تئوری‌های موجود در زمینهٔ خرد کردن قدیمی‌تر و قابل قبول‌تر می‌باشد. براساس این نظریه، مقدار کار و انرژی مصرف شدهٔ لازم برای خرد کردن سنگ‌ها متناسب با سطوح جدیدی است که به وجود می‌آید؛ و با افزایش سطوح خارجی نسبت مستقیم دارد.

۳ــ۵ــ۳ــ قانون باند[۱] : باند با توجه به تئوری‌های «کیک» و ریتینگر تئوری جدیدتری بیان داشت که به تئوری سوم مشهور شد. طبق نظر او اجسام به طور معمول نامنظم بوده، شکست آن‌ها در نقاط ضعیف صورت می‌پذیرد یعنی انرژی در نقاط ضعیف متمرکز شده و عمل شکستن را انجام می‌دهد به عقیدهٔ وی حجم مواد و سطوح خارجی مواد، عواملی هستند که در مقدار کار مفید برای خرد کردن مؤثرند؛ زیرا تمرکز انرژی برای تغییر شکل، به حجم ذرات و تمرکز انرژی برای ایجاد شکاف در نقاط ضعیف، به سطوح خارجی آن‌ها بستگی دارد. در قانون «باند» کار مفید انجام شده جهت خرد کردن موادی که به طور متجانس خرد می‌شود با جذر قطر مواد تولید شده، نسبت عکس دارد.

مطالعه آزاد

$$w = K_B\left(\frac{۱}{\sqrt{d}} - \frac{۱}{\sqrt{D}}\right)$$

باند قابلیت خردایش مواد را با اندیسی بنام اندیس باند (w_i) نشان داد و معادل انرژی لازم برای خرد کردن یک تن کوچک از ماده‌ای با ابعاد تئوری بی‌نهایت تا ابعادی که ۸۰ درصد آن از الک ۱۰۰ میکرون عبور کند:

$$w = ۱۰ w_i\left(\frac{۱}{\sqrt{d}} - \frac{۱}{\sqrt{D}}\right)$$

که در آن :

w: انرژی $\left(kwh/t\right)$

w_i: اندیس کار $\left(kwh/st\right)$ **(st تن کوچک)**

D: ابعاد اولیه (میکرون)

d: ابعاد محصول (میکرون)

و با توجه به سیستم متریک

$$w = ۱۱ w_i\left(\frac{۱}{\sqrt{d}} - \frac{۱}{\sqrt{D}}\right)$$

۱ــ Bond

مثال : اگر ابعاد اولیه یک ماده معدنی (بر مبنای ۸۰ درصد عبور کرده از الک) و محصول آن به‌ترتیب معادل ۶۷۳۰ و ۱۴۹ میکرون باشد چنانچه برای هر تن آن ۷/۲ kwh انرژی لازم باشد مطلوب است، w_i :

$$۷/۲ = w_i \times ۱۱ \frac{۱}{\sqrt{۱۴۹}} - \frac{۱}{\sqrt{۶۷۳۰}}$$

$$w_i = ۹/۴۷ \, kwh/st$$

۳ــ۶ــ انواع مختلف سنگ‌شکن‌ها[۱]

خرد کردن قطعات بزرگ مواد استخراج شده از معدن تا حدّ کوچکی که مورد نظر است، فقط با یک دستگاه خاص عملی نیست، معمولاً در دو یا چند مرحله انجام می‌شود؛ در مرحلهٔ اول مواد درشت را شکسته و به ابعاد ۶ــ۴ سانتی‌متری تبدیل و محصول به دست آمده را در سنگ‌شکن‌های دیگری خرد نموده، به ابعادی در حدود یک سانتی‌متر می‌رسانند.

عمل شکستن در همهٔ سنگ‌شکن‌ها، به وسیلهٔ حرکت قسمتی از دستگاه انجام می‌گیرد که این حرکت ممکن است در مقابل یک قسمت ثابت و یا یک قسمت متحرک دیگر باشد. این نیروها فشاری به مواد وارد می‌کنند، که پس از گذشتن از حد «الاستیک»، باعث شکستن آن‌ها می‌شوند. بنابراین اگر نیروی وارد شده به اندازهٔ کافی نباشد، عمل شکستن انجام نخواهد گرفت.

سنگ‌شکن‌هایی که در هریک از دو مرحلهٔ فوق‌الذکر به کار می‌روند ساختمان و مشخصات کاملاً متفاوتی دارند که به ترتیب به ذکر مهم‌ترین آن‌ها پرداخته می‌شود :

۳ــ۶ــ۱ــ سنگ‌شکن‌های مرحلهٔ اول : ابتدایی‌ترین وسیلهٔ شکستن سنگ‌ها، پتک می‌باشد که دارای انواع و اشکال مختلفی است. وزن این پتک‌ها بین ۱۵ ــ۵ کیلوگرم است و معمولاً دسته‌ای به طول ۷۵ سانتی‌متر دارند. با پتک می‌توان سنگ‌های بزرگ را به قطعات کوچک ۵ ــ۳ سانتی‌متری تبدیل کرد. کارآیی پتک به وزن آن و نیروی کارگر بستگی دارد و به طور متوسط یک نفر به کمک پتک می‌تواند در هر ساعت ۵۰۰ کیلوگرم از یک سنگ نیمه سخت را خرد کند.

۳ــ۶ــ۲ــ سنگ‌شکن فکی[۲] : سنگ شکن‌های فکی از دو فک تشکیل شده‌اند که یکی

۱ــ Crushers ۲ــ Jaw Crusher

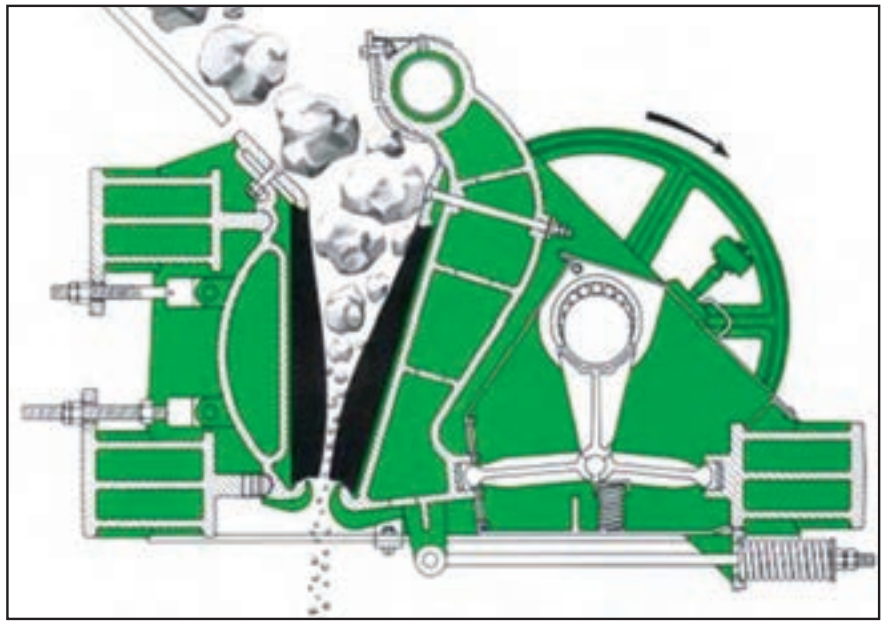
از آن‌ها ثابت و دیگری متحرک است. این فاصله در قسمت فوقانی دستگاه دهانه و در بخش تحتانی دستگاه گلوگاه نامیده می‌شود. فک متحرک معمولاً حرکت نوسانی دارد و به تناوب به فک ثابت دور و نزدیک می‌شود و در اثر این عمل قطعات سنگ و مادهٔ معدنی خرد می‌شوند و به قسمت پایین دستگاه که فاصلهٔ فک‌ها کمتر است، منتقل می‌شوند. در این قسمت نیز عمل خرد شدن ادامه می‌یابد تا محصول نهایی از گلوگاه خارج شود. فک ثابت در اکثر سنگ‌شکن‌ها به طور قائم بوده و فک متحرک زاویهٔ حاده‌ای با آن می‌سازد. حرکت فک توسط مکانیزم‌های مختلف تأمین می‌شود و برای اینکه حرکت یکنواخت‌تری به آن بدهند از چرخ طیار استفاده می‌کنند.

حرکت فک‌های سنگ‌شکن

کار فک‌ها چون تقریباً از قسمت‌های وسط به پایین انجام می‌شود قسمت‌های پایین سائیده شده، از بین می‌روند و قسمت‌های فوقانی کم و بیش ثابت می‌مانند به این دلیل فک‌ها را معمولاً در چند تکه می‌سازند که می‌توان محل آن‌ها را با هم تعویض نمود. دوام فک‌ها به سختی سنگ بستگی دارد و معمولاً حدود یک سال است. بر روی سطح فک، شیارهایی تعبیه می‌کنند تا از لغزش سنگ جلوگیری نماید. نسبت «دهانه» به گلوگاه معمولاً حدود ۵ ــ۴ سانتی‌متر می‌باشد، در قسمت گلوگاه، پیچی وجود دارد که با آن فاصله دو فک نزدیک یا دور می‌شود. سرعت حرکت فک به ابعاد دستگاه بستگی دارد یعنی هر قدر ابعاد سنگ‌شکن بزرگ‌تر باشد تعداد نوسانات آن کمتر است. این تعداد در سنگ‌شکن‌های بزرگ ۹۰ بار در دقیقه و در دستگاه‌های کوچک به ۳۰۰ بار در دقیقه می‌رسد وزن

سنگ‌شکن‌ها از ۲ تا ۲۰۰ تن تغییر می‌کند. این سنگ‌شکن‌ها برحسب نوع فک متحرک، تقسیم‌بندی می‌شوند که دو مدل «بلیک» و «دوج» از بقیه معمول‌تر هستند.

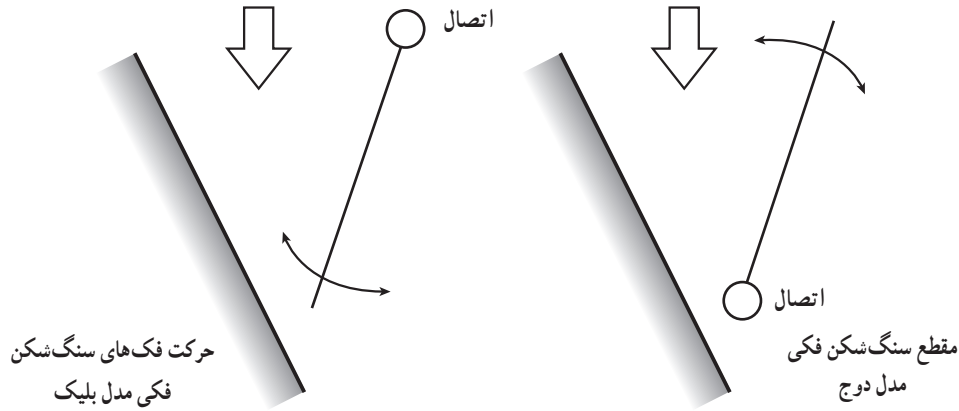
الف) سنگ‌شکن فکی مدل بلیک[۱] : این نوع سنگ‌شکن‌ها بسیار قدیمی و مخصوص مواد درشت بوده و برای مواد سخت و ساینده استفاده می‌شود. در این سنگ‌شکن فک متحرک در قسمت بالایی خود ثابت و در قسمت انتهایی خود دارای حرکت «رفت و برگشتی» می‌باشد.



نمای ظاهری سنگ‌شکن فکی

ب) سنگ‌شکن مدل دوج[۲] : این سنگ‌شکن نیز مشابه قبلی بوده، با این تفاوت که فک متحرک در قسمت پایین، ثابت است و حرکت رفت و برگشتی فک در قسمت بالایی آن انجام می‌گیرد. از این نوع سنگ‌شکن در صنعت استفاده نمی‌شود و اغلب در آزمایشگاه به کار می‌رود و حسن آن این است که ذرات خروجی از سنگ‌شکن دارای ابعاد یکنواخت‌تری می‌باشند ولی در عوض امکان گیرکردن سنگ بین دو فک زیاد است؛ به علاوه تعویض قطعات فک متحرک مشکل است و برای مواد بسیار درشت و ریز مناسب نیست.

۱ــ Blake ۲ــ Dodge



ج) سنگ‌شکن فکی تلسمیت[1]: این سنگ‌شکن شبیه سنگ‌شکن «بلیک» است. فک متحرک در این سنگ‌شکن مستقیماً بر روی قسمت خارج از مرکز چرخ طیار نصب شده است و در نتیجه، فک متحرک دارای یک حرکت رفت و برگشتی به جلو و بالا و پایین بیضی شکل است. این سنگ‌شکن‌ها در گذشته به دلیل اشکالات فنی کمتر به کار برده می‌شدند ولی امروزه با تهیهٔ فولادهای مخصوص، اشکالات آن‌ها رفع شده و جانشین دو مدل قبلی شده‌اند، گواینکه به بزرگی نوع بلیک ساخته نمی‌شوند.

مطالعه آزاد

مشخصات سنگ‌شکن‌های فکی

سنگ‌شکن‌های فکی برای مرحلهٔ اول خرد کردن یعنی مواد درشتی که از معدن استخراج شده‌اند، به کار می‌روند و به همین دلیل دارای دهانهٔ ورودی بزرگی هستند. در یک سنگ‌شکن فکی فاصلهٔ قسمت بالایی دو فک یعنی دهانهٔ ورودی ۲۱۴ تا ۳۰۴ سانتی‌متر (۸۴ تا ۱۲۰ اینچ) است و همان‌طور که قبلاً ذکر شد این نسبت معمولاً ۵-۴ برابر فاصلهٔ گلوگاه است. در قسمت گلوگاه هم با وجود پیچ تنظیم، می‌توان فاصله دو فک را به هم دور یا نزدیک کرد و محصولات خروجی ریزتر یا درشت‌تری رابه دست آورد. سنگ‌شکن‌های فکی در مواردی می‌توانند سنگ‌هایی به قطر حدود بیش از ۴۰ سانتی‌متر (۶ فوت) و به وزن چند تن را در خود جای دهند. ظرفیت سنگ‌شکن‌های فکی زیاد است مثلاً برای اینکه موادی به قطر ۱۲۲ تا ۱۰۶/۶ سانتی‌متر (۴۸-۴۲ اینچ) را به ۱۲/۲۴ سانتی‌متر (۶ اینچ) برساند می‌تواند ظرفیت ۴۰۰۰ تن در ۲۴ ساعت داشته باشد. «تاگارت» فرمول تجربی زیر را برای ظرفیت سنگ‌شکن‌ها ارائه داده

۱ــ Telsmith

است:

$$T=0/6\,L.S$$

که در آن T ظرفیت سنگ‌شکن بر حسب تن در ساعت، L طول دهانهٔ ورودی و S عرض دهانهٔ خروجی می‌باشد که هر دو برحسب اینچ است. این فرمول با دقت کافی برای تمام سنگ‌شکن‌ها به جز بزرگ‌ترین آن‌ها قابل اجرا است. انرژی مصرف شده در سنگ‌شکن‌های فکی متغیر است و با بزرگی دهانهٔ ورودی (با ضریب خرد کردن ثابت)، بزرگی ذرات خروجی (در اندازه بار ورودی ثابت) و همچنین با ظرفیت دستگاه نسبت عکس دارد. اگر فرض شود که زمان تلف شده به حداقل خود برسد، انرژی مصرف شده در حدود ۰/۳ تا ۱/۵ کیلو وات ساعت برای هر تن سنگ خرد شده، خواهد بود. تعداد نفرات لازم به ازای هر دستگاه معمولاً یک نفر می‌باشد. این شخص علاوه بر نظارت بر کار دستگاه وظیفهٔ دور ریختن چوب یا سایر اشیاء خارجی دیگر از روی نوار تغذیه و کنترل مخزن تخلیه را نیز عهده‌دار است. به دلیل آن‌که سنگ‌شکن‌های با ظرفیت خیلی زیاد دارای مخارج نسبتاً کمتری هستند. نصب چنین دستگاهی که در یک نوبت کاری بتواند بار ورودی سه نوبت آسیا را تأمین کند به صرفه نزدیک‌تر خواهد بود.

پوشش داخلی، یکی از مخارج عمدهٔ سنگ‌شکن‌ها است که باید به موقع تعویض شود و در این رابطه مخارج خرید قطعات، مزد کارگران و زمان تلف شده را نباید از نظر دور داشت.

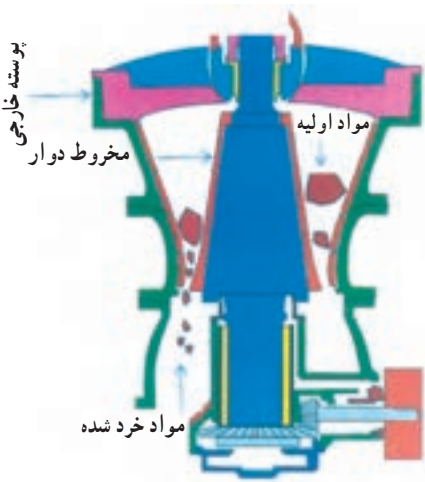
در بین انواع سنگ‌شکن‌های فکی، نوع «بلیک» کاربرد بیشتری دارد و سنگ‌شکن «دوج» به لحاظ حرکت در فک بالا، وجود لرزش‌های شدید، جمع شدن ذرات در قسمت گلوگاه ثابت آن و مسدود نمودن گلوگاه که به توقف عملیات خرد کردن می‌انجامد، محدودیت بیشتری دارد و فقط در مواردی که محصول خروجی با ابعاد یکنواخت مورد نظر باشد، به کارمی‌رود. سنگ‌شکن نوع سوم با فک کاملاً متحرک دستگاه جدیدی است که در آینده جای دو مدل قبلی را خواهد گرفت. جدول ۳ـ۱ ظرفیت و مشخصات چند سنگ‌شکن را نشان می‌دهد.

جدول ۳ــ۱ــ جدول انتخاب سنگ‌شکن‌ها

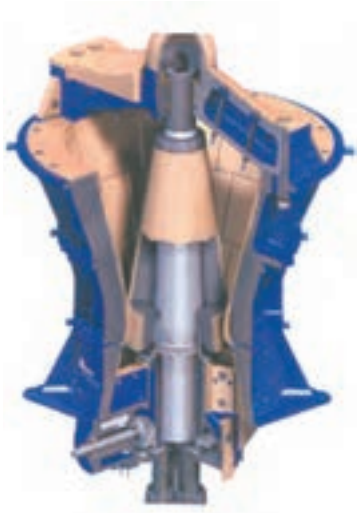
اندازهٔ دهانه فک	ظرفیت تقریبی به تن ساعت برای خرد کردن به اندازه‌های				قدرت برحسب
(اینچ)	(اینچ)	(تن)	(اینچ)	(تن)	(اسب بخار)
۱۰×۷	۱	۵/۲	۲	۶	۷
۳۶×۲۸	۲	۴۱	۵	۱۰۵	۸۵
۶۰×۴۸	۳	۱۶۶	۹	۵۷۸	۱۸۵
۱۲۰×۸۴	۴	۱۱۰۰	۱۴	۲۸۴۰	۵۰۰

۳ــ۶ــ۳ــ سنگ‌شکن‌های ژیراتوری:

سنگ‌شکن‌هـای «دوار» بـا حرکت «ژیراسیون» به‌علّت داشتن ظرفیتی بیشتر از سنگ‌شکن‌های فکی توسعهٔ قابل توجهی پیدا نموده‌اند.



این سنگ‌شکن‌ها از دو مخروط ناقص عمودی که یکی در داخل دیگری است، ساخته شده‌اند که رأس قشر خارجی به طرف پایین و رأس قسمت داخلی به طرف بالا است، پوستهٔ خارجی ثابت و پوستهٔ داخلی یک حرکت دورانی در داخل آن انجام می‌دهد. محور مرکزی حرکت دورانی کامل ندارد، بلکه بصورت خارج از مرکز به محور موتور سنگ‌شکن متصل می‌شود و در نتیجه، محور مرکزی علاوه بر حرکت دورانی دارای حرکت «ژیراسیون» نیز است. در حرکت دورانی خود فاصلهٔ آن از مخروط ناقص خارجی کم و زیاد می‌شود و این نزدیک و دور شدن دو مخروط ناقص از یکدیگر، باعث می‌شود که مواد بین این دو مخروط خرد شده و پایین بریزند.



هم‌چنان که از طریق شکل‌ها ملاحظه می‌شود عمل این سنگ‌شکن مانند سنگ‌شکن فکی است گرچه کار آن دائمی می‌باشد. این سنگ شکن‌ها انواع گوناگون دارند و اختلاف آن‌ها در نوع ژیراسیون و وضع قرار گرفتن محور مرکزی و طول و نوع استوار شدن آن می‌باشد.

مشخصات سنگ‌شکن‌های ژیراتوری: این سنگ‌شکن‌ها را می‌توان برای درشت‌ترین ابعاد مواد به کار برد، بزرگ‌ترین آن‌ها دارای دهانهٔ ۱۳۸ سانتی‌متر (۷۲ اینچی) می‌باشد و وزن آن‌ها در حدود ۷۰۰ تن است. ظرفیت سنگ‌شکن‌های ژیراتوری خیلی بیشتر از سنگ‌شکن‌های فکی با یک نوع بار ورودی می‌باشد، بنابراین سنگ‌شکن‌های ژیراتوری می‌توانند مواد درشت‌تری را در زمان مشابه با

ظرفیت بیشتر خرد کند.

ضریب خرد کردن (نسبت ابعاد بار اولیه به ابعاد محصول) در این سنگ‌شکن‌ها بین ۹ـ۷ می‌باشد. اگرچه گاه، ضریب خرد کردن سنگ‌شکن‌هایی از این مدل به حدود ۱۱ و ظرفیت آن‌ها به حدود ۴۰۰۰ تن نیز می‌رسد.

ظرفیت این سنگ‌شکن‌ها زیاد بوده و مقدار آن را می‌توان از رابطهٔ تجربی زیر به دست آورد :

که در آن D فاصله بین دهانهٔ دو فک، d دهانهٔ خروجی، L طول محیط در قسمت دهانهٔ سنگ‌شکن و همهٔ اندازه‌ها برحسب اینچ می‌باشد.

$$T = ۰/۷۵d(L - \pi D)$$

سرعت دورانی این مدل سنگ‌شکن نسبت به سنگ‌شکن فکی زیاد است و در دستگاه‌هایی با ظرفیت زیاد، تا ۳۰۰ دور و در دستگاه‌های کوچک تا حدود ۸۰۰ دور در دقیقه می‌رسد. زاویهٔ مخروطی دو فک بین ۲۰ الی ۲۴ درجه بوده، در مورد سنگ‌شکن‌هایی که محصول ورودی آن‌ها را سنگ‌های بسیار بزرگ تشکیل می‌دهند این زاویه به حدود ۳۰ـ۲۷ درجه می‌رسد. بدیهی است که هرقدر این زاویه بزرگ‌تر باشد دهانهٔ سنگ‌شکن بزرگ‌تر بوده، قابلیت شکستن سنگ‌های بزرگ‌تری را خواهد داشت ولی در عوض ضریب خرد کردن آن، پایین خواهد بود. سائیدگی در این سنگ‌شکن به جنس فولاد به کار رفته و سختی سنگ بستگی دارد و به طور معمول با فولاد منگنزدار مقدار سائیدگی بین ۵ الی ۲۰ گرم در تن است و در مواقعی که وجود آهن در محصول مضر باشد با به کار بردن فولادهای «تنگستن‌دار» می‌توان میزان سائیدگی را به حدود یک گرم در تن کاهش داد.

مقایسه بین سنگ‌شکن‌های فکی و ژیراتوری

این دو نوع سنگ‌شکن از متداول‌ترین دستگاه‌های صنعتی‌اند و نسبت به یکدیگر تفاوت‌هایی نیز دارند :

الف) مدت کار مفید : سنگ‌شکن ژیراتوری به طور دائم در حال شکستن سنگ می‌باشد درصورتی که نوع فکی، فقط حداکثر نیمی از مدت کار خود را صرف شکستن مواد می‌سازد.

ب) ظرفیت : ظرفیت سنگ‌شکن‌ها به ابعاد دهانه و فاصلهٔ دو فک در قسمت دهانه بستگی دارد. به ازای فاصلهٔ مساوی بین دو فک، ظرفیت سنگ‌شکن ژیراتوری ۲/۵ برابر سنگ‌شکن فکی می‌باشد.

ج) قدرت : نیروی لازم در سنگ‌شکن ژیراتوری کمتر از سنگ‌شکن فکی است و همچنان که قبلاً گفته شد به ازای فاصلهٔ بین دو فک مساوی، ظرفیت سنگ‌شکن ژیراتوری ۲/۵ برابر سنگ‌شکن فکی است و نیروی مصرفی آن فقط ۲/۲ برابر فکی است. البته این امر هنگامی تحقق می‌یابد که هر دو سنگ‌شکن با تمام ظرفیت کار کنند امّا چون فاصلهٔ بین دو فک پر نمی‌شود، این امر هرگز اتفاق نمی‌افتد و سنگ‌شکن‌ها اغلب با ۵۰ درصد ظرفیت کار می‌کنند لذا، مصرف نیرو به نسبت محصول خرد شده در سنگ‌شکن ژیراتوری، مساوی و حتی بیشتر از سنگ‌شکن فکی است.

د) ضریب تبدیل : ضریب خردکردن سنگ‌شکن ژیراتوری بیشتر و درحدود ۲ برابر است.

هـ) وزن سنگ‌شکن‌ها : وزن سنگ‌شکن ژیراتوری به نسبت محصول خرد شده کمتر از وزن سنگ‌شکن فکی برای همان مقدار محصول می‌باشد؛ وزن یک سنگ‌شکن ژیراتوری که در ساعت ۱۰۰ تن سنگ خرد می‌کند در حدود ۹ تن و وزن فکی نظیر آن، در حدود ۱۵ تن است.

و) لرزش و نصب : سنگ‌شکن ژیراتوری متعادل‌تر بوده، در نتیجه دارای لرزش کمتری است و چون وزن آن نیز کمتر است، لذا مخارج نصب کاهش یافته، احتیاج به فونداسیون کم خرج‌تری دارد.

ز) باردهی : سنگ‌شکن ژیراتوری با هر نوع باردهی کار می‌کند، در صورتی که در مورد سنگ‌شکن فکی باردهی را باید به نوعی تعیین کرد که با مشخصات آن مطابقت داشته باشد.

ح) فرسایش : مقدار فرسایش فک‌ها در مورد سنگ‌شکن ژیراتوری بیشتر است، زیرا نیروی اصطکاک در آن زیادتر است. و بعد از خرد کردن ۵×۱۰^{۵} تا ۶×۱۰^{۵} تن از مواد اولیه، قسمت خردکنندهٔ دستگاه باید عوض شود.

ط) نگهداری : مخارج نگهداری سنگ‌شکن ژیراتوری بیشتر بوده، به کارگر فنی نیاز دارد،

در نتیجه اگرچه سنگ‌شکن ژیراتوری بهتر و با صرفه‌تر باشد ولی در عمل، در کشورهای غیرصنعتی، سنگ‌شکن فکی به مناسبت سادگی و نداشتن قسمت‌های دقیق و حساس و عدم نیاز به وجود متخصص، کاربرد بیشتری دارد.

۳ــ۶ــ۴ــ سنگ‌شکن‌های چکشی[۱] این سنگ‌شکن‌ها دارای یک یا دو چرخ می‌باشند که تعدادی چکش یا تیغه، بر روی آن‌ها نصب شده است و چرخ یا چرخ‌ها با سرعت در حال کار است، در اثر ضربات چکش‌ها، قطعات مادهٔ معدنی به هوا پرتاب شده، خرد می‌شوند.

مواردی که برای انتخاب سنگ‌شکن ضرورت دارد عبارت‌اند از :

ــ سختی و شکنندگی مواد؛

ــ اندازه سنگ‌ها (قطر حداکثر هر قطعه سنگ)؛

ــ میزان رطوبت مواد اولیه (سنگ‌ها)؛

ــ اندازهٔ قطر قطعات مورد نیاز در اثر شکستن و خرد کردن؛

ــ میزان تولید روزانه؛

ــ قدرت آزادسازی ناخالصی‌ها.

این نوع سنگ‌شکن‌ها در دو نوع «سریع» و «کند» ساخته می‌شوند. در نوع سریع، سرعت چرخ در حدود ۱۰۰۰ دور در دقیقه و در نوع کند ۲۵۰ دور در دقیقه می‌باشد. مواد از بالا باردهی و در اثر گردش چرخ با چکش‌های روی چرخ برخورد و به اطراف پرت می‌شود.

در اطراف محوطهٔ چرخ، میله‌های سختی تعبیه شده که سنگ در برخورد با آن‌ها به قطعات کوچکتری تقسیم می‌شود. محصول این سنگ‌شکن‌ها بین ۵۰ و ۳۰۰ تن در ساعت است و نیروی لازم برای آن در حدود یک اسب به ازای هر تن سنگ در ساعت می‌باشد. حسن عمدهٔ این سنگ‌شکن‌ها این است که چون در شکستن سنگ از ضربه استفاده می‌شود نیروی اصطکاک آن‌ها بسیار ناچیز و مقدار فرسایش آن‌ها نیز کم خواهد بود. ولی در عوض چون با ضربه عمل می‌کنند، کمتر برای خرد کردن سنگ‌های سخت مورد استفاده قرار می‌گیرند و کاربرد آن‌ها اغلب در کارخانه‌های سیمان برای شکستن سنگ‌های آهک و گچ و یا خرد کردن کائولین در صنایع سرامیک است.

جنس چرخ متحرک این سنگ‌شکن از فولادهای مخصوص و مقاوم چون فولادهای نیکل و کروم داری است که روی آن‌ها عملیات حرارتی مخصوصی انجام شده است.

ضریب خرد کردن این سنگ‌شکن‌ها بین ۶ــ۴ است و قطر چرخ متحرک آن‌ها بین یک الی

۱ــ Hammer Crusher

دو متر می‌باشد کاربرد این سنگ‌شکن‌ها محدود است و فقط در مورد سنگ‌های نسبتاً نرم، آن هم در مواقعی که وجود آهن در محصول خروجی مضر باشد، به کار می‌روند.

طرز کار سنگ‌شکن چکشی

۳ــ۶ــ۵ــ سنگ‌شکن‌های مرحلهٔ دوم : محصول خارج شده از سنگ‌شکن‌های مرحلهٔ اول ابعاد بزرگی دارد و نمی‌توانند مستقیماً به آسیاها یا سایر دستگاه‌های پرعیار کننده وارد شوند، به این جهت باید سنگ‌شکن‌های دیگری پیش‌بینی کرد. سنگ‌شکن‌هایی که در این مرحله به کار می‌روند باید چهار ویژگی داشته باشند :

الف) از ظرفیت خرد کردن بالایی برخوردار باشند.

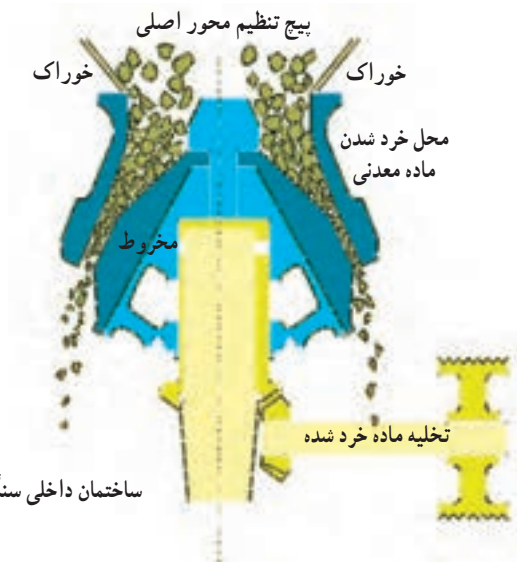
ب) ظرفیت لازم را داشته باشند.

ج) از لحاظ مصرف انرژی و مخارج نگهداری با صرفه باشند و امکان کار دائم در آن‌ها وجود داشته باشد.

د) محصول خروجی از سنگ‌شکن یکنواخت باشد.

سنگ‌شکن‌های مخروطی[1] : سنگ‌شکن‌های مخروطی دارای ساختمان بسیار مشابهی با سنگ‌شکن‌های ژیراتوری هستند ولی سطح خارجی قسمت شکننده، برعکس سنگ‌شکن‌های ژیراتوری به طرف بیرون باز شده و باعث ازدیاد سطح خارجی مواد می‌گردد؛ از طرفی قسمت بالایی شکننده که به شکل مخروط است قابل بلند شدن است و این در مواقعی که جسم غیرقابل شکستن وارد دستگاه می‌شود، بسیار مفید است. این عمل به وسیلهٔ فنرهایی که در اطراف سنگ‌شکن تعبیه شده، انجام می‌گیرد این فنرها خطر شکسته شدن دستگاه را با قطعات آهن و موارد مشابه از بین می‌برند.

۱ــ Cone Crusher



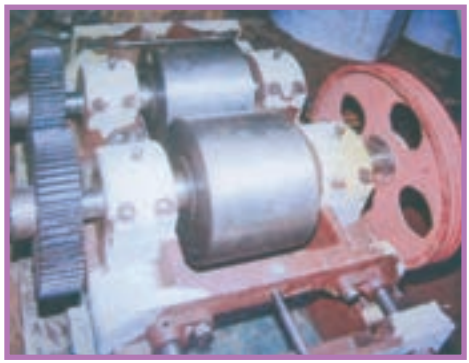
ساختمان داخلی سنگ‌شکن مخروطی

سنگ‌شکن‌های استوانه‌ای[1] : سنگ‌شکن استوانه‌ای شامل یک، دو و یا سه استوانهٔ دوار است که در نوع یک استوانه‌ای، مواد از بالا بر روی استوانهٔ دندانه‌دارِ در حال حرکت ریخته و در اثر چرخش استوانه، قطعات سنگ و ماده معدنی بین دندانه‌های متصل به استوانه و فک فولادی ثابت، گیر کرده و خرد می‌شود. در نوع دو استوانه‌ای دو استوانهٔ دندانه‌دار در جهت مخالف هم می‌چرخند تا مواد معدنی موجود در بین آن‌ها خرد شود.

حداکثر قطر سنگی که وارد سنگ‌شکن‌های استوانه‌ای می‌شود، نباید از ۶ سانتی‌متر تجاوز کند و محصولی که از سنگ‌شکن خارج می‌شود ابعادی در حدود ۳ـ۲ میلی‌متر دارد. این سنگ‌شکن‌ها از متداول‌ترین نوع سنگ‌شکن‌های مرحلهٔ دوم هستند. جنس استوانه‌ها از فولاد سخت و در برابر فرسایش مقاوم است چنانکه مقدار فرسایش آن‌ها برحسب نوع و سختی سنگ، از ۵ الی ۵۰ گرم در تن می‌باشد، فاصله بین دو استوانه، قابل تنظیم است و می‌توان آن را کم و زیاد کرد گرچه در عمل این فاصله کمتر از یک میلی‌متر و بیشتر از ۲۵ میلی‌متر نیست.

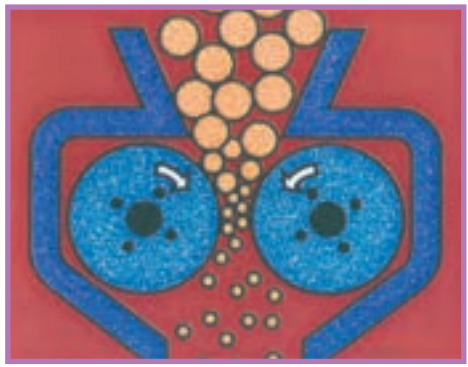
در بعضی از این سنگ‌شکن‌ها، سرعت دورانی دو استوانه کمی با هم اختلاف دارد چرا که معمولاً یکی از دو استوانهٔ سنگ‌شکن‌ها ثابت است و دیگری به یک فنر مربوط می‌باشد. علّت وجود فنر این است که اگر قطعهٔ سختی مانند قطعات فولادی وارد دو غلطک شود یکی از استوانه‌ها عقب رفته، به آن اجازه عبور دهد تا سطح استوانه سالم بماند.

۱ـ Roll Crusher



سنگ‌شکن دو استوانه‌ای

سنگ‌شکن یک استوانه‌ای

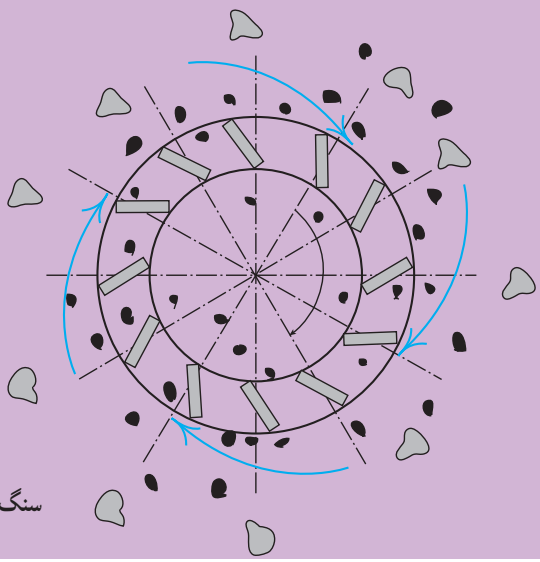


اساس کار سنگ‌شکن دو استوانه‌ای

از این سنگ‌شکن می‌توان به عنوان یک «پرعیار کننده» در مورد سنگ‌های مس طبیعی استفاده نمود برای این منظور مواد معدنی را به سنگ‌شکن وارد تا خرد شود و مس طبیعی همراه آن تغییر شکل داده، مسطح گردد. حال اگر پس از این سنگ‌شکن، یک سرند مکانیکی قرار گیرد قطعات خرد شدهٔ سنگ از سرند عبور کرده و پرعیار می‌شود.

سنگ‌شکن ضربه‌ای: این سنگ‌شکن‌ها نیز، مشابه سنگ‌شکن‌های چکشی ولی ظریف‌تر از آن هستند. و برای خرد کردن مستقیم قطعات زغال‌سنگ نیز به کار می‌روند و در کارخانه‌های سیمان برای خرد کردن سنگ‌های نسبتاً نرم از آن‌ها استفاده می‌شود و چون در این دستگاه‌ها، عمل شکستن توسط ضربه انجام می‌شود و تماس بین سنگ معدنی و چرخش‌های دوار بسیار کم است، مقدار فرسایش به حداقل، یعنی در حدود ۳ــ۲ گرم در تن می‌رسد.

جنس تیغه‌ها در این سنگ‌شکن از فولادهای مخصوصی است که در مقابل ضربه مقاومت زیادی دارند؛ امّا چون مقاومت آن‌ها در برابر فرسایش کم است، سطحشان را سخت‌تر می‌سازند تا در مقابل فرسایش مقاومت خوبی پیدا کنند.



سنگ‌شکن ضربه‌ای

مطالعه آزاد

ظرفیت سنگ‌شکن استوانه‌ای

این سنگ‌شکن‌ها در ظرفیت‌های مختلفی ساخته می‌شود چنانکه ظرفیت بعضی از آن‌ها تا ۱۵۰ تن در ساعت می‌رسد. مهم‌ترین فرمول تجربی محاسبهٔ ظرفیت سنگ‌شکن عبارت است از:

$$C = \frac{N.D.W.d.P}{۲۹۳}$$

که در آن :

N تعداد دور استوانه در دقیقه

D قطر غلطک بر حسب اینچ

W پهنای غلطک بر حسب اینچ

d فاصلهٔ دو غلطک برحسب اینچ

P وزن مخصوص سنگ

C ظرفیت سنگ‌شکن برحسب تن در ساعت

خودآزمایی

۱ـ مواد معدنی از لحاظ خرد شدن چگونه تقسیم‌بندی می‌شوند؟

۲ـ درجهٔ خرد کردن سنگ به چه عواملی بستگی دارد؟

۳ـ سطح مخصوص چیست؟ توضیح دهید که چرا سطح مخصوص یک کیلوگرم شن کمتر از یک کیلوگرم پودر سیمان است؟

۴ـ کدام یک از قوانین خرد کردن از بین تمامی تئوری‌های موجود قابل قبول‌تر است؟ این قانون را تعریف کنید.

۵ـ طبق قانون باند شکستن سنگ‌ها و سایر مواد چگونه اتفاق می‌افتد؟

۶ـ با کشیدن شکل، چگونگی کار سنگ‌شکن «فکی» را توضیح دهید.

۷ـ سنگ‌شکن‌های فکی و ژیراتوری را از نظر ظرفیت، قدرت و لرزش به اختصار مقایسه کنید.

۸ـ از لحاظ نگهداری، مخارج کدام نوع سنگ‌شکن کمتر است فکی یا ژیراتوری؟ علّت را توضیح دهید.

۹ـ با رسم شکل طرز کار سنگ‌شکن چکشی را شرح دهید.

۱۰ـ چرا عملیات سنگ‌شکن‌ها در یک مرحله خاتمه پیدا نمی‌کند؟

۱۱ـ سنگ‌شکن‌های یک استوانه‌ای و دو استوانه‌ای چه تفاوتی با یکدیگر دارند؟