بسم الله الرحمن الرحیم

فرآوری مواد معدنی

رشتهٔ معدن

زمینهٔ صنعت

شاخهٔ آموزش فنی و حرفه‌ای

شمارهٔ درس ۲۵۸۹

۶۲۲ ف ۳۴۶ر/ ۱۳۹۵

رضایی، بهرام

فرآوری مواد معدنی/ مؤلفان : بهرام رضایی، غلامرضا محمدزاده/ بازسازی و تجدیدنظر : کمیسیون برنامه‌ریزی و تألیف رشتهٔ معدن. ــ تهران : شرکت چاپ و نشر کتاب‌های درسی ایران، ۱۳۹۵.

۱۶۲ص. : مصور. ــ (آموزش فنی و حرفه‌ای؛ شمارهٔ درس ۲۵۸۹)

متون درسی رشتهٔ معدن، زمینهٔ صنعت.

برنامه‌ریزی و نظارت، بررسی و تصویب محتوا : کمیسیون برنامه‌ریزی و تألیف کتاب‌های درسی رشتهٔ معدن دفتر تألیف کتاب‌های درسی فنی و حرفه‌ای و کاردانش وزارت آموزش و پرورش.

۱. معدن و مواد معدنی. الف. ایران. وزارت آموزش و پرورش. کمیسیون برنامه‌ریزی و تألیف رشتهٔ معدن. ب. عنوان. ج. فروست.

همکاران محترم و دانش‌آموزان عزیز :
پیشنهادات و نظرات خود را دربارهٔ محتوای این کتاب به نشانی تهران ـ صندوق پستی شمارهٔ ۴۸۷۴/۱۵ دفتر تألیف کتاب‌های درسی فنی و حرفه‌ای و کاردانش، ارسال فرمایند.

پیام‌نگار (ایمیل) **info@tvoccdmedu.ir**

وب‌گاه (وب‌سایت) **www.tvoccd.medu.ir**

وزارت آموزش و پرورش
سازمان پژوهش و برنامه‌ریزی آموزشی

برنامه‌ریزی محتوا و نظارت بر تألیف : **دفتر تألیف کتاب‌های درسی فنی و حرفه‌ای و کاردانش**

نام کتاب : **فرآوری مواد معدنی ـ ۴۹۲/۲**

مؤلّفان : **بهرام رضایی، غلامرضا محمدزاده**

اعضای کمیسیون تخصصی : **سیدحسن مدنی، عباس شرفی، مهدی حمیدی، حمیدرضا امانی و حسن مخلصیان**

آماده‌سازی و نظارت بر چاپ و توزیع : **ادارهٔ کلّ نظارت بر نشر و توزیع مواد آموزشی**

تهران : خیابان ایرانشهر شمالی ـ ساختمان شمارهٔ ۴ آموزش و پرورش (شهید موسوی)

تلفن : ۹ـ۸۸۸۳۱۱۶۱ ، دورنگار : ۸۸۳۰۹۲۶۶ ، کد پستی : ۱۵۸۴۷۴۷۳۵۹،

وب سایت : www.chap.sch.ir

مدیر امور فنی و چاپ : **لیدا نیک‌روش**

طراح جلد : **محمدحسن معماری**

صفحه‌آرا : **شهرزاد قنبری**

حروفچین : **فاطمه باقری‌مهر، فاطمه قلیچ‌پور**

مصحح : **رعنا فرج‌زاده دروئی، فرشته ارجمند**

امور آماده‌سازی خبر : **سپیده ملک‌ایزدی**

امور فنی رایانه‌ای : **حمید ثابت کلاچاهی، فاطمه رئیسیان فیروزآباد**

ناشر : **شرکت چاپ و نشر کتاب‌های درسی ایران : تهران ـ کیلومتر ۱۷ جادّهٔ مخصوص کرج ـ خیابان ۶۱ (داروپخش)**

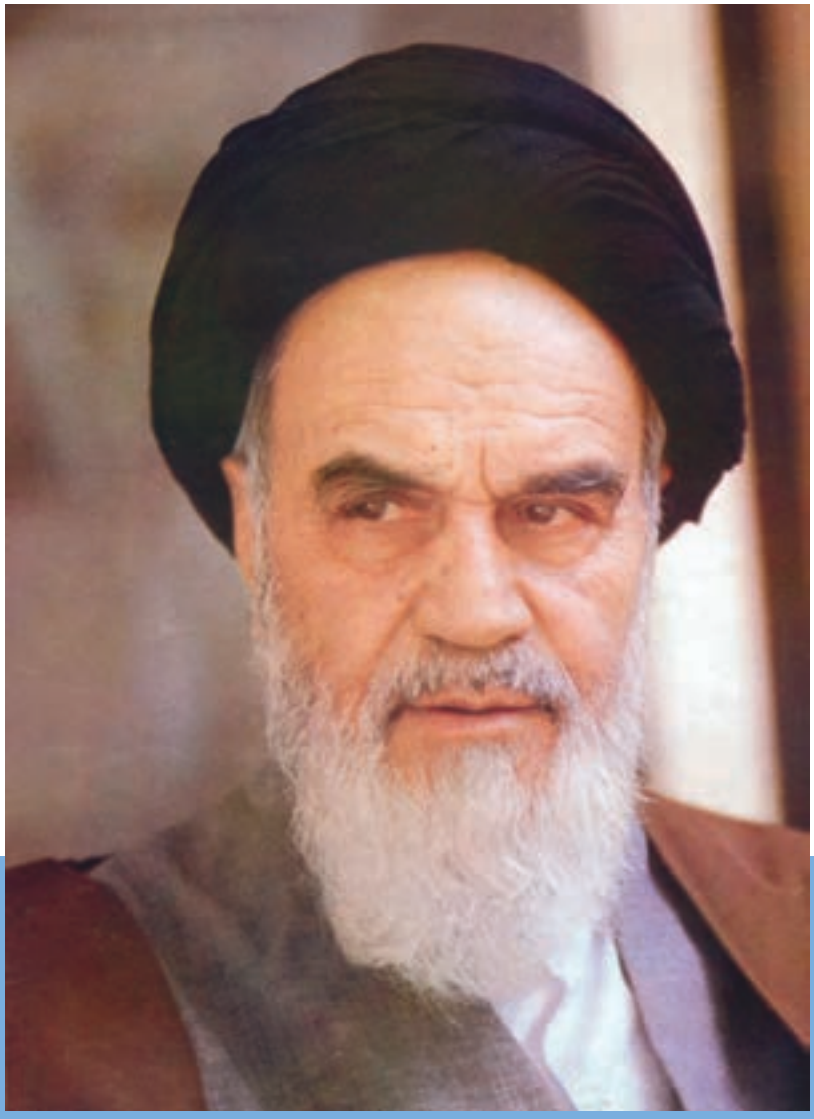
تلفن : ۵ ـ ۴۴۹۸۵۱۶۱، دورنگار : ۴۴۹۸۵۱۶۰، صندوق پستی : ۱۳۹ـ۳۷۵۱۵

چاپخانه : **شرکت چاپ و نشر کتاب‌های درسی ایران «سهامی خاص»**

سال انتشار و نوبت چاپ : **چاپ دوم ۱۳۹۵**

حقّ چاپ محفوظ است.

شابک ۶-۲۰۳۷-۰۵-۹۶۴-۹۷۸ ISBN 978-964-05-2037-6



اول بایـد اخلاصتان را قـوی بکنید، ایمانتان را قـوی بکنید، ... و این اخلاص و ایمان، شـما را تقویت می کند و روحیهٔ شما را بالا می‌برد و نیروی شما جوری می‌شود که هیچ قدرتی نمی‌تواند (با شما) مقابله کند.

امام خمینی (ره)

فهرست مطالب

فصل ۱ : کلیات ۱
فصل ۲ :خواص‌سنجی و شناسایی مقدماتی نمونه ۹
فصل ۳ : اصول خرد کردن و سنگ‌شکن‌ها ۱۶
فصل ۴ : نرم کردن مواد ۳۶
فصل ۵ : دانه‌بندی و کنترل ابعاد با سرند کردن ۴۸
فصل ۶ : کلاسیفایرها ۶۲
فصل ۷ : روش‌های جدایش ماده معدنی از مواد باطله ۷۹
فصل ۸ : جدایش به روش جیگ ۸۹
فصل۹ : جدایش به روش میزها ۹۸
فصل ۱۰ : جدایش به روش مغناطیسی ۱۰۸
فصل ۱۱ : جدایش به روش الکتریکی و الکترو استاتیکی ۱۱۸
فصل ۱۲ : فلوتاسیون ۱۲۴
فصل ۱۳ : روش‌های لیچینگ ۱۳۸
فصل۱۴ : آب‌گیری از کنسانتره ۱۴۲
فصل ۱۵ : کنترل باطله و پساب و مسائل محیط زیستی ۱۵۷
فهرست منابع ۱۶۲

پیشگفتار

معدنکاری که فرآیند استخراج کانی‌های با ارزش از زمین است، زمانی به نتایج اقتصادی خود نزدیک‌تر می‌شود که ناخالصی‌های مواد معدنی طی عملیات فرآوری از آن‌ها جدا گردد و امکان استفاده از کانی‌های مفید حاصل شود. به دلیل آنکه اشخاص دست‌اندرکار امور معدن با مراحل کار، ارتباط تخصصی پیدا می‌کنند، آموزش آن‌ها در برنامه‌ریزی آموزشی و درسی هنرستان‌های معدن که عهده‌دار تربیت متخصص فنی این رشته هستند از نظر دورنمانده است؛ کتاب حاضر تدوینی در راستای همین اهداف است. البته، نگارنده قبلاً کتابی با عنوان «کانه‌آرایی» با کد شماره ۸۲۱/۱ برای سال چهارم معدن در نظام قدیم به رشتهٔ تحریر درآورده است و با توجه به اصولی بودن مطالب کتاب مذکور و عدم تغییرات اساسی در مباحث تخصصی ارائه شده، (به ویژه فنون، روش‌ها و تجهیزات فرآوری مواد معدنی) امکان تدریس آن در نظام سالی ــ واحدی وجود داشت، لذا دفتر برنامه‌ریزی و تألیف آموزش‌های فنی و حرفه‌ای و کار دانش و کمیسیون تخصصی رشتهٔ معدن، مقرر نمود پس از بازنگری کلی و تطبیق محتوای کتاب با ریز برنامهٔ درسی جدید، مطالب در قالب کتاب فعلی ارائه شود. یکی از اساسی‌ترین مراحل در این عملیات خواص‌سنجی و شناخت کامل از ماده معدنی است تا بتوان با خواص آن‌ها مراحل کانه‌آرایی را پیش‌بینی نمود.

از همکاران محترم که تدریس این کتاب را برعهده دارند تقاضا می‌نماید به منظور تفهیم بهتر مطالب و ایجاد علاقه‌مندی در هنرجویان، ضمن بهره‌گیری از امکانات کمک آموزشی موجود خود با مساعدت مدیران محترم هنرستان‌های معدن، زمینهٔ بازدیدهای علمی هنرجویان را از کارخانه‌های فرآوری مواد معدنی فراهم سازند. همچنین هنرجویان نیز باید در جریان بازدید کارخانه، به تنهایی یا گروهی نسبت به تهیهٔ عکس و گزارش کار اقدام نمایند تا با محتوای درس به طور عملی آشنا شوند.

با تشکّر
بهرام رضایی

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)

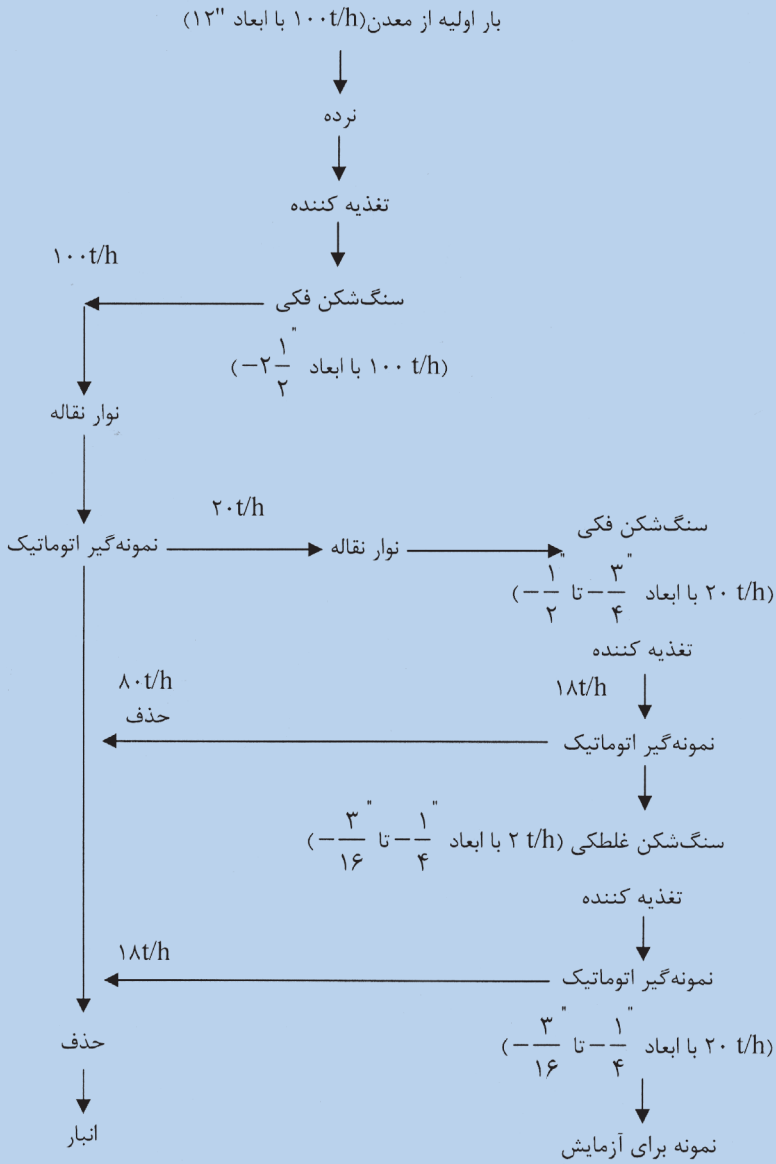
ـ میزان قابلیت انحلال فلزات در آب (حلالیت)

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.

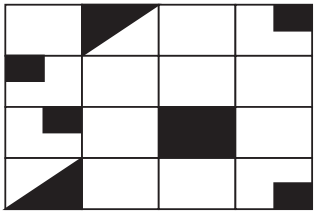
۳ــ۲ــ حد لازم در خرد کردن

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

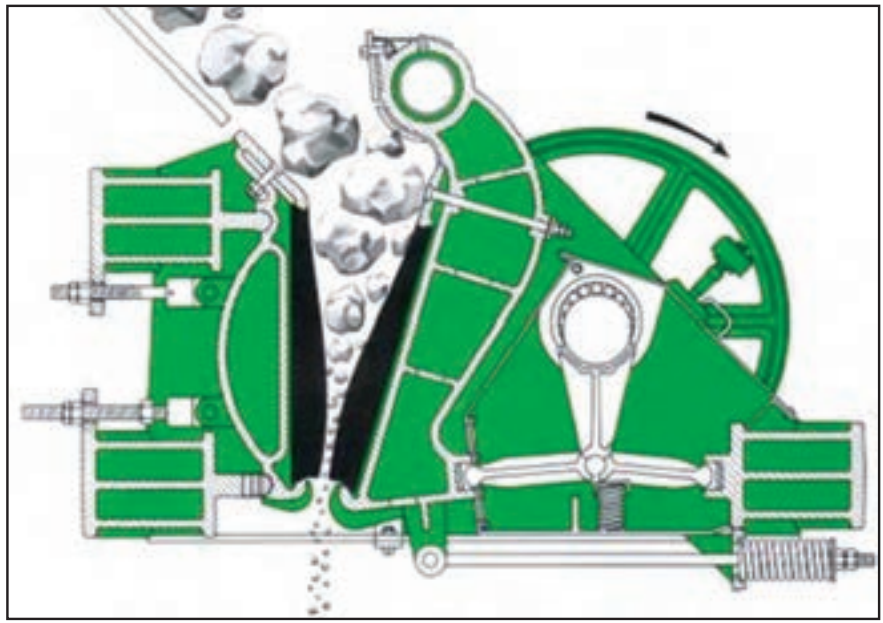
از آن‌ها ثابت و دیگری متحرک است. این فاصله در قسمت فوقانی دستگاه دهانه و در بخش تحتانی دستگاه گلوگاه نامیده می‌شود. فک متحرک معمولاً حرکت نوسانی دارد و به تناوب به فک ثابت دور و نزدیک می‌شود و در اثر این عمل قطعات سنگ و مادهٔ معدنی خرد می‌شوند و به قسمت پایین دستگاه که فاصلهٔ فک‌ها کمتر است، منتقل می‌شوند. 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.

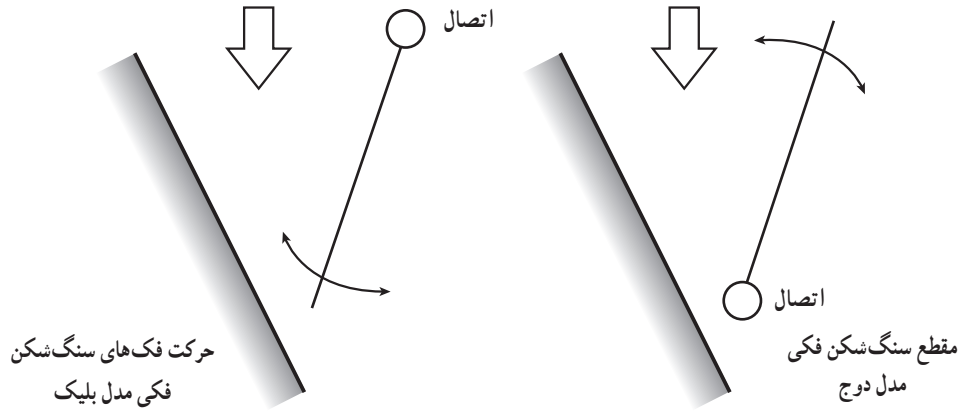
الف) سنگ‌شکن فکی مدل بلیک[۱] : این نوع سنگ‌شکن‌ها بسیار قدیمی و مخصوص مواد درشت بوده و برای مواد سخت و ساینده استفاده می‌شود. در این سنگ‌شکن فک متحرک در قسمت بالایی خود ثابت و در قسمت انتهایی خود دارای حرکت «رفت و برگشتی» می‌باشد.



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.

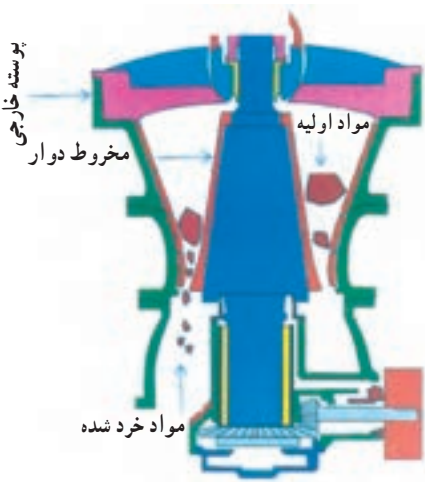
در بین انواع سنگ‌شکن‌های فکی، نوع «بلیک» کاربرد بیشتری دارد و سنگ‌شکن «دوج» به لحاظ حرکت در فک بالا، وجود لرزش‌های شدید، جمع شدن ذرات در قسمت گلوگاه ثابت آن و مسدود نمودن گلوگاه که به توقف عملیات خرد کردن می‌انجامد، محدودیت بیشتری دارد و فقط در مواردی که محصول خروجی با ابعاد یکنواخت مورد نظر باشد، به 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

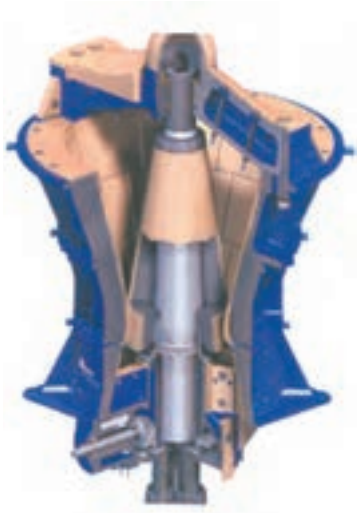
اندازهٔ دهانه فک	ظرفیت تقریبی به تن ساعت برای خرد کردن به اندازه‌های				قدرت برحسب
(اینچ)	(اینچ)	(تن)	(اینچ)	(تن)	(اسب بخار)
۱۰×۷	۱	۵/۲	۲	۶	۷
۳۶×۲۸	۲	۴۱	۵	۱۰۵	۸۵
۶۰×۴۸	۳	۱۶۶	۹	۵۷۸	۱۸۵
۱۲۰×۸۴	۴	۱۱۰۰	۱۴	۲۸۴۰	۵۰۰

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.

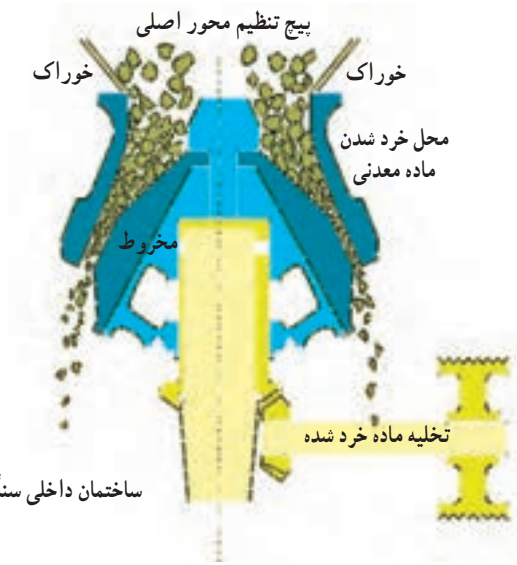
ب) ظرفیت لازم را داشته باشند.

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



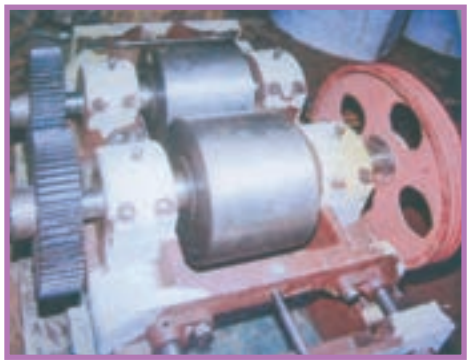
ساختمان داخلی سنگ‌شکن مخروطی

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.

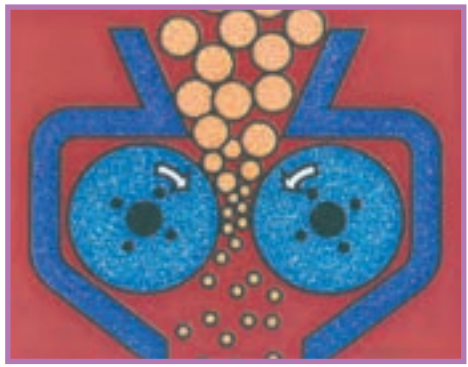
در بعضی از این سنگ‌شکن‌ها، سرعت دورانی دو استوانه کمی با هم اختلاف دارد چرا که معمولاً یکی از دو استوانهٔ سنگ‌شکن‌ها ثابت است و دیگری به یک فنر مربوط می‌باشد. علّت وجود فنر این است که اگر قطعهٔ سختی مانند قطعات فولادی وارد دو غلطک شود یکی از استوانه‌ها عقب رفته، به آن اجازه عبور دهد تا سطح استوانه سالم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

۱ـ Roll Crusher



سنگ‌شکن دو استوانه‌ای

سنگ‌شکن یک استوانه‌ای

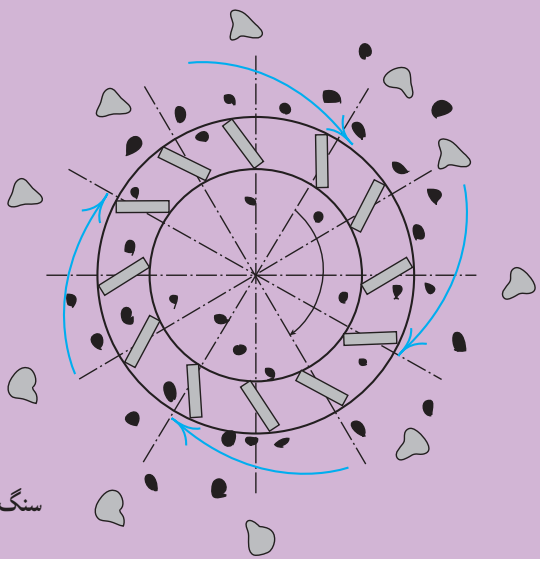


اساس کار سنگ‌شکن دو استوانه‌ای

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؟

فصل ۴
نرم کردن مواد

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

۱ـ نرم کردن مواد معدنی و اهمیت آن را در عملیات فرآوری بیان کند.

۲ـ آسیا و انواع آن را شرح دهد.

۳ـ چگونگی نرم کردن مواد، توسط گلوله‌ها را توضیح دهد.

۴ـ سرعت گردش آسیاها را با ذکر فرمول محاسبه سرعت بحرانی بیان کند.

۵ـ پوشش (آستر) داخلی آسیاها را شرح دهد.

۶ـ آسیاهای تر و خشک را تشریح کند.

۴ــ آشنایی

نرم کردن مواد در صنعت اهمیت زیادی دارد و علاوه بر آزاد نمودن ماده معدنی، برای عملیاتی نظیر «سیانوراسیون» (که ابعاد ذرات باید بین ۰/۵ الی ۰/۱ میلی‌متر باشد) و همچنین برای نرم کردن موادی که اگر کمتر از حد معینی نرم شده باشند در بازار غیرقابل فروش هستند مانند سیمان‌ها، باریت‌ها، فسفات‌ها و موارد مشابه این عمل کاربرد دارد.

نرم کردن نوعی خرد کردن است که طی آن ذراتی که در بین دو سطح قرار می‌گیرند، نرم می‌شوند. یکی از مهم‌ترین اهداف مرحلهٔ نرم کردن، آزاد ساختن کانی مفید از مواد باطله همراه است و هرقدر ذرات مادهٔ معدنی ریزتر باشند، عمل نرم کردن تا حد بیشتری انجام می‌شود تا کلیه کانی و یا کانی‌های با ارزش از «گانگ» آزاد شود.

اگرچه به طور قطع نمی‌توان اندازهٔ بار ورودی جهت نرم کردن را دقیقاً مشخص کرد، امّا در هر حال بار ورودی به آسیاها آخرین محصول سنگ‌شکن‌ها می‌باشد که دارای ابعادی بین ۱ تا ۳۰ میلی‌متر می‌باشد. حداکثر ابعاد محصولات بین ۰/۱ تا ۰/۴ میلی‌متر (۳۵ ــ ۱۵۰ مش) متغیر می‌باشد.

۴ــ۱ــ آسیاها[1]

عمل نرم کردن مواد در دستگاه‌هایی به نام آسیاها انجام می‌شود محصول خارج شده از سنگ‌شکن‌های مرحلهٔ دوم پس از کنترل دانه‌بندی توسط سرندها به آسیاها وارد می‌گردد و تا حدّ مورد نظر نرم می‌شود. این آسیاها به دو دسته تقسیم می‌شوند :

اول : آسیاهایی که به طریقهٔ «تر» کار می‌کنند.

دوم : آسیاهایی که به طریقهٔ «خشک» کار می‌کنند.

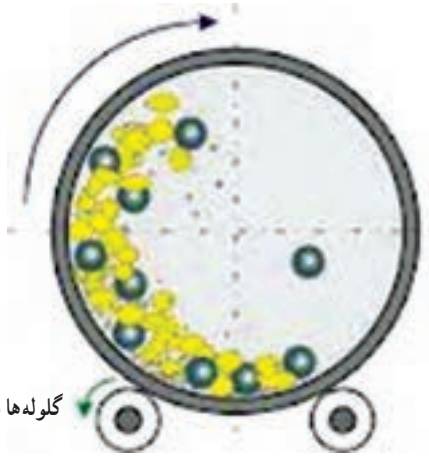
در صنعت همواره طریقهٔ تر را ترجیح می‌دهند و فقط در بعضی موارد که جسم در آب محلول است و باید بعد از نرم کردن مواد آن را خشک نمود و یا فرآیند بعدی خشک باشد آسیاهای خشک به کار می‌روند.

آسیاهای تر چون با ذرات مرطوب سروکار دارند گرد و خاک نداشته، برای حفظ سلامتی کارگران مطلوب‌تر می‌باشد و از طرف دیگر، ظرفیت آن‌ها برحسب واحد حجم یا وزن بیشتر ولی هزینه‌های بعدی افزایش می‌یابد.

۴ــ۱ــ۱ــ آسیای گردان[2] : به آسیاهایی که به شکل استوانه یا مخروط ناقص حول محور افقی می‌چرخند آسیای گردان گویند که داخل آن‌ها گلوله‌های آهنی یا فولادی و یا میله‌های فولادی با مقاطع دایره‌ای یا مربع وجود دارد که به آن‌ها اجسام خرد کنندهٔ متحرک می‌گویند و مواد خرد شونده‌ای که از سنگ‌شکن‌های مرحلهٔ اول و دوم وارد آسیا شده‌اند، در اثر گردش استوانه، ضربه و فشار و اصطکاک بین آن‌ها و پوشش داخلی، نرم می‌شوند. این نوع آسیاها، معمولی‌ترین آسیاهایی هستند که هم به طریق مربوط و هم خشک مورد استفاده قرار می‌گیرند. از این آسیاها در خرد کردن مواد سخت و نیمه سخت همچنین در صنایع دیگر مانند کارخانه‌های سیمان‌سازی، کارخانه‌های شیمیایی، کارخانه‌های سرامیک‌سازی و صنایع متالورژی استفاده می‌شوند. جنس گلوله‌هایی که در آسیاها به کار می‌رود باید مقاومت زیادی نسبت به فرسایش و زنگ زدن داشته باشد به این جهت، مقدار زیادی کروم و منگنز به فولاد آن‌ها افزوده می‌شود. در بعضی از آسیاها ازگلوله‌هایی از جنس سایلکس[3] (که نوعی سنگ سیلیسی میکروکریستال است) استفاده می‌شود. در موارد معینی مانند نرم کردن سنگ طلا که براده‌های آهن در آن مضّر است و یا موادی که به آهن حساس باشند مانند تالک به جای گلوله‌های فولادی از گلوله‌های سنگی یا سرامیکی استفاده می‌شود.

۱ــ Mills ۲ــ Tumbing Mill ۳ــ Silex

مقدار فرسایش در گلوله‌ها زیاد است، چنانکه در انواع آسیاهای تر به ۲۰۰۰ تا ۳۰۰۰ گرم در تن می‌رسد که البته این مقدار به سختی سنگ و سرعت چرخش آسیا و به خصوص به حد نرم کردن ماده معدنی بستگی دارد و هرچه بخواهیم سنگ را نرم‌تر کنیم، مقدار فرسایش نسبی زیادتر خواهد بود. در بعضی از آسیاها، گلوله‌ها را از جنس چدن می‌سازند، زیرا بهای چدن نسبت به فولاد ارزان‌تر است امّا در این صورت مقدار فرسایش به شدت افزایش می‌یابد و به زودی، شکل گلوله‌ها از وضع اصلی خود خارج می‌شود که باید آن‌ها را تعویض نمود. استفاده از این نوع گلوله‌ها در شرایطی امکان‌پذیر است که آهن وارد شده (در اثر فرسایش) به محصولات نرم شده، تأثیری در عملیات بعدی یا در مرغوبیت محصول نداشته باشد. فرسایش گلوله‌ها در آسیاهای تر بیشتر است زیرا در این نوع آسیاها گلوله‌ها پیوسته با آب در تماس‌اند، در نتیجه سطح گلوله‌ها زنگ زده، پوسته پوسته می‌شود و این پوسته‌ها در اثر اصطکاک از روی گلوله جدا می‌شود.

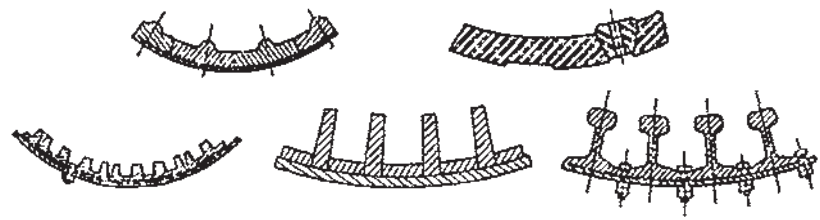

گلوله‌ها در داخل آسیا

لازم به یادآوری است که ابعاد گلوله‌هایی که به آسیا ریخته می‌شود، با بار ورودی تناسب دارد؛ یعنی هر قدر بار ورودی آسیا درشت‌تر باشد، قطر گلوله نیز بزرگ‌تر خواهد بود و هر قدر وزن مخصوص بار بیشتر باشد باید تعداد گلولهٔ بیشتری به کار برد و هر قدر بار سخت‌تر باشد باید قطر آسیا بزرگ‌تر باشد تا بتواند ضربهٔ بیشتری وارد کند.

۴ــ۲ــ چگونگی نرم کردن مواد توسط گلوله‌ها

گلوله‌هایی که در داخل آسیا قرار دارند ذرات مواد را در بر گرفته، با حرکت دورانی بین خود آن‌ها را نرم می‌کنند. از طرف دیگر در داخل آسیا گلوله‌ها در نتیجهٔ حرکت دورانی آسیا و نیروی گریز

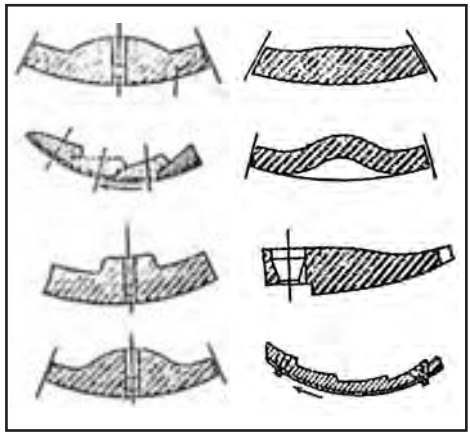
از مرکزی که به آن‌ها وارد می‌شود، به جدارهٔ آسیا چسبیده، همراه آن بالا می‌روند و سپس بر اثر غلبهٔ نیروی وزن بر نیروی گریز از مرکز، سقوط کرده، بر مواد داخل آسیا ضربه وارد می‌نمایند که در اثر آن ذرات نرم‌تر و نرم‌تر می‌شوند تا در نهایت، به ابعاد مورد نظر می‌رسند.



آستر برای آسیاهایی با بار ورودی ریز

برای آنکه بالا رفتن گلوله‌ها، در جدارهٔ داخلی آسیا با سهولت انجام شود، پوشش درونی آسیا را ناصاف می‌سازند که گلوله در حفره‌های آن قرار گیرد و از لغزیدن آن در یک سطح صیقلی جلوگیری شود.

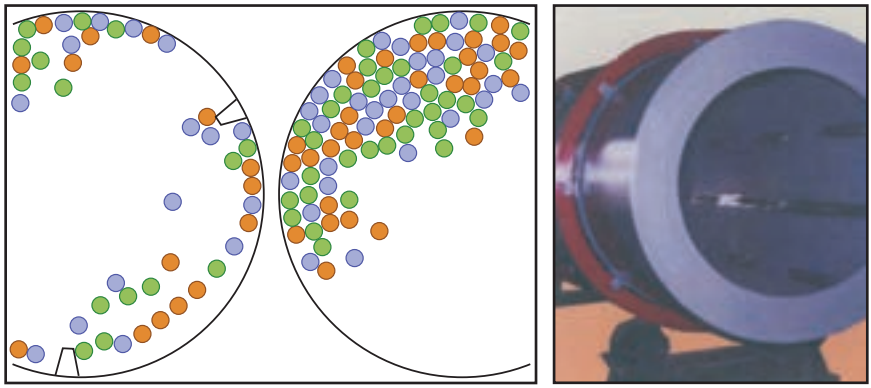
آستر یا پوشش درونی



آستر برای آسیاهایی با بار ورودی درشت

در آسیاهایی که عمل نرم کردن در اثر اصطکاک بین گلوله‌ها و جدار داخلی و نیز گلوله‌ها با گلوله‌ها صورت می‌گیرد، پوشش داخلی آسیا صاف است تا از ایجاد اصطکاک زیاد، جلوگیری شود. در این حالت گلوله‌ها بر اثر چرخش آسیا و صاف بودن جدارهٔ داخلی، حرکت دورانی پیدا نموده، بدون آن که جداره بالا بروند ذرات را در بین خود نرم می‌سازند.

لازم به ذکر است که گردش گلوله‌ها در داخل آسیا در خلاف جهت هم بوده و در نتیجه، ذرات را به داخل یکدیگر هدایت می‌کنند.



عمل نرم کردن در آسیاهایی با جدارهٔ داخلی صاف

۴ــ۳ــ سرعت چرخش آسیاها

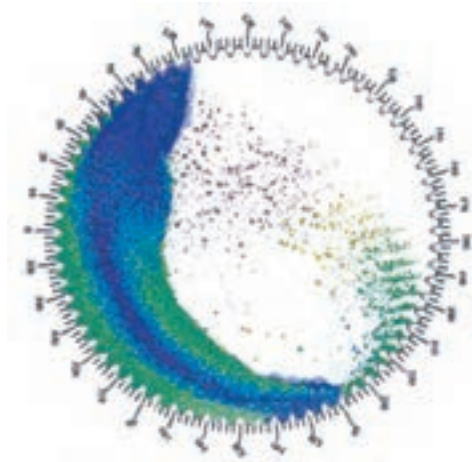
بیشتر آسیاهای گردان، با اجسام خرد کننده‌ای کار می‌کنند که حرکت این اجسام، عامل نرم شدن مواد می‌باشد. حرکت این اجسام به تعداد دور آسیاها، قطر استوانه، بزرگی و نوع اجسام خرد کننده و اصطکاک بین اجسام خرد کننده و جدارهٔ داخلی بستگی دارد. سرعت دوران آسیا، بر عمل خرد شدن و همچنین مصرف انرژی تأثیر مستقیم دارد. سرعت چرخش آسیا باید به نحوی باشد که در آن گلوله‌ها بتوانند به قدری بالا روند که در اثر نیروی جاذبه مجدداً روی یک دیگر غلطیده و به پایین بلغزند. اگر سرعت دوران آسیا از حد معیّن، کمی بیشتر شود در این صورت گلوله ها بیشتر بالا خواهند رفت و در اثر نیروی جاذبه، به پایین سقوط خواهند نمود و این کار در مواردی ضرورت می‌یابد که عمل خرد کردن باید به وسیلهٔ ضربه انجام شود. اگر سرعت دورانی آسیا از مقداری که به سرعت بحرانی معروف است تجاوز کند، گلوله‌ها تحت تـأثیر نیروی گریز از مرکز، به جدارهٔ داخلی آسیا چسبیده، عمل نرم کردن متوقف خواهد شد. سرعت بحرانی از رابطه $N_C = \frac{۴۲/۳}{\sqrt{D-d}}$ قابل محاسبه است که در آن N_C سرعت بحرانی برحسب دور در دقیقه D قطر داخلی آسیا برحسب متر و d قطر گلوله ها برحسب متر می‌باشد، رابطه سرعت آسیاها را برحسب دور در دقیقه یا برحسب درصدی از سرعت بحرانی بیان می‌کنند. در برخی مواقع از قطر گلوله نسبت به قطر آسیا صرفه‌نظر می‌شود.

مثال : اگر قطر داخلی یک آسیا ۴ متر و سرعت گردش این آسیا ۱۸ دور بر دقیقه باشد. سرعت گردش این آسیا نسبت به سرعت بحرانی چقدر است؟

$$N_C = \frac{۴۲/۳}{\sqrt{D}}$$

$$N_C = \frac{۴۲/۳}{\sqrt{D}} = \frac{۴۲/۳}{\sqrt{۴}} = ۲۱/۱۵$$

$$C_s = \frac{\text{تعداد دور آسیا}}{N_c} = \frac{۱۸}{۲۱/۱۵} \times ۱۰۰ \approx ۸۵$$ (سرعت گردش آسیا نسبت به سرعت بحرانی)



وضعیت گلوله‌ها در آسیای گلوله‌ای و ارتباط سرعت دوران آسیا با سرعت

۴ــ۴ــ میزان گلوله‌ها و ابعاد آن‌ها

مقدار گلوله‌ها باید حداقل ۴۵ درصد حجم آسیا باشد ولی نباید از ۵۵ درصد حجم آن بیشتر شود. به این میزان، درجه انباشتگی آسیا می‌گویند و از نسبت ظاهری بار خرد کننده به حجم داخلی آسیا محاسبه می‌شود. اندازه قطر گلوله‌ها برای آسیاهای مختلف، متفاوت است. اصولاً هر قدر آسیا بزرگ‌تر باشد، قطر گلوله‌های آن نیز بزرگ‌تر است و هر قدر که گلوله‌های یک آسیا کوچکتر باشد اصطکاک آن‌ها بر روی هم بیشتر خواهد بود این موضوع تا حد معینی در قطر آسیاها صادق است و از آن حد به بعد، در صورتی که گلوله‌ها کوچک باشند، سرعت حرکت آسیا زمان لازم را به گلوله‌ها نمی‌دهد که بتوانند سقوط کنند و عمل نرم کردن را انجام دهند.

۴ــ۵ــ ارتباط گلوله‌ها و مواد معدنی

به طور معمول تا حدود ۱۵ ــ۱۰ سانتی‌متر پایین‌تر از محور افقی آسیا، با گلوله و مواد خردشونده پر می‌شود، چنانکه نسبت مواد خرد شونده به گلوله در حدود ۲ :۱ می‌باشد معمولاً ۲۰ تا ۴۰ درصد حجم آسیا محتوی گلوله می‌باشد (یعنی $\frac{۱}{۳}$ حجم تمام آسیا یا حجم $\frac{۲}{۳}$ محتوی آسیا).

۴ــ۶ــ انواع مواد خرد کننده

۱ــ گلوله (آسیای گلوله‌ای)[۱]

۲ــ میله (آسیای میله‌ای)[۲] : میله‌های فولادی قدری کوتاه‌تر از طول آسیا، عمل نرم کردن را انجام می‌دهند. در آسیای میله‌ای عمل نرم کردن، بیشتر بر روی مواد درشت صورت می‌گیرد، بنابراین مقدار مواد نرمه در این نوع از آسیاها بسیار کم بوده و در نتیجه، مواد نرم از نظر دانه‌بندی یکنواخت‌تر و به عبارتی انتخابی‌تر از آسیاهای دیگر عمل می‌کنند.

آسیای میله‌ای

آسیای گلوله‌ای

۳ــ اجسام خرد کننده از نوع مواد خرد شونده[۳] : در این نوع از آسیاها دانه‌های درشت مواد خرد شونده، نقش اجسام خرد کننده را بازی می‌کنند، حالت نرم کردن همان حالت پرتابی بوده و مکانیزم با ضربه و سایش صورت می‌گیرد. قطر این آسیاها چند برابر طول آن‌ها است. به این نوع آسیاها، آسیای خودشکن گفته می‌شود و چنانچه با ۱۰ درصد گلوله نیز باردهی شوند به آسیای نیمه خودشکن معروفند.

۴ــ۷ــ پوشش جدارهٔ داخلی آسیاها[۴]

همانگونه که قبلاً نیز اشاره شد جدارهٔ داخلی آسیاها در معرض فرسایش شدید ناشی از اصطکاک و ضربهٔ میان مواد خرد کننده و خرد شونده قرار دارد در نتیجه، لازم است سطح داخلی آسیاهای گردان، با یک پوشش یک جنس سخت و مقاوم در برابر فرسایش فشار و ضربه، محافظت شود. سیستم نصب این پوشش‌ها باید در موقع لزوم با کمترین زمان و هزینه ممکن قابل تعویض باشد. این پوشش‌ها از قطعات جداگانه‌ای که معمولاً ۱۰ــ۵ کیلوگرم وزن دارند، تشکیل شده که در روی جدارهٔ داخلی آسیا پیچ می‌گردند. بنابراین آسترها علاوه بر حفاظت از بدنه آسیا، مواد را به بخش بالاتر منتقل کرده و طراحی آن‌ها در مکانیزم خردایش بسیار مهم است.

۱ــ Ball ۲ــ Rod Mill ۳ــ Autogen ۴ــ Mill Lining

۴ــ۸ــ روش خروج مواد از آسیاها

روش خروج مواد از آسیا در طی نرم کردن مواد بسیار مؤثر است. در آسیاهای موسوم به استوانه‌ای لبریزی مواد نرم شده از حفره مجرای خروجی که کمی پایین‌تر از مجرای ورودی قرار دارند، خارج می‌شود. این آسیاها عموماً در محیط مرطوب به کار می‌روند. در نزدیکی مجرای خروجی برخی از آسیاها نیز یک صفحهٔ مشبک تعبیه شده، که مانع خروج اجسام خرد کنندهٔ کوچک و دانه‌های درشت مواد، می‌گردد.

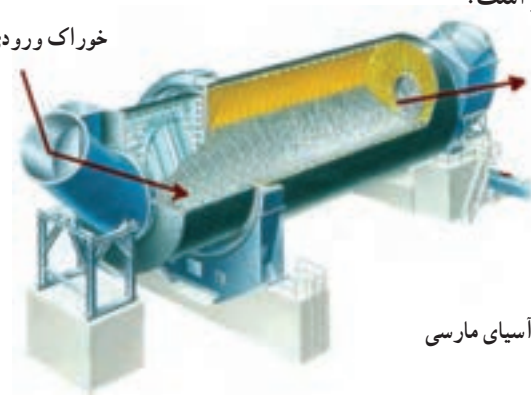
در نوع دیگری از آسیای استوانه‌ای نیز بین پوشش داخلی و جدار آسیا، سرندی به شکل استوانه نصب شده که مواد نرم بعد از عبور از لابه‌لای داخلی‌ترین پوشش، از سوراخ‌های سرند می‌گذرند.

۴ــ۹ــ انواع مختلف آسیاها

۴ــ۹ــ۱ــ آسیاهای تر

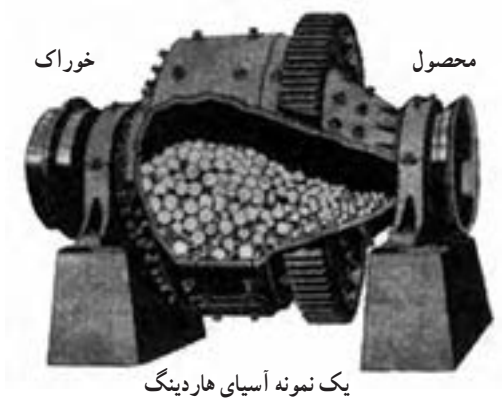
۱ــ آسیای استوانه‌ای: آسیای استوانه‌ای معمول‌ترین نوع آسیاهاست که در ابعاد مختلف نیز ساخته شده است و طول آن عموماً بیشتر از قطرش می‌باشد. آسیاهای استوانه‌ای شکل، ممکن است به وسیلهٔ گلوله یا میله‌های فولادی عمل خرد کردن را انجام دهند.

طول آن‌ها بین ۳/۵ تا ۹ متر متغیر است. هم‌چنین ظرفیت تولیدی این آسیاها بین ۵۰ کیلوگرم تا ۲۰ تن در ساعت تغییر می‌کند. در آسیاهای استوانه‌ای طویل ۸۵ درصد سایش در طول ۱/۵ متر آن‌ها انجام می‌شود در حالی‌که در طول ۳/۹ تا ۴/۵ متر باقی‌مانده، فقط ۱۵ درصد سایش انجام می‌گیرد زیرا در مرحلهٔ اول اثر اصطکاک روی سنگ‌ها بیشتر است. نوعی از آسیاهای استوانه‌ای موسوم به آسیای طویل درشکل زیر دیده می‌شود. آسیای استوانه‌ای طویل غالباً در صنعت سرامیک کاربرد دارد و قطر آن بین ۰/۹ تا ۲/۴ متر است.



آسیای مارسی

۲ــ آسیای مخروطی[۱] (هاردینگ) : این آسیاها که به طور مداوم کار می‌کنند؛ در قسمت باردهی، دارای مخروطی به شیب معمولاً ۶۰ درجه است که به یک قسمت استوانه‌ای و سپس یک بخش مخروطی برای خروجی مواد آسیا شده با شیب ۳۰ درجه منتهی می‌گردد. قطر این آسیا $1\frac{1}{4}$ تا ۳ برابر بخش افقی آن است و از درون حالت کروی شکل دارد؛ بنابراین دارای حداقل سطح جانبی داخلی برای یک حجم مشخص خواهد بود و در نتیجه، میزان فرسایش داخلی آن کم است. در شکل زیر نوعی آسیای مخروطی موسوم به «هاردینگ[۲]» مشاهده می‌شود.



یک نمونه آسیای هاردینگ

در این آسیاها گلوله‌هایی با اندازه‌های مختلف به کار می‌رود. نیروی گریز از مرکز در ضمن عمل نرم کردن باعث طبقه‌بندی گلوله‌ها می‌شود چنانکه گلوله‌های درشت در قسمت استوانه‌ای از پایین به بالا و گلوله‌های ریز و ریزتر تا مواد نرم شده، در شیب مخروط تا دهانهٔ خروجی قرار می‌گیرند. بنابراین از انرژی به کاربرده شده، حداکثر استفاده به عمل می‌آید.

تذکر : در آسیاهای گردانِ «استوانه‌ای و مخروطی» که به طریقهٔ مرطوب کار می‌کنند، مقدار آب قابل توجهی نیز وجود دارد که به مخلوط آب و ذرات «پالپ» و نسبت آب به جامد رقت پالپ گفته می‌شود. بدیهی است هر قدر ذرات ورودی درشت‌تر باشند، مقدار آب لازم کمتر خواهد بود بنابراین، درصد آب در چند آسیا که با هم کار می‌کنند، باید متغیر باشد. نقش عمدهٔ آب سیال نمودن جریان بار می‌باشد و در نتیجه، هر قدر ذرات ریزتر باشد مقدار آب بیشتری مورد نیاز خواهد بود تا مواد بتواند راحت‌تر جریان پیدا کند. برای مشخص کردن پالپ، درصد جامد در مخلوط را به صورت حجمی یا وزنی بیان می‌کنند. مثلاً درصد جامد در بار آسیاهای تر ۸۰ ــ ۵۵ درصد حجمی می‌باشد و از معادله

۱ــ Conical Ball Mill ۲ــ Harding

زیر محاسبه می‌شود :

$$x = \frac{۱۰۰ \times d(D-۱)}{D(d-۱)}$$

که در آن : x درصد جامد، d جرم مخصوص ماده معدنی و D دانسیته پالپ است.

مثال : اگر جرم مخصوص ماده‌ای ۲/۶ و دانسیته پالپ ۱/۵ باشد درصد جامد در پالپ را حساب کنید.

$$x = \frac{۱۰۰ \times ۲/۶(۱/۵-۱)}{۱/۵(۲/۶-۱)} = \frac{۱۳۰}{۲/۴} = ۵۴/۱۶$$

اگر رقت پالپ نسبت آب به جامد باشد، در این حالت رقت پالپ برابر است با :

$$\frac{۴۵/۸۴}{۵۴/۱۶} = ۰/۸۴$$

۴ــ۹ــ۲ــ آسیاهای خشک : همچنان که قبلاً ذکر شد، در صنعت آسیاهای تر به دلیل مزایای مختلف‌شان بر آسیاهای خشک ترجیح داده می‌شوند؛ لیکن در مواردی که جسم نرم شونده در آب محلول باشد یا لازم باشد که بعد از نرم کردن ذرات خشک شوند از آسیاهای خشک استفاده می‌شود که در اینجا به شرح چند نمونه از آن‌ها می‌پردازیم.

***آسیای بشقابی*[۱]** : بهترین مثال این نوع، آسیایی است که در بسیاری از نقاط برای آرد کردن گندم به کار می‌رود و شامل دو صفحهٔ افقی می‌باشد که یکی در قسمت زیر و ساکن و دیگری بالای آن و متحرک است. بار از قسمت محور چرخشی، داخل دو صفحه وارد شده، و در اثر اصطکاک و نیروی سایشی بین دو صفحه، نرم می‌شود و به سبب نیروی گریز از مرکز به سمت لبهٔ بیرونی دو صفحه هدایت و سپس خارج می‌شود. در این نوع آسیاها گاه عمل سایش مواد بین دو صفحهٔ قائم انجام می‌شود که در این صورت آن را آسیای «بشقابی قائم» گویند. این آسیا نسبت به نوع افقی، ظرفیت و بازدهی بیشتری دارد و ممکن است تا ۱۵ تن سنگ را در ساعت (با توجه به سختی آن) نرم کند. آسیاهای بشقابی غالباً برای سنگ‌های معدنی نرم مانند کائولن، تالک، سنگ آهن و زغال‌سنگ به کار می‌روند.

***آسیای چکشی*[۲]** : نحوهٔ عمل آسیاهای چکشی مانند کارِ هاون‌ها می‌باشد؛ یعنی ماده‌ای که باید نرم شود، در اثر ضربه‌های متوالی یک جسم سنگین، نرم و پودر می‌شود. آسیاهای چکشی منحصراً در پودر کردن زغال‌سنگ به کار می‌روند.

***آسیای غلطکی*[۳]** : در این آسیاها عمل نرم کردن ماده معدنی وارد شده، توسط غلطک‌های مخصوصی از طریق سایش و اصطکاک، صورت می‌گیرد.

۱ــ Placoid Mill ۲ــ Hammer Mill ۳ــ Roller Mill

ساختمان این نوع آسیاها که معروف‌ترین آن‌ها آسیای «ریموند[1]» نام دارد، شامل یک جام و تعدادی غلطک در داخل آن است. در بعضی از آسیاها، حرکت دورانی با غلطک است و جام ثابت است؛ در برخی دیگر جام حرکت دورانی دارد و غلطک‌ها آزاد هستند. ماده‌ای که بین غلطک‌ها و جام پودر می‌شود، با جریان هوا از آسیا خارج می‌شود. بنابراین، هرچه سرعت جریان هوا بیشتر باشد قادر به حمل ذرات بزرگ‌تر خواهد بود و در نتیجه به این وسیله نرمی ذرات را به ابعاد مورد نظر تنظیم می‌نمایند.

آسیای ریموند معمولاً همراه با کوره‌ای که سوخت آن را تأمین می‌کند به کار می‌رود. گرمای خروجی از کوره، جهت به جریان انداختن زغال نرم شدهٔ آسیا مورد استفاده قرار می‌گیرند و چون از حرارت نسبتاً بالایی برخوردار هستند، در حین انتقال پودر زغال مرطوب آن را خشک نموده، وارد کوره می‌نماید، پودر زغال در کوره با هوای تازه مخلوط شده، مشتعل می‌گردد.

آسیای ریموند

آسیاهای ریموند دارای ظرفیتی بالغ بر یک تا هیجده تن در ساعت است اگرچه، مصرف انرژی آن‌ها نیز بسیار بالا است.

۴ــ۱۰ــ وسایل باردهنده به آسیا[2]

باردهی به آسیاها به روش‌های مختلفی انجام می‌شود یکی از روش‌های متداول، استفاده از

۱ــ Raymond ۲ــ Feeder

قاشق‌های مخصوصی است که روی محور آسیا نصب شده، همراه با گردش آسیا دوران می‌کند. در اثر گردش، قاشقک وارد مخزن بار می‌شود و مقداری از آن را برداشته از مجرای مرکز خود به داخل آسیا می‌ریزد.

در یک سیستم دیگر بار آسیا از یک لولهٔ جانبی وارد یک لولهٔ اصلی می‌شود و با یک «تزریق کننده» آب یا هوا با فشار زیاد به داخل آسیا فرستاده می‌شود.

قاشق مخصوص باردهی

خودآزمایی

۱ـ نرم کردن مواد معدنی و اهمیت آن را در کانه‌آرایی شرح دهید.

۲ـ آسیاها به چند دسته تقسیم می‌شوند و در صنعت استفاده از کدام نوع یک ترجیح داده می‌شود؟ توضیح دهید.

۳ـ اساس کار معمولی‌ترین آسیاهایی که در صنعت به کار می‌روند، چیست؟

۴ـ جنس و ویژگی گلوله‌هایی که در آسیاهای گردان به کار می‌روند، چیست؟

۵ـ علّت کاربرد گلوله‌هایی از جنس چینی (سرامیکی) و چدنی در آسیاهای گردان چیست؟

۶ـ ابعاد و تعداد گلوله‌هایی که داخل آسیا ریخته می‌شوند، به چه عواملی بستگی دارد؟

۷ـ عمل نرم کردن مواد در آسیاهایی با جدارهٔ داخلی صاف، چه تفاوتی با عملکرد سایر جداره‌های داخلی پیدا می‌کند؟

۸ـ سرعت بحرانی آسیای گردان چیست و چگونه محاسبه می‌شود؟

۹ـ گلوله‌های داخل آسیا چه حجمی از آن را از لحاظ حداقل و حداکثر می‌توانند پر کنند؟

۱۰ـ آسیال میله‌ای دارای چه خصوصیاتی است؟

۱۱ـ پوشش جدارهٔ داخلی آسیاها چه اهمیتی دارد؟

۱۲ـ وضعیت سایشی مواد در آسیای «استوانه‌ای طویل» چگونه است؟

۱۳ـ آسیای «طویل» و آسیای «هاردینگ» از لحاظ ظاهری چه تفاوتی با یکدیگر دارند؟

۱۴ـ کار آسیای «بشقابی» چگونه است و کاربرد آن در چه مواردی است؟

۱۵ـ کاربرد آسیای «ریموند» در صنعت چگونه است؟

فصل ۵

دانه‌بندی و کنترل ابعاد با روش سرند کردن

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

۱ـ دانه‌بندی و هدف از انجام این کار را در عملیات کانه‌آرایی، شرح دهد.

۲ـ سرندهای آزمایشگاهی را شرح دهد.

۳ـ سرندهای صنعتی را توضیح دهد.

۴ـ کارآیی سرندها را تعیین کند.

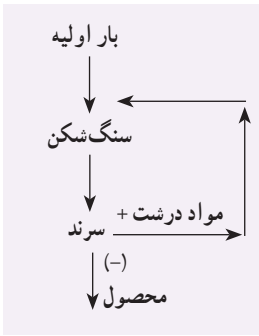
۵ـ بار در گردش چیست و چه استفاده‌ای دارد.

۵ــ آشنایی

سرند کردن، طبقه‌بندی مواد به روش مکانیکی است و بر مبنای ابعاد ذرات و احتمال عبور و یا توقف آن‌ها در سطح سرند استوار است. یکی از تفاوت‌های بین طبقه‌بندی مستقیم مواد (سرند کردن) با طبقه‌بندی غیرمستقیم (کلاسیفایرها) آن است که کلاسیفایرها براساس ابعاد، جرم مخصوص و سرندها براساس ابعاد، ذرات را طبقه‌بندی می‌کنند. بنابراین از سرندها برای طبقه‌بندی مواد درشت‌تر از ۲۵۰ میکرون (هر میکرون معادل $\frac{۱}{۱۰۰۰}$ میلی‌متر است) و از کلاسیفایر برای مواد ریزتر استفاده می‌شود. از سرندها برای جلوگیری از ورود ذرات درشت از دهانه و ریزتر از گلوگاه در سنگ‌شکن‌ها استفاده می‌شود و علاوه بر این در کنترل بار ورودی به دستگاه‌های پرعیارسازی نیز استفاده می‌شود. یکی از مهم‌ترین کاربردهای سرندها در مسیر سنگ‌شکن‌ها کنترل بار و یکنواخت‌سازی محصول است. شکل صفحهٔ بعد بار در گردش را نشان می‌دهد.

به عبارتی مواد درشت‌تر از گلوگاه مجدداً به سنگ‌شکن برگشت داده می‌شود و به این

عمل بار درگردش می‌گویند و هرچه بیشتر باشد، دانه‌بندی یکنواخت‌تر، نرمه تولیدی کمتر، کارآیی دستگاه بیشتر و انرژی مصرفی کمتر خواهد بود.



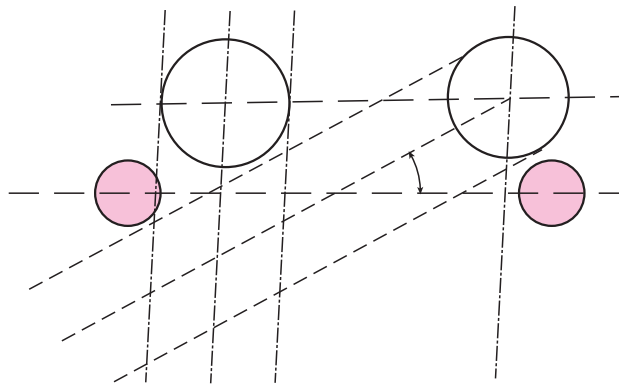
بار در گردش

۵ــ۱ــ سرندهای آزمایشگاهی

این وسایل دارای صفحه‌ای با سوراخ‌های یک شکل هستند، تا موادی که قطر آن‌ها از سوراخ‌های مذکور کوچکتر است بتوانند به راحتی از آن‌ها عبور نموده، از بقیهٔ موادی که قطرشان بزرگتر از منافذ است، جدا شوند.

دانه‌های بی‌شمار مواد اولیه با اشکال و اندازه‌های مختلف، برای عبور از منافذ سرند باید اولاً بتوانند خود را روی یکی از منافذ قرار دهند ثانیاً در جهت عمود بر مسیر حرکت سرند، به کمک یک نیروی مناسب زمانی و مکانی موقعیت خروج از منفذ را پیدا کنند.

شرایط ذکر شده به یک حرکت نسبی بین صفحهٔ سرند ودانه‌ها نیاز دارد که ایجاد کنندهٔ آن، همان صفحهٔ سرند است. در کنترل ابعاد به وسیلهٔ سرند، سر و کار با اجتماع دانه‌هایی است که حالات و حرکات آن‌ها با حرکات یک دانهٔ منفرد تفاوت دارد زیرا، حرکت یک دانهٔ منفرد در سطح سرند به لحاظ ناصافی سطح سرند و گوشه‌دار بودن سطوح دانه‌ها نسبتاً نامرتب می‌باشد. احتمال خروج بلامانع یک دانه با ابعاد مشخص از سوراخ سرند تحت یک حالت عمودی فقط به بزرگی دانه و سوراخ سرند بستگی دارد. هرچه



زاویه ورود دانه در اثر حرکت جابه‌جایی

ابعاد دانه بزرگتر شود احتمال خروج آن کمتر می‌گردد و هرچه دانه کوچکتر باشد احتمال خروج آن افزایش می‌یابد. با توجه به این که عمل سرند همیشه به طور مداوم انجام می‌شود و همواره یک جابه‌جایی مواد در روی صفحهٔ غربال صورت می‌گیرد که براثر آن دانه‌های درشت حمل می‌شوند لذا عبور دانه‌ها از سوراخ غربال دیگر عمودی نبوده بلکه تحت زاویهٔ مشخصی که آن را «زاویهٔ ورود» می‌نامند، انجام می‌گیرد. هرچه زاویهٔ ورود بزرگتر باشد احتمال خروج قطعی دانه‌ها فزونی می‌یابد.

در سرند کردن عوامل مختلفی تأثیر می‌گذارند که بعضی از آن‌ها ذکر می‌شود :

الف) نسبت بین دانه‌های درشت و بزرگی حفره سرند؛

ب) میزان درصد سطحی از سرند که به صورت سوراخ است؛

ج) زاویهٔ ورود بار به سرند؛

د) نوع تقسیم مواد بر روی سرند؛

هـ) انرژی جنبشی دانه‌ها هنگامی که به سوراخ سرند می‌رسند؛

و) رطوبت سطحی دانه‌ها و چسبندگی مواد به یکدیگر؛

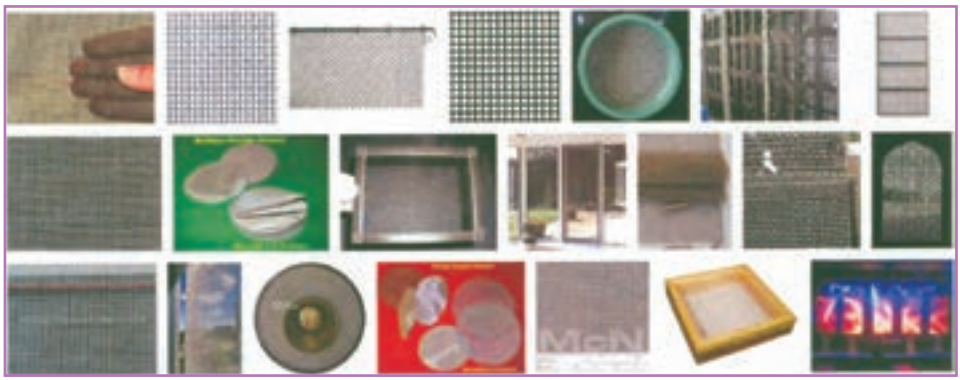
ز) بسته شدن سوراخ‌های سرند؛

ح) فشار دانه‌های فوقانی، بر روی دانه‌های تحتانی نزدیک به ابعاد چشمه سرند.

گذشته از بعضی از عوامل فوق که تغییرپذیر می‌باشند عامل رطوبت نیز قابل توجه است زیرا اگر رطوبت، بیش از ۲ درصد وزنی باشد عمل سرند کردن، دشوار خواهد شد. این رطوبت نه تنها سبب چسبیده شدن ذرات روی غربال به یکدیگر می‌شود بلکه باعث مسدود شدن سوراخ‌های غربال نیز می‌گردد. برای این‌که عمل غربال کردن مواد نرم و مرطوب بهتر صورت گیرد از روش‌هایی نظیر خشک کردن مواد اولیه، افزودن نیروی محرکهٔ سرند و ایجاد نوساناتی در تاروپود آن، گرم کردن سطح غربال به طور مستقیم یا غیرمستقیم، افزودن آب فراوان به سرند و وارد کردن آن به مرحلهٔ سرند کردن مرطوب موارد مشابه استفاده می‌شود که در هر مورد قبلاً امکانات و محدودیت‌های روش کاربردی را در مورد مادهٔ اولیه، مورد مطالعه قرار می‌دهند.

۵ــ۲ــ اشکال مختلف سوراخ در سرندها

شکل سوراخ‌ها به نوع سرند و مشخصات مادهٔ معدنی بستگی دارد چنان که گاهی از بافتن مفتول‌های فولادی ایجاد می‌شوند که در این صورت سیم‌های به کار رفته متناوباً از بالا به پایین یکدیگر عبور نموده، به هم بافته می‌شوند.



غربال‌های ساخته‌شده از صفحات مشبک فولادی

بعضی دیگر از انواع سرندها نیز از مشبک کردن ورق‌های فولادی به شکل‌های مختلف به دست می‌آیند. در آزمایشگاه الک‌ها را معمولاً با شماره‌ای که به «مش» موسوم است، مشخص می‌کنند عدد «مش[1]» عبارت از تعداد سوراخ‌های موجود در هر اینچ (۲/۵۴ سانتی‌متر) طولی، می‌باشد. مثلاً الکی که شماره آن ۸۵ مش است ۸۵ عدد سوراخ در هر اینچ طولی خود، خواهد داشت. البته این ویژگی در سیستم استاندارد تیلور[2] آمریکا (ASTM) است.

از معمولی‌ترین الک‌های آزمایشگاهی نوع «تیلور» است که نسبت بین سوراخ دو الک متوالی $\sqrt{2}$ است و در این الک‌ها از سوراخ ۷/۶۲ سانتی‌متری تا ۳۷ میکرونی قابل تعبیه است. در بعضی دیگر از سرندها نسبت بین دو سرند متوالی $\sqrt[4]{2}$ است که به نوع «رتینیگر[3]» معروف است که البته کار با این سرندها مشکل‌تر ولی نتیجهٔ به دست آمده دقیق‌تر است. به طور کلی این قبیل الک‌ها در اندازه‌های تقریباً از ۱۰ تا ۳۰ سانتی‌متر ساخته می‌شود و ساخت آن‌ها طوری است که به خوبی روی هم قرار می‌گیرند چنان که خروج مواد امکان‌پذیر نباشد و در پایین‌ترین قسمت، نرم‌ترین مواد قرار می‌گیرد که زیر آن، یک ظرف بنام کفه قرار دارد. در سرند کردن سرندها را به ترتیب از درشت به ریز و از بالا به پایین روی هم قرار داده، مواد را در درشت‌ترین سرند می‌ریزند و سپس به وسیلهٔ دستگاه لرزاننده[4] یا با دست آن را به طور مناسب و به مدت معینی تکان می‌دهند اخیراً از دستگاه جدیدی برای ذرات بسیار ریز استفاده می‌شود که به آن دستگاه دانه‌بندی لیزری[5] اطلاق می‌شود.

۱ـ Mesh ۲ـ Tylor ۳ـ Rittinger ۴ـ Vibrator ۵ـ Laser ـ Particle sizer

سرند آزمایشگاهی به روش مرطوب

دستگاه دانه‌بندی لیزری

در شکل نمونه‌ای از این دستگاه که ساخت شرکت فریچ آلمان می‌باشد، ملاحظه می‌گردد. با این دستگاه در مدت زمان بسیار کوتاه دانه‌بندی مواد با ابعاد یک تا ۱۱۰ میکرون به کمک کامپیوتر صورت می‌گیرد.

معمولاً روش‌های دانه‌بندی در دو محدوده درشت‌تر از ۴۰ میکرون با الک‌های آزمایشگاهی و ریزتر از ۴۰ میکرون توسط دستگاه لیزر و یا روش‌های ته‌نشینی صورت می‌گیرد.

۵ــ۳ــ تعیین دانه‌بندی به روش الک‌های آزمایشگاهی

یکی از متداول‌ترین روش‌های تعیین دانه‌بندی روش تجزیه سرندی است. نمونه معرف را به دقت

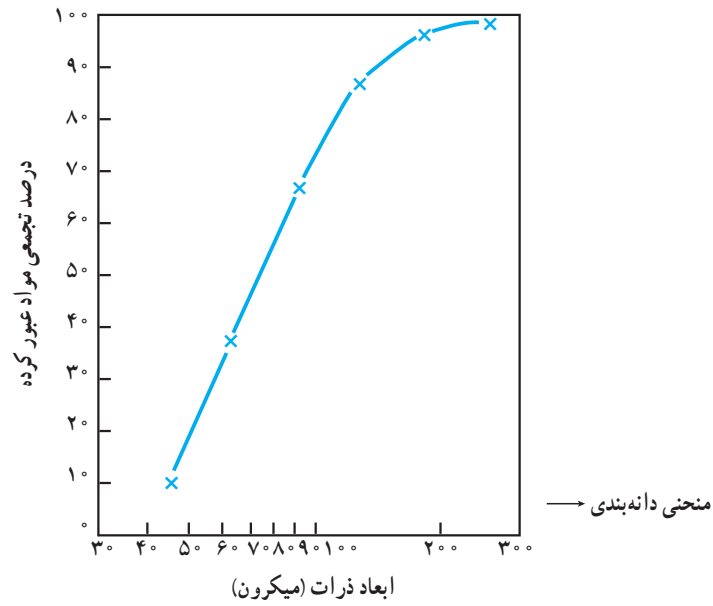
وزن کرده و پس از انتخاب سرندها (الک‌های آزمایشگاهی باید به نحوی انتخاب شوند که بیشتر از ۵ درصد بار اولیه در الک اوّل و ۵ درصد از الک آخر عبور نکند).

نمونه را در سطح سرند درشت‌تر قرار و پس از گذاشتن درپوش به کمک دستگاه لرزاننده به حرکت درمی‌آورد. نمونه پس از عملیات به بخش‌های مختلفی تقسیم می‌شود.

معمولاً وزن نمونه ۲۰۰ گرم و از الک‌های ۶ تا ۱۵۰ مش (تیلور) استفاده می‌شود. موادی که در کفه آخر جمع می‌شود، اگر لازم باشد با روش‌های دیگر، دانه‌بندی می‌شود. وزن باقی‌مانده بر روی هر الک محاسبه و نسبت به کل مواد درصد آن تعیین می‌شود و مطابق جدول زیر نتایج آماده می‌شود.

جدول (دانه‌بندی مواد)

چشمه الک (میکرون)	وزن باقی مانده (گرم)	٪ وزن باقی مانده	درصد تجمعی مواد باقی مانده	درصد تجمعی مواد عبور کرده
+۲۵۰	۰/۰۲	۰/۱	۰/۱	۹۹/۹
−۲۵۰+۱۸۰	۱/۳۲	<۰/۹	۳	۹۷
−۱۸۰+۱۲۵	۴/۲۳	۹/۵	۱۲/۵	۸۷/۵
−۱۲۵+۹۰	۹/۴۴	۲۱/۲	۳۳/۷	۶۶/۳
−۹۰+۶۳	۱۳/۱۰	۲۹/۴	۶۳/۱	۳۹/۹
−۶۳+۴۵	۱۱/۵۶	۲۶	۸۹/۱	۱۰/۹
−۴۵	۴/۸۷	۱۰/۹	—	—



پس از تشکیل جدول صفحهٔ قبل منحنی دانه‌بندی مطابق شکل صفحهٔ قبل رسم می‌شود. شایان ذکر است محور قائم (معمولی) درصد تجمعی مواد عبور کرده و محور افقی ابعاد ذرات را برحسب میکرون در مقیاس لگاریتمی نشان می‌دهد.

(این منحنی کاملاً نمایشی جهت درک دانش‌آموزان است)

با رسم چنین منحنی می‌توان ۸۰ درصد ($d_{۸۰}$) مواد را که از چه چشمه‌ای می‌گذرد تعیین کرد که یکی از مهم‌ترین پارامترهای لازم در انتخاب دستگاه‌های خردایش، درجه آزادی و مراحل بعدی پرعیارسازی مواد معدنی می‌باشد.

۵ــ۴ــ سرندهای صنعتی

مهم‌ترین سرندهای صنعتی عبارتند از :

۵ــ۴ــ۱ــ سرند نوع گریزلی[۱] : یکی از ساده‌ترین انواع سرندهایی است که برای جدا کردن دانه‌های درشت مورد استفاده واقع می‌شود و از میله‌هایی آهنی که به موازات یکدیگر و در فواصل مساوی (شبیه نرده) نصب شده‌اند، تشکیل شده است و دارای انواع ثابت و متحرک است.

الف) سرند گریزلی نوع ثابت : سطح این نوع سرندها از میله‌های ثابت و موازی که ۹۰درجه در خلاف جهت مواد اولیه قرار دارد، تشکیل شده است.

معمولاً این سرندها را در بالای سنگ‌شکن‌های اولیه و در دهانهٔ بونکر اصلی کارخانه‌های کانه‌آرایی، نصب می‌کنند تا جلوی قطعات درشت را بگیرد. فاصلهٔ میله‌ها از یکدیگر حداقل باید ۵ سانتی‌متر باشد و برای این که در اثر وزن سنگ‌هایی که روی آن ریخته می‌شود، خم نشود، به طور متوسط در هر نیم متر طول آن، یک میلهٔ عرضی قرار می‌دهند.

در بعضی موارد کارخانه به گونه‌ای است که کامیون یا واگن حامل مادهٔ معدنی باید مستقیماً بر روی سرند ثابت بایستد و بار خود را تخلیه کند؛ در این صورت نرده‌ها باید دارای فاصله‌ای حدود ۲۵ــ۲۰ سانتی‌متر از یکدیگر باشند. در چنین حالاتی سرند در واقع از تعدادی تیرآهن یا ناودان‌های موازی تشکیل می‌شود. بعضی از سرندهای گریزلی ثابت دارای شیب می‌باشند تا سنگ‌هایی که روی آن‌ها ریخته می‌شود، به طرف پایین حرکت کنند. زاویهٔ شیب ۴۵ــ۳۵ درجه و حداکثر تا ۶۰ درجه نسبت به افق است.

ظرفیت این سرندها بسیار زیاد است چنان که از هر مترمربع آن‌ها در شبانه روز تا ۱۰۰۰ تن مادهٔ معدنی، قابل سرند کردن است.

۱ــ Grizzly

سرندهای صنعتی از نوع گریزلی

ب) گریزلی نوع متحرک[1]: به دلیل آن که در گریزلی‌های نوع ثابت، هدر رفتن دانه‌ها از سطح مورب و گیر کردن دانه‌های درشت در شکاف میله‌های سرند، زیاد است لذا از سرندهای متحرک استفاده می‌شود.

در این نوع، سطح سرند نسبت به دانه‌های روی آن یک حرکت نسبی دارد که جابه‌جا شدن و باز شدن دانه‌ها را از یکدیگر ممکن می‌سازد.

نوعی از این سرندها از تعدادی میله که در روی دو نوار متحرک نصب شده‌اند، ساخته می‌شود. که معمولاً یک سر این میله‌ها به نوار لولا شده است و سردیگر میله، آزاداند روی نوار دوم قرار دارد و دو نوار روی دو چرخ می‌چرخند.

در نوع دیگری از گریزلی‌های متحرک (که در شکل صفحهٔ بعد دیده می‌شود) تعدادی استوانهٔ فلزی وجود دارد که در روی آن‌ها حلقه‌های نازکی قرار داده شده که دارای حرکت دورانی هستند. این حرکت دورانی به وسیلهٔ یک موتور و چرخ دنده، تأمین می‌شود. بنابراین هرگاه مقداری سنگ و مادهٔ معدنی روی آن ریخته شود، به طرف جلو هدایت گردیده، در حین حرکت سنگ‌ها و مواد کوچکتر از فاصلهٔ بین دو استوانه، پایین می‌ریزد، ولی سنگ‌های درشت روی استوانه‌ها باقی مانده از آن‌ها جدا می‌شود. این سرندها دارای ظرفیت بالایی هستند و در مواقعی که ابعاد سنگ‌ها درشت و حجم کار دانه‌بندی زیاد باشد، به کار می‌روند، به‌خصوص در شستشوی زغال‌سنگ (برای جدا کردن کلوخه‌های

۱ــ Travelling Grizzly

درشت) و در پرعیارسازی کانی‌های فلزی (برای طبقه‌بندی مواد اولیه قبل از دستگاه خرد کنندهٔ اولیه) این سرندها به کار می‌روند.

گریزلی با استوانه‌های دوّار

۵ــ۴ــ۲ــ سرندهای استوانه‌ای گردان[1] : این سرندها در واقع استوانه‌هایی تو خالی با سطح داخلی مشبکی هستند که به چند ناحیهٔ مختلف با منافذی به ابعاد معین تقسیم شده‌اند. استوانهٔ مذکور دارای حرکت دورانی حول محور خود است و مواد از یک طرف وارد آن می‌شود و به لحاظ شیب ملایم و حرکت گردشی خود، مواد را به طرف پایین حمل کرده و به تدریج سنگ‌های بسیار ریز و متوسط و در انتها مواد درشت سرند می‌شود مواد بسیار درشت و سنگ‌های بزرگ سرند نشده، از سر دیگر استوانه خارج می‌شود.

سرندهای استوانه‌ای گردان

سرندهای استوانه‌ای گردان که به نام «تـرومُل» معروف شده‌اند، در گذشته اهمیت زیادی داشتند ولی امروزه، در اکثر نقاط دنیا سرندهای نوسانی جایگزین آن‌ها شده‌اند.

در این سرندها چند سرند استوانه‌ای هم محور را که جدار هر کدام با دیگری ۵۰ــ۲۰ سانتی‌متر فاصله دارد، داخل هم قرار می‌دهند. هر استوانه دارای منافذ هم بعد است و منافذ داخلی‌ترین استوانه، بزرگتر از دیگران است و ابعاد سوراخ‌ها به سمت خارج ریزتر می‌شود.

۱ــ Cylindrical Trommels

ترتیب خروج محصول از سرندهای استوانه‌ای گردان

در این نوع سرندها هم مثل «آسیای استوانه‌ای گلوله‌ای» می‌توان سرعت «بحرانی» را تعیین کرد که معمولاً دور آن را ۴۵ــ۳۰ درصد سرعت بحرانی در نظر می‌گیرند.

از لحاظ مشخصات ترومل‌ها، لازم به ذکر است که طول آن‌ها ۸ــ۵ فوت و قطر آن‌ها ۴ــ۳ فوت و سرعت گردش آن‌ها ۲۰ــ۱۵ دور در دقیقه است و نیروی مصرفی آن‌ها از یک موتور با نیروی ۵ــ۲/۵ اسب بخار تأمین می‌شود. این سرندها به لحاظ فرسایش زیاد، عدم تعادل (در اثر نامتناسب بودن بار در قسمت‌های مختلف) و بعضی علل دیگر، امروزه کاربرد محدودی دارند و بیشتر در پرعیارسازی مواد سنگ‌های ساختمانی و سرامیک و معادن قلع و طلایی که به صورت رسوبی ایجاد شده‌اند، به کار می‌روند.

۵ــ۴ــ۳ــ غربال‌های نوسانی[1] : هدف از ایجاد نوسانات در سطح سرندهایی که به این نام مشهور هستند، از هم باز کردن دانه‌های مواد سرند شونده و جابه‌جا شدن آن‌ها در صفحهٔ سرند به منظور عبور از منافذ آن است. کاربرد این نوع سرندها امروزه در صنعت بسیار متداول شده است. سرندهای نوسانی براساس تعداد نوسانات، مسیر نوسانات و نوع حرکت، تقسیم‌بندی می‌شوند. برحسب تعداد نوساناتی که وجود دارد سرند ممکن است «لرزان[2]» (با نوساناتی کمتر از نوسانات بحرانی)، «رزونانس[3]» (با نوساناتی مساوی نوسانات بحرانی) و «ارتعاشی[4]» (با نوساناتی بیش از نوسانات بحرانی) باشد.

۱ــ Vibrating Screen ۲ــ Shaking Screen ۳ــ Resonance Screen ۴ــ Vibrating Screen

انواع سرندهای نوسانی

امروزه سرندهای با نوسانات بالاتر از نوسانات بحرانی، کاربرد بیشتری دارند ضمن آن که عواقب ناشی از نوسانات بالا، بهتر کنترل می‌شود.

نوع دیگر تقسیم‌بندی در مورد غربال‌های نوسانی، تقسیم‌بندی براساس نوع حرکت و مسیر حرکت است. هم‌چنین برحسب ساختمان سرندهای نوسانی، سطح سرند می‌تواند در یک مدار دایره‌ای، بیضوی خمیده یا خطی، حرکت کند.

از این نوع سرندها برای دانه‌بندی ذرات متوسط و نسبتاً ریز استفاده می‌شود. سرندهای نوسانی را ممکن است در چند طبقه ساخت و هر طبقه را با یک صفحه منفذ معین پوشاند و بدین ترتیب قسمت‌های مختلف بار را دانه‌بندی کرد. سرندهای مذکور دارای شیب ملایمی هستند و چون با اصطکاک کار می‌کنند صفحات آن‌ها به طور متوسط بعد از ۶ــ۳ ماه فرسوده می‌شود و باید تعویض شوند. برای تأمین حرکت نوسانی سرندها، روش‌های مختلفی وجود دارد مانند استفاده از یک محور خارج از مرکز متصل به موتور، استفاده از اهرم‌های مرتبط به چرخ دندهٔ گردان و استفاده از حرکت لرزشی ناشی از ایجاد جریان القایی در بوبین (نظیر آنچه که در زنگ اخبار وجود دارد).

مصرف انرژی سرندهای نوسانی در مقایسه با سایر انواع سرندها به مراتب کمتر است و در مقابل این سرندها ظرفیت بالایی نیز دارند، به طوری که می‌توان در حدود ۱۵۰ــ۹۰ تن مادهٔ سرند شونده را در هر شبانه روز به ازای هر متر مربع سطح و هر میلی‌متر ابعاد منافذ آن، سرند کرد.

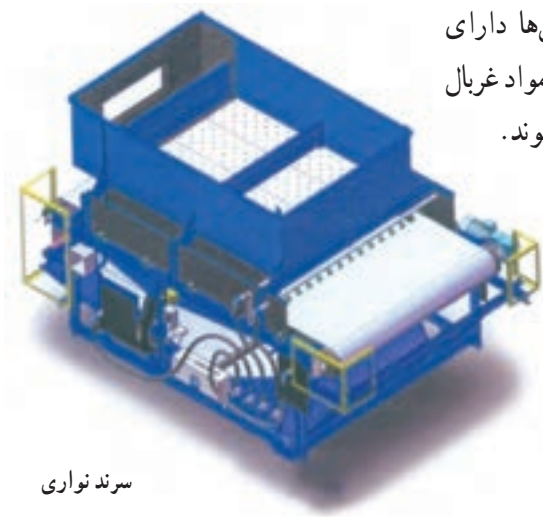
۵ــ۵ــ سایر انواع سرندها

۱ــ سرندهای با حرکت پاندولی[۱] : در این سرندها نوسان نسبی کمتری در حدود ۳۰۰ تا ۴۰۰ بار در دقیقه و لرزشی در سطح موازی سطح سرند انجام می‌گیرد.

۲ــ سرندهای با لرزش در دو جهت[۲] : لرزش این سرندها در دو جهت برابر نبوده، شیب آن‌ها در حدود ۵ درجه و بسیار کم است. در بعضی از انواع این سرندها، گلوله‌هایی در طبقهٔ زیرین قرار داده شده که حرکت آن‌ها مانع کور شدن غربال می‌گردد؛ ضمن این که آن‌ها خود یک لرزش اضافی تولید می‌کنند. این غربال‌ها برای سرند کردن مواد خشک و مواد ریز تا حدود ۲۰۰ مش، (۷۴ میکرون) قابل استفاده هستند.

سرند با لرزش در دو جهت

۳ــ سرندهای نواری : این غربال‌ها دارای نواری با حرکت دورانی آهسته می‌باشند. که مواد غربال شونده، روی سطح مشبک آن‌ها ریخته می‌شوند.

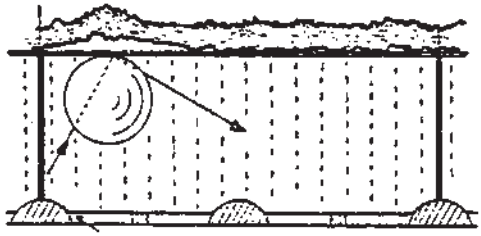


سرند نواری

۱ــ Oscilating Screen ۲ــ Riciprocating Screen

۴ــ سرندهای با حرکت قائم : این سرندها از یک صفحهٔ مشبک شیب‌دار با کناره خاص تشکیل شده‌اند که توسط یک وسیلهٔ مکانیکی دارای حرکت قائم می‌شوند. بار از یک طرف روی سرند ریخته شده، در جهت شیب سرند پایین می‌آید، ذرات ریز از منافذ آن عبور کرده، ذرات درشت از سردیگر خارج می‌شوند. این سرندها درصنایع زغال و کانی‌های غیرفلزی به کار می‌روند.

۵ــ سرند برای بار مرطوب : چون رطوبت سبب چسبندگی ذرات به یکدیگر و ایجاد دانه درشت‌تر می‌شود و در نتیجه کارآیی سرند کاهش می‌یابد بنابراین از سرندهایی که در داخل آن‌ها سیم‌پیچی با جریان برق متناوب با فرکانس بالا عبور می‌کند استفاده می‌شود. جریان مذکور یک جریان القایی در سطح سرند ایجاد می‌کند که سطح سرند را شدیداً گرم نموده، در نتیجه ذرات مرطوب را خشک می‌کند.



غربال برای بار مرطوب

۵ــ۶ــ انتخاب سرند و تعیین نوع آن

چون ظرفیت سرندها به عوامل مختلفی بستگی دارد برای انتخاب نوع آن‌ها می‌توان با استفاده از کاتالوگ‌ها ظرفیت هر واحد سطح از سرند، (مترمربع یا فوت مربع) را به ازای هر میلی‌متر از اندازهٔ منفذ را تعیین و سرند مورد نظر را انتخاب کرد. جدول زیر اطلاعاتی در این زمینه ارائه می‌کند.[۱]

جدول مشخصات سرندها

نوع سرند	حدود ظرفیت سرند در ۲۴ ساعت برای فوت مربع و به ازاء هر میلی‌متر از ضلع منفذ	حدود ظرفیت سرند در ۲۴ ساعت هر مترمربع و به ازاء هر میلی‌متر از ضلع منفذ
گریزلی	۶ــ۱ تن	۱۰۰ــ۶۵ تن
سرند ثابت	۵ــ۱ تن	۵۵ــ۱۰ تن
سرند لرزان	۲۰ــ۵ تن	۲۱۵ــ۵۵ تن
سرند با نوسان پاندولی	۸ــ۲ تن	۸۵ ــ۲۲ تن
سرند دوار	۲ــ۰/۳ تن	۲۰ــ۳ تن

۱ ــ جدول فوق جنبه حفظ کردن ندارد.

مطالعه آزاد

محاسبه کارآیی سرندها:

یکی از مهم‌ترین پارامترهای مؤثر در سرندها کارآیی سرند است که از رابطه زیر به‌دست می‌آید:

$$E = \frac{c - f}{c(1 - f)} \times 100$$

که در آن : c و f به ترتیب، درصد مواد درشت‌تر از چشمه سرند در بخش باقی مانده در سرند و بار اولیه می‌باشد. این معادله زمانی صادق است که توری سرند سالم باشد و ذرات نزدیک به چشمه سرند در آن کم باشند.

مثال: اگر c و f به ترتیب معادل ۰/۷۵ و ۰/۵۵ باشد مطلوب است کارآیی سرند:

$$E = \frac{0/75 - 0/55}{0/75(1 - 0/55)} = \frac{0/20}{0/41} = 49 \text{ درصد}$$

که این مقدار بسیار پایین است.

خودآزمایی

۱ـ فواید دانه‌بندی و کنترل ابعاد ذرات چیست؟

۲ـ سرند چیست و برای عبور دانه‌های مختلف از منافذ سرند چه شرایطی باید فراهم باشد؟

۳ـ رطوبت موجود در ذرات چگونه برعمل سرند کردن تأثیر می‌گذارد؟

۴ـ عدد «مش» بیانگر چیست؟

۵ـ سرندهای سری «تیلور» چه مشخصه‌ای دارند؟

۶ـ سرند نوع گریزلی چیست؟ انواع مختلف آن چه تفاوت عمده‌ای با یکدیگر دارند؟

۷ـ اساس کار سرند گردان چگونه است؟ چرا کاربرد آن‌ها محدود شده است؟

۸ـ سرندهای نوسانی را چگونه تقسیم‌بندی می‌کنند؟

۹ـ برای سرند کردن بار مرطوب در صنعت چه اقدامی به عمل آورده‌اند؟

فصل ۶ کلاسیفایرها

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

۱ـ اساس کار کلاسیفایرها را شرح دهد.

۲ـ چگونگی حرکت قائم ذرات در سقوط آزاد را بیان کند.

۳ـ نحوهٔ حرکت لایهٔ نازکی از آب را بر روی سطح شیب‌دار تشریح کند.

۴ـ انواع کلاسیفایرها را شرح دهد.

۵ـ «سیکلون» و «هیدروسیکلون» را توضیح دهد.

۶ــ آشنایی

در گروه دیگری از دستگاه‌های طبقه‌بندی که آن‌ها را کلاسیفایر نام داده‌اند، مواد را براساس اختلاف سرعت ته‌نشینی که در یک سیگنال معین، طبقه‌بندی می‌کنند؛ و در واقع از حرکت جامدات در داخل سیالات و اختلاف مقاومت‌ها و سرعت دانه‌ها در این حرکت، برای تقسیم‌بندی آن‌ها استفاده می‌شود. در دستگاه‌های مذکور برخلاف سرندها که شرح آن گذشت ذرات برحسب وزن و نه برحسب ابعاد طبقه‌بندی شده و اندازهٔ دانه‌ها تأثیری در این کار ندارند.

به این نوع عمل دانه‌بندی، «طبقه‌بندی[۱]» گفته می‌شود. در نتیجهٔ این عمل، موادی که سرعت رسوب آن‌ها در داخل یک مایع یکسان است، در یک گروه قرار می‌گیرند، لذا در هر گروه دانه‌هایی با شکل و وزن مخصوص وجود خواهد داشت.

در بعضی از کلاسیفایرها حرکت مایع و دانه‌ها تقریباً به طور قائم است و در برخی انواع دیگر، مایع بر روی بستری حرکت می‌کند و دانه‌های جامد را با خود حمل می‌کند. بنابراین در این‌جا، ابتدا

۱ــ Classification

رفتار دانه‌های جامد در حالات مذکور مورد توجه قرار می‌گیرد و سپس انواع کلاسیفایرها تشریح خواهد شد.

۶ــ۱ــ حرکت قائم ذرات در سقوط آزاد[۱] (قوانین کلاسیفایرها)

در ته‌نشینی مواد در محیط یک سیال، عوامل متعددی تأثیر می‌گذارند که مهم‌ترین آن‌ها عبارتند از :

۱ــ سرعت ته‌نشین شدن مواد مختلف در یک سیال در شرایطی که وزن مخصوص و شکل دانه‌ها یکسان باشد، به درشتی آن‌ها بستگی دارد و دانه‌های درشت‌تر سریع‌تر رسوب می‌کنند.

۲ــ در صورت مساوی بودن شکل و اندازهٔ دانه‌ها، وزن مخصوص آن‌ها متفاوت می‌باشد، و دانه‌ای با وزن مخصوص بیشتر، زودتر رسوب خواهد کرد.

۳ــ اگر دانه‌ها از لحاظ اندازه و وزن مخصوص برابر و از نظر شکل متفاوت باشند، سرعت رسوب آن‌ها با توجه به شکل آن‌ها، متفاوت است زیرا، هرچه شکل دانه‌ها کروی‌تر باشد زودتر ته‌نشین خواهند شد.

۴ــ مقاومت مایع در برابر رسوب ذرات، بستگی به سرعت رسوب کردن دارد.

۵ــ اگر تمام عوامل یکسان فرض شوند، سرعت رسوب کردن در یک مایع، در مورد دانه‌های کوچک با مربع قطر و در مورد دانه‌های نسبتاً درشت با «جذر قطر» رابطه دارد.

۶ــ مقاومت مایع با وزن مخصوص مایع، نسبت مستقیم دارد.

۷ــ مقاومت مایع با افزایش «ویسکوزیته» زیاد می‌شود و این افزایش در مورد دانه‌های ریز، بیشتر است.

۸ــ اجسامی که دارای خاصیت جذب و نگهداری حباب هوا در روی سطح خود هستند،در شرایط مساوی دیرتر رسوب می‌کنند.

۹ــ ذراتی که دارای خاصیت مغناطیسی هستند چون همدیگر را جذب می‌کنند، ذرات درشت‌تری تشکیل داده، زودتر رسوب می‌کنند.

چون در کانه‌آرایی، عملیات در محیط پالپ صورت می‌گیرد نه در محیط آب و هم‌چنین دستگاه‌های جدا کنندهٔ مواد، حرکت دهندهٔ مایع نیز هستند، به جای سقوط آزاد، سقوط با مانع صورت می‌پذیرد و ضمن آن که مقاومت سیال (R) افزایش می‌یابد، سرعت سقوط نیز کاسته می‌شود.

۱ــ Free Settling

در جدول زیر R چند کانی مختلف نسبت به کوارتز، در دو حالت سقوط آزاد و سقوط با مانع، در حالی که درشتی دانه‌ها کمتر از ۱ میلی‌متر است، مقایسه شده است.

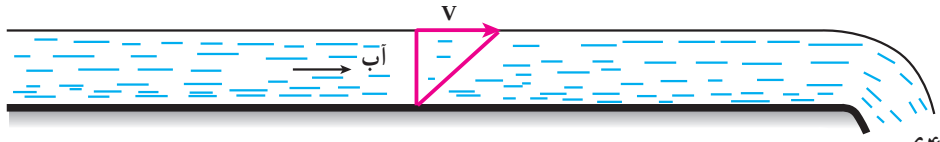
جدول مقایسه سقوط آزاد و با مانع چند کانی

نام کانی	R در سقوط آزاد سرعت سریع‌ترین دانهٔ ۲۲۸ میلی‌متر در ثانیه	R در سقوط با مانع سرعت سریع‌ترین دانه‌ها ۲۲۸ میلی‌متر در ثانیه
مس	۳/۷۵	۸/۶۱
گالن	۳/۷۵	۵/۸۴
ولفرامیت	۳/۲۶	۵/۱۵
کاسیتریت	۳/۱۲	۴/۷
کالکوزیت	۲/۱۷	۳/۱۱
پیروتیت	۲/۰۸	۲/۸۱
اسفالریت	۱/۵۶	۲/۱۳

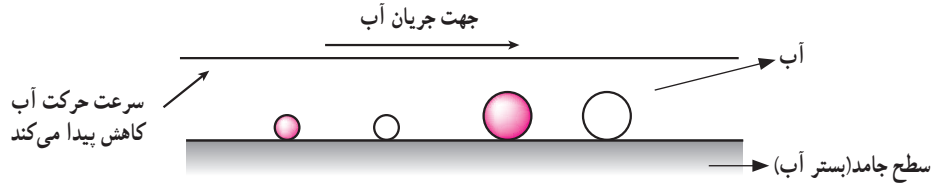
۶ــ۲ــ حرکت ذرات بر روی سطح شیب‌دار

موارد در پیش‌رو اگرچه مبنای جدایش ثقلی مواد به‌وسیله میزها بوده ولی جهت آشنایی با حرکت مواد در سطح شیب‌دار و درک اولیه در این جا بدان اشاره می‌شود.

در تعدادی از دستگاه‌های طبقه‌بندی از حرکت دانه‌ها در مسیر جریان لایه‌ای از آب، بر روی یک بستر استفاده می‌شود. و از این طریق دانه‌های با وزن مخصوص بیشتر از دانه‌های سبک‌تر جدا می‌شوند. در دستگاه‌های مختلف ممکن است جهت حرکت آب با حرکت دانه‌ها هم سو نباشد و یا دانه‌ها بر روی یک بستر و در جهت حرکت آب حرکت کنند هم‌چنین سطح بستر ممکن است صاف و یا ناصاف و محدب یا مقعر یا با مانع باشد. نوع حرکت آب نیز می‌تواند ملایم، موّاج و یا گریز از مرکز انتخاب شود. اگر به طور ساده جریان لایهٔ نازکی از آب بر روی یک بستر صاف مورد بررسی قرار گیرد و حرکت آب روی سطح شیب‌دار مذکور، دانه‌ها را همراه خود در جهت شیب منتقل کند، ملاحظه می‌شود که میزان آبِ در جریان و ضخامت لایه به عواملی نظیر شیب و عرض بستر، حجم آب و سرعت ورود آن به بستر و موانع ایجاد شده در مقابل حرکت، بستگی دارد. در شکل سرعت جریان آب در یک بستر صاف و با حرکت عادی نشان داده شده است :

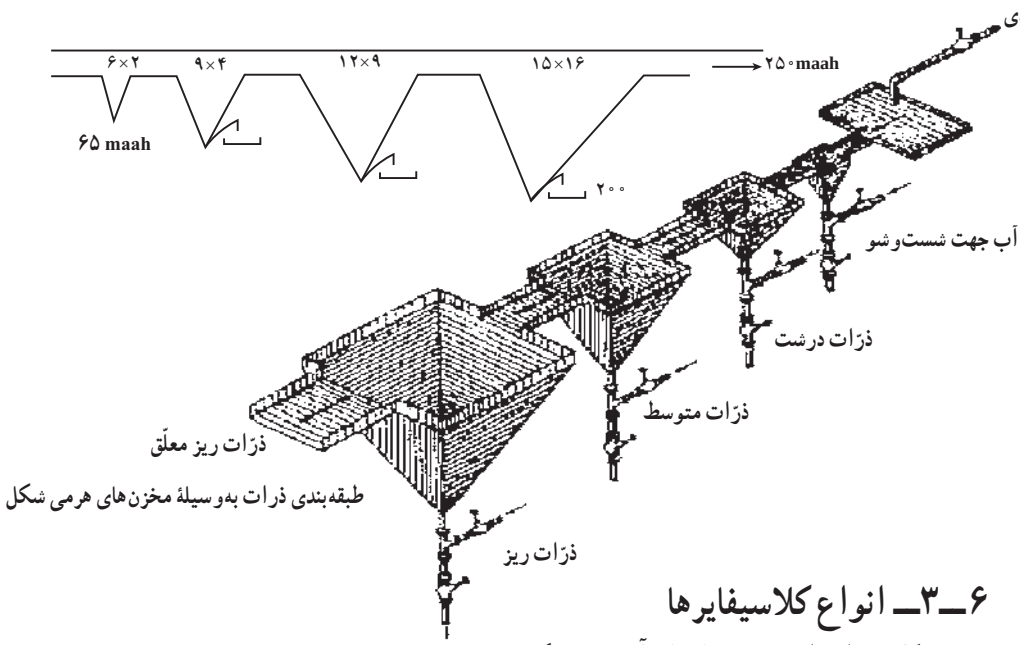


حال اگر در داخل جریان فوق تعدادی دانه‌های کروی شکل با وزن مخصوص و قطرهای مختلف و به طور هم‌زمان ریخته شود، ملاحظه می‌گردد که دانه‌های سبک‌تر (از لحاظ وزن مخصوص) سریع‌تر حرکت می‌کنند و دانه‌های درشت‌تر کندتر از دانه‌های ریزتر حرکت می‌کنند و بعد از مدتی نظم قرار گرفتن دانه‌ها، مطابق شکل زیر است :



به طوری که ملاحظه می‌شود، از این خاصیت می‌توان برای جدا کردن کانی‌هایی که وزن‌های مخصوص متفاوتی دارند، استفاده کرد. موضوع دیگر فشار نیروی آب به دانه است. اگر بستر افقی و جریان آب ضعیف باشد، دانه حرکتی نخواهد کرد ولی اگر بستر دارای شیب باشد، دانه شروع به حرکت و چرخش می‌کند. در هر صورت سه خاصیت فیزیکی دانه‌های کانی (جرم مخصوص، درشتی و شکل) در نظم قرارگیری آن‌ها در جریان آبی که بر روی یک بستر حرکت می‌کند، حائز اهمیت است چون در طبقه‌بندی، مواد برحسب این سه خصوصیت با رسوب کردن در یک سیال از هم جدا می‌شوند یعنی دانه‌های درشت‌تر و سنگین‌تر و منظم‌تر زودتر از دانه‌های ریز و سبک و زاویه‌دار رسوب می‌کنند. سیال دائماً در حال جریان بوده و دانه‌هایی را که دیر رسوب می‌کنند با خود خارج می‌سازد و دانه‌های سنگین و درشت در ته کلاسیفایر انباشته می‌شوند. سیال مورد استفاده نیز آب یا هوا است و اندازهٔ دانه‌هایی که جدا می‌شوند از ۲۰ تا ۳۰۰ مش و به ندرت ۴۰۰ تا ۶۰۰ مش در سیستم تیلور است. در تکمیل مطالب فوق لازم به ذکر است که اگر چنانچه مطابق شکل صفحهٔ بعد کف مخزنی را که مخلوط آب و دانه‌ها از آن عبور می‌کند به قسمت‌های مختلفی تقسیم کنیم، در هر قسمت دانه‌هایی تقریباً یکسان از نظر وزن جمع خواهد شد، و اگر وزن مخصوص ذرات نیز یکسان باشد در هر قسمتی، ابعاد ذرات نیز مساوی خواهد بود و ذرات بسیار ریز همراه با آب از طرف دیگر خارج خواهد شد. مقدار آبی که در این مورد به کار گرفته می‌شود نیز مهم است، زیرا در اثر جریان سریع آب ذرات بیشتری همراه آب خواهند بود که محل رسوب آن‌ها در قسمت‌های دورتری واقع خواهد گردید.

شایان ذکر است مطالب ارائه شده اساس جدایش ذرات در میزهای لرزان و کلیه دستگاه‌هایی که بر این اساس کار می‌کنند را نیز نشان می‌دهد ولی چون برخی از دستگاه‌های طبقه‌بندی خود به عنوان دستگاه‌های جدا کننده به‌کار می‌روند، ذکر آن‌ها لازم است.



۶ــ۳ــ انواع کلاسیفایرها

کلاسیفایرها به دو نوع اصلی آبی و خشک تقسیم می‌شوند.

۶ــ۳ــ۱ــ کلاسیفایرهای آبی : در مواردی که تنظیم ابعاد دانه‌ها از طریق سرندهای خشک و مرطوب و کلاسیفایرهای خشک ممکن نباشد، از کلاسیفایرهای آبی استفاده می‌شود. بنابراین دانه‌بندی ذرات نرم و خیلی نرم به کمک کلاسیفایرهای آبی در کانه‌آرایی از اهمیت خاصی برخوردار است. عواملی که در کار این دستگاه‌ها مؤثر می‌باشند عموماً فرم و شکل دانه‌ها، تشابه وزن مخصوص ذرات و درصد مواد کلاسه شونده در حجم کلاسیفایر می‌باشند.

انواع مختلف کلاسیفایرهای آبی عبارتند از :

۱ــ کلاسیفایرهای با محیط ساکن (تنظیم ابعاد در آب ساکن)

۲ــ کلاسیفایرهای با محیط متحرک (تنظیم ابعاد در آب متحرک)

تنظیم ابعاد در آب ساکن از طریق رسوب دانه‌ها در آب[1]، صورت می‌گیرد که امروزه کاربرد محدودی دارد و منحصراً رسوب دادن دانه‌های نرم در حوضچه‌های تصفیه را شامل می‌شود که البته این حوضچه‌های رسوب دهنده را جزء کلاسیفایرها محسوب نمی‌کنند.

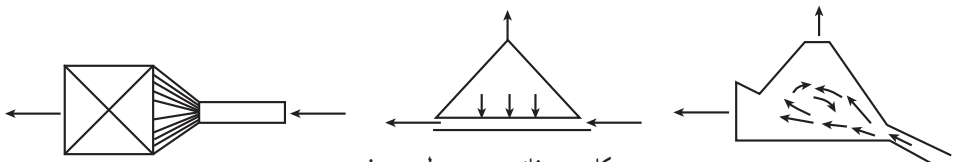
در کلاسیفایرهایی که تنظیم ابعاد در آن در آب متحرک صورت می‌گیرد از دو نیروی ثقل و گریز از مرکز[2] استفاده می‌شود که به ترتیب کلاسیفایرهای «ثقلی» و کلاسیفایرهای «گریز از مرکز» نامیده می‌شود.

۱ــ Sedimentation ۲ــ Centerifugal

کلاسیفایرهای ثقلی می‌توانند مواد را یا در جریان افقی آب (تنظیم ابعاد در سقوط آزاد) و یا در جریان صعودی آب (تنظیم ابعاد در خلاف جریان) طبقه‌بندی کنند.

۶ــ۳ــ۲ــ کلاسیفایرهای ثقلی با جریان افقی آب

۱ــ کلاسیفایرهای ناودانی[۱] : در کلاسیفایرهای ناودانی مخلوطی از آب و ذرات ریز از چند مخزن هرمی شکل که به طور پی‌درپی قرار گرفته‌اند، عبور می‌کند قسمتی از پالپی که به آن وارد می‌شود (و حاوی دانه‌های بسیار ریز است) از محل مخصوص سرریز و بقیه از قسمت تحتانی و کف مخزن هرمی خارج می‌شود. (به شکل مراجعه شود)



کاربرد مخازن هرمی به‌طور ردیفی

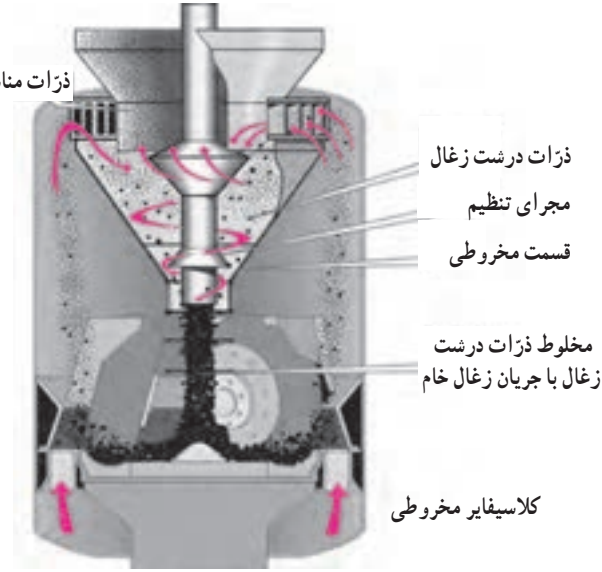
کار این نوع کلاسیفایرها رضایت‌بخش نیست و کاربرد آن‌ها در صنعت کانه‌آرایی کم است ولی چون اصول جدا شدن دانه‌ها را به خوبی نشان می‌دهد، مطالعهٔ آن جهت درک کار کلاسیفایرهای کامل‌تر، مفید خواهد بود. کلاسیفایرهای ناودانی فقط دو نوع محصول را به دست می‌دهد و هر دانه باید جزو سرریز و یا قسمت‌های دیگر قرار گیرد.

اولین تکامل این نوع کلاسیفایرها با اضافه کردن تعداد هرم‌ها و به کاربردن هرم‌هایی به طور ردیفی انجام می‌گیرد و بدین ترتیب دانه‌های درشت اول جدا می‌شوند و بعد سرریز هرم در هرم دوم دوباره به دو قسمت سرریز و ته‌ریز تقسیم می‌شود.

در مخازن این نوع کلاسیفایر باید از گردش آب جلوگیری شود.

۲ــ کلاسیفایرهای مخروطی[۲] : در کلاسیفایرهای مخروطی پالپ از بالای مخروط مستقیماً وارد مخزن می‌شود، دانه‌های درشت فوراً به ته مخروط رسوب کرده، تمام حجم پایین آن را اشغال می‌کنند که به طور متناوب به خارج کشیده می‌شوند ولی دانه‌های نرم با جریان آب به خارج رانده می‌شوند. نوع تکامل یافته‌تر این کلاسیفایرها مخروط آلن[۳] نامیده می‌شود. و از کلاسیفایرهایی است که دارای قسمت‌های متحرک است و در آن‌ها خروج مواد به صورت خودکار انجام می‌شود. بدین ترتیب که وقتی سطح مواد درشت، بالا آمد یا غلظت مواد زیاد شد، یک شناور در داخل مخروط به طرف بالا رانده شده، به وسیلهٔ اهرم و فنرهای موجود در آن، یک شیر گلوله‌ای باز می‌شود و مواد خارج می‌گردد.

۱ــ Spitzkasten ۲ــ Cones Classifiers ۳ــ Allen Cone

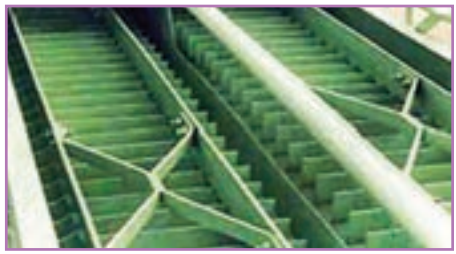


۳ــ کلاسیفایرهای مکانیکی : در این نوع کلاسیفایرها دانه‌های ته‌نشین شده توسط بازوهای مکانیکی به خارج هدایت می‌شوند. این کلاسیفایرها بخصوص با آسیاها در یک مدار بسته به کار می‌روند. وظیفهٔ کلاسیفایرهای مکانیکی ارسال دانه‌های ریز به سلول‌های فلوتاسیون (که شرح آن‌ها در مباحث آینده خواهد آمد) و برگرداندن مجدد دانه‌های درشت به آسیا است. کلاسیفایر مکانیکی دارای انواع مختلفی است که چند نمونهٔ آن توضیح داده می‌شود.

کلاسیفایر پارویی[1] : این دستگاه سطح شیب‌داری است که تعدادی پاروی متصل به هم در روی آن حرکت نوسانی دارند. بدین ترتیب که تا حد معینی بر سطح یاد شده به سمت بالا می‌لغزند، و سپس از سطح جدا شده، به جای اول خود باز می‌گردند و دوباره روی سطح پایین آمده، حرکت خود را تکرار می‌کنند. این عمل سبب می‌شود که اولاً مخلوط کاملاً به هم خورده و ذرات ریز موجود در آن به صورت معلق در آیند و ثانیاً ذرات درشت در روی سطح شیب‌دار در اثر عمل پاروها به طرف بالا رانده شده، از سرریز کلاسیفایر خارج شوند و به داخل ظرف معینی بریزند.

در کلاسیفایرهای پارویی که به آن‌ها کلاسیفایر دور[2] نیز گفته می‌شود، مخزن را از فولاد و گاهی هم از تخته می‌سازند. قسمت بالایی که برای خارج شدن مواد درشت است معمولاً باز است و قسمت سرریز که محل خروج مواد دانه ریز است، مخزنی است که با اضافه کردن قطعات تخته می‌توان سطح و عمق آن را تغییر داد.

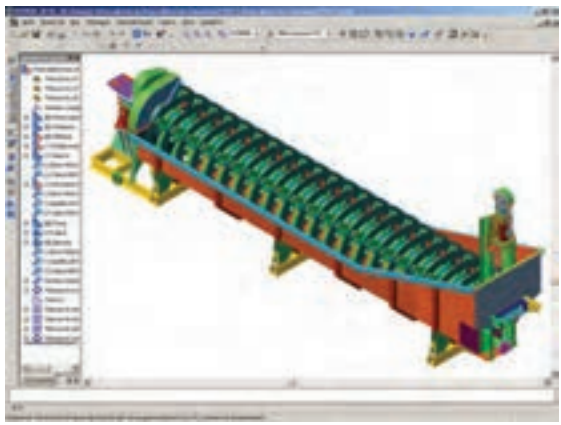
۱ــ Rake Classifier ۲ــ Door Oliver

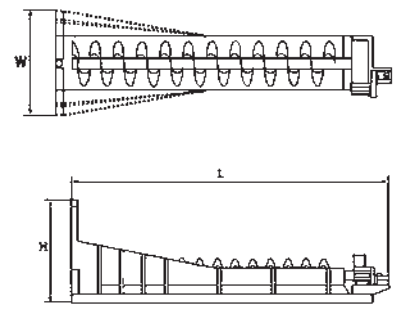


طرز کار کلاسیفایر پارویی

کلاسیفایر مارپیچی (حلزونی[1]): این کلاسیفایر نیز مشابه پارویی است با این تفاوت که به جای پارو بر روی سطح شیب‌دار و در داخل یک مکعب مستطیل روباز که در قسمت پایین وسیع‌تر می‌گردد، یک یا دو پیچ بی‌انتها کار گذاشته می‌شود. در اثر گردش پیچ آب و مواد به هم می‌خورد و ذرات سنگین‌تر که زودتر رسوب می‌کنند، به وسیلهٔ پیچ به انتهای سطح شیب‌دار برده شده، و در آن جا به داخل ظرف مخصوصی تخلیه می‌گردند. سرعت دورانی پیچ بی‌انتها کم و بطور کلی از ۱۶ــ۱/۸ دور در دقیقه در کلاسیفایرهای مختلف تغییر می‌کند. هر قدر کلاسیفایر و پیچ آن بزرگتر باشد سرعت گردش آن کمتر است مصرف انرژی در کلاسیفایرهای پیچی کم است و موتوری که به کار می‌رود ممکن است از ۲ تا ۱۵ اسب قدرت داشته باشد.

انواع دیگر کلاسیفایر مکانیکی، نظیر کلاسیفایرهای «چنگالی» و کلاسیفایرهای «طشتی» وجود دارد که از ذکر آن‌ها خودداری می‌شود.

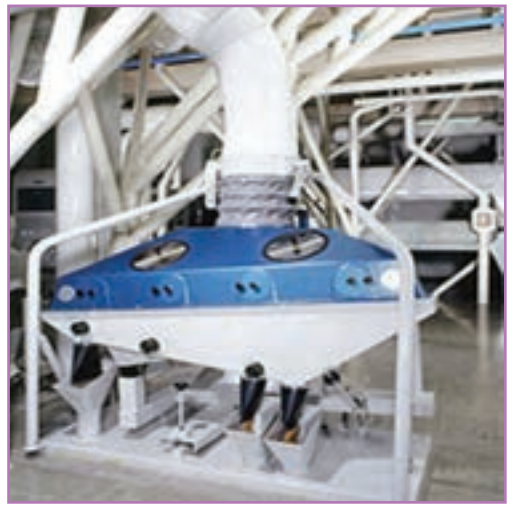


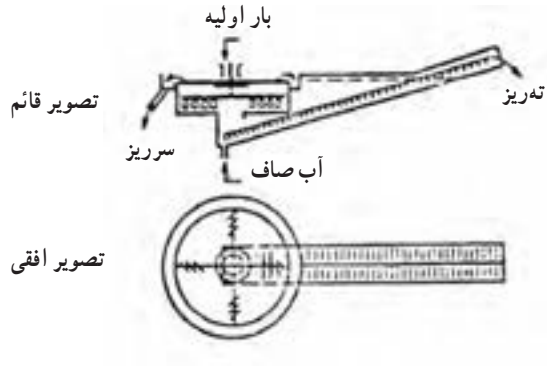


کلاسیفایر حلزونی

۱ــ Spiral Classifier

۶ــ۳ــ۳ــ کلاسیفایرهای ثقلی با جریان صعودی آب : این کلاسیفایرها از یک ظرف مخروطی تشکیل می‌شوند که بار اولیه‌ای را که مقصود جدا کردن دانه‌های آن از یکدیگر است از قسمت بالا به داخل آن می‌ریزند و از قسمت پایین نیز جریان آب را وارد می‌کنند. بر اثر حرکت صعودی آب مواد سبک‌تر به سمت بالا حرکت کرده، از بالای ظرف سرریز می‌شوند. در حالی که دانه‌های سنگین‌تر و درشت به مسیر خود ادامه داده، در قسمت پایین ظرف جمع می‌شوند و سپس از طریق کانال مربوط تخلیه می‌شوند. این دستگاه نسبتاً کامل است و برای جدا نمودن ذرات درشت به کار می‌رود، زیرا اگر ذرات بسیار ریز باشند مقداری از این ذرات همراه آب جریان یافته، پس از مدت کمی وزن مخصوص آن را بالا می‌برند.





کلاسیفایر ثقلی با جریان صعودی آب

برای رفع این مشکل می‌توان پس از هر چند وقت کار، کلاسیفایر آبی را که در مسیر بسته جریان دارد، خارج نموده و از آب تازه استفاده کرد.

در این نوع کلاسیفایرها ذراتی با ابعاد حدود ۶۵ مش در سیستم تیلور را می‌توان از یکدیگر جدا کرد.

۶ــ۳ــ۴ــ کلاسیفایرهای خشک (هوایی) : کلاسیفایرهای هوایی اساس کار مشابهی با کلاسیفایرهای آبی دارند، ولی در آن‌ها به جای آب از جریان هوا یا گاز استفاده می‌شود. سرعت سقوط دانه‌ها در کلاسیفایرهای هوایی بیشتر است. مثلاً اگر سرعت سقوط یک دانهٔ ۳ میلی‌متری کوارتز در آب ۰/۲ متر در ثانیه باشد مقدار آن در هوا به ۱۳ متر در ثانیه می‌رسد لذا کلاسیفایرهای هوایی فقط برای دانه‌های بسیار نرم به کار می‌روند.

هوای مورد نیاز کلاسیفایرها از خارج یا در داخل کلاسیفایر ایجاد می‌شود. جریان هوا در کلاسیفایرها مکنده یا دمنده است. برحسب نوع ایجاد جریان هوا کلاسیفایرهای هوایی به دو دسته اصلی تقسیم می‌شوند :

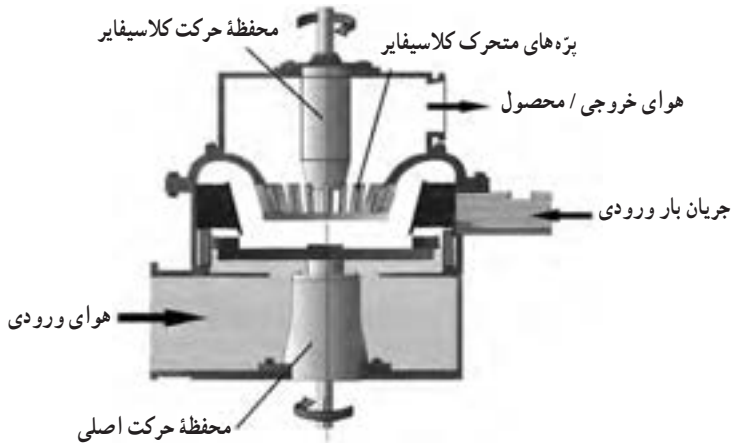
الف) کلاسیفایر با مدار باز جریان هوا : در این نوع دستگاه‌ها هوای لازم در خارج تولید گردیده، سپس به داخل کلاسیفایر دمیده می‌شود و باعث حمل دانه‌های نرم می‌گردد. دانه‌های نرم حمل شده بعداً به وسیلهٔ دستگاه‌های دیگری نظیر سیکلون یا جدا کنندهٔ الکترواستاتیکی رسوب می‌کنند.

ب) کلاسیفایرهای با مدار بسته هوا : در کلاسیفایرهای با مدار بسته هوای مورد نیاز در خود کلاسیفایر تولید می‌شود و همیشه این هوا در مدار کلاسیفایر باقی می‌ماند. دانه‌های نرم باید فوراً ته‌نشین شوند لیکن در مدار جریان هوا تمام دانه‌های نرم رسوب نمی‌کنند و باقی‌ماندهٔ آن‌ها تأثیر رسوبی در کار کلاسیفایر بر جای می‌گذارد. از طرف دیگر جریان هوا در مدار کلاسیفایر رطوبت سطوح خارجی مواد را به خود جذب نموده، موجب ازدیاد رطوبت می‌شود؛ در نتیجه عمل طبقه‌بندی را مشکل می‌سازد.

کلاسیفایرهای هوایی را برحسب این که دانه‌های مواد، سقوط آزاد دارند یا بر روی یک صفحهٔ مشبک عبور داده می‌شوند، نیز تقسیم‌بندی می‌کنند.

۶ــ۳ــ۵ــ کلاسیفایرهای هوایی با سقوط آزاد دانه‌ها : در این نوع کلاسیفایرها با ساختمانی ساده، بار از قسمت بالا و هوا از دریچه‌ای در پایین دستگاه به سمت بالا جریان دارد.

در اولین استوانه، ذرات درشت در اثر جریان هوا منحرف نشده، به مسیر مستقیم خود ادامه می‌دهد و به قسمت پایین سقوط می‌کند، ولی ذرات نرم و ریز و سبک همراه با هوا به استوانهٔ دیگری



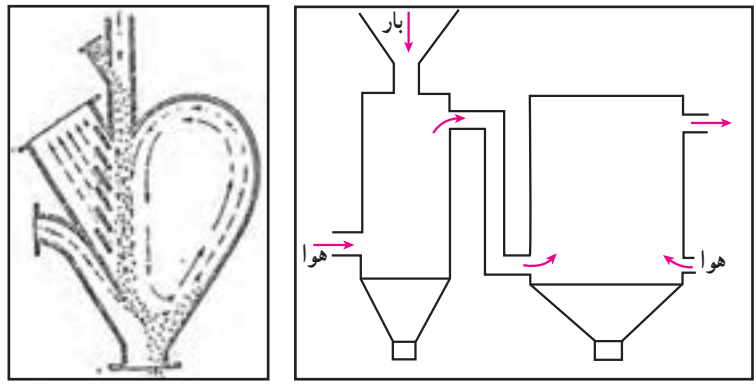
کلاسیفایر خشک (هوایی)

که در کنار استوانهٔ اول قرار دارد، وارد می‌شود و چون حجم این استوانهٔ دوم بزرگتر از حجم استوانهٔ اول است در نتیجه، فشار هوا کم شده، قادر به حمل تمامی ذرات با خود نیست، و مقداری از ذرات سنگین‌تر در این استوانه از هوا جدا شده، از انتهای استوانهٔ دوم خارج می‌گردد. در این استوانه نیز یک لولهٔ جانبی برای ورود هوا وجود دارد که با تنظیم مقدار هوایی که توسط آن وارد استوانه می‌شود می‌توان ابعاد ذرات خروجی از استوانهٔ دوم را کنترل کرد.

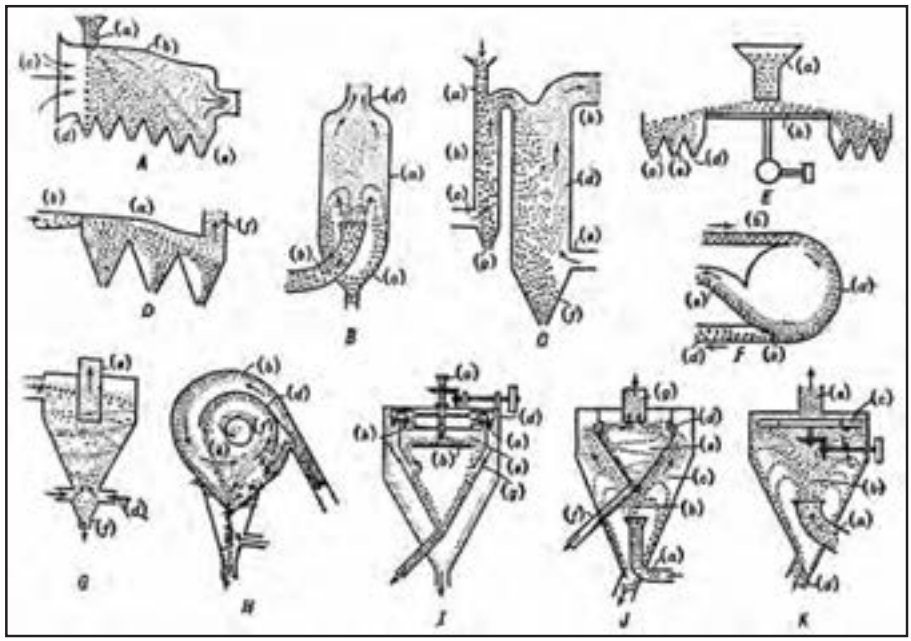
بدین ترتیب ملاحظه می‌شود که هر قدر تعداد ستون‌های دستگاه بیشتر باشد، بار اولیه به قسمت‌های بیشتری تقسیم می‌شود؛ البته باید حجم هر ستون یا استوانه از حجم استوانهٔ قبلی بیشتر باشد.

کلاسیفایرهای هوایی دارای معایبی نیز هستند که عبارتند از :

الف) احتیاج به سرعت جریان هوای زیاد دارند.



ب) سرعت جریان هوا در نقاط مختلف داخل لوله، مساوی نیست.



اشکال مختلف کلاسیفایرهای هوایی

ج) ارتفاع زیاد سقوط، باعث خرد شدن دانه‌ها می‌گردد.

در این کلاسیفایرها زمان مناسب طبقه‌بندی و دقت آن به وسیلهٔ مقدار موادّ اولیه و سرعت هوا کنترل می‌شود.

مطالعه آزاد

کلاسیفایر سانتریفوژ[1] (گریز از مرکز)

به دلیل این که سرعت سقوط ذرات نرم و بسیار نرم به سرعت در داخل سیال، کاهش می‌یابد لذا، طبقه‌بندی مواد با دانه‌های خیلی نرم در کلاسیفایرهای ثقلی ممکن نیست؛ بنابراین از دستگاه‌های گریز از مرکز استفاده می‌شود.

هم‌چنان که در شکل ملاحظه می‌شود، بدنهٔ دستگاه دارای حرکت دورانی سریعی می‌باشد. در نتیجه، نیروی گریز از مرکز، جانشین نیروی ثقل جهت رسوب

۱ــ Centri Fug

کلاسیفایر گریز از مرکز

ذرات می‌شود؛ در داخل مخروط نیز پیچ با خود مخروط هم محور بوده، در یک جهت حرکت دورانی دارد، ولی این حرکت دورانی سرعت کمتری دارد.

اختلاف سرعت بین پیچ و بدنه چندان زیاد نیست و به ابعاد دستگاه بستگی دارد و همین اختلاف سرعت است که موجب بهم خوردن مخلوط آب و مواد موجود در آن می‌شود. عمل سانتریفوژ باعث رسوب و جدایش مقدار بیشتری از ذرات جامد به ازای یک سطح محدود می‌شود و ذرات نرم‌تر به دلیل وجود نیروی بیشتر، زودتر ته‌نشین می‌شوند. مزیت کلاسیفایرهای گریز از مرکز در صنعت کانه‌آرایی به طور کلی مربوط به افزایش توان آن‌ها امکان جدا کردن دانه‌ها به طور نسبی در یک زمان کوتاه و امکان جداسازی نرمه‌ها می‌باشد. امروزه کلاسیفایرهای گریز از مرکز نه تنها برای طبقه‌بندی دانه‌های نرم و خیلی نرم در پرعیارسازی به کار می‌روند، بلکه به همان اندازه برای تصفیه و کم کردن آب مواد در سایر موارد مورد استفاده قرار می‌گیرند. در کارخانه‌های سیمان‌سازی برای جدا نمودن سیلیس از آهک بسیار نرم، از این دستگاه‌ها استفاده می‌شود؛ ولی کاربرد وسیع‌تر این نوع کلاسیفایرها در امور تحقیقاتی و آزمایشگاهی است.

۶ــ۴ــ سیکلون و هیدروسیکلون[۱]

بنابر یک اصل قدیمی مهندسی، دستگاه‌هایی که قسمت‌های متحرک کمتری داشته باشند، با صرفه‌تر و قابل اعتمادتر هستند. سیکلون‌ها شاید یکی از بهترین مظاهر این اصل باشند. در نیم قرن اخیر استفاده از سیکلون چه در صنعت متالورژی و چه در کانه‌آرایی روز به روز بیشتر شده است. سیکلون به طور خلاصه، از یک بدنهٔ مخروطی شکل که در قسمت فوقانی به استوانه‌ای تبدیل می‌شود،

۱ــ Hydrocyclone

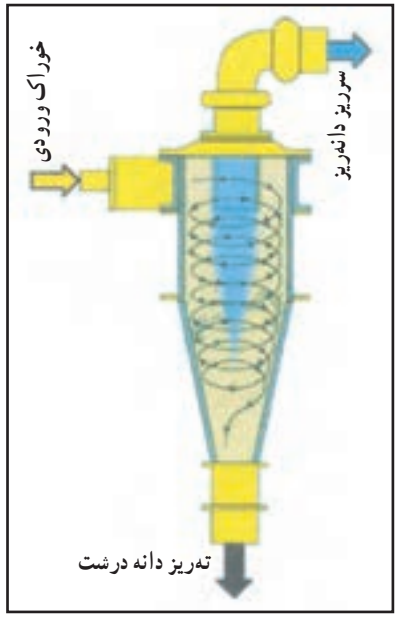
تشکیل یافته است. بار توأم با آب با فشاری که توسط یک پمپ تأمین می‌شود از یک مجرای جانبی، وارد قسمت استوانه‌ای سیکلون شده، حول استوانهٔ مرکزی می‌چرخد. ذرات سنگین از انتهای پایینی دستگاه خارج شده، ذرات سبک همراه با آب از استوانهٔ مرکزی و از قسمت بالایی دستگاه خارج می‌گردد.

از جمله امتیازات سیکلون‌ها بر سایر کلاسیفایرها عبارتند از :

الف) مخارج نصب و راه‌اندازی اولیهٔ آن شامل لوله‌کشی و پمپ و موارد مشابه کم است.

ب) فضای زیادی را اشغال نمی‌کند و به «فونداسیون» و «پی» محکمی نیاز ندارد.

ج) به کار انداختن و متوقف کردن آن بدون اتلاف وقت امکان‌پذیر است، در حالی که کلاسیفایرهای مکانیکی، در موقع به راه انداختن مجدد، باید بار را به تدریج اضافه نمود، در غیر این صورت، ممکن است پاروها یا مارپیچ گیر کرده، ایجاد اشکال نماید.



د) هزینهٔ آن در ضمن کار از کلاسیفایرهای مکانیکی کمتر است.

هـ) بهتر از سایر کلاسیفایرها قابل تنظیم است و مواد ریز و درشت و سبک و سنگین را بهتر تقسیم می‌کند.

از هیدروسیکلون‌ها برای جدا کردن دانه‌های کوچکتر از ۲۵۰ میکرون استفاده می‌شود. کاربرد آن در مدار خرد کننده‌ها و به جای کلاسیفایرهای مکانیکی، به‌خصوص وقتی که دانه‌های آسیا شده ابعادی کمتر از ۱۵۰ میکرون داشته باشند، با ارزش است. در شناورسازی برای جدا کردن دانه‌های کوچکتر از ۱۵ میکرون، به‌خصوص در شستشوی «کائولین» به کار می‌روند. به علاوه از سیکلون‌ها در جدا نمودن گل حفاری از ذرات شن در چاه‌های نفت و یا برای جدا نمودن ذرات الماس از شن نیز استفاده می‌کنند.

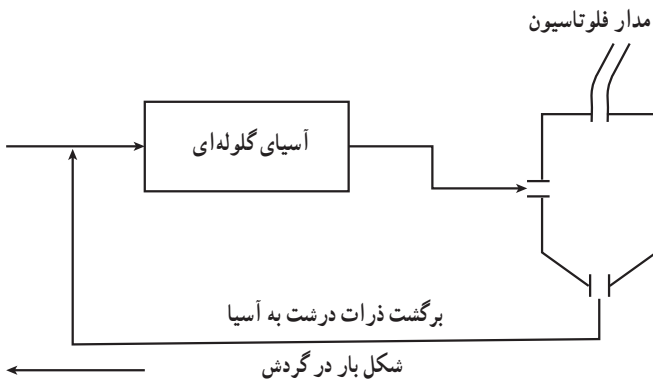
۶ــ۴ــ۱ــ کاربرد هیدروسیکلون‌ها : از هیدروسیکلون‌ها به منظور اهداف زیر استفاده می‌شود :

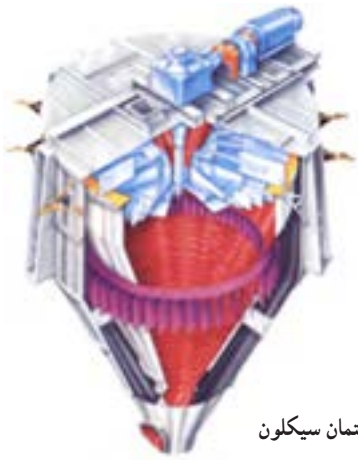
ــ طبقه‌بندی مواد (۵ تا ۱۵۰ میکرون)

ــ کنترل ابعاد در مدار بسته با آسیاها

ــ نرمه‌گیری (حذف ذرات رسی زیر ۱۵ ــ ۱۰ میکرون)
ــ به عنوان کمک فیلتر
ــ شستشوی مواد معدنی مانند زغال‌سنگ و یا کائولین
ــ کنترل پساب کارخانه‌ها
ــ حذف مواد شیمیایی از کنسانتره‌های فلوتاسیون

یکی از مهم‌ترین کاربردهای هیدروسیکلون در کنترل بار در گردش در مدار آسیاهاست. به عبارتی محصول آسیاهای گلوله‌ای پس از خروج از آسیا وارد هیدروسیکلون شده و محصول ریزتر از حد لازم از سرریز وارد مدار فلوتاسیون شده ولی مواد دانه درشت از ته ریزهیدروسیکلون مجدداً وارد آسیا می‌شود که به آن بار در گردش گفته می‌شود(شکل زیر).

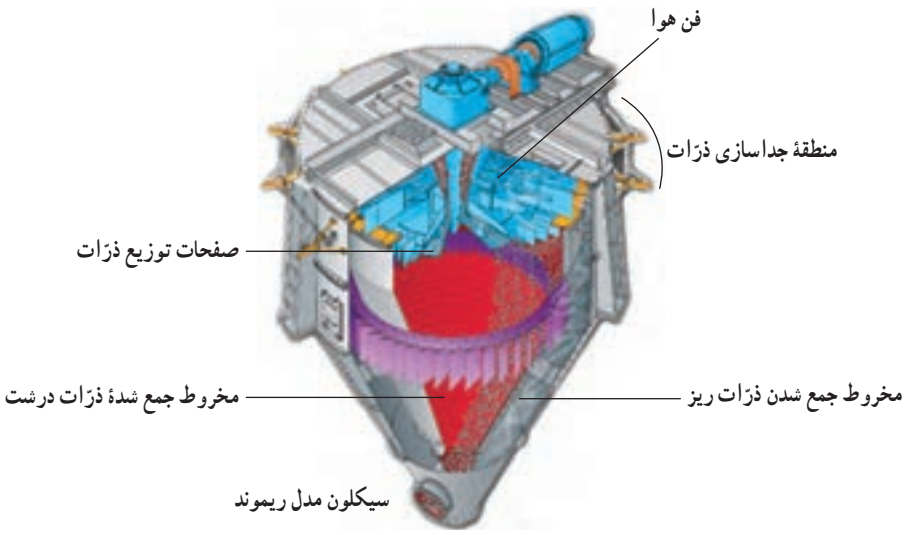



ساختمان سیکلون

۶ــ۴ــ۲ــ سیکلون‌ها[1] : سیکلون‌ها هم در شکل و هم در اساس مانند هیدروسیکلون هستند، تنها تفاوت بین آن‌ها در نوع سیال است که در این جا، به جای آب از هوا برای حمل ذرات استفاده می‌شود.

۱ــ Cyclones

در این نوع دستگاه‌ها بار از مرکز وارد سیکلون شده، روی صفحهٔ دواری که با سرعت زیاد حدود ۵۰۰ـ۲۰۰ دور در دقیقه می‌چرخد، ریخته می‌شود. در اثر حرکت چرخشی صفحه روی ذرات، یک نیروی گریز از مرکز ایجاد می‌گردد که در نتیجه، ذرات از روی صفحه خارج شده، با جریان هوا که توسط یک سری پروانهٔ در مسیر بسته به وجود می‌آید، روبه‌رو می‌شوند.



ذرات درشت که دارای نیروی گریز از مرکز زیاد هستند از این جریان عبور نموده، با برخورد به جدار دستگاه، در طول آن پایین می‌آیند؛ امّا ذرات ریز به علّت کم بودن نیروی گریز از مرکز، با جریان هوا به قسمت خارجی دستگاه حرکت کرده، جدا می‌شوند. هوا پس از خروج از قسمت داخل توسط پروانه‌های دوار که به طور منظم ساخته شده‌اند، مجدداً وارد قسمت مرکزی شده، مسیر خود را از سرمی‌گیرد. با تنظیم سرعت گردش صفحهٔ دوار و هم‌چنین تعیین مسیر هوا به وسیلهٔ موانع می‌توان ابعاد ذراتی را که باید از هم جدا شوند، تعیین نمود. مخارج نگه‌داری و مصرف انرژی این نوع کلاسیفایرها معمولاً زیاد است ولی به طور کلی کارآیی این دستگاه‌ها مطلوب است.

خودآزمایی

۱ـ دانه‌ها و ذرات مختلف چگونه در کلاسیفایرها طبقه‌بندی می‌شوند؟

۲ـ سرعت رسوب دانه‌های ذراتی با وزن مخصوص، ابعاد و شکل‌های مختلف تحت تأثیر چه عواملی است؟

۳ـ مقاومت مایع در برابر سقوط آزاد ذرات به چه عواملی بستگی دارد؟

۴ـ با رسم شکل وضعیت تحرک ذرات را در یک بستر صاف و با حرکت عادی جریان آب در روی بستر، شرح دهید.

۵ـ انواع کلاسیفایرهای آبی را نام ببرید و بگویید که نیروی گریز از مرکز و نیروی ثقل، در کدام نوع نقش دارد؟

۶ـ اساس کار کلاسیفایرهای ناودانی را با رسم شکل، شرح دهید.

۷ـ کلاسیفایر مخروطی چگونه عمل می‌کند؟

۸ـ کلاسیفایر مکانیکی چه کاربردی دارد و چگونه به‌کار می‌رود؟

۹ـ با رسم شکل اساس کار کلاسیفایر پارویی را شرح دهید.

۱۰ـ ساختمان کلاسیفایر حلزونی چگونه است؟ و به چه طریقی عمل می‌کند؟

۱۱ـ تفاوت‌های اساسی کلاسیفایرهای خشک و آبی چیست؟

۱۲ـ کلاسیفایرهای با مدار باز و بستهٔ هوا چه تفاوتی با یکدیگر دارند؟

۱۳ـ کلاسیفایرهای هوایی جرمی چه معایبی دارند؟

۱۴ـ امتیازات سیکلون‌ها بر کلاسیفایرها چیست؟

۱۵ـ تفاوت سیکلون و هیدروسیکلون در چیست؟

فصل ۷

روش های جدایش مادهٔ معدنی از مواد باطله

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

۱ـ روش‌های جدایش مادهٔ معدنی از مواد باطله را شرح دهد.

۲ـ روش‌های جدایش با استفاده از خواص فیزیکی را بیان کند.

۳ـ سنگ جوری را توضیح دهد.

۴ـ چگونگی پرعیار کردن براساس وزن مخصوص را تشریح کند.

۷ــ آشنایی

همان‌گونه که قبلاً نیز دیدیم، کانه‌آرایی به عملیاتی اطلاق می‌شود که بر روی مواد استخراج شده و یا در طی استخراج انجام تا یک یا چند کانی با ارزش از مواد کم ارزش با صلاح و تدبیر اقتصادی جدا شود بدون آنکه تغییری در خواص شیمیایی مواد ایجاد شود. بدیهی است که روش جدایش را باید با توجه به اختلاف خواص کانی‌های مفید و مواد باطله به طریقی انتخاب کرد که با حداقل هزینه، حداکثر بازدهی به عمل آید. هرچه اختلاف خواص مذکور بیشتر باشد، عمل جدایش و پرعیار کردن به همان نسبت بهتر و موفق‌تر انجام خواهد شد.

برای پرعیار کردن مادهٔ اولیه و بالا بردن ارزش اقتصادی آن، باید مواد قبلاً در مراحل خرد کردن و آسیا کردن و تنظیم ابعاد تا درشتی مطلوب برای مراحل پرعیار کردن، نرم شده باشند و مواد با ارزش از مواد کم ارزش آزاد شده باشند.

انتخاب روش پرعیار کردن مادهٔ معدنی به عوامل و شرایط متعددی بستگی دارد که به دلیل

اهمیت، تکنیک‌های پرعیار کردن با استفاده از خواص فیزیکی و مکانیکی، مغناطیسی و الکترواستاتیکی و فلوتاسیون مورد بحث قرار خواهد گرفت.

در روش پرعیار کردن با استفاده از خواص فیزیکی موضوع رنگ، وزن مخصوص، خاصیت مغناطیسی و خاصیت الکترواستاتیکی مواد مورد توجه است و خواص مکانیکی مانند خاصیت الاستیسیته و اختلاف مقاومت اجزاء ماده نیز هر یک در جای خود همراه با روش‌های کاربردی و دستگاه‌های مربوط به آن‌ها شرح داده خواهد شد.

۷ــ۱ــ روش‌های جدایش با استفاده از خواص فیزیکی

در این روش‌ها «پرعیار کردن» بر مبنای خواص فیزیکی کانی‌ها به‌خصوص وزن مخصوص قرار دارد و در اکثر آن‌ها عمل جدایش ذرات در داخل مایع انجام می‌شود و ذرات برحسب سرعت رسوب خود در مایع از یکدیگر جدا می‌شوند. شرط اصلی در این روش‌ها هم‌چنان که قبلاً نیز ذکر شد آن است که اولاً درجهٔ آزادی ذرات به اندازهٔ کافی بالا باشد. ثانیاً ذرات دارای وزن‌های مخصوص مختلف باشند که هرچه این اختلاف بیشتر باشد، عمل جدا شدن کامل‌تر صورت خواهد پذیرفت. روش‌های پرعیارسازی بر اساس وزن مخصوص به دو دسته تقسیم می‌شوند. در یک دسته آب جریان افقی و در دستهٔ دیگر جریان قائم دارد و در بعضی دستگاه‌ها نیز آب دارای هر دو حرکت می‌باشد هم‌چنین می‌توان به جای آب از هوا یا سایر گازها نیز استفاده نمود. علاوه بر وزن مخصوص، از خواص فیزیکی دیگر مثل خاصیت مغناطیسی، خاصیت الکترواستاتیکی و هم‌چنین از رنگ، نور، جلاء، رادیواکتیویته و دیگر پارامترها نیز برای پرعیار کردن استفاده می‌شود.

۷ــ۱ــ۱ــ سنگ جوری : سنگ جوری عملی است که طی آن دانه‌های درشت مواد کانی براساس خاصیت‌هایشان از یکدیگر جدا می‌شوند. این خواص در درجهٔ اول همان خواص نوری دانه‌ها یعنی رنگ و جذب نور، شکست نور و خاصیت فسفرسانس و فلورسانس و بالاخره خاصیت رادیواکتیویتهٔ مواد می‌باشد. عمل سنگ جوری ممکن است با دست یا به وسیلهٔ دستگاه‌های خودکار صورت پذیرد. از سنگ جوری گاهی برای کمک به پرعیار کردن مواد معدنی استفاده می‌کنند بدین ترتیب که با جدا کردن سنگ‌های درشت از سایر مواد، باعث استفادهٔ بیشتر از ظرفیت محدود کارخانهٔ فرآوری می‌شوند و به این عمل پیش فرآوری[۱] گفته می‌شود.

۱ــ Preconcentration

سنگ‌جوری دستی: سنگ‌جوری دستی ساده‌ترین و قدیمی‌ترین روش جدایش مواد معدنی از مواد باطله است و هدف از انجام آن این است که یا یک محصول کاملاً خالص به دست آید یا آنکه به منظور افزایش کارآیی خرد کننده، «گانگ» از مواد با ارزش جدا شوند. به علاوه مواد اولیه نیز برای مراحل بعدی پرعیارسازی آماده گردد.

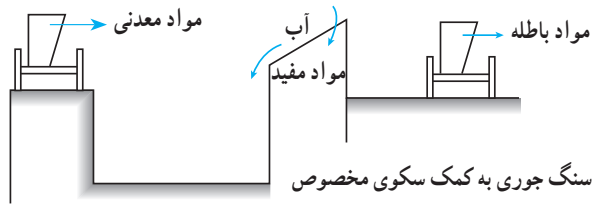
روش سنگ‌جوری دستی، هنوز هم به همان شکل ابتدایی خود در ممالک توسعه نیافته (از لحاظ صنعتی) انجام می‌شود. در این روش کارگر، مواد را توسط رنگ یا وزن مخصوص از باطله تشخیص می‌دهد.

در سنگ جوری پس از تشخیص کانی با ارزش و گانگ، آن‌ها را از یکدیگر جدا می‌کنند و چون این کار همواره از روی رنگ انجام می‌شود، عامل نور محیط، تأثیر زیادی در کارآیی دارد. به عنوان مثال، روشنایی نور صبح، بهتر از زمان بالا آمدن خورشید است. چون نور روی سنگ‌معدنی منعکس می‌شود و در تشخیص، مشکل به وجود می‌آورد. عصرها نیز به علّت کم شدن روشنایی، عمل تشخیص مشکل می‌شود.

در صورت استفاده از روشنایی مصنوعی، تا حدّ امکان از لامپ‌های گازی استفاده می‌شود و در این مورد برای جدا کردن پیریت از کالکوپیریت لامپ‌های «بخار جیوه» و برای جدا کردن «گانگ» از زغال‌سنگ، از لامپ «بخار سدیم» استفاده می‌شود، مهارت کارگران و میزان توانایی آنان در تشخیص چشمی و فرآیند تصمیم‌گیری و قدرت بدنی افراد در کارآیی سنگ جوری دستی تأثیر فراوانی به جا می‌گذارد.

اگر در سنگ جوری دستی، از وجود کارگران ورزیده‌ای استفاده شود تا ۸۰ درصد کانی را می‌توان جدا و ۱۰ــ۵ برابر پرعیار نمود. در مورد یک سنگ معدنی سولفیدی مانند کالکوپیریت که ۲/۵ درصد مس داشته در اثر سنگ جوری، عیار به ۱۵ــ۱۰ درصد می‌رسد و در سنگ‌های انتخاب نشده، عیار مس در حدود ۰/۵ درصد می‌باشد.

برای سنگ جوری دستی، کارگران در مسیر مشخصی کنار هم به صورت نشسته قرار گرفته، و از لابه‌لای مواد خرد شده، مواد معدنی مفید را تشخیص داده، جدا می‌کنند.



در مواردی که مواد باطله به صورت قطعات درشت در داخل مادهٔ معدنی باشد، آن‌ها را مستقیماً و بدون نیاز به خرد کردن، جدا می‌کنند امّا اگر مواد باطله به صورت قطعات ریز باشد، ابتدا مخلوط آن‌ها را به کمک پتک خرد کرده، آنگاه عمل جداسازی را انجام می‌دهند. در حالت پیشرفته‌تری از سنگ جوری، می‌توان از سکّویی استفاده کرد. این روش در کشور هندوستان به علّت ارزان بودن کارگر، متداول است. در این روش، موادی را که روی تخت سنگ جوری پخش می‌شود، قبلاً به کمک دوش آب می‌شویند تا رنگ و جلای آن‌ها به خوبی دیده شود. موادی که به صورت سنگ جوری دستی جدا می‌شوند، بهتر است ابعادی از ۳ــ۲ سانتی‌متر تا ۲۵ سانتی‌متر داشته باشند.

اخیراً در مناطقی که عمل سنگ جوری دستی را انجام می‌دهند سنگ‌ها را از طریق یک نوار نقاله (از مقابل کارگرانی که جلوی نوار ایستاده‌اند) عبور می‌دهند و کارگر موادی را که روی نوار حمل می‌شوند، سنگ جوری می‌نماید. سرعت حرکت نوار نقاله، به ابعاد و تعداد ذرات روی واحد طول نوار و درصد آن‌ها که باید جدا شوند، بستگی دارد. و باید به نحوی در نظر گرفته شود که زمان کافی را برای جدا کردن، به کارگر بدهد. (این سرعت بین ۲۰ــ۶۰ متر در دقیقه است ابعاد ذراتی که در روی نوار حرکت می‌کنند بین ۲۰ــ۳ سانتی‌متر است و محصول کار هر کارگر در حدود ۱۰ــ۰/۲ تن در ساعت است).

۷ــ۲ــ پرعیار کردن براساس وزن مخصوص

پرعیار کردن مواد معدنی براساس وزن مخصوص، با وجود آنکه یکی از قدیمی‌ترین روش‌های جدایش مواد معدنی از مواد باطله می‌باشد و علی‌رغم این که روش‌های جدید و مطمئن‌تری نیز در صنعت ابداع گردیده است، هنوز یکی از با اهمیت‌ترین روش‌های کانه‌آرایی شناخته می‌شود. مثلاً شستشوی زغال‌سنگ هنوز براساس روش «وزن مخصوص» انجام می‌گیرد و اگرچه در پرعیارسازی کانه‌های فلزی چندان کاربردی ندارد، ولی غالباً تهیهٔ محصول کنسانترهٔ اولیه هنوز بر آن متکی است.

بعد از اختلاف رنگ و جلا در کانی‌ها برای جداسازی مواد از یکدیگر، اختلاف در وزن مخصوص اهمیت دارد، بدین جهت دستگاه‌هایی که به منظور جدایش مواد با استفاده از وزن مخصوص ساخته شده‌اند از دستگاه‌هایی که برای جدا کردن مواد معدنی با استفاده از اختلاف خواص دیگر، ساخته شده‌اند، متنوع‌تر است.

در محلول‌های سنگین جدایش اجزاء تشکیل دهندهٔ مواد اولیه، در یک «سوسپانسیون[۱]» به نام

۱ــ Suspension

محلول سنگین صورت می‌گیرد که اختلاف وزن مخصوص اجزاء تشکیل دهندهٔ کانی نسبت به محلول سنگین، عامل جدا شدن آن‌ها از یکدیگر است و کاربرد آن‌ها در آزمایشگاه است ولی واسطه‌های سنگین با کمک مخلوط آب و دانه‌های ریز مواد، می‌توانند پالپ‌هایی با وزن مخصوص مورد نیاز بسازند تا از آن (واسطه سنگین) برای جدا کردن موادی که وزن مخصوص آن‌ها متفاوت است، استفاده شود. در دستگاه‌هایی نظیر «جیگ[1]» طبقات تشکیل دهنده توسط حرکت کششی و جهشی پیستون صورت می‌گیرد. در دستگاه‌هایی به نام «میزلرزان[2]» و یا «ناودان[3]» عمل جدایش در اثر حرکت دانه‌ها در روی سطح مورب با حرکت نوسانی و به کمک جریان رقیق آب، صورت می‌گیرد.

۷ــ۲ــ۱ــ اصول جدایش با استفاده از مایعات سنگین[4] (H.L.S) : در این روش جدایش، سنگ‌های معدنی با وزن‌های مخصوص، در محلول سنگین که وزن مخصوص معینی دارد، ریخته می‌شوند. بدیهی است که ذرات سبک‌تر در سطح و ذرات سنگین در ته مایع قرار می‌گیرند.

اصول جدایش به کمک محلول سنگین، براساس جدایش مواد کانی در محیطی که وزن مخصوص آن مابین وزن مخصوص تودهٔ سبک و تودهٔ سنگین تشکیل دهندهٔ سنگ معدنی قرار دارد، بنا نهاده شده است. مثلاً اگر مخلوطی از دو جسم به وزن مخصوص δ_1 و δ_2 را به مایعی به وزن مخصوص ρ وارد کنیم، چنان که $\delta_1 < \rho < \delta_2$ باشد، جسم اول که دارای وزن مخصوص δ_1 است به طرف بالا، با سرعت معینی حرکت نموده، در سطح مایع شناور می‌شود، در حالی که جسم دوم به طرف پایین حرکت خواهد کرد، این عمل به غرق و شناورسازی نیز معروف است.

مایعاتی که برای این نوع جدا کردن به کار می‌روند، «مایعات سنگین» نامیده می‌شوند و باید دارای خواص زیر باشند :

۱ــ خاصیت خورندگی نداشته باشند.

۲ــ در درجهٔ حرارت معمولی مایع باشند.

۳ــ غیرسمی باشند.

۴ــ شفاف باشند تا کنترل عمل آسان باشد.

۵ــ به راحتی غلیظ یا رقیق شود تا وزن مخصوص آن تنظیم گردد.

۶ــ بر روی مواد، اثر شیمیایی نداشته باشند.

۷ــ ارزان قیمت باشد.

۸ــ بی‌بو باشد.

۱ــ Jig ۲ــ Shaking table ۳ــ Sluices ۴ــ Heavy Liquid Separation

۹ــ وزن مخصوص آن زیاد باشد.

۱۰ــ ویسکوزیتهٔ آن کم باشد.

البته تاکنون هیچ مایع سنگینی که تمام این خواص را به طور کامل دارا باشد، ساخته نشده است. هم‌چنین باید در نظر داشت که «ویسکوزیته» بعد از وزن مخصوص، مهم‌ترین خاصیت مایع است. شایان ذکر است، از محلول‌های سنگین جهت سنجش اولیه جدایش استفاده می‌شود و چنانچه نتیجه مثبت باشد از واسطه‌های سنگین در مدارهای صنعتی استفاده می‌شود.

مطالعه آزاد

مایعات سنگین ارائه شده در جدول به سهولت در حلال‌های آلی از قبیل مواد نفتی، استون حل می‌شوند و مایعاتی با وزن مخصوص دلخواه به دست می‌دهند. ضمن آنکه این مایعات در آب کاملاً غیرمحلول می‌باشند در نتیجه، ذرات خارج شده را با آب می‌شویند تا در حد امکان لایهٔ محلول‌های سنگین را که اطراف ذرات تشکیل شده، جدا نمایند و چون این مایعات در آب نامحلول‌اند، آن‌ها را به سادگی از آب جدا نموده، مجدداً به کار می‌برند.

در بعضی مطالعات ذرات را قبل از وارد کردن به این محلول ها، وارد آب می‌کنند تا یک قشر نازک آب، دور آن ها تشکیل شود و خلل و فرج ذرات توسط آب پر شود در نتیجه، از تلفات محلول سنگین بکاهند. برای این منظور به مقدار ۰/۰۱ «اسید تانیک[۱]» به آب افزوده می‌شود. خاصیت جذب سطحی آب مخلوط با اسید تانیک بسیار زیاد بوده، باعث می‌شود که ذرات هنگام غوطه‌ور شدن در محلول سنگین، آن را جذب نکند.

جدول : محلول‌های سنگین

نام مایع	فرمول	وزن مخصوص	ویسکوزیته سنتی‌پوز	محلول بودن در آب $\frac{g}{lit}$
دی‌یدومتان(متیلن یدات)	CH_2I_2	۳/۳۱	۲/۶	۰/۱۲
تترا برمواتان (T.B.E)	$(CHBr_2)_2$	۲/۹۵	۹/۶	۰/۰۶
بروموفورم	$CH\,Br_3$	۲/۸۹	۱/۸	۰/۳۱
تری بروموفلورومتان	$CFBr_3$	۲/۷۵	۱/۵	۰/۰۴
دی بروموتان (متیلن دی برومات)	CH_2Br_2	۲/۴۸	۰/۹۷	۱/۱
دی برمو اتیلن	$CH\,Br$	۲/۱۷	۱/۶	۰/۴۲
پنتا کلرواتان	$CHCl_2-Cl_5$	۱/۶۷	۲ــ۳	۰/۰۵

۱ــ Tanic Acid

محلول‌های سنگین اشاره شده، بسیار سمی می‌باشند و مستلزم احتیاط و پیش‌بینی‌های لازم می‌باشد.

در روش جدایش با استفاده از مایعات سنگین، با ثابت نگه‌داشتن درجهٔ حرارت و دقت کامل، می‌توان وزن مخصوص را تا دقت ۰/۰۱ واحد، ثابت نگه داشت و بنابراین امکان جداسازی موادی که وزن مخصوص آن‌ها به یکدیگر خیلی نزدیک است، وجود دارد.

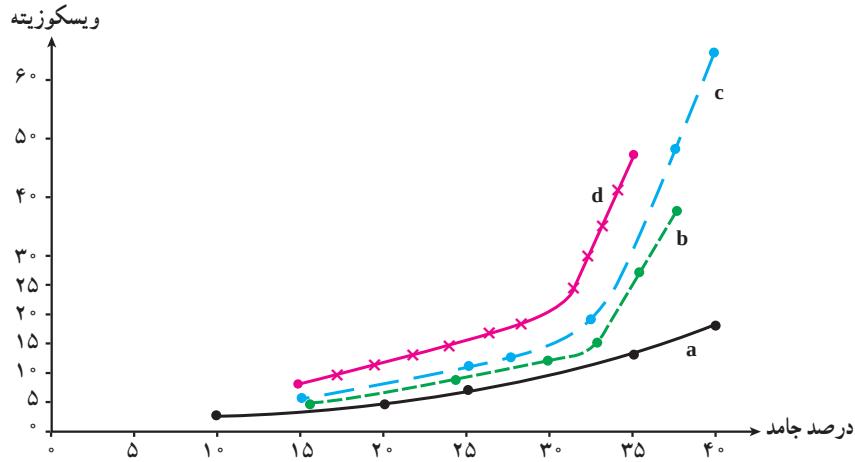
مهم‌ترین کاربرد مایعات سنگین برای جدایش در بررسی‌های آزمایشگاهی بوده است. مایعات سنگین به ندرت در مقیاس صنعتی به کار می‌روند. اگرچه متخصصین کشورهای سازندهٔ آن‌ها معتقدند که استفادهٔ از آن‌ها رضایت‌بخش بوده، هزینهٔ عمل نیز چندان زیاد نخواهد بود. سایر کارخانه‌های سازنده نیز با ساختن ماشین آلات لازم، به کارگیری آن‌ها را تعمیم می‌دهند. یکی از کاربردهای این مواد برای جدا کردن مواد باطله است تا بار قسمت بعدی کارخانهٔ کانه‌آرایی را پرعیارتر کرده و محصول بیشتری از ظرفیت موجود در کارخانه به دست آورند.

۷ــ۲ــ۲ــ جدایش مواد با استفاده از واسطه‌های سنگین[1](H.M.S) : چون به کار بردن محلول‌های سنگین (به علّت گران بودن و خواص دیگر از قبیل سمی بودن، قابلیت اشتعال و غیره) محدودیت‌هایی دارد، لذا در صنعت کانه‌آرایی از معلق نگه‌داشتن ذرات بسیار ریز جامد در آب، به عنوان واسطه های سنگین استفاده می‌شود. این محیط‌ها دارای وزن مخصوص یکنواخت بوده، و ویسکوزیتهٔ مناسبی دارند.

ویسکوزیتهٔ محیط نیز، تابعی از وزن مخصوص ذرات معلق است. هر قدر وزن مخصوص ذرات معلق کمتر باشد، به ازای یک وزن مخصوص معین برای محیط، مقدار ویسکوزیته، بیشتر خواهد بود. یعنی ویسکوزیته به ازای اضافه کردن مواد جامد، ابتدا به صورت خطی بالا رفته، پس از حد معینی بالا رفتن به شدت زیاد می‌شود و در این موقع، مخلوط به صورت گل درمی‌آید که این حد را «ویسکوزیتهٔ بحرانی[2]» گویند که برای ذرات مختلف متفاوت است.

اگر ویسکوزیته به حد بحرانی خود نزدیک شود یا از آن تجاوز کند، واسطه سنگین را دیگر نمی‌توان برای جدا نمودن ذرات به کار برد. و هر قدر ویسکوزیته از این حد دورتر باشد عمل جدا کردن ذرات بهتر و با کارآیی بیشتری انجام خواهد شد.

۱ــ Heavy Media Separation ۲ــ Critical Viscousity



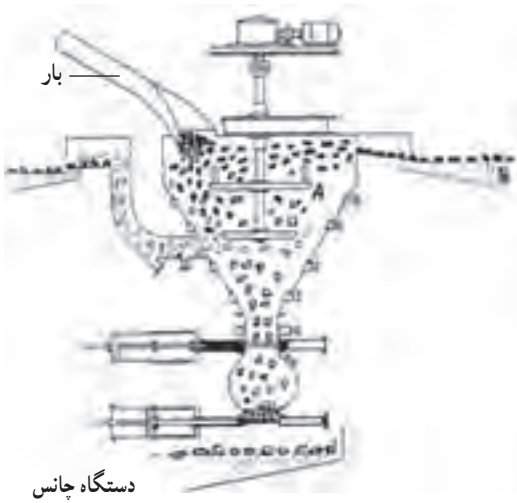
استفاده از این روش، برای اولین بار در سال ۱۸۵۸ توسط «هنری بسمر[۱]» و در مورد جدا کردن زغال از «شیست‌های» همراه به عمل آمد و در دستگاه‌هایی که ساخته شده بود، از مخلوط کلرور آهن ــ منگنز ــ کربنات کلسیم و سولفات باریم برای ساختن واسطهٔ سنگین استفاده شد. بعدها در سال ۱۹۱۷ دستگاه چانس اختراع شد که در آن از ماسه‌های سیلیسی بسیار ریزی به ابعاد حدود ۰/۳ــ۰/۰۸ میلی‌متر استفاده می‌شود و وزن مخصوص محیط را به حدود ۱/۵ می‌رسانند. اساس این روش به‌شرح زیر است :

روش چانس[۲] : در این روش محیط سنگینی از ذرات ماسه بسیار ریز، به وزن مخصوص ۱/۴ــ۱/۲ به وجود می‌آورند. این روش هنوز در کشورهای نظیر آمریکا و انگلستان برای شستشوی زغال‌سنگ به کار می‌رود. طرز کار دستگاه چانس به این ترتیب است که : سیلیس از بالای جدا کنندهٔ مخروطی ناقص یا جعبه‌ای و آب از پهلو، وارد می‌شود زغال‌سنگ خالص شناور می‌گیرد و مواد باطله رسوب می‌کنند. پره‌های نصب شده در دستگاه جدا کننده، باید با سرعت زیادی بچرخند تا از رسوب دانه‌های ماسه، جلوگیری شود. زغال‌سنگی که در این روش پرعیار می‌شود، باید سخت و حداقل درشتی دانه‌های آن ۸ ــ ۶ میلی‌متر باشند. در این طریقه مقدار ماسه‌ای که همراه بار خارج خواهد شد، در حدود یک کیلوگرم به ازای هر تن بار ورودی خواهد بود. از جمله مزایای این روش آن است که بقیهٔ اجسام جامد (یعنی ماسه‌ها) بسیار ارزان هستند و از طرفی، بازیابی آن‌ها مطلوب است؛ ولی از طرف دیگر، عمر تلمبه‌های شن، بسیار کوتاه است و بعد از مدت کمی که حدود ۶ ــ ۳ ماه است، صفحات

۱ــ Henry Bessemer ۲ــ Chance Process

داخلی پمپ‌های هدایت پالپ در اثر ماسه‌ها فرسوده شده، باید آن‌ها را تعویض نمود.

طبق آمار در سال ۱۹۷۴ از حدود ۵۵۰ میلیون تن زغال «بیتومینه» و «لیگنیتی» که توسط دستگاه‌های مکانیزه شسته شده حدود ۷۵ میلیون تن آن از روش واسطه‌های سنگین به عمل آمده است و به این ترتیب، این روش از ۷ درصد در سال ۱۹۳۸ به ۳۱ درصد در سال ۱۹۷۴ افزایش یافت.



دستگاه چانس

هرگاه وزن مخصوص زیادی برای واسطه‌های سنگین مورد نظر باشد، می‌توان از مواد مختلفی که در جدول مشخص شده‌اند استفاده کرد. وزن مخصوص حداکثر پالپ را می‌توان از طریق جدول به دست آورد. از جدا کننده‌هایی مانند استوانه‌ای گردان نیز در شستشوی زغال استفاده می‌شود.

مطالعه آزاد

جدول وزن مخصوص مواد و پالپ در واسطه‌های سنگین

مواد	وزن مخصوص تقریبی گرم بر سانتی‌متر مکعب	حداکثر وزن مخصوص پالپ $\frac{kg}{lit}$
سنگ‌های معمولی سیلیسی	۲/۶	۱/۵۸
سنگ‌های نسبتاً سنگین نظیر بازالت	۳	۱/۶۴
باریتین	۴/۴۶	۱/۰۵
پیریت	۵ـ۵/۲	۲/۳۸
ماگنتیت	۵ـ۵/۲	۲/۳
گالن	۷ـ۷/۶	۲/۷۵
فروسیلیکات پودر شده	۶/۷	۳/۸۰

خودآزمایی

۱ـ روش‌های جدایش بااستفاده از خواص فیزیکی مواد معدنی چگونه به کار گرفته می‌شوند؟

۲ـ شرط اصلی استفاده از خواص فیزیکی مواد معدنی برای جداسازی آن‌ها چیست؟

۳ـ سنگ جوری چیست و از کدام خواص کانی‌ها بیشتر در آن استفاده می‌شود؟

۴ـ در سنگ جوری دستی کدام عامل و چگونه بیشترین نقش را دارد؟

۵ـ برای جدا کردن «پیریت» از کالکوپیریت و گانگ از زغال‌سنگ با استفاده از نور مصنوعی چگونه عمل می‌شود؟

۶ـ دستگاه‌هایی که برای پرعیار کردن مواد معدنی براساس وزن مخصوص آن‌ها ساخته شده، شامل کدام گروه‌ها است؟

۷ـ واسطه‌های سنگین را چگونه می‌توان ساخت و به کار برد؟

۸ـ پرعیار کردن به کمک محلول سنگین برچه اساسی صورت می‌گیرد؟

۹ـ پنج خاصیت مهم مایعات سنگین را ذکر کنید؟

۱۰ـ در چه صورت نمی‌توان محلول سنگین را برای جدا کردن ذرات به کار برد؟

۱۱ـ مزایا و معایب روش چانس را بیان کنید؟

فصل ۸
جدایش به روش جیگ

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

۱ـ اساس کار جیگ‌ها را بیان کند.

۲ـ دوره‌های تناوب در جیگ‌ها را با رسم نمودار توضیح دهد.

۳ـ انواع مختلف جیگ‌ها را تشریح کند.

۸ــ آشنایی

به طورکلی جیگ‌ها دستگاه‌هایی هستند که برای ذرات نسبتاً درشت ساخته شده‌اند. این دستگاه‌ها از دیرباز برای پرعیارکردن کانی‌های سولفیدی به کار می‌رفته‌اند و قدمت انواعی از آن‌ها به بیش از ۲۰۰۰ سال قبل می‌رسد. از آن‌جایی که ذرات درشت، اکثراً توسط سرندها طبقه‌بندی می‌شوند، لذا بار جیگ‌ها اکثراً برحسب ابعاد و قطر دانه‌ها، طبقه‌بندی می‌گردد و هرقدر این طبقه‌بندی دقیق‌تر و اختلاف وزن مخصوص، بیشتر باشد عمل جیگ و کارایی آن بهتر و محصول به دست آمده خالص‌تر خواهد بود. جیگ‌ها یک محفظه با کف مشبک یا توری دارند که موادمعدنی را در داخل محفظهٔ آن‌ها ریخته، سپس آب از لابه‌لای موادمعدنی، بالا و پایین می‌آید و در نتیجه مواد به صورت ذراتی معلق در روی توری به شکل طبقات برحسب وزن مخصوص قرار می‌گیرند.

بدین ترتیب ملاحظه می‌شود که اساس کار جیگ نیز مانند کلاسیفایر برحسب سقوط ذرات در داخل آب قرار دارد، ولی در مورد جیگ ذرات آزادانه سقوط نمی‌کنند و نیز زمان سقوط بسیار کوتاه است و ذرات دسته جمعی سقوط می‌کنند.

۸ــ۱ــ اساس کار جیگ‌ها[۱]

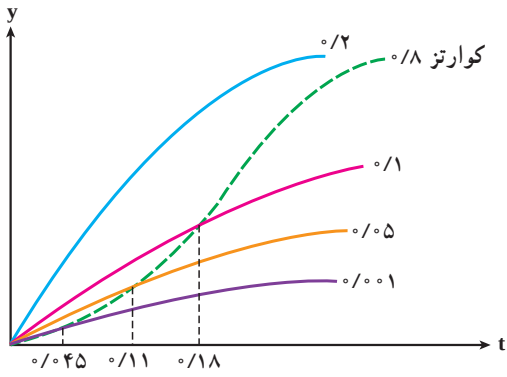
اساس کار جیگ‌ها بر روی دو جریان آب، یکی بالا رفتن و دیگری پایین آمدن به طور متناوب که بر روی قشری از مواد معدنی اثر می‌کند، استوار شده است و مواد را برحسب وزن مخصوص تقسیم‌بندی می‌کند. علاوه بر وزن مخصوص عوامل دیگری هم که قبلاً در حرکت جامدات در مایعات گفته شده در این کار، تأثیر دارند. در لایه‌بندی دانه‌ها در جیگ، سه عامل مهم است :

الف) سقوط با مانع و طبقه‌بندی مواد.

ب) اختلاف شتاب در شروع ته‌نشین شدن.

ج) حرکت دانه‌های کوچک (چکیدن) از لابه‌لای دانه‌های بزرگ[۲].

در جیگ‌ها چون زمان سقوط بسیار اندک است، ذرات قبل از آنکه به سرعت حد برسند به کف جیگ رسیده‌اند، لذا سرعت ذرات متغیر خواهد بود که پیوسته زیاد می‌شود. مثلاً اگر دو ذرهٔ گالن و کوارتز را در نظر بگیریم که به ترتیب دارای وزن مخصوص حدود ۷/۵ و ۲/۶ هستند، شتاب اولیه گالن بیشتر از کوارتز خواهد بود. هر قدر زمان سقوط کمتر باشد، این دو ذره بهتر از یکدیگر جدا خواهند شد، زیرا در اثر سقوط سرعت‌ها به طور یکنواخت تغییر خواهد کرد. زمان سقوط در جیگ اهمیت داشته و می‌توان ذرات سنگین کوچک را از ذرات سبک بزرگ با محاسبهٔ زمان سقوط جدا نمود. در شکل زیر سرعت سقوط ذرات به ابعاد ۰/۰۰۱ و ۰/۰۵ و ۰/۱ و ۰/۲ سانتی‌متر از گالن و ذره ۰/۸ سانتی‌متر از کوارتز را برحسب زمان نشان می‌دهد.



همچنان که در نمودار ملاحظه می‌شود، اگر بخواهیم ذره‌ای از جنس گالن را به ابعاد ۰/۰۰۱ سانتی‌متر از کوارتز جدا کنیم، باید زمان سقوط از ۰/۰۴۵ ثانیه کمتر باشد، زیرا تا این زمان ذرهٔ گالن به علّت داشتن شتاب اولیهٔ بزرگتر دارای سرعت بیشتری بوده، ولی پس از آن سرعت ذرهٔ کوارتز بیشتر خواهد بود و همچنین در مورد سایر ذرات گالن به ابعاد ۰/۰۵ و ۰/۱ سانتی‌متر اگر بخواهیم آن‌ها را از

۱ــ Jig

۲ــ Jig Consolidation trickling

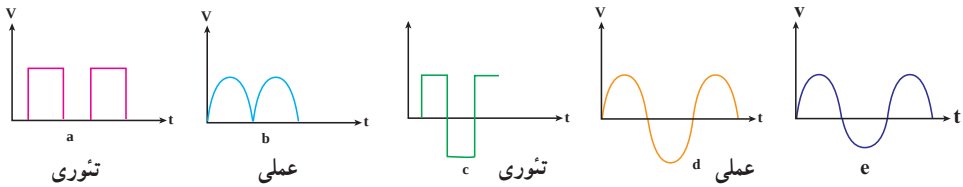
ذرهٔ کوارتز جدا کنیم، باید زمان سقوط به ترتیب از ۰/۱۱ و ۰/۱۸ ثانیه کمتر باشد زیرا پس از این مدت ذرهٔ کوارتز دارای سرعت سقوط بیشتری از ذرات گالن خواهد بود. در حرکت دانه‌های کوچک از لابه‌لای دانه‌های بزرگ، مسافت‌هایی که دانه‌های مختلف با وزن‌های مخصوص مساوی طی می‌کنند، یکسان نیست. یک دانهٔ بزرگ در زمان ۰/۳ ثانیه مدتی حدود ۰/۰۶ به حالت تعلیق درمی‌آید درصورتی که یک دانهٔ ریزتر ممکن است برای مدّت ۰/۲ ثانیه به حالت معلق برسد ولی در عمل دانه‌های درشت وقتی روی هم ته‌نشین شدند، دیگر نمی‌توانند پایین بروند در صورتی که دانه‌های ریز از لابه‌لای دانه‌های درشت، به طرف پایین حرکت می‌کنند. که این پایین رفتن ممکن است هم به علّت نیروی ثقل و هم به علّت ادامهٔ حرکت مایع باشد. این پدیده را حرکت از لابه‌لای دانه‌ها یا «بین دانه‌ای» گویند.

۸ــ۲ــ دوره‌های تناوب در جیگ

اگر برای آب سطح ثابتی را فرض کنیم، آب دارای دو حرکت بالا آمدن از سطح ثابت و پایین آمدن از سطح ثابت خواهد بود که اولی را «حرکت جهشی[۱]» و زمان انجام آن را «زمان جهش» و دیگری را «حرکت کششی[۲]» و زمان انجام آن را «زمان کشش» گویند. به این دو دوره در جیگ، دوره‌های «تناوب» گفته می‌شود. دورهٔ جهش در تمام جیگ‌ها وجود دارد و دورهٔ کشش نیز در اکثر آن‌ها موجود است که ممکن است مساوی یا کمتر از حرکت جهشی باشد.

شکل‌های زیر چند نوع حرکت آب را در جیگ‌ها نشان می‌دهد.

در نمودارهای (a) و (b) فقط حرکت جهشی وجود دارد و در نمودارهای (c) و (d) از جهش و کشش به یک اندازه استفاده شده است. در نمودار (e) مقدار جهش و کشش متقارن نیست ولی مقدار مایعی که بالا و پایین می‌رود، برابر است.



شکل‌های مربوط به تناوب در جیگ‌ها

۱ــ Pulsion ۲ــ Suction

لازم به ذکر است که ظرفیت جیگ، به طول حرکت جهش و تعداد حرکات در واحد زمان بستگی دارد؛ ولی چون در هر دوره از حرکات آب، زمان معینی نیاز است تا ذرات کاملاً تقسیم‌بندی شده، از یکدیگر جدا شوند؛ لذا حداکثر تعداد حرکات، محدود می‌گردد و هرقدر ذرات ابعاد بزرگتری داشته باشند، طول حرکت جهشی بیشتر بوده، در نتیجه ذرات باید طول بیشتری را در آب بپیمایند و به عبارت دیگر تعداد ضربه‌های جیگ کمتر خواهد بود. در جدول زیر به تعداد ضربه‌ها در جیگ‌های معمولی به ازای ابعاد ذرات اشاره شده است :

ارتباط بین تعداد ضربات در جیگ‌های معمولی به ازای ابعاد ذرات

تعداد ضربات جیگ حداکثر	در دقیقه حداقل	قطر ماکزیمم ذرات برحسب میلی‌متر
۱۷۵	۹۵	۳۲_۶۴
۱۷۵	۱۰۰	۱۶_۳۲
۲۵۰	۱۰۰	۸_۱۶
۳۰۰	۱۲۰	۴_۸
۳۵۰	۱۵۰	۲_۴
۴۰۰	۱۵۰	۱_۲

بدین ترتیب نتیجه گرفته می‌شود که هرقدر ذرات بزرگتر باشند باید شدت ضربه، در موقع بالا آمدن آب بیشتر باشد تا بتواند آن را به صورت معلق در خود نگه دارد و در عین حال مقدار زیادتری آب با سرعت زیاد لازم است زیرا سرعت رسوب ذرات به مناسبت بزرگی، زیاد است. بنابراین در مورد ذرات بزرگ، جیگ باید تعداد ضربات زیاد و فشار زیاد مناسب، داشته باشد؛ امّا هرقدر ذرات سبک‌تر باشند، به همان دلایل مذکور باید تعداد ضربات بیشتر باشد. ضمناً هر قدر ضخامت طبقه روی جیگ بیشتر باشد زمان لازم برای هر ضربه بیشتر خواهد بود. در مورد عمل کشش در جیگ‌ها که در واقع دورهٔ فروکش کردن آب از روی ذرات و پایین رفتن آن است نیز، متذکر می‌شود که انجام این حرکت ضرورت کامل داشته، نقش آن پایین بردن ذرات ریز و سنگین است، مشروط بر آنکه اختلاف ابعاد ذرات به اندازهٔ کافی باشد تا جسم ریز سنگین وزن، بتواند از لابه‌لای ذرات سبک بزرگ، عبور کند و اگر اختلاف ابعاد زیاد نباشد، عمل فروکش کردن، کاری از لحاظ پرعیار کردن، انجام نمی‌دهد.

سرعت عمل جیگ هنگامی که اختلاف ابعاد ذرات کمتر باشد بیشتر و مدت زمان کشش تا

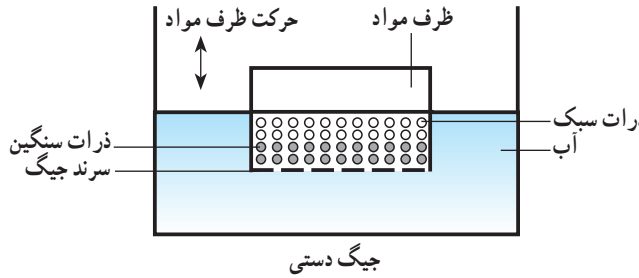
حدامکان کمتر خواهد بود، ولی در هر حال در مورد ذراتی که توسط غربال جدا می‌شوند، جیگ بدون کشش مناسب است. البته جیگ‌هایی که در صنعت ساخته می‌شوند، یا اصولاً زمان کشش ندارند، یا مقدار آن کمتر یا معادل زمان جهش است. جیگ‌هایی دارای زمان مساوی کشش و جهش هستند که وزن مخصوص ذرات ورودی به جیگ با هم، خیلی اختلاف داشته باشد (یعنی اختلاف ابعاد بسیار زیاد باشد).

۸ــ۳ــ انواع مختلف جیگ‌ها

به طور کلی جیگ‌ها برحسب محیطی که عمل جدایش در آن انجام می‌گیرد، تقسیم می‌شوند و عبارت‌اند از جیگ‌های آبی، جیگ‌های هوایی و جیگ‌های محلول سنگین. و از طرف دیگر جیگ‌ها برحسب قدرت جدایش برای درشتی دانه‌ها نیز، با هم اختلاف دارند مثلاً جیگ‌های با نوسانات سریع ولی کوتاه، مناسب موادی با ابعاد ریز، و جیگ‌های با نوسانات آهسته ولی بلند، برای موادی با ابعاد درشت، مورد استفاده قرار می‌گیرند.

دریک تقسیم‌بندی دیگر، جیگ‌ها را به دو نوع مختلف تقسیم می‌کنند؛ در نوع اوّل، جیگ دارای صفحهٔ مشبّک متحرکی است که در آب راکد با سطح ثابت، داخل و خارج می‌شود و در نوع دوّم، صفحهٔ مشبک و سطح ثابت وجود دارند ولی آب در آن بالا و پایین می‌رود. در این جا به طور خلاصه به شرح آن‌ها می‌پردازیم :

۸ــ۳ــ۱ــ جیگ‌های با سطح آب ثابت : این جیگ‌ها خود به دو نوع جیگ دستی با کار منقطع و جیگ موتوری با کار دائم تقسیم می‌شوند.



جیگ دستی

۸ــ۳ــ۲ــ جیگ دستی[1] با کار منقطع : این جیگ‌ها معمولاً از یک صندوق چوبی به ابعاد تقریبی ۶۰×۴۰×۲۰ سانتی‌متر یا گاهی بزرگتر، تشکیل گردیده که کف آن با یک صفحهٔ مشبک فلزی

۱ــ The Hand jig

پوشیده شده است و دارای دسته‌ای می‌باشد که به یک اهرم متصل بوده، توسط آن می‌توان جیگ را بالا و پایین برد.

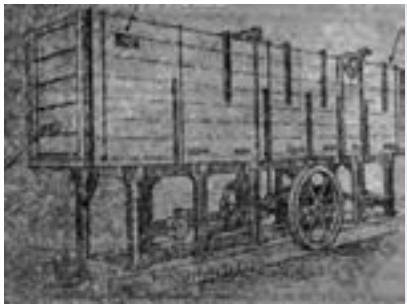
این جعبه درون محفظهٔ بزرگتر دیگری است که به طور ثابت ساخته شده است و داخل آن آب می‌باشد. جعبه در داخل محفظهٔ دوم که «مخزن آب» نامیده می‌شود، دارای حرکت رفت و آمد عمودی است. عمل پایین آمدن جعبه، ناگهانی و سریع است، ولی بالا رفتن آن به آرامی انجام می‌گیرد. در اثر پایین آمدن، مواد درون آن به حالت معلق درآمده، سپس برحسب وزن مخصوص، طبقه‌بندی می‌شوند و اگر ماده ریز باشد، از توری عبور نموده، در کف مخزن آب جمع می‌گردد. پس از مدتی عمل را متوقف کرده، مواد سطحی را جمع‌آوری و خارج می‌سازند و به جای آن بار تازه‌ای می‌ریزند و عمل را تکرار می‌کنند تا ضخامت ماده معدنی مورد نظر، به حد کافی برسد، پس از خارج کردن لایهٔ فوقانی که شامل گانگ است، مواد معدنی مورد نظر را تخلیه و عمل را مجدداً انجام می‌دهند. کاربرد این طریقه در مواردی مؤثر است که مواد درشت بوده، از منافذ کف جعبه عبور ننماید. در صورتی که پرعیارسازی مواد ریزتر موردنظر باشد، یک طبقه از مواد معدنی سنگین را روی کف ریخته، سپس عمل باردهی انجام می‌شود و در نهایت محصول پرعیار شده در کف مخزن جمع می‌شود.

چون وزن جیگ‌های دستی سنگین است و کار کردن با آن برای کارگر طاقت‌فرسا است کمتر به کار می‌رود و چون ضربه‌های آن توسط بازو و دست صورت می‌گیرد تنظیم و یکنواخت کردن آن‌ها مشکل بوده، لذا برای سنگ‌های درشت استفاده می‌شود. جیگ‌های مذکور مصرف آب ناچیزی دارند و در ۲۴ ساعت ظرفیتی در حدود ۱۰ــ۳ تن در هر مترمربع دارد. امروزه کمتر از این دستگاه‌ها استفاده می‌شود.

۸ــ۳ــ۳ــ جیگ‌های موتوری با کار دائم : اساس کار جیگ‌های موتوری و دستی مشابه یکدیگر است، با این تفاوت که در جیگ‌های موتوری یک موتور نیروی مکانیکی لازم را جهت پایین و بالا آوردن جعبه مواد معدنی تأمین می‌کند. نوع مهم این جیگ‌ها که به نام مخترعش معروف شده، جیگ «هان‌کاک[1]» می‌باشد و ساختمان آن از یک جعبهٔ مکعب مستطیل با یک سرند متحرک در بالای آن، تشکیل شده است حرکت سرند از نوع افقی و عمودی است که به وسیلهٔ موتور تأمین می‌شود.

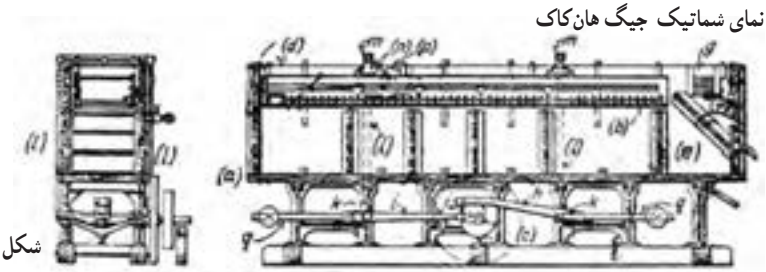
تأثیر این نوع حرکت آن است که ذرات را از یک سر سرند، به سر دیگر حرکت می‌دهد. به این ترتیب ملاحظه می‌شود که عمل جیگ دائمی است و بار به طور پیوسته از یک سر وارد می‌شود و مواد سبک از سر دیگر خارج می‌گردد و درظرف آبی که در زیر سرند قرار دارد، ابتدا ذرات سنگین جمع شده، هرچه به طرف آخر ظرف جلوتر برویم اجسامی سبک‌تر خواهیم داشت.

۱ــ R. H. Hancock



شکل ظاهری جیگ هان‌کاک

نمای شماتیک جیگ هان‌کاک



شکل جیگ هان‌کاک

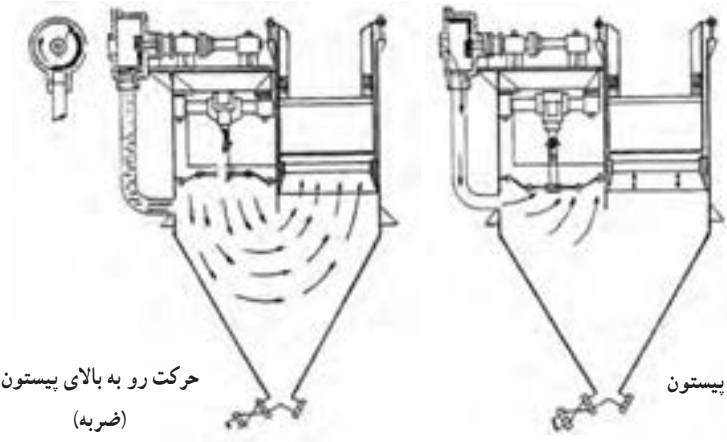
از جیگ «هان‌کاک» می‌توان برای جدا کردن انتخابی مخلوط مواد معدنی از یکدیگر و از گانگ استفاده کرد. در تعدادی از جیگ‌ها منافذ کف جعبه هرقدر که از قسمت باردهی دور شویم، بزرگتر می‌شود. بعضی از مشخصات جیگ‌های مذکور در جدول مشاهده می‌شوند :

مشخصه	اندازه و مقدار
طول استاندارد	۶/۵ متر
عرض استاندارد	۱/۵ متر
عمق	۲/۵ـ۱/۵ متر
ظرفیت	۱۰۰ـ۶۰ تن متر مربع کف صندوق در ۲۴ ساعت
مصرف آب	۱ مترمکعب در هر تن سنگ معدن
دامنهٔ حرکت افقی و عمودی	۳ـ۱/۵ سانتی‌متر
تعداد ضربات جیگ	۲۰۰ـ۱۸۰ دور در دقیقه
کارآیی معمولی	۶۰ـ۴۵ درصد
کارآیی در شرایط مطلوب	۷۰ درصد

۸ـ۳ـ۴ـ جیگ با توری ثابت و جریان متحرک آب : در این جیگ‌ها که از دو قسمت تشکیل شده‌اند بار روی توری ریخته شده، بوسیلهٔ موتور که یک حرکت عمودی به پیستون می‌دهد، عمل ضربه و کشش انجام می‌شود و مقدار ضربه و کشش به وسیلهٔ شیر گردان، که سر راه جریان آب قرار دارد، کنترل می‌شود.

در جیگ هنگامی که پیستون حرکت رو به بالا دارد، وزن شیر گردان طوری است که دهانهٔ ورود آب را باز می‌کند. عمل بالا رفتن پیستون باعث می‌شود که کشش ایجاد گردد و این کشش به مقدار زیاد توسط فشار آب ورودی خنثی می‌گردد و در نتیجه، عمل مکش در روی قسمت بار مساوی عمل ضربه نبوده، کمتر از آن می‌شود، این جریان را می‌توان به نحوی تنظیم نمود که مقدار مکش در روی سطح توری به اندازهٔ دلخواه باشد.

هنگامی که پیستون پایین می‌آید و روی توری حامل مواد، ضربه وارد می‌شود، شیر گردان بسته است و آب در لوله‌ها پس زده نمی‌شود. ذراتی که در روی صفحهٔ مشبک قرار دارند، توسط یک صفحهٔ عمودی که فاصلهٔ آن قابل تنظیم است، از هم جدا می‌شود (شکل زیر).



حرکت رو به بالای پیستون (ضربه)

حرکت رو به پایین پیستون (مکش)

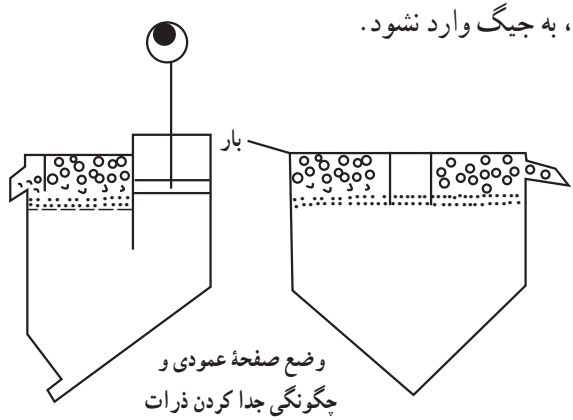
به این ترتیب می‌توان ضربهٔ لازم را به آب داده، مقدار مکش را به اندازه دلخواه تنظیم نمود.

برحسب اینکه مواد و ذرات سنگین از صفحهٔ مشبک جیگ عبور کنند یا روی آن باقی بمانند، جیگ‌ها را مجدداً به دو دستهٔ دیگر تقسیم می‌کنند. در دستهٔ اول ابعاد منافذ توری بزرگتر از ابعاد بار می‌باشد، لذا در روی توری یک طبقه از سنگ‌های سنگین و درشت‌تر از منافذ توری قرار می‌گیرد که مانع عبور آزاد ذرات از توری می‌گردد و فقط ذرات سنگین در اثر ضربه، ته‌نشین شده، از لابه‌لای این ذرات درشت عبور می‌نمایند و پس از عبور از منافذ توری در ته جیگ، جمع می‌شوند که بعداً یا به‌طور دائم، توسط یک سیستم مخصوص خارج می‌شوند.

در دستهٔ دوم، ابعاد منافذ توری کوچکتر از ابعاد ذرات بار می‌باشد در نتیجه، در روی توری طبقات مختلف، برحسب وزن مخصوص طبقه‌بندی می‌شوند و چون جریان آب وجود دارد، ذرات پیوسته به طرف جلو رانده می‌شوند و در قسمت خروجی یک صفحه که به طور عمودی قرار دارد،

ذرات سنگین را از سبک جدا می‌کند. فاصلهٔ این صفحهٔ عمودی از توری، قابل تنظیم بوده، با تنظیم آن می‌توان به دلخواه ذرات معینی را از سایر ذرات جدا نمود.

جیگ‌ها را معمولاً به طور سری به هم وصل می‌کنند چنان که محصول تغلیظ شدهٔ یک جیگ وارد جیگ دیگر می‌شود تا پرعیارتر گردد. جیگ‌ها را در سری‌های سه‌تایی و شش‌تایی می‌سازند و هر جیگ نسبت به جیگ ماقبل خود، در سطح پایین‌تری قرار دارد تا محصول خارج شده از جیگ اول به دلیل وزن خود، به جیگ وارد نشود.



وضع صفحهٔ عمودی و
چگونگی جدا کردن ذرات

خودآزمایی

۱ـ اساس جیگ‌ها بر چیست؟ و زمان سقوط ذرات در آب داخل آن‌ها چگونه است؟

۲ـ موارد «تأثیرگذار» در لایه‌بندی دانه‌ها در جیگ را بیان کنید.

۳ـ پدیدهٔ حرکت «بین دانه‌ای» چیست و چگونه رخ می‌دهد؟

۴ـ حرکت‌های آب در جیگ را نام برده، هریک را تعریف کنید.

۵ـ منحنی‌های تئوری و عملی حرکت تناوبی جهشی و کششی را برای یک جهش و یک کشش رسم کنید.

۶ـ شرایط کار جیگ برای ذرات ریز و درشت چه تفاوتی با یکدیگر دارد؟

۷ـ جیگ‌ها را برحسب محیطی که عمل جدایش در آن انجام می‌شود و برحسب قدرت جدایش دانه‌های ریز و درشت، تقسیم‌بندی کنید.

۸ـ با رسم شکل طرز کار یک جیگ دستی را به اختصار شرح دهید.

۹ـ جیگ با توری ثابت و جریان متحرک آب چگونه عمل می‌کند؟

۱۰ـ نحوهٔ اتصال جیگ‌ها به یکدیگر چگونه است؟

فصل ۹
جدایش به روش میزها

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

۱ـ جدایش در جریان‌های افقی را شرح دهد.

۲ـ زوایای شیب در مورد ذرات مختلف مواد معدنی را بیان کند.

۳ـ صفحهٔ تغلیظ «بکمن» را شرح دهد.

۴ـ میز گردان را شرح دهد.

۵ـ دستگاه‌های متحرک را توضیح دهد.

۶ـ نوارهای گردان را شرح دهد.

۹ــ آشنایی با اصول جدایش

برای پرعیار کردن مواد معدنی، از دستگاه‌های ساده و بدون حرکت یا با حرکت لرزشی که در آن‌ها آب جریانی افقی دارد استفاده می‌شود، این دستگاه‌ها عموماً شامل سطح شیب‌داری می‌باشند که ذرات همراه با آب در روی آن جریان یافته، ذرات سنگین و سبک از یکدیگر جدا می‌شوند، بدین ترتیب که ذرات در ابتدا به صورت معلق بوده، پس از ته‌نشین شدن، در اثر جریان آب به حرکت درمی‌آیند.

عمل راندن توسط آب به چند روش انجام می‌شود :

۱ــ ذرات در اثر جریان در روی سطح شیب‌دار غلطیده، جلو می‌روند.

۲ــ ذرات به صورت معلق در آب درآمده، همراه آن حرکت می‌کنند.

۳ــ ذرات در روی سطح شیب‌دار در اثر جریان آب لغزیده، جلو می‌روند.

در پرعیار کردن برای جدایش ذرات از یکدیگر، باید منحصراً از عمل اول و سوم استفاده شود

و برای این منظور، باید یا جریان آب بسیار آرام باشد و یا اندازهٔ ذرات از حدّ معینی کمتر نباشد. شکل ذرات هر قدر کروی‌تر باشد، عمل راندن ذرات در روی صفحهٔ شیب‌دار، بهتر انجام می‌شود امّا ذراتی که برای پرعیار کردن به کار می‌روند، دارای اشکال نامعین بوده، کارآیی آن‌ها بیشتر توسط لغزش انجام می‌شود.

هنگامی که ذرات را به داخل جریان آب می‌ریزیم، ذرات تا مدت کمی غوطه‌ور مانده، سپس رسوب می‌نمایند و در روی سطح شیب‌دار قرار می‌گیرند. تجربه نشان می‌دهد که سرعت سقوط ذرات در ابتدای سقوط به وزن مخصوص بستگی داشته و مستقل از ابعاد می‌باشد.

مطالعه آزاد

۹-۱- صفحهٔ تغلیظ بکمن[۱]

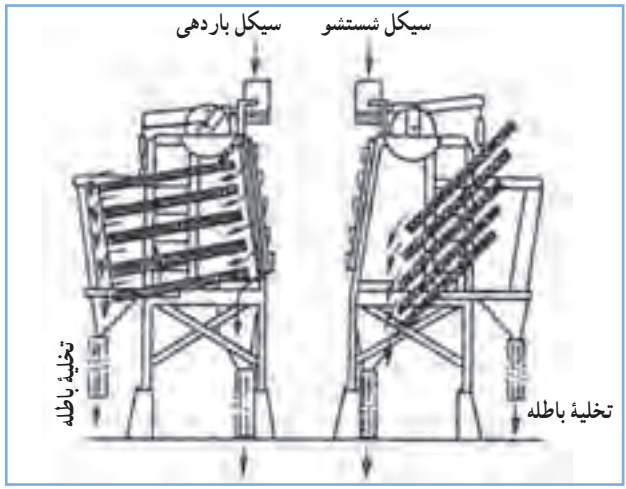
این میز از یک‌سری صفحات که به طور موازی روی هم قرار گرفته‌اند، تشکیل شده است. شیب صفحات در حدود ۵ تا ۱۰٪ بوده و هرقدر ابعاد ذرات ریزتر باشد، شیب صفحات کمتر خواهد بود. باری که به این دستگاه‌ها می‌دهند، بسیار نرم بوده، در بعضی شرایط به ۵۰۰ مش در سیستم تیلور می‌رسد ولی به طور معمول ذرات ابعاد ۲۰۰ مش دارند. مخلوط آب و ذرات در حدود ۱۰٪ تا ۲۵٪ جامد داشته، بقیهٔ آن آب می‌باشد، این مخلوط در تمام عرض روی صفحات میز ریخته می‌شود، مدت زمان باردهی در حدود ۵ تا ۳۰ دقیقه است پس از آن قطع شده، صفحات در اثر حرکت یک موتور، شیب زیادی در حدود ۵۰ تا ۶۰ درصد پیدا می‌نماید و یک فوارهٔ آب از بالا با فشار روی سطوح ریخته می‌شود، در اثر فشار آب ذراتی که روی صفحه باقی مانده‌اند، به حرکت درآمده، در یک ظرف جداگانه جمع می‌شوند. مدت شستشو در حدود ۱-۰/۵ دقیقه می‌باشد دستگاه خودکار، کار موتور باردهی و قطع آن و سپس تغییر شیب صفحات و ریزش آب را، انجام می‌دهد. تعداد صفحات معمولاً از ۱۰ صفحه تجاوز نمی‌کند و به طور معمول ۶-۵ صفحه، روی هم قرار دارد. در بعضی نقاط از نوعی تغلیظ کننده که فقط ۲ صفحه دارد، استفاده می‌شود.

جنس صفحات چوبی است و در مواردی دارای روکش لینولئوم می‌باشد، صفحات به طور معمول ۲ تا ۳ متر عرض و ۳ تا ۵ متر طول دارند، این دستگاه‌ها در مورد سنگ‌های معدنی که فلز آن‌ها خالص است، کارآیی بهتری دارند.

معمولاً با این دستگاه‌ها مواد معدنی بسیار کم‌عیار را که از نظر اقتصادی قابل پرعیارسازی با دستگاه‌های دیگر نیستند، پرعیار می‌کنند. این دستگاه‌ها و مصرف انرژی آن‌ها بسیار کم

۱- Buckman

است و برای استخراج ذرات فلزی طلا و غیره استفاده می‌شوند و گاهی اوقات محصول کم عیار دستگاه‌های فلوتاسیون جهت به دست آوردن آخرین ذرات معدنی با صفحهٔ بکمن مجدداً تغلیظ می‌شوند.



طرز کار میز تغلیظ بکمن

جدول مشخصات صفحه تغلیظ بکمن

مشخصه	اندازه ــ مقدار
طول صفحات	۵ــ۳ متر
عرض صفحات	۳ــ۲ متر
ظرفیت در ۲۴ ساعت	۰/۵ــ۰/۳ تن در هر متر عرض
سرعت جریان آب روی صفحات	۳۰ سانتی‌متر
راندمان	۵۰ــ۳۰ درصد و اکثر ۶۰ درصد
عمر مفید صفحات	۱/۵ــ۱ سال
مصرف آب به ازای هر تن جامد	یک مترمکعب

۹ــ۲ــ میز گردان[۱]

این نوع میزها از یک صفحهٔ مخروطی شکل با سطحی شیب‌دار، که قابل دوران حول محور عمودی خود می‌باشد، تشکیل شده‌اند. شیب صفحهٔ مخروطی به خارج و در مواردی به داخل می‌باشد.

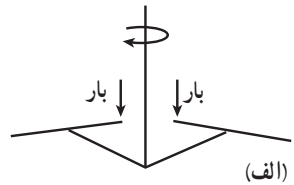
۱ــ Revolving table

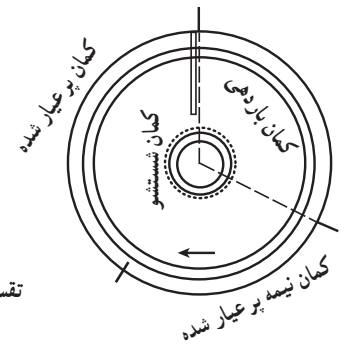
هنگامی که شیب میز به طرف مرکز میز قرار دارد هرقدر به مرکز میز نزدیک‌تر شویم، دبی جریان بیشتر می‌شود و در نتیجه، سطح جریان کمتر می‌گردد. در صورتی که اگر شیب به طرف خارج باشد با دور شدن از محور چرخش، چون سطح اضافه می‌شود، دبی جریان کمتر می‌گردد. به طوری که در شکل قسمت «الف» ملاحظه می‌گردد، ذرات درشت و سنگین در کناره باقی مانده، (اصولاً به حرکت درنمی‌آیند) و ذراتی که به حرکت درآمده‌اند هر قدر به طرف مرکز نزدیک‌تر شوند، سرعت بیشتری یافته، خارج می‌گردند، در حالی که در میز شکل «ب» تقریباً تمام ذرات در مرکز به حرکت درآمده، هر قدر به جداره‌ها نزدیک شوند، به علّت کم شدن جریان آب قادر به حمل ذرات نبوده، آن‌ها را به ترتیب وزن مخصوص جا می‌گذارد و فقط ذرات بسیار کوچک همراه با آب خارج می‌شوند. لذا میزهای دارای شیب به طرف خارج، مزیت بیشتری دارند.

هرچه شیب میز بیشتر باشد، عیار کمتر و ظرفیت بیشتر است ضمن آنکه شیب میز به درشتی و ریزی ذرات نیز، بستگی دارد و هر قدر ذرات ریزتر باشند، میز باید از شیب کمتری برخوردار باشد. سرعت دورانی میز به شیب میز و سرعت ذرات روی میز بستگی دارد. هر قدر سرعت دورانی بیشتر باشد سرعت ذرات روی میز زیادتر می‌گردد، ولی این سرعت دورانی نباید آنقدر زیاد شود که ذرات در اثر نیروی گریز از مرکز به خارج پرتاب گردند. به این دلیل با درشت‌تر شدن ذرات، سرعت دورانی میز کمتر می‌شود.

نحوهٔ باردهی میز از مرکز بوده و قطاعی از دایره مرکزی را در برمی‌گیرد که به آن «قطاع باردهی» گویند. بقیهٔ طول کمان برای شستشو استفاده می‌گردد و «کمان شستشو» نامیده می‌شود محیط دایرهٔ مرکزی به دو قسمت باردهی و شستشو تقسیم می‌شود. در قسمت باردهی مخلوط جامد و آب به طور یکنواخت ریخته می‌شود که آب ذرات نرم و سبک را با خود حمل کرده، خارج می‌کند و ذرات سنگین روی سطح میز باقی می‌ماند، چون میز در حال گردش است این ذرات به قسمت دیگر برده می‌شوند تا آب با فشار زیاد آن‌ها را شسته، تقسیم‌بندی کند.

تصویر شماتیک میز گردان





تقسیم‌بندی قسمت‌های مختلف میز گردان

در جدول برخی از مشخصات میزهای گردان ذکر شده است :

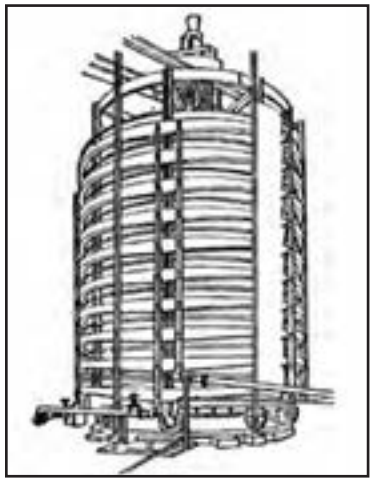
جدول مشخصات مختلف میز گردان

مشخصه	اندازه ــ مقدار
قطر میز	حدود ۶ متر
شیب کلی میز	۱۰ــ۸ سانتی‌متر در یک متر طول
دور ماکزیمم	یک دور در دقیقه
دور مینیمم	یک دور در ۳۰ دقیقه
دور معمولی	یک دور در ۴ دقیقه
اندازه کمان باردهی	۲۷۰ ــ ۹۰ درجه
عیار بار ورودی	۴ــ۲ درصد
عیار ماده پرعیار شده	۲۰ــ۱۰ درصد

برای تغلیظ هرچه بیشتر مادهٔ معدنی، پس از آن عیار محصول «کنسانتره» به حدّ معینی رسید، می‌توان محصول پرعیار شدهٔ یک میز را روی میز دیگری برد و آن را پرعیار کرد و بدین ترتیب، عیار نهایی را به حدود ۶۰ درصد رساند.

میزهای گردانی که در صنعت مورد استفاده قرار می‌گیرند تعداد زیادی صفحهٔ موازی دارند که روی هم و با فواصل مساوی ۳۵ــ۳۰ سانتی‌متر قرار می‌گیرند. این دستگاه‌ها روزانه تا صد تن سنگ معدن را پرعیار نموده و عیار متوسط آن را از ۵ــ۳ به ۲۰ــ۱۵ درصد می‌رسند.

جنس صفحات اغلب سیمانی است و از این نوع میزها بیشتر در مواردی که ذرات حاصل بسیار نرم‌اند یا آن که پرعیار کردن آن‌ها توسط عمل فلوتاسیون مقرون به صرفه نباشد، استفاده می‌شود. کاربرد این میزها در مورد سنگ‌های معدنی روی و قلع متداول بوده، برای کاستریت تا ۸۰ درصد بازدهی گزارش شده است.



میز گردان در مقیاس صنعتی

۹ــ۳ــ دستگاه‌های متحرک

در این دستگاه‌ها صفحهٔ شیب‌دار، ساکن نیست و یک حرکت لرزشی، معمولاً در جهت عمود بر حرکت آب وارد سطح این دستگاه‌ها صاف نیست و دارای تعدادی شیار است. دستگاه‌هایی که در این قسمت به‌کار می‌روند. عبارت‌اند از : میز لرزان[۱]، میز ویلفلی[۲] و اسپیرال‌ها[۳].

۹ــ۳ــ۱ــ میزهای لرزان : سطح جدا کننده یا سطح میز در جهت طول میز حرکت لرزشی سریعی دارد و در حدود چند درجه با سطح افق، زاویه می‌سازد چنان که آب در جهت عرض میز و قائم بر جهت حرکت میز، جریان دارد. سطح این میزها دارای نوارهائی است که باریک و طویل بوده، به موازات یکدیگر روی سطح میز، کوبیده شده‌اند. همچنین می‌توان شیارهائی با ایجاد شکاف در تختهٔ سطح به وجود آورد؛ و انتهای نوارها را می‌توان طوری قطع کرد که همگی در یک خط مورب قرار گیرند؛ و یا این که انتهای آن‌ها در امتداد خط مستقیم قرار گیرد. حرکت نوسانی میز به وسیلهٔ یک موتور تأمین می‌شود. حرکت سریع میز باعث به هم خوردن ذرات شده، آن‌ها برحسب وزن مخصوص و اندازه، طبقه‌بندی می‌گردند؛ به طوری که ذرات سنگین در ته شکاف‌ها قرار می‌گیرند و چون حرکت در جهت شیارهاست به سمت انتهای میز حرکت می‌کنند؛ جریان آبی که در عرض میز حرکت می‌کند، ذرات سبک را که در لایهٔ بالایی قرار گرفته‌اند، شسته، در امتداد شیب میز پایین می‌راند. متداولترین نوع میزهای لرزان میز ویلفلی می‌باشد که در اینجا به شرح آن می‌پردازیم :

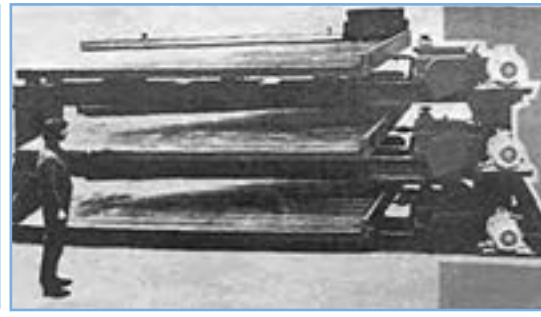
۹ــ۳ــ۲ــ میز ویلفلی : این میز یکی از متداولترین میزها در نوع خود است که تاکنون تغییرات زیادی داشته است. امروزه بیش از ۲۲ هزار نمونه میز ویلفلی در جهان مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این میز برای سهولت کار، قسمت بالا را قسمت «بار» و قسمت پایین را قسمت «باطله» قسمتی که مواد پرعیار شده را می‌دهد قسمت «کنسانتره» و قسمت موتور را قسمت «مکانیزم» می‌نامند. این میز با یک موتور، حرکت رفت و آمد پیدا می‌کند؛ قسمت بالای آن یعنی محل باردهی، در حوالی قسمت مکانیزم، قرار گرفته است و میز شیبی عرضی به سمت پایین دارد. در کنار قسمت باردهی جعبهٔ آب شستشو وجود دارد که آب را به طور یکنواخت روی سطح میز می‌پاشد. سطح میز به وسیلهٔ روکشی از لینولئوم پوشانده شده است و صفحهٔ آن مستطیل یا ذوزنقه‌ای شکل است که روی آن با نوارهای چوبی، شیاردار گردیده چنان که ضخامت شیارها از قسمت باردهی به طرف کنسانتره به تدریج کم می‌شود. انتهای شیار، خط موربی را تشکیل می‌دهد که از بلندترین شیار در قسمت باطله به کوتاه‌ترین شیار در قسمت باردهی منتهی می‌گردد. پهنای شیارها در تمام نوار استاندارد و معادل ($\frac{۱}{۴}$ اینچ) ۶/۵ میلی‌متر است.

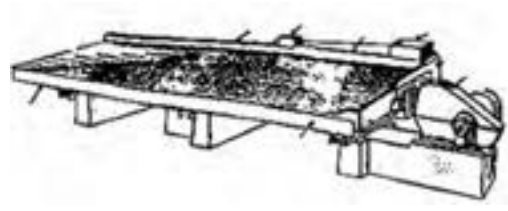
۱ــ Shaking Tables ۲ــ Wilfley table ۳ــ Spiral

میز معمولاً دارای یک شیب عرضی و یک شیب طولی می‌باشد و تعدادی اهرم در زیر صفحه، نصب شده است که شیب طولی یا عرضی صفحه را کم و زیاد می‌کنند. محصولی که از میز به دست می‌آید سه قسمت می‌شود؛ قسمت اول گانگ است که از طول میز به خارج می‌رود و قسمت دوم که در منتهی الیه قسمت طولی قرار دارد، محصولی می‌دهد که هم شامل مادهٔ معدنی و هم مقداری از گانگ سنگین است و در آخر محصول تغلیظ شده که از عرض میز خارج می‌شود.

یکی از مسائل مهمی که در مورد میزها باید در نظر گرفت، یکنواخت بودن ابعاد ذرات می‌باشد به طور کلی ذرات بسیار نرم در روی میز، نتیجهٔ خوبی ندارد و همچنان که ذرات درشت نیز بازدهی خوبی ندارند. بهترین ابعاد برای کار میز بین ۰/۲ تا ۲ میلی‌متر می‌باشد. بازدهی میزها به ابعاد ذرات، اختلاف وزن مخصوص و بالاخره درصد عیار کانی مورد نظر در قسمت پرعیار شده بستگی دارد. هر قدر بخواهیم در قسمت پرعیار شده، عیار کانی مورد نظر را بالا ببریم، کارآیی پایین‌تر خواهد آمد.

البته ناگفته نماند، که سنگ‌های کربناته به علّت آن که دارای وزن مخصوص بسیار نزدیکی به وزن مخصوص گانگ (که اکثراً از سیلیس و سیلیکات‌ها تشکیل شده است) می‌باشند کارآیی خوبی ندارند، ولی در مورد سولفیدها بخصوص گالن کارآیی بسیار مطلوبی دارد.





میز لرزان

جدول مشخصات میز ویلفلی

مشخصه	اندازه ــ مقدار
طول میز	۵ متر
عرض قسمت فوقانی	۲ متر
عرض قسمت تحتانی	۱/۵ متر
شیب عرضی نسبت به افق	۱۰ــ۴ درجه
شیب طولی برای ذرات نرم	۴ــ۲ سانتی‌متر در هر متر طول
شیب طولی برای ذرات درشت	۸ــ۵ سانتی‌متر در هر متر طول
تعداد رفت و آمد میز	۲۸۰ ــ ۲۳۰ بار در دقیقه
دانهٔ حرکت	۳ــ۲ سانتی‌متر
مصرف آب	۶ــ۴ مترمکعب برای هر تن سنگ معدن
کارآیی جدایش	۶۰ــ۵۰ درصد
ظرفیت با بار به ابعاد ۰/۸ میلی‌متر در مورد سنگ معدن گالن	۲۰ تن در ۲۴ ساعت

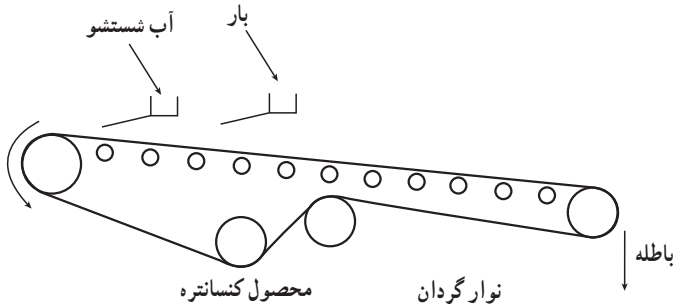
۹ــ۳ــ۳ــ نوارهای گردان : این دستگاه از یک نوار بی‌انتها تشکیل گردیده که مواد توأم با آب بر روی آن وارد می‌شود و مواد سبک و ریز در جهت شیب، به طرف پایین حرکت می‌کنند و مواد سنگین در اثر حرکت نوار و در جهت عکس شیب بالا برده شده، با آب شستشو می‌شوند. جریان آب باعث شستن مواد متوسط به طرف پایین شده، مواد سنگین را به سمت مواد کنسانتره می‌راند. برای جلوگیری از تقسیم و طبقه‌بندی شدن مواد در امتدادهایی موازی با امتداد جریان و همچنین برای کمک به جدا شدن مواد، تمام نوار با یک حرکت سریع، لرزانده می‌شود.

تسمه‌های نوع «فرو[۱]» و «ایسبل[۲]» متداول‌تر از سایر تسمه‌ها می‌باشند.

با این وسیله می‌توان مواد خیلی ریز، یعنی نرمه‌ها را که با میز پرعیار نمی‌شوند، پرعیار کرد البته کارآیی آن معمولاً ۵۰٪ یا کمتر، است. باری که وارد نوار گردان می‌شود، باید قبلاً توسط کلاسیفایر آبی تقسیم‌بندی شده، هر طبقه بر روی یک ردیف نوارگردان جهت کار، قرارگیرد در بعضی از نوارها شیارهایی عمود بر جهت حرکت آب، ایجاد می‌نمایند و این موضوع گاهی باعث نتیجهٔ بهتر و گاهی برعکس می‌شود. دامنهٔ نوسان در نوع «فرو»، از (یک اینچ) ۲/۵۴ سانتی‌متر برای مواد نرم تا (۲ اینچ) حدود ۵ سانتی‌متر برای مواد درشت‌تر (۳۰ مش) و مقدار لرزش ۲۰۰ بار در دقیقه می‌باشد. در

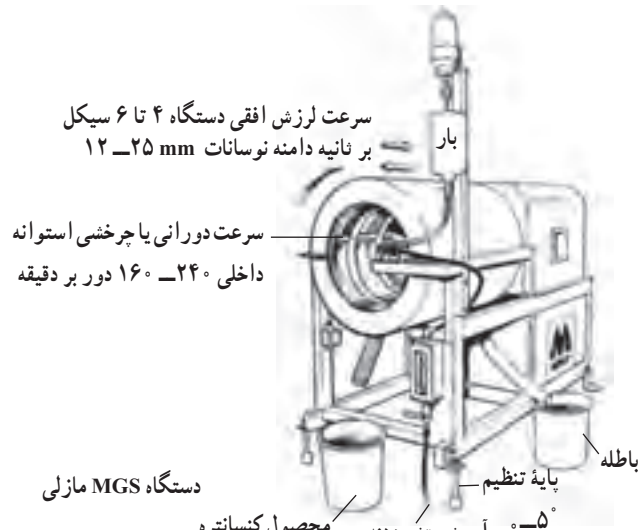
۱ــ Frue ۲ــ Isell

نوارهای شیاردار، شیارها را معمولاً با کوبیدن نوارهای تخته‌ای در فواصل و زوایای معین، ایجاد می‌کنند. ظرفیت نوارها به طور متوسط یک تن در ۲۴ ساعت برای یک فوت از عرض نوار می‌باشد و این ظرفیت با مشخصات موادی که باید جدا شوند، تغییر خواهد کرد.



مطالعه آزاد

جدیدترین دستگاهی که باید به آن اشاره کرد. دستگاه «MGS[1]» است که از میز «سانتریفوژ» و حرکت «خارج از مرکز» در طراحی آن استفاده شده، با آب کار می‌کند. این میز فقط در شرکت «مازلی» تولید می‌شود.



۱ــ Multi Gravity separator

خودآزمایی

۱ـ در جریان پرعیار کردن مواد معدنی برای آن که ذرات از یکدیگر جدا شوند، از کدام یک از میزها توسط آب استفاده می‌شود؟

۲ـ زاویهٔ بحرانی شیب را تعریف کنید.

۳ـ برای آن که عمل پرعیار کردن توسط میزها به خوبی انجام شود چه شرایطی را باید مورد توجه قرار داد؟

۴ـ صفحهٔ تغلیظ «بکمن» دارای چه مزایایی است؟

۵ـ با رسم شکل میزگردان و اساس کار آن را شرح دهید.

۶ـ با رسم شکل، قسمت‌های مختلف میز گردان را نام‌گذاری کنید.

۷ـ کارآیی میز ویلفلی در مورد سنگ‌های کربناته و سولفید (بخصوص گالن) چه تفاوتی با هم دارد؟

۸ـ طرز عمل نوارهای گردان چگونه است؟

فصل ۱۰ جدایش به روش مغناطیسی

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

۱ـ چگونگی پرعیار کردن با استفاده از روش مغناطیسی را به اختصار شرح دهد.

۲ـ خاصیت کانی‌ها را از نظر جدا شدن با مغناطیس بیان کند.

۳ـ جدا کننده‌های مغناطیسی را با ذکر انواع آن‌ها تشریح کند.

۱۰ــ آشنایی

پرعیار کردن مواد معدنی با استفاده از خاصیت مغناطیسی، در قرن اخیر در فناوری پرعیارسازی ارزش فراوانی پیدا نمود، بخصوص در مورد جدا کردن مواد معدنی آهن از قبیل منیتیت، هماتیت و لیمونیت از باطله‌های همراه، جدا کردن اسفالریت از کانی پیریت که به طریق مرطوب دشوار است، از طریق جدا کننده‌های مغناطیسی با حرارت دادن و تبدیل پیریت به سولفید یا اکسید مغناطیسی به سهولت انجام می‌شود.

یکی دیگر از موارد استفاده از جدا کننده‌های مغناطیسی، در جدا کردن قطعات آهنی است که ممکن است در ضمن عملیات وارد ماده معدنی شده باشد و در دستگاه‌های خرد کننده تولید اشکال کند. جدا کننده‌های مغناطیسی، امروزه به صورت یکی از مؤثرترین و اقتصادی‌ترین ماشین‌های پرعیارسازی در آمده‌اند، ضمن آن که هزینهٔ نگهداری و تعمیرات آن‌ها نیز، زیاد نیست و از بازدهی بسیار عالی هم برخوردار می‌باشند، به نحوی که این بازدهی معمولاً بیش از ۹۰ درصد و گاهی تا ۹۹ درصد نیز، می‌رسد و در این موارد هیچ روش دیگر پرعیار کردن قابل رقابت با این روش نیست.

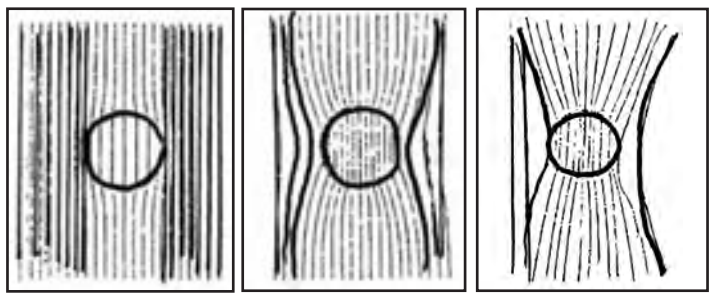
۱۰ــ۱ــ خاصیت کانی‌ها از نظر جدا کردن با مغناطیس

از نظر خواص مغناطیسی کانی‌ها را به سه گروه تقسیم می‌کنند :

اجسام دیامنیتیت[۱] : در این کانی‌ها مغناطیس شدن یک رابطهٔ خطی با میدان مغناطیسی دارد، ولی چون ضریب مغناطیس شدن در آن‌ها کوچک و منفی است، لذا تأثیر مغناطیس در آن‌ها کم بوده، این مواد جذب آهن‌ربا نمی‌شوند.

اجسام پارامنیتیت[۲] : در این کانی‌ها مقدار زیادی از اتم‌های جسم دارای حرکات دائم مغناطیسی می‌باشند؛ امّا این حرکات اتم‌ها به طور پراکنده انجام می‌شود و در نتیجه جسم، خاصیت مغناطیسی پیدا نمی‌کند، ولی اگر یک میدان مغناطیسی ایجاد شود، اتم‌ها در جهت میدان مغناطیسی قرار خواهند گرفت. این تأثیر یعنی تأثیر مغناطیسی بر یکایک اتم‌ها و یون‌ها را پارامنیتیزم[۳] می‌گویند.

اجسام فرومنیتیت : در این کانی‌ها حرکت مغناطیسی موازی وجود دارد و خاصیت اصلی آن‌ها این است که اگر در یک میدان مغناطیسی قرار گیرند، چند برابر کانی‌های دیگر مغناطیس می‌شوند و این مغناطیس شدن، غالباً موقتی است. از بین عناصر فقط آهن، نیکل، کبالت، گادولینیم[۴] و بعضی از عناصر کانی‌های کمیاب، فرومنیتیت هستند همچنین تعدادی آلیاژ و ترکیبات دارای خواص فرومنیتیت می‌باشند.



اجسام دیامنیتیت　　اجسام پارامنیتیت　　اجسام فرومنیتیت

در جدول صفحهٔ بعد مواد معدنی که کم و بیش خاصیت مغناطیسی دارند، نام برده شده است. خاصیت مغناطیسی آهن خالص در جدول، به عنوان مبنا گرفته شده و به آن عدد ۱۰۰ داده شده، و خاصیت مغناطیسی سایر کانی‌ها بر مبنای آن، محاسبه شده است.

گوگرد و اکسیژن دارای خاصیت پارامنیتیت می‌باشند لذا، کانی‌های سولفیدی دارای خاصیت مغناطیسی ضعیفی هستند که در میدان مغناطیسی خیلی قوی، می‌تواند پرعیار شود. به‌طور کلی،

۱ــ Diamagnetic　　۲ــ Paramagnetic　　۳ــ Paramagnetism　　۴ــ Gadolinium

کانی‌ها را برحسب خاصیت جذب مغناطیسی به ۴ دسته تقسیم می‌کنند :

۱ــ دستهٔ اول : موادی هستند که می‌توان آن‌ها را با استفاده از یک میدان نسبتاً ضعیف جذب آهن‌ربا کرد، این دسته شامل منیتیت، فرانکلینیت و ماگمیت می‌باشد.

۲ــ دستهٔ دوم : کانی‌هایی که خاصیت جذب مغناطیسی در آن‌ها متوسط است. این گروه شامل ایلمنیت ــ پروتیت ــ لیمونیت ــ مارتیت و مانگانیت می‌باشد.

۳ــ دستهٔ سوم : کانی‌هایی که خاصیت جذب مغناطیسی در آن‌ها ضعیف است و فقط در یک میدان خیلی قوی می‌توان آن‌ها را جذب نمود. این گروه شامل تمام موادی می‌باشد که دارای منگنز ــ اکسید آهن ــ تیتانیم و تنگستن باشند و نیز بعضی دیگر از اکسیدها مثل گرونا ــ بیوتیت ــ اولیوین ــ پیروکسن ــ هورن بلند ــ را دربرمی‌گیرد.

خاصیت مغناطیسی کانی‌های مختلف برحسب سنجش با آهن خالص

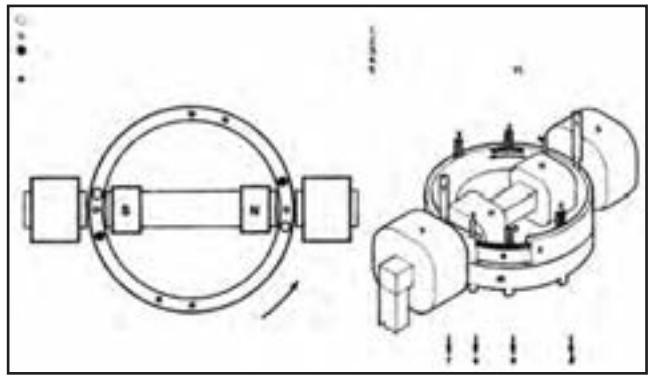
نام کانی	عدد	نام کانی	عدد	نام کانی	عدد
آهن	۱۰۰	هماتیت	۱/۳۲	کوارتز	۰/۳۷
منیتیت	۴۰/۱۸	زیرکن	۱/۰۱	روتیل	۰/۳۷
فرانکلینیت	۳۵/۳۷	لیمونیت	۰/۸۴	دولومیت	۰/۲۲
ایلمنیت	۲۴/۳۷	کروندون	۰/۸۳	آپاتیت	۰/۲۲
پیروتیت	۶/۶۹	پیرولوزیت	۰/۷۱	تالک	۰/۱۵
سیدریت	۱/۸۲	مگانیت	۰/۵۲	منیزیت	۰/۱۵
		کالامین	۰/۵۱	ژیپس	۰/۱۲
				کالسیت	۰/۰۳

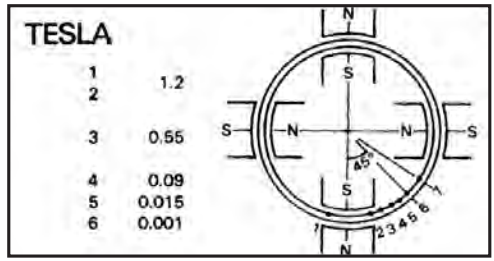
۴ــ دستهٔ چهارم : موادی که جذب آهن‌ربا نمی‌شوند، این دسته از مواد دیامنیتیتی تشکیل شده‌اند و به علاوه تمام مواد غیرمغناطیسی دیگر به این دسته تعلق دارد و شامل شئلیت ــ مولیبدنیت ــ کاستریت ــ کوارتز ــ کلسیت ــ فلدسپات و موارد مشابه است.

۱۰ــ۲ــ جدا کننده‌های مغناطیسی

در این دستگاه‌ها از خاصیت مغناطیسی مواد معدنی استفاده می‌شود و بنابراین اولین شرط به کار گرفتن این دستگاه آن است که سنگ معدن، خاصیت مغناطیسی داشته باشد. این دستگاه‌ها در ابتدای کاربرد، برای جدا نمودن سنگ‌های معدنی که خاصیت مغناطیسی قوی دارند، استفاده

می‌شدند. و در اواخر قرون وسطی از آهن‌رباهای دستی استفاده می‌شد ولی بعدها دستگاه‌های قوی‌تری ساخته شد که با آن موفق به جدا کردن کانی‌هایی با خواص مغناطیسی ضعیف از قبیل سیدریت و غیره شدند. برای آنکه سنگ‌های معدنی مغناطیسی را جدا کنند، احتیاج به آهن‌ربا می‌باشد. برای ایجاد خاصیت آهن‌ربایی معمولاً میله‌های آهن را برداشته، درون سیم‌پیچی که در آن یک جریان دائمی عبور می‌کند، قرار می‌دهند. در اثر عبور جریان در میله آهنی، خاصیت آهن‌ربایی ایجاد می‌شود که اگر جریان قطع شود، خاصیت آهن‌ربایی کم شده، بعد از مدتی از بین می‌رود.





امروزه آلیاژهائی از آهن ساخته شده که به محض قطع جریان برق، خاصیت آهن‌ربایی خود را از دست می‌دهند. بدیهی است که بعضی از سنگ‌های مغناطیسی آسان‌تر جدا شده، به میدان آهن‌ربایی چندان قوی‌ای نیاز ندارند؛ ولی در برخی دیگر برای جدا نمودن به میدان‌های قوی آهن‌ربایی احتیاج است، لذا باید میدان مغناطیسی را توسط دستگاه‌های مختلفی کنترل نمود.

نکتهٔ حائز اهمیت این است که دستگاه‌های جدا کننده مغناطیسی نیز با هم اختلافاتی دارند که در اینجا به تعدادی از آن‌ها اشاره می‌شود :

الف) سیستم مغناطیسی : سیستم مغناطیسی یک جدا کنندهٔ مغناطیسی، می‌تواند الکترومغناطیس و یا مغناطیس دائمی باشد. ایجاد مغناطیس در الکترومغناطیس عموماً به وسیلهٔ جریان دائمی و به ندرت

به وسیلهٔ جریان متناوب صورت می‌گیرد. الکترومغناطیس در تمام موارد، چه برای میدان‌های ضعیف و چه در میدان‌های قوی به کاربرده می‌شود. ناگفته نماند که در پرعیارسازی به روش مغناطیسی کاربرد مغناطیس دائمی به خاطر محسنات زیاد آن از قبیل ساختمان سادهٔ آن (ایمنی و غیره) در میدان مغناطیسی ضعیف، به سرعت پیشرفت کرده است. به طور کلی جدا کننده‌های مغناطیسی به سیستم مغناطیسی بسته‌مانند، جداکنندهٔ حلقه‌ای باندار و سیستم مغناطیسی باز، مانند جدا کننده استوانه‌ای که قطب مغناطیسی در جدار داخلی آن قرار گرفته است، تقسیم می‌شود.

ب) روش ورود بار در جدا کننده مغناطیسی : روش ورودی بار در جدا کننده‌های مغناطیسی روش خشک و مرطوب متفاوت می‌باشد.

ج) وسایل لازم برای خروج و حمل ذرات مغناطیسی که در جدا کننده تحت جدایش قرار می‌گیرند.

د) ساختمان خارجی جدا کننده

هـ) دستگاه محرکه و وسایل اندازه‌گیری و کنترل آن : اصولاً جدا کننده‌های مغناطیسی برحسب نوع مغناطیس آن به دو دسته تقسیم می‌شوند : جدا کننده‌های مغناطیسی با میدان ضعیف و جدا کننده‌های مغناطیسی با میدان قوی.

عوامل دیگری که در دسته‌بندی جدا کننده‌های مغناطیسی در نظر گرفته می‌شوند، روش تروخشک است. عموماً دانه‌های خیلی نرم و نرم با خاصیت مغناطیسی قوی را به روش تر و دانه‌های نسبتاً ریز با خاصیت مغناطیسی ضعیف را به روش خشک و با جدا کنندهٔ استوانه‌ای پرعیار می‌کنند.

۱۰ــ۳ــ انواع جداکننده‌های مغناطیسی

۱۰ــ۳ــ۱ــ جدا کننده با میدان مغناطیسی ضعیف : جداکننده‌های مغناطیسی با میدان مغناطیسی ضعیف غالباً استوانه‌ای شکل می‌باشند که می‌توانند به دو طریقهٔ خشک برای دانه‌های درشت و مرطوب برای دانه‌های نرم به کاربرده شوند. در روش خشک مواد اولیه از بالا و در روشِ تر از پایین جدا کننده وارد می‌شود. انواع مختلف جدا کننده با میدان ضعیف عبارت‌اند از :

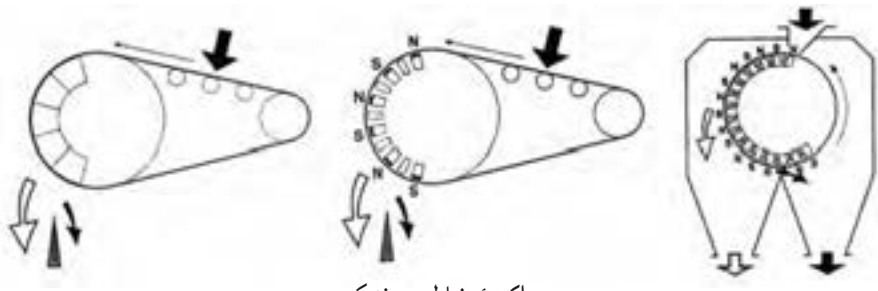
اول : جدا کنندهٔ استوانه‌ای به روش‌های خشک و مرطوب.

دوم : جدا کننده‌های مغناطیسی باندار.

۱۰ــ۳ــ۲ــ جدا کنندهٔ استوانه‌ای به روش خشک : در داخل استوانه که حرکت دورانی دارند، یک مغناطیس دو قطبی با مدار باز به طور ساکن قرار دارد. استوانهٔ خارجی باید از فلزی نظیر

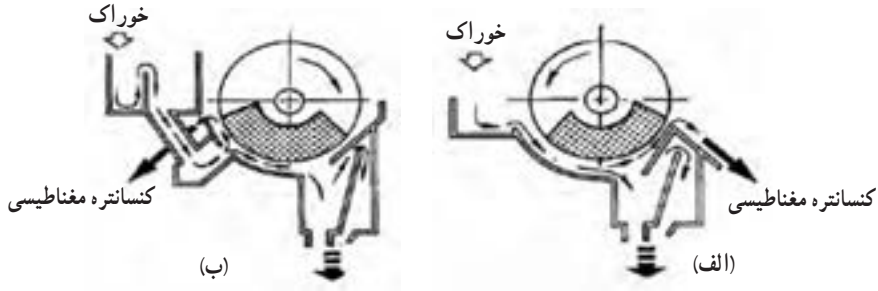
برنج که خاصیت مغناطیسی ندارد، درست شده باشد. مواد اولیه از بالای جدا کننده، وارد می‌شود و کانی‌هایی که خاصیت مغناطیسی ندارند، در روی استوانه لغزیده، و کانی‌هایی با خاصیت مغناطیسی جذب شده، به خارج هدایت می‌شوند.

قطر استوانه تا یک متر و طول استوانه تا ۱/۵ متر می‌باشد. سرعت دورانی برای دانه‌های درشت حدود ۱۵۰ میلی‌متر ۴۰ تا ۶۰ دور در دقیقه و برای دانه‌های نرم تا ۰/۴ میلی‌متر ۴۰۰ تا ۶۰۰ دور در دقیقه است.



جداکنندهٔ مغناطیسی خشک

۱۰ـ۳ـ۳ـ جدا کنندهٔ استوانه‌ای به روش مرطوب: این نوع از جدا کننده‌ها بیشتر برای پرعیارسازی مواد ریز که جدایش آن‌ها از طریق روش خشک ممکن نیست، به کار برده می‌شود. همچنین برای جدا کردن موادی مانند منیتیت استفاده می‌شود.



جداکنندهٔ مغناطیسی مرطوب

اجزاء مغناطیسی در میدان مغناطیسی خاصیت مغناطیسی دائمی را به خود می‌گیرند که باید از استوانه جدا گردند. امکاناتی که در تنظیم و جدایش مواد کانی بر روی این قبیل از جدا کننده‌ها وجود دارند، به شرح زیر است:

الف) تغییر شدت میدان مغناطیسی.

ب) امکان تغییر مکان مغناطیس به هر دو طرف استوانه که افزایش شدت میدان مغناطیسی را ایجاد می‌کند.

ج) تغییر حرکت دورانی استوانه، یعنی تعداد دور آن در دقیقه که تنظیم تعداد دور در آغاز کار یک جدا کننده، ضروری است.

امکانات ذکر شده وقتی در عمل جدایش تأثیر مثبت دارد که در بار ورودی جدا کننده، براده‌های آهن وجود نداشته باشد، در صورت حضور براده‌های آهن، میدان مغناطیسی ضعیف می‌شود.

۱۰ــ۳ــ۴ــ جدا کنندهٔ با میدان مغناطیسی قوی: جدایش سنگ آهن با خاصیت مغناطیسی ضعیف، به وسیلهٔ یک جداکنندهٔ مغناطیسی قوی کمتر متداول است زیرا با روش‌های دیگر امکان تغلیظ این نوع از کانی‌ها راحت‌تر و اقتصادی‌تر صورت می‌گیرد. به طورکلی سنگ آهن رسوبی، کربنات آهن و کانی‌های منگنز را با این روش می‌توان پرعیار نمود. علاوه بر این که این روش برای آماده کردن مواد اولیهٔ سرامیکی یعنی جدا کردن اجزاء مغناطیس محتوی مواد سرامیکی و تهیهٔ مادهٔ پرعیار شده کانی‌های سنگین، ارزش زیادی دارد. جداکننده‌های با میدان مغناطیسی خیلی قوی، برای دانه‌های کوچکتر از ۱۰ میلی‌متر به کاربرده می‌شوند.

جدول مشخصات جدا کنندهٔ مغناطیسی مرطوب

مشخصات جدا کنندهٔ مغناطیسی مرطوب	اندازه ــ تعداد
حداکثر نسبت جامد در مخلوط آب و سنگ	۳۰ درصد
حداکثر ابعاد ذرات	۴ میلی‌متر
ظرفیت نوع نواری (عرض یک متر)	۳۰ــ۱۴ تن در ساعت
عیار آهن پرعیار شده	٪۷۰
کارآیی	بیش از ۹۰ درصد

جدول مشخصات جدا کنندهٔ مغناطیسی خشک

مشخصات جدا کنندهٔ مغناطیسی خشک	اندازه ــ تعداد
سرعت دورانی چرخ	۵۰ دور در دقیقه
ظرفیت دستگاه	۱۰ تن در ساعت
عیار آهن ورودی	۳۵ــ۲۵ درصد
عیار آهن خروجی	۶۵ ــ ۵۰ درصد
آمپر جریان	۳۰ــ۵۰ آمپر
ولتاژ معمولی	۱۱۰۷
حداکثر کارآیی در شرایط عالی	٪۶۵

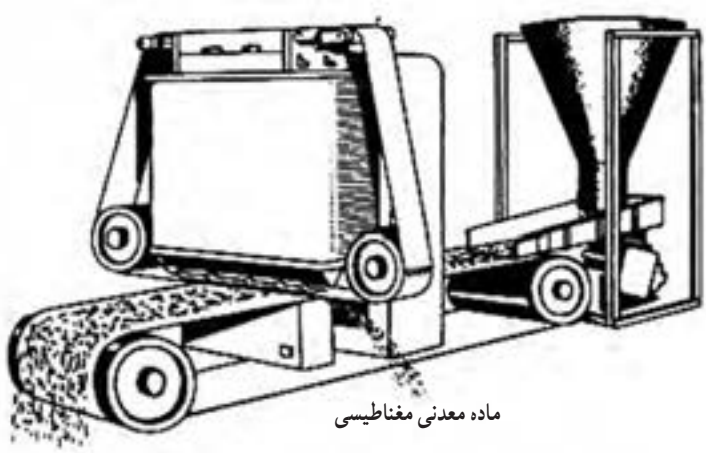
دانه‌های درشت‌تر کانی‌هایی با خاصیت مغناطیسی متوسط را هم می‌توان به کمک این روش، پرعیار کرد. مهم‌ترین جداکننده‌های مغناطیسی قوی خشک، عبارت‌اند از :

جدا کنندهٔ استوانه‌ای القایی، جدا کنندهٔ حلقه‌ای، جدا کنندهٔ باندی با باند مورب.

تناسب نیروی مغناطیسی و نیروی مقاومتی روش مرطوب، برای اجزاء پارامغناطیس در مقایسه با اجزاء مدنظر، کاربرد جداکننده‌های قوی را محدود می‌کند.

۱۰ــ۳ــ۵ــ جدا کنندهٔ مغناطیسی با باند مورب : مواد اولیهٔ خشک را درون یک باند مابین دو قطب یک مغناطیس القایی عبور می‌دهند؛ بعد از جذب اجزاء مغناطیس به وسیلهٔ یک باند دیگر که به طور مورب در روی باند اصلی در حرکت است، حمل می‌گردد. شدت جریان ضروری برای این نوع از جدا کننده‌ها ۳۵ــ۵ آمپر می‌باشد و سرعت باند برای اجزاء پارامغناطیس ۰/۵ــ۰/۲ متر در ثانیه است.

در جدا کننده‌های بزرگ با باند مورب، امکان ایجاد ۴ تا ۶ قطب مغناطیسی با شدت میدان‌های مختلف، وجود دارد و می‌توان ۷ــ۵ محصول را به این وسیله جدا کرد.



جداکنندهٔ مغناطیسی با باند مورب

مطالعه آزاد

۱۰ـ۴ ـ تبدیل سنگ‌های معدنی آهن به سنگ‌های معدنی مغناطیسی

(تشویه مغناطیسی) تعدادی از مواد معدنی دارای خواص مغناطیسی بسیار ضعیفی می‌باشند که حتی به وسیلهٔ آهن‌ربای قوی جذب نمی‌شوند، ولی می‌توان آن‌ها را با عملیات حرارتی مناسب، برای آهن‌ربا قابل جذب نمود. سولفیدهای غیرمغناطیسی را می‌توان به روش زیر به سولفیدهای مغناطیسی یا اکسیدهای مغناطیسی، تبدیل کرد مثلاً پیریت را می‌توان با حرارت دادن کوتاه مدّت، (۴۵ـ۱ دقیقه) طبق فرمول زیر به یک سولفید مغناطیسی (پیروتیت) تبدیل کرد.

$$۷FeS_۲ + \frac{۱}{۲}O_۲ \rightarrow Fe_۷S_۸ + ۶SO_۲$$

با ادامه مدت حرارت دادن، (۴ـ۲/۵ ساعت) سولفید تولید شده به اکسید مغناطیسی تبدیل می‌شود که به صورت زیر نشان داده شده است:

$$۳Fe_۷S_۸ + ۳۸O_۲ \rightarrow ۷Fe_۳O_۴ + ۲۴SO_۲$$

برای تبدیل پیریت به سنگ آهن مغناطیسی، حرارت ۵۰۰ تا ۶۰۰ درجه سانتی‌گراد، لازم است، مقدار اکسیژن نیز باید دقیقاً کنترل گردد. برای تبدیل هماتیت، سنگ آهن را به ابعاد ۳ تا ۱۰ میلی‌متر خرد کرده، مقدار ۴ تا ۱۰ درصد وزن سنگ معدن، کربن اضافه کرده، مخلوط را تا ۶۰۰ـ۴۰۰ درجه سانتی‌گراد حرارت می‌دهند مدت عمل حدود ۱/۵ دقیقه می‌باشد.

$$۶Fe_۲O_۳ + C \rightarrow ۴Fe_۳O_۴ + CO_۲$$

برای تبدیل سیدریت یا کربنات آهن طبق واکنش‌های زیر و در درجه حرارت ۷۰۰ تا ۸۰۰ درجه سانتی‌گراد عمل می‌شود.

$$CO_۳Fe \rightarrow CO_۲ + FeO$$
$$۳FeO + \frac{۱}{۲}O_۲ \rightarrow Fe_۳O_۴$$

اگر مقدار هوا بیشتر باشد، سنگ معدن تبدیل به $Fe_۲O_۳$ می‌گردد. در تمام حالات مذکور، مواد باید بلافاصله سرد شده تا از اکسیداسیون بعدی جلوگیری به عمل آید.

خودآزمایی

۱ـ کاربرد جدا کننده‌های مغناطیسی در صنعت را چگونه از لحاظ اقتصادی می‌توان توجیه کرد؟

۲ـ تفاوت اجسام دیامنیتیت و فرومنیتیت چیست؟ این تفاوت را با رسم شکل نشان دهید.

۳ـ اجسام پارامنیتیت دارای چه خصوصیتی هستند؟

۴ـ کانی‌های سیلیت، مولیبدنیت، کاستیریت، کوارتز، کلسیت و فلدسپات از لحاظ مغناطیسی چگونه هستند؟

۵ـ منیتیت، فرانکلیت و برخی از پیروتیت‌ها از لحاظ مغناطیسی شدن چگونه کانی‌هایی هستند؟

۶ـ کانی‌های سولفیدی از لحاظ خاصیت مغناطیسی چگونه هستند؟ دلیل آن چیست و به چه طریق می‌توان آن‌ها را پرعیار کرد؟

۷ـ برای ایجاد خاصیت مغناطیسی در یک میلهٔ آهنی چه باید کرد؟ از این خاصیت در پرعیار کردن مواد معدنی چگونه استفاده می‌کنند؟

۸ـ سیستم الکترومغناطیسی جدا کننده‌های مغناطیسی دارای چه خصوصیتی است و چگونه ایجاد می‌شود؟

۹ـ مزیت کاربرد مغناطیس دائمی چیست؟

۱۰ـ در جدا کننده‌های با میدان مغناطیسی ضعیف به روش خشک و مرطوب مواد اولیه چگونه وارد سیستم می‌شوند؟ هر کدام از این روش‌ها برای چه نوع موادی مناسب هستند؟

۱۱ـ چرا کاربرد جدا کننده‌های با میدان مغناطیسی قوی، برای جدایش سنگ آهن کمتر متداول است؟ و چه نوع موادی را با این روش می‌توان پرعیار کرد؟

فصل ۱۱

جدایش به روش الکتریکی و الکترواستاتیکی

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

۱ـ پرعیار کردن مواد در میدان الکتریکی را شرح دهد.

۲ـ اجسام عایق، هادی و نیمه هادی را شرح دهد.

۳ـ جداکننده‌های الکترواستاتیکی را تشریح کند.

۴ـ جدا کننده‌های الکترواستاتیکی مخزنی و چند استوانه‌ای را توضیح دهد.

۱۱ــ آشنایی

در میدان الکتریکی، مانند دو قطب مغناطیسی نیرویی وجود دارد که این نیرو در فضا بدون مادهٔ حمل کننده‌ای، انتقال پیدا می‌کند. عامل این نیرو، انرژی الکتریکی است که در میدان الکتریکی وجود دارد. بار الکتریکی به وسیلهٔ این انرژی که در محیط خود اثر می‌گذارد مشخص می‌شود. همیشه دو بار هم نام، همدیگر را دفع و دوبار غیر هم‌نام، یکدیگر را جذب می‌کنند. نیرویی که در اثر تأثیر دو بار الکتریکی بر یکدیگر حاصل می‌شود، توسط فرمول کولومب مشخص شده است.

$$F = \frac{q_1 q_2}{r^2}$$

که در آن :

F : نیروی الکتریکی

q_1 و q_2 : به ترتیب دو بار الکتریکی و

r : فاصله است.

پرعیارسازی و جدایش در میدان الکتریکی براساس دادن بار الکتریکی به دانه‌های مواد معدنی، می‌باشد. کمیت بار همیشه برای دانه‌ها متفاوت و علامت آن در بیشتر مواقع، مختلف است چون دانه در میدان الکتریکی، مسیر و مسافت مختلفی را طی می‌نماید. برای جدایش، دانه‌های مواد کانی را یا در مجاورت میدان الکتریکی، قطبی می‌کنیم و یا در اثر اصطاک باردار می‌نماییم. البته میدان الکتریکی فقط از اجسام عایق، عبور می‌کند. در این نوع اجسام الکترون آزاد، وجود ندارد لکن در اجسام هادی یک یا چند الکترون هر اتم آزاد یا نزدیک به آزاد، در حرکت‌اند و به وسیلهٔ جریان الکتریکی جابه‌جا می‌شوند. خاصیت متفاوت اجسام که همان قدرت انتقال الکترون‌ها در جسم می‌باشد، عامل اصلی جدایش در میدان الکتریکی است. براساس این نکته، اجسام به سه دسته تقسیم می‌شوند اجسام عایق ــ اجسام هادی ــ اجسام نیمه هادی. تعداد معدودی از کانی‌ها در شرایط حرارت معمولی، هادی و بیشتر آن‌ها عایق و بسیاری از آن‌ها نیمه هادی هستند.

الف) اجسام عایق : در اجسام عایق، حرکت الکترون‌ها حتی به میزان محدود هم، وجود ندارد؛ این اجسام در میدان الکتریکی فقط قطبی می‌شوند. بدین طریق که در هر کریستال عایق، باند انرژی بالایی کاملاً اشباع شده که در نتیجه، حرکت الکترون‌ها غیرممکن می‌گردد. بنابراین جریان الکتریکی که به وسیلهٔ انتقال الکترون‌ها حمل می‌گردد، وجود ندارد.

ب) اجسام هادی : یکی از خواص مشخصه‌های فلزات و آلیاژهای آن‌ها هدایت الکتریکی در آن‌ها می‌باشد. اجسام هادی در واقع اجسامی هستند که قادرند به سرعت الکترون‌های خود را جابه‌جا نموده، یک بار الکتریکی مثبت یا منفی در روی سطح خود ایجاد کنند؛ فلزات و اکثر سولفیدهای فلزی، جزء این دسته هستند.

ج) اجسام نیمه هادی : حمل جریان الکتریکی هم در این نوع از اجسام به وسیلهٔ الکترون انجام می‌گیرد. اختلاف آن با فلزات، وجود مقاومت زیاد در برابر حرکت الکترون‌ها می‌باشد، این اجسام در درجه حرارت صفر، کاملاً عایق بوده با افزایش درجه حرارت، هادی می‌شوند. البته اکثر کانی‌ها خاصیت نیمه هادی دارند.

اگر یک صفحه داشته باشیم که به شدت مثبت شده باشد، این جسم ذرات دیگری را که تحت تأثیر میدان الکتریکی آن، واقع شده‌اند و در نتیجه از یک طرف مثبت و از طرف دیگر منفی‌اند، به طرف خود جذب می‌کند و همین که این ذره در تماس با صفحهٔ مثبت قرار گرفت، اگر ذره، هادی باشد بلافاصله بار منفی خود را از دست داده، دارای بار مثبت می‌گردد در نتیجه صفحه و جسم، هر دو دارای بار مثبت شده، همدیگر را دفع می‌کنند و ذره از روی صفحه جدا شده، دفع می‌گردد. ولی اگر

جسم نیمه هادی باشد همین جریان پیش می‌آید با این تفاوت که مدت زمان بیشتری برای دفع ذرّه از روی صفحه، لازم است. از روی این اختلاف سرعت که ذره‌های هادی و غیرهادی، در از دست دادن بار منفی و هم بار شدن با منبع بار مثبت و جدا شدن آن دارند، در صنعت جدا کننده‌های الکترواستاتیکی ساخته شده که برای پرعیار کردن مواد معدنی، به کار می‌رود. به طور کلی نیروی کشش که روی یک ذرّه در میدان الکتریکی اثر می‌کند، با نیروی مغناطیسی که قبلاً شرح داده شد یکسان است.

۱۱ــ۱ــ جدا کننده‌های الکترواستاتیکی

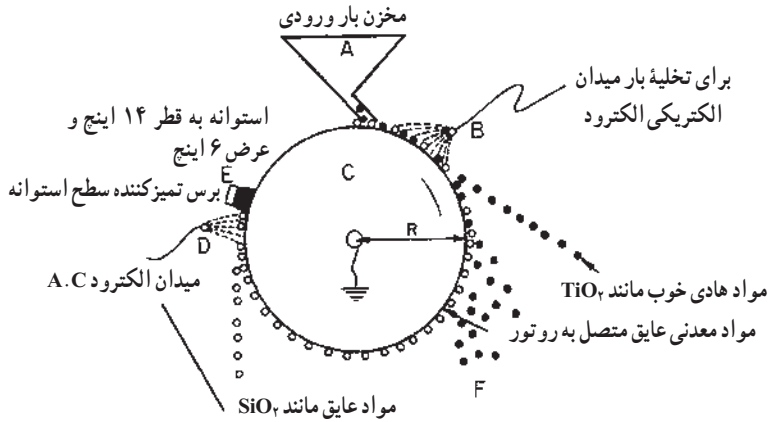
جداکننده‌های الکترواستاتیکی دو نوع‌اند : نوع اول دستگاه‌های الکترواستاتیکی با میدان‌های قوی؛ و نوع دوّم، الکترواستاتیکی با میدان‌های ضعیف. هر دو دستگاه در اساس یکی بوده، ولی جنس و مقدار نیروی مصرفی آن‌ها تفاوت دارند و باید در هر مورد (بسته به نوع سنگ معدنی) که می‌خواهند کار کنند، دستگاه با میدان قوی یا ضعیف را به کار ببرند.

جدایش دانه‌های کانی در جدا کنندهٔ الکترواستاتیکی، هنگامی میسّر است که بار دانه‌ها و مسیر حرکت دانه‌ها، مختلف باشد. مسیر حرکت دانه، نه فقط به نیروی الکتریکی، بلکه به نیروی جرمی یعنی نیروی ثقل و نیروی گریز از مرکز و همچنین نیروی مقاومت بستگی دارد. جدایش کانی در روی یک جدا کنندهٔ استوانه‌ای الکترواستاتیکی، دانه‌ها از مخزن کانی بر روی استوانهٔ دورانی جدا کننده (از نوع فلز تنگستن که در میدان الکترواستاتیکی الکترود مقابل E قرار گرفته است) به حرکت در می‌آیند، (این الکترود می‌تواند قطب مثبت یا منفی الکتریکی باشد). دانه‌هایی که کاملاً عایق هستند در میدان الکترواستاتیکی فقط قطبی می‌شوند و نیروی جاذبه مابین استوانه و دانه بسیار کم است. چنانچه نیروی ثقل و نیروی گریز از مرکز را هم در نظر بگیریم، با وجود دانه، مسافت بیشتری را در روی استوانه، حرکت خواهد کرد.

امّا دانه‌های هادی در میدان الکتریکی الکترود منفی فوراً به استوانهٔ فلزی الکترون می‌دهند. در نتیجه، مابین دانه و استوانهٔ فلزی یک نیروی الکتریکی دفع کننده است و بین دانه و الکترود در مقابل، یک نیروی الکتریکی جذب کننده (Fe) برقرار می‌شود.

با در نظر گرفتن نیروی ثقل و نیروی گریز از مرکز، دانه زودتر از جدار استوانه جدا می‌شود.

زاویهٔ α حالت جدا شدن اجزاء سنگ معدن را می‌رساند هرچه زاویهٔ α بزرگتر باشد، انتظار جدا شدن ایده‌آل، بیشتر است.



جداکننده الکترواستاتیکی استوانه‌ای

استوانه‌های دواری که در صنعت می‌سازند، به طور متوسط دارای ابعاد کوچک بوده، قطر آن‌ها در حدود ۱۵ سانتی‌متر و طول آن‌ها، دو متر می‌باشد. سایر مشخصات این دستگاه‌ها در جدول زیر ملاحظه می‌شود :

مشخصات دستگاه	اندازه ــ تعداد
سرعت دوران چرخ استوانه‌ای برای بار معمولی	۵۰ــ۱۵۰ rpm
سرعت دوران چرخ استوانه‌ای برای بار نرم	۴۰۰ دور در دقیقه
بار الکتریکی الکترود	۱۲ــ۲۰ هزار ولت
ظرفیت دستگاه	۱/۵ــ۲ تن در ساعت
درشتی ذرات بار ورودی	۰/۵ــ۱/۵ میلی‌متر
حرارت مناسب جهت کار دستگاه	۸۰ــ۹۰°C

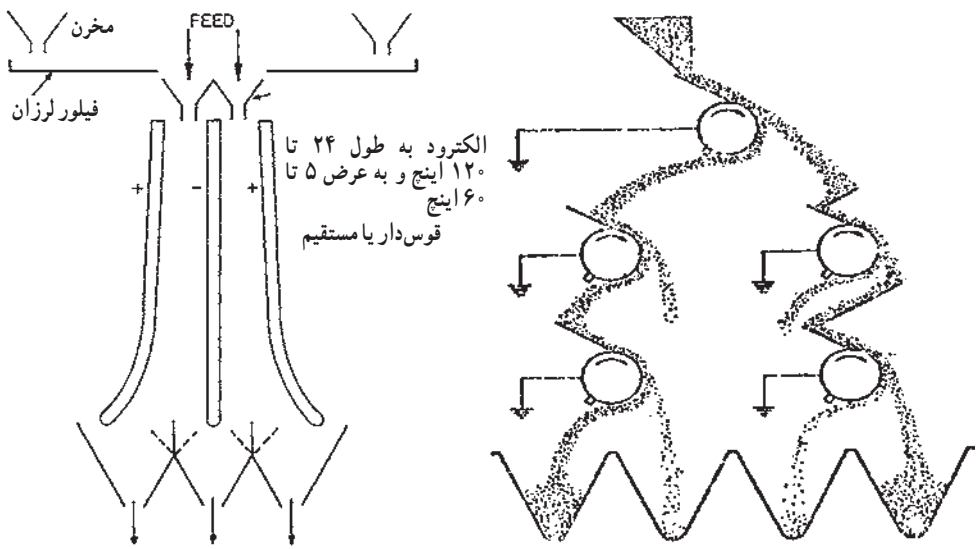
۱۱ــ۱ــ۱ــ جداکنندهٔ الکترواستاتیکی مخزنی : در این جدا کننده‌ها اجزاء موادی که جدایش می‌شوند، قبلاً در اثر اصطکاک باردار شده، بار مثبت یا منفی به خود گرفته‌اند، در نتیجه از بالای جدا کننده، به محیط جدایش نزدیک به محور مخزن، فرستاده می‌شوند.

محیط جدایش از دو الکترود صفحه‌ای (P_L) (که دو قطب مختلف الکتریکی می‌باشند) تشکیل شده است. دانه‌ها در اثر نیروی ثقلی «G» و نیروی مقاومت «W» سقوط می‌کنند. علاوه بر این دو نیرو، دانه‌های باردار، تحت اثر نیروی الکتریکی الکترودها قرار گرفته، به سمت الکترود مناسب با خود، جذب می‌شوند. برای جدایش بهتر، لازم است سعی شود که شارژ، مسافت سقوط و شدت میدان الکتریکی در حدامکان زیاد و بزرگ باشد.

۱۱ــ۱ــ۲ــ جداکنندهٔ الکترواستاتیکی چند استوانه‌ای : در این نوع دستگاه‌ها استوانه‌های

جداکننده، به دو گروه تقسیم شده‌اند که در گروه اول، اجزاء عایق از کانی جدا می‌شود و در گروه بعدی باقی ماندهٔ کانی که از اجزاء هادی و نیمه هادی تشکیل شده است، از یکدیگر جدا می‌شود. این جداکننده می‌تواند با قطب‌های مختلف الکترودها با ولتاژ ۱۸ــ۵ کیلووات و شدت جریان چند میلی‌آمپر، کار کند. به وسیلهٔ برس، همیشه سطح خارجی الکترودها کاملاً تمیز نگه داشته می‌شود.

سرعت دورانی استوانه‌ها می‌تواند بین ۴۰ تا ۱۵۰ دور در دقیقه، تغییر کند.



جداکننده الکترواستاتیکی چند استوانه‌ای

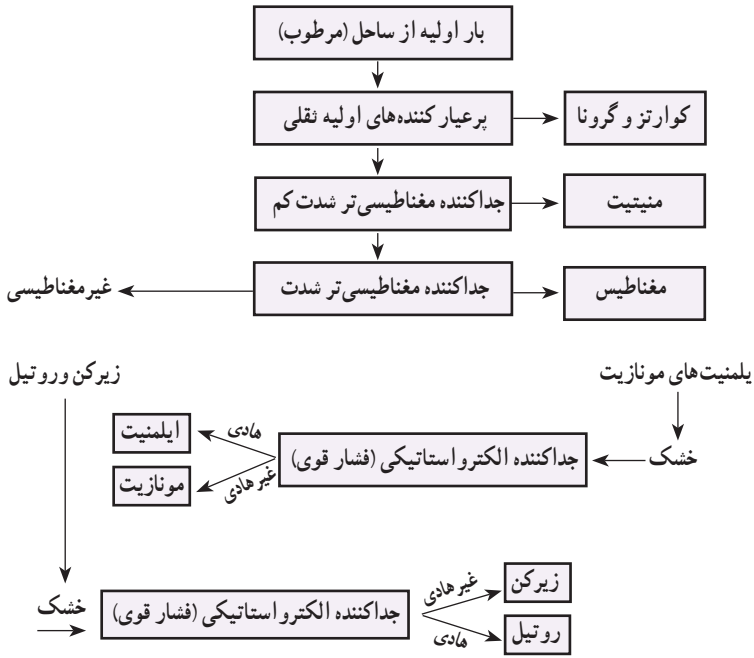
۱۱ــ۲ــ کاربرد ترکیبی جداکننده‌های مغناطیسی و الکترواستاتیکی

در این بخش سعی گردیده تا با مثالی ساده اهمیت و کاربرد روش‌های مغناطیسی و الکترواستاتیکی در صنایع معدنی بهتر مشخص شود.

مثال : معمولاً ماسه‌های ساحلی از موادی مانند کوارتز (۲/۶) گرونا (۳/۶) منیتیت (۵) ایلمنیت (۴/۷)، مونازیت (۵)، روتیل (۴/۲) و زیرکن (۴/۶) تشکیل شده است.

با توجه به جرم مخصوص و خواص مغناطیسی و الکترواستاتیکی، مدار ساده جدایش را ارائه دهید. اعداد داده شده جرم مخصوص کانی‌ها می‌باشد. شایان ذکر است مونازیت، کوارتز ، گرونا و زیرکن غیرهادی و منیتیت، ایلمنیت و روتیل هادی می‌باشند و از طرفی کوارتز، روتیل و زیرکن خاصیت دیامغناطیس،گرونا، ایلمنیت ومونازیت، پارامنیتیت ومنیتیت خاصیت فرومغناطیسی دارند.

بدین ترتیب می‌توان کانی‌های مهّم صنعتی را از یکدیگر جدا ساخت.



خودآزمایی

۱ـ فرمول کولومب را بنویسید و توضیح دهید که در میدان الکتریکی چه نیرویی وجود دارد و ویژگی آن چیست؟

۲ـ عامل اصلی جدایش ذرات در میدان الکتریکی چیست؟ براساس این خاصیت اجسام را چگونه دسته‌بندی می‌کنند؟

۳ـ تفاوت اجسام عایق و هادی از لحاظ انتقال الکترون‌ها چیست؟

۴ـ اجسام نیمه عایق دارای چه خصوصیتی هستند؟

۵ـ ماشین‌های جدا کنندهٔ الکترواستاتیکی، چند نوع‌اند؟

۶ـ جدایش دانه‌های کانی در جدا کنندهٔ الکترواستاتیکی در چه شرایطی میسّر است؟

۷ـ طرز کار جداکنندهٔ الکترواستاتیکی مخزنی را شرح دهید.

۸ـ استوانه‌های موجود در جدا کننده‌های استوانه‌ای به چند گروه تقسیم می‌شوند و هرگروه چه وظیفه‌ای دارند؟

فصل ۱۲
فلوتاسیون

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

۱ـ اصول اولیه فلوتاسیون را شرح دهد.

۲ـ تئوری فلوتاسیون و عملیات آن را بیان کند.

۳ـ خواص سه‌گانهٔ آب شامل کشش سطحی، هیدراتاسیون و تأثیر املاح محلول در آب را توضیح دهد.

۴ـ معرّف‌های فلوتاسیون را شرح دهد.

۵ـ سلول‌های فلوتاسیون را تشریح کند.

۶ـ مدار فلوتاسیون را توضیح دهد.

۱۲ــ آشنایی

فلوتاسیون امروزه یکی از مهم‌ترین روش‌های جداسازی مادهٔ معدنی با ارزش از باطله همراه است که از سابقهٔ تاریخی دیرینه‌ای برخوردار است. در یونان قدیم، روش ابتدایی فلوتاسیون معمول بوده است امّا بعدها فراموش شده، تا آن که مجدداً از اواخر قرن نوزدهم، بار دیگر رونق گرفت و امروزه مهم‌ترین روش برای پرعیار کردن مواد معدنی کم عیار است. مزیت عمدهٔ فلوتاسیون بر سایر روش‌های پرعیارسازی این است که موادی که عیار آن‌ها بسیار کم می‌باشد، توسط این روش پرعیار می‌شوند و نتایج مطلوبی نیز حاصل گردیده است.

پرعیار کردن مواد معدنی که عیار فلزی آن‌ها ۳ــ۰/۵ درصد می‌باشد، جز به روش فلوتاسیون، به هیچ روش دیگری ممکن و مقرون به صرفه نیست. زیرا عملاً پرعیار کردن این مواد با روش‌های فیزیکی، براساس وزن مخصوص، کارآیی بسیار پایینی دارد و بازیابی از ۴۰ــ۳۰ درصد تجاوز نمی‌کند. در حالی که بازیابی همین مواد توسط روش فلوتاسیون به ۸۰ تا ۹۰ درصد می‌رسد.

روش فلوتاسیون در اکثر معادن ایران، برای پرعیارسازی به کار گرفته می‌شود؛ به عنوان مثال می‌توان معادن زغال سنگ «پابدانا ــ باب نیزو» در کرمان، معدن زغال‌سنگ «تزره» در شاهرود، معدن زغال‌سنگ «زیرآب» در مازندان، معدن مس سرچشمهٔ کرمان و معادن سرب و روی «آهنگران» ملایر، «ایران کوه» اصفهان، «کوشک» یزد و «انگوران» زنجان و بسیاری دیگر را نام برد.

در این روش که براساس خواص سطحی ذرات استوار است، ذرات پس از آماده‌سازی با آب و مواد شیمیایی آماده و با تزریق حباب هوا، ذرات آب گریز جذب حباب و به سطح منتقل ولی ذرات آبگیر در ظرف باقی می‌ماند.

۱۲ــ۱ــ تئوری فلوتاسیون

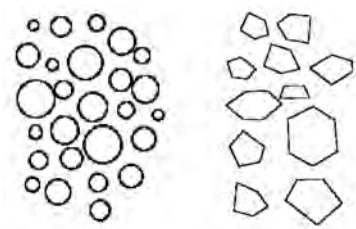
مراحل اولیهٔ کار فلوتاسیون بر آزمایش و تجربه استوار شده بود زیرا معلومات و مبانی علمی کمی در دسترس بوده، ولی در سال‌های اخیر، اصول تئوری آن کمک زیادی به توسعهٔ این فرایند نموده است. به طور کلی عملیات فلوتاسیون را می‌توان به سه قسمت تقسیم کرد :

۱ــ تشکیل کف؛

۲ــ تأثیر مواد شیمیایی بر روی کانی؛

۳ــ تشکیل مجموعهٔ حباب و کانی و شناور شدن آن؛

ایجاد کف : کف‌ها عبارت‌اند از حباب‌های هوا که درون آب قرار گرفته، تا حدودی ساختمانی مقاوم دارند. پراکنده کردن حباب‌های هوا، درون آب به طریق مکانیکی یا به وسیلهٔ هوای فشرده توسط کمپرسور یا هر دو طریق، انجام می‌شود. مشخصات کف از قبیل دوام، اندازهٔ حباب‌ها، الاستیسیته، فراوانی حباب‌ها و غیره به وسیلهٔ وجود اجسامی که خواص سطحی آب را تغییر می‌دهند، تعیین می‌شود. این مواد که کف کننده نام دارند، به مقدار کم در آب حل می‌شوند، کشش سطحی آب را عوض کرده، در سطح آب قرار می‌گیرند. وجود آن‌ها در فصل مشترک فاز هوا و آب باعث دوام و الاستیسیتهٔ کف می‌شود که برای فلوتاسیون اهمیت دارد. بدون کف سازها حباب‌های کف فوراً شکسته شده، از بین می‌روند. در اشکال روبه‌رو مقاطع کف‌های ساده، نشان داده شده است :



حباب های کف کروی و چندوجهی

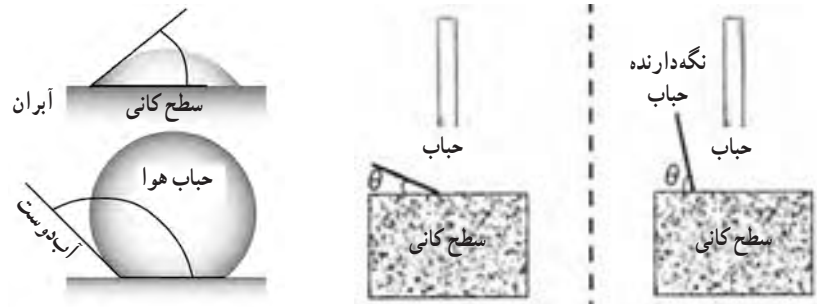
در شکل سمت چپ، حباب‌های هوا کروی است که به وسیلهٔ لایه‌های آب، از هم جدا شده‌اند؛ این حباب‌ها کوچک و کم دوام بوده، مقدار آب در آن‌ها زیاد است، در حالی که در حباب‌های تقریباً چند وجهی، حباب‌ها خشک،

بادوام و درشت می‌باشند. حباب‌های چند وجهی به وسیله لایه‌های نازک آب از هم جدا شده‌اند و در فلوتاسیون سولفیدهای فلزی، مورد استفاده قرار می‌گیرند. وجود ذرات ریز جامد در سطح حباب‌ها باعث استحکام آن‌ها می‌شود؛ همچنین مقدار معرف اضافه شده حتی به میزان بسیار کم در سطح حباب‌ها جمع شده، باعث استحکام آن‌ها می‌گردد.

تأثیر مواد شیمیایی : مواد شیمیایی مورد مصرف در فلوتاسیون موادّی هستند که کانی‌های بخصوصی را شناور ساخته، از شناور شدن بقیه، جلوگیری می‌کنند. از نظر کلی قابلیت شناور شدن یک کانی به «آبرانی[1]» آن بستگی مستقیم دارد. خاصیت آبرانی با خواص سطحی مولکول‌ها رابطهٔ مستقیم داشته یا به عبارت دیگر به قطبی یا غیرقطبی بودن مولکول‌های سطحی، بستگی دارد. مولکول‌های قطبی از یون‌ها تشکیل شده‌اند، در حالی که مولکول‌های غیرقطبی، از اجتماع اتم‌ها تشکیل و هیچ بار الکتریکی ندارند. مثلاً کلرورسدیم یک مولکول قطبی و هیدروکربورهای پارافینی C_nH_{2n+1} غیرقطبی می‌باشند. کانی‌هایی که سطح آن‌ها قطبی است، قابل جذب به وسیلهٔ آب هستند، بنابراین قابل شناور شدن نمی‌باشند. برعکس کانی‌های با سطوح غیرقطبی، آب گریز و در نتیجه شناور می‌شوند.

تشکیل حباب و کانی و شناور شدن آن‌ها : در فلوتاسیون ذرات کانی به حباب‌های هوا که در محیط وجود دارند چسبیده، بالا می‌آیند. هر ذرهٔ قابل شناور شدن، به یک حباب هوا می‌چسبد، به طوری که از یک طرف در فاز هوا و از طرف دیگر در فاز آب قرار می‌گیرد. بنابراین در اطراف این ذره، خطی وجود دارد که هر سه فصل مشترک آب و هوا ــ هوا و جامد ــ جامد و آب یکدیگر را قطع می‌کند. نیروهای کشش سطحی بر روی این خط با یکدیگر و با سایر نیروهای وزن، ارشمیدس و غیره در حال تعادل هستند. اگر شرایط محیط فلوتاسیون، درست انتخاب شود، اندازهٔ این نیروها طوری است که اولاً کانی به علّت نیروی کشش سطحی مناسب به سطح حباب هوا می‌چسبد و ثانیاً مجموعهٔ حباب هوا و کانی نسبت به مایع حرکت کرده، بالا می‌آید.

۱ــ به طور کلی خواص سطحی ذرات مستقل از ابعاد بوده و به جز در مورد ذرات بسیار ریز، تقریباً یکسان است. سطوح اکثر کانی ها اگر تازه تهیه شده، عاری از هرگونه ناخالصی و چربی باشند، آب‌گیر یا هیدروفیل (Hydrophile) هستند؛ یعنی اگر در مجاور آب قرار گیرند، بلافاصله یک لایهٔ آب دور آن تشکیل می‌گردد. ولی اگر همین سطوح مدتی در مجاورت هوا قرار گیرد تجربه نشان می‌دهد که از هوا مقداری هیدروکربن و CO_2 جذب نموده ،یک قشر روغن روی سطح کانی تشکیل می‌گردد که خواص آب‌گیری آن را از بین برده ،به‌صورت «آبران» Hydrophobe در می‌آورد.



نمایش آب‌دوست و هوادوست بودن یک کانی

۱۲ــ۲ــ خواص آب از نظر فلوتاسیون

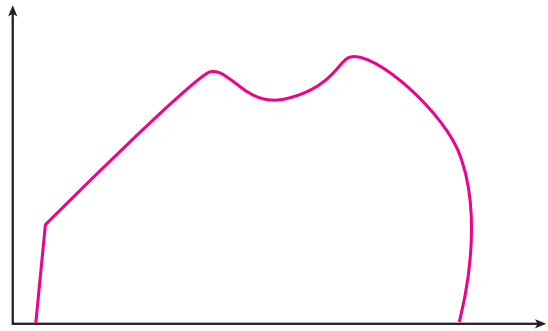
در این جا خواص مهم آب از نظر فلوتاسیون، یعنی کشش سطحی هیدراتاسیون و تأثیر املاح محلول در آب بیان می‌شود.

کشش سطحی : مایعات در سطح خود نیرویی به نام «کشش سطحی» دارند. علّت وجود این نیرو در سطح مایعات آن است که، اگر ما یک طبقه آب را درنظر بگیریم، در روی مولکول موجود در وسط این طبقه، از همه طرف نیروهایی توسط سایر مولکول‌ها وارد می‌شود که مجموع این نیروها صفر بوده، مولکول در حال تعادل خود باقی می‌ماند؛ ولی مولکول‌های موجود در سطح آب فقط از یک طرف و آن هم از طرف مایع کشیده می‌شود ولی در طرف دیگر نیروی وارد شده توسط مولکول‌های هوا، کمتر از مقدار نیرویی است که توسط مولکول‌های آب وارد می‌شود لذا، این مولکول‌ها دارای مقداری انرژی آزاد می‌باشند. در هر حال این نیرو در مقابل اجسامی که بخواهند وضع مولکول‌های سطحی را تغییر داده، به طرف پایین ببرند، مقاومت نشان می‌دهد. جنس این نیرو احتمالاً از نوع الکتریکی می‌باشد.

در صورتی که مواد آماده شده را در سلول بریزیم، مشاهده می‌شود که باطله جذب آب نموده و در سلول باقی می‌مانند ولی مواد با ارزش که قبلاً با مواد شیمیایی مناسب آب گریز شده شناور می‌شوند و دلیل این امر اختلاف در زاویه تماس آب با جامد است.

هیدراتاسیون : از آنجایی که یون‌های آب هیدراته، خاصیت جذب سطحی دارد و توسط سطوح ذرات جذب شده تشکیل یک لایهٔ آب می‌دهند و در نتیجه باعث مرطوب شدن سطح و آب‌پذیر می‌شوند، آب خالص نیز درجهٔ یونیزاسیون پایین داشته و به عبارت دیگر مقدار ثابت دی‌الکتریک آن بزرگ است. در هر حال وجود یون‌های H^+ در آب در فلوتاسیون تأثیر مهمی دارد. بنابراین باید تأثیر pH را

در فلوتاسیون، همواره مورد توجه قرار داد. به طور کلی وجود یون H^+ به شدّت کشش سطحی آب را پایین می‌آورد و سبب رسوب مواد کلوئیدی معلق در آب می‌شود. برای فلوتاسیون کانی یک pH بهینه وجود دارد که در تحت آن شرایط بازیابی فلوتاسیون به حداکثر می‌رسد. اگر بازیابی فلوتاسیون برای یک کانی معین در pHهای مختلف رسم شود، منحنی به دست آمده، معمولاً دارای دو حداکثر است که یکی در محیط اسیدی و دیگری در محیط بازی واقع می‌باشد.



بازیابی فلوتاسیون اسفالریت نسبت به pH

pH مناسب برای کالکوزین، ۴/۵ و ۱۰/۵ می‌باشد، از طرف دیگر برای هر مادهٔ معدنی یک pH بحرانی وجود دارد که اگر pH به آن برسد، یا از آن تجاوز کند، عمل فلوتاسیون متوقف می‌گردد. جدول زیر این pH بحرانی را برای چند سولفید معدنی نشان می‌دهد.

علّت این pH بحرانی آن است که وقتی pH به نقطه بحرانی خود برسد، یون‌های H^+ یا OH^- لایه‌ای را که روی سطح ذره تشکیل می‌شود، حل نموده، مانع از آن می‌شود که کلکتور بتواند قشر نازکی روی ذره تشکیل دهد و در نتیجه، جسم آب‌پذیر می‌شود.

جدول pH بحرانی چند کانی مختلف

۱۳/۱	بُرنیت	۱۰/۲	گالن
۱۳/۸	کالکوزیت	۱۰/۵	پیریت
۱۴	اسفالریت	۱۱/۵	کالکوپیریت

وجود بعضی از املاح معدنی باعث تغییر این pH بحرانی شده، آن را بالا یا پایین می‌آورند. به عنوان مثال، اگر به محلول فلوتاسیون ۰/۲ گرم در لیتر سولفات مس اضافه کنیم، pH بحرانی اسفالریت به ۱۳ کاهش می‌یابد و یا در همین شرایط pH بحرانی، برای پیریت از ۱۰/۵ به ۱۳ افزایش می‌یابد.

تأثیر املاح محلول در آب: املاح محلول در آب، در نقاطی که آب دریا یا آب موجود در یک مسیر بسته، مورد استفاده قرار می‌گیرند، در فلوتاسیون تأثیر عمده‌ای دارند؛ املاح آهن، کلسیم و منیزیم، بیش از سایر املاح در فلوتاسیون تولید مشکلات می‌کند. غلظت این املاح گاهی چنان زیاد است که باعث مصرف مقدار زیادی کربنات دو سود یا آهک می‌شود و حتی در مواردی با وجود مصرف زیاد کربنات سدیم، تأثیر این املاح کاملاً خنثی نشده و مشکلات زیادی را در فلوتاسیون ایجاد می‌کند. استفاده از آب‌های حاوی املاح آلی و همچنین سولفات فرو همیشه برای فلوتاسیون زیان‌آور است.

۱۲ــ۳ــ معرف‌های مورد مصرف در فلوتاسیون

۱۲ــ۳ــ۱ــ کلکتورها: کلکتورها مواد شیمیایی آلی هستند که باعث می‌شوند کانی‌های لازم، به سطح حباب هوا چسبیده، ضمن شناور شدن از بقیهٔ مواد جدا شوند. مایعاتی آلی با ساختمان مولکول قطبی و غیرقطبی هستند که در آب حل می‌شوند. قسمت قطبی این مایعات عموماً خاصیت آب‌گیری دارد در حالی که قسمت غیرقطبی آن‌ها آبران می‌باشد. این مواد به طور طبیعی وجود دارند یا به صورت مصنوعی تهیه می‌شوند. جذب کلکتورها بر روی سطوح خارجی کانی‌ها، باعث هیدراتاسیون گردیده، آن‌را آبران می‌کند. کلکتورها را به دو دستهٔ «آنیونیک[۱]» و «کاتیونیک[۲]» تقسیم می‌کنند که در این جا به شرح آن‌ها می‌پردازیم.

الف) گزانتات‌ها[۳]: *گزانتات‌ها نمک‌های اسید گزانتوژن[۴] می‌باشند و برای فلوتاسیون کانی‌های سولفیدی و اکسیدهای سرب و مس پس از فعال شدن استفاده می‌شوند. گزانتات‌ها معروف‌ترین و پرمصرف‌ترین کلکتورها در فلوتاسیون می‌باشند. مقدار مصرف آن‌ها اغلب کم بوده، بین ۳۰۰ــ۱۰ گرم، به ازای هر تن سنگ معدن می‌باشد.*

ب) هیدروکربورهای آلی: از نظر خواص کلکتوری، این مواد برای شناور نمودن فلزات قلیایی به کار می‌روند و شامل تیوفنل‌ها و مرکاپتان‌ها هستند.

ج) مشتقات آلی فسفر: مشتقات آلی فسفر به نام تجارتی آئروفلوت[۵] در صنعت مصرف زیادی دارند. مشتقات فسفردار بسیار فراوان بوده، در حدود ۲۵۰۰ مادهٔ آلی مختلف را، شامل می‌شوند. خاصیت خورندگی این کلکتورها بسیار زیاد است و باید در سلول‌های فولادی مخصوص مورد استفاده قرار گیرند، در غیر این صورت، سلول‌های فلوتاسیون به سرعت خورده شده، از بین می‌روند.

۱ــ Anionic ۲ــ Cationic ۳ــ Xanthate ۴ــ Xanthogen ۵ــ Aeroflout

کلکتور معروف این دسته، اسید دی‌کرزیل دی تیوفسفوریک است که بر خلاف گزانتات‌ها که پیریت را کم و بیش شناور می‌کنند، بر روی پیریت هیچ تأثیری نداشته و بیشتر در مواقعی که سولفیدهای فلزی مانند مس و سرب را بخواهند از پیریت جدا کنند، به‌کار می‌رود.

د) تیوکاربانیلید : این کلکتور روی پیریت و اسفالریت اثری ندارد و بیشتر در مواقعی که گالن همراه با پیریت و اسفالریت است به‌کار می‌رود و گالن را شناور می‌کند. تیوکاربانیلید طلا و نقره را در سنگ‌های معدنی اکسیده، شناور می‌کند. ولی تأثیر آن کند، می‌باشد.

هـ) صابون‌ها و اسیدهای چرب : این مواد به صورت اسید چرب یا نمک قلیایی، در صنعت فلوتاسیون استفادهٔ فراوانی دارند. این کلکتورها را بیشتر برای شناور کردن اکسیدهای فلزی و کانی‌های فلزات قلیایی و بعضی از سیلیکات‌ها، کربنات‌ها و فسفات‌ها به‌کار می‌برند.

و) کلکتورهای کاتیونیک : این کلکتورها بیشتر برای شناور کردن کانی‌های غیرفلزی و نمک‌ها به کار می‌روند و مقدار کمی در آب حل می‌شوند.

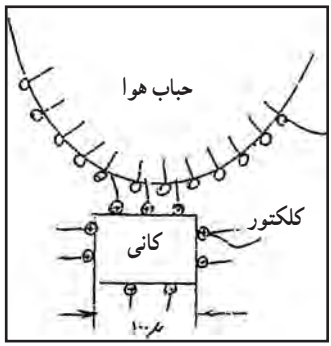
۱۲ــ۳ــ۲ــ تنظیم کننده‌های pH[1] : تنظیم کننده‌ها معرف‌هایی هستند که میزان اسیدی یا قلیایی بودن محلول‌ها را تنظیم نموده، pH محیط را ثابت نگه می‌دارند تا فلوتاسیون در شرایط مناسبی انجام شود. محلول‌های اسیدی دارای pH پایین‌تر از ۷، محلول‌های خنثی دارای pH مساوی ۷ و محلول‌های قلیایی دارای pH بزرگتر از ۷ می‌باشند ولی بیشتر عملیات فلوتاسیون در محیط‌های قلیایی که pH در آن‌ها از ۷ تا ۱۳ تغییر می‌کند، صورت می‌گیرد. معرف‌هایی که در این دسته مورد استفاده واقع می‌شوند، عمدتاً شامل کربنات دو سود و آهک می‌باشند. تغییرات مورد لزوم در pH محیط فلوتاسیون می‌تواند به وسیلهٔ اضافه کردن اسیدها یا بازها به وجود آید. اسید سولفوریک ــ اسید فلوئدریک (FH) و سولفات مس pH را کاهش و متقابلاً کربنات دو سود ــ آهک ــ سیانور سدیم، (NaCN) ، pH را افزایش می‌دهند.

۱۲ــ۳ــ۳ــ بازداشت کننده‌ها[2] : این مواد معرف‌هایی هستند که اضافه کردن آن‌ها به محیط فلوتاسیون باعث می‌گردد تا بعضی از سولفیدها یا کانی‌ها در مجاورت آن‌ها برای مدتی شناور نشوند. این اجسام انواع مختلف دارند و شامل مواد معدنی و آلی می‌باشند؛ قوی‌ترین بازداشت کننده‌ها را باید در مواد معدنی جستجو کرد که در این بین سولفات روی، سولفیدسدیم، سیانور سدیم، دی‌کرومات‌ها، انیدریدسولفور، آب آهک و سولفیت دو سود از اهمیت بیشتری برخوردار هستند. در جدول صفحهٔ بعد مناسب‌ترین بازداشت کننده‌ها برای کانی‌های مختلف با مقدار مصرف آن‌ها ذکر شده است.

۱ــ Regulating agents or regulators ۲ــ Depressing agents or depressants

کانی مورد نظر	رسوب دهنده	مقدار مصرف (گرم در تن)
پیریت	سیانور پتاسیم	۵۰ـ۲۵۰
اسفالریت	سیانور پتاسیم	۵۰ـ۵۰۰
سولفیدهای مس	سیانور پتاسیم	۱۰۰ـ۵۰۰
گالن	دی‌کرومات‌ها	۲۰۰ـ۵۰۰
باریت	کلرور آهن دو ظرفیتی و کرور آلومینیم سه ظرفیتی	۵۰۰ـ۱۰۰۰

۱۲ـ۳ـ۴ـ کف‌سازها[1] : عمل ایجاد کف در مایعات خالص کار دشواری بوده، حباب‌های متصاعد شده به محض رسیدن به سطح مایع، پاره می‌شوند از این جهت وجود موادی که خاصیت فعال کننده‌ای برای سطوح مرزی داشته باشند، مسئلهٔ مهمی در تولید کف در فلوتاسیون می‌باشد. و اینکه حباب هوا از طریق قشر نازکی توسط عامل مذکور، در نهایت بتواند در سطح مایع ظاهر شود، از اهمیت خاصی برخوردار است.



چگونه قرار گرفتن گروه‌های قطبی و غیرقطبی کف‌سازها نسبت به حباب و کانی

این قشر نازک که گروه قطبی آن به طرف مایع و گروه غیرقطبی آن به طرف گاز قرار می‌گیرد، از یک طرف از تمرکز آنی حباب‌ها جلوگیری به عمل می‌آورد و از طرف دیگر جدار الاستیکی به خود گرفته، در مقابل عوامل خارجی، مقاومت می‌کند که در نتیجه حباب‌های کوچک که ثبات آن‌ها بیشتر است، تولید می‌گردد.

به طورکلی می‌توان گفت کف سازها ترکیبات قطبی و غیرقطبی هستند که خاصیت آن‌ها در فصل مشترک فاز مایع و جامد زیاد بوده و باعث جذب کانی‌های آبران می‌شود.

کف‌سازهای عمده‌ای که در فلوتاسیون مورد استفاده قرار می‌گیرند، عبارت‌اند از روغن کاج[2]، روغن اوکالیپتوس[3]، اسید کریزیلیک[4] و روغن‌هایی که از تقطیر چوب یا زغال به دست می‌آیند. امروزه از MIBC به‌طور وسیعی استفاده می‌شود.

۱۲ـ۳ـ۵ـ فعال‌کننده‌ها : فعال کننده‌ها از جمله معرف‌هایی هستند که خاصیت شناور شدن بعضی از مواد معدنی را، تقویت می‌کنند؛ زیرا بعضی از کانی‌های فلزی سولفیدی بخصوص روی و

۱ـ Frothing agents ۲ـ Pine oil ۳ـ Eucalyptus oil ۴ـ Cresylic acid

بعضی از کانی‌های غیرفلزی، در حالت طبیعی به‌وسیلهٔ کلکتورها شناور نمی‌شوند و تنها با اضافه کردن فعال کننده‌ها می‌توان آن‌ها را شناور ساخت.

سولفات مس تقویت کنندهٔ اصلی سولفید روی طبیعی و سولفید روی رسوب شده، می‌باشد. ولی نباید آن را به مقدار زیاد به کاربرد، زیرا باعث فعال شدن پیریت رسوب شده توسط سیانور و آب‌آهک می‌گردد. برای فعال شدن پیریت رسوب شده، از سولفید سدیم یا اسید سولفوریک استفاده می‌شود.

معادله زیر روش فعال‌شدن اسفالریت را نشان می‌دهد. $ZnS + Cu^{+2} \leftrightarrow CuS + Zn^{+2}$

۱۲ــ۳ــ۶ــ متفرق کننده‌ها : در برخی مواقع لازم است تا ذرات رس و نرمه را که در سطح کانی‌ها چسبیده قبل از شناورسازی جدا کرد، کربنات سدیم به عنوان متفرق کننده استفاده می‌شود.

۱۲ــ۴ــ مواد مضر و حذف آن‌ها

بعضی از مواد در محیط فلوتاسیون خاصیت منفی داشته، وجود کمی از آن‌ها باعث می‌شود که عمل فلوتاسیون متوقف گردد و ذرات کانی به کلی خاصیت شناور شدن خود را از دست بدهند. مثلاً ۴۰ گرم نیترات کروم، در تن کافی است که بازیابی فلوتاسیون گالن را، به صفر برساند. املاح جیوه ــ آلومینیم ــ کبالت ــ نیکل ــ منیزیم ــ دارای همین خاصیت هستند.

از کربنات سدیم و آهک و در بعضی مواقع سیانورپتاسیم، وقتی که با املاح آهن مواجه باشیم می‌توان برای حذف چنین موادی استفاده کرد.

۱۲ــ۵ــ سلول‌های فلوتاسیون

پس از آن که مخلوط مواد معدنی با مواد شیمیایی یاد شده مخلوط شد، به داخل ظرف‌های استوانه‌ای شکلی موسوم به سلول‌های فلوتاسیون، هدایت می‌شود. انتخاب سلول مناسب جهت فلوتاسیون، به انجام وظایف محوله به آن بستگی دارد. سلول‌های فلوتاسیون باید قادر به انجام کارهای زیر باشد :

الف) به گردش در آمدن و همگن‌سازی پالپ؛

ب) ایجاد کف؛

ج) جدا کردن مداوم کف حاوی کانی‌های با ارزش؛

د) گسترش مساوی حباب‌های هوا در سرتاسر سلول؛

سلول‌های فلوتاسیون می‌توانند برحسب روش ورود هوا به سه دسته تقسیم شوند :

۱ــ سلول‌های پره‌دار بدون هوای اضافه شده؛

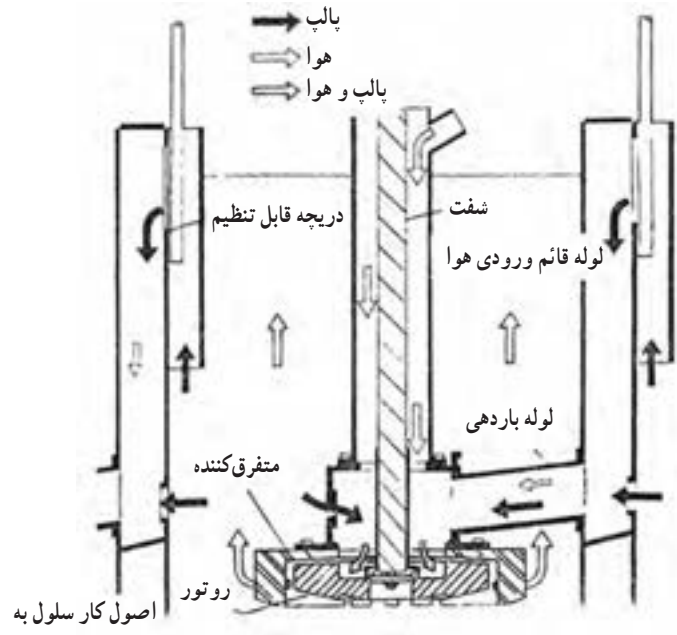
۲ــ سلول‌هایی که با هوای فشرده کار می‌کنند؛

۳ــ سلول‌های پره‌دار با هوای اضافه شده؛

۱۲ــ۵ــ۱ــ سلول‌های پره‌دار بدون هوای اضافه شده : گردش و اختلاط پالپ در این سلول‌ها به وسیلهٔ پروانه‌هایی حاصل می‌شود که در اثر گردش پروانه، هوای مورد نیاز فلوتاسیون را از بیرون مکیده، به داخل سلول فلوتاسیون هدایت می‌کنند. دو نوع سلول موسوم به سلول‌های فلوتاسیون MS[1] و سلول‌های فلوتاسیون دنور[2] با این روش کار می‌کنند. سلول MS از دو قسمت پالپ و کف تشکیل شده است. در پالپ مواد در آن به گردش درآورده می‌شود تا برخورد سه فاز هوا، آب و کانی به خوبی صورت گیرد. پس از آن که پالپ از پایین سلول وارد سلول شد و براثر گردش پروانه با هوای مکیده شده کاملاً مخلوط گردید، سپس توسط دریچهٔ مخصوصی وارد بخش کف می‌شود و در آن‌جا کف به دست آمده، همراه با کانی از سلول خارج می‌شود. در کارخانه فلوتاسیون تعداد بی‌شماری از سلول‌ها را کنار یکدیگر قرار می‌دهند. سلول‌های فلوتاسیون MS منحصراً در شستشوی زغال‌سنگ به کار برده می‌شوند؛ زیرا هوای مکیده شده، برای فلوتاسیون دانه‌های سنگین وزن کانی فلزی، کافی نیست.

نوع دیگر سلول فلوتاسیون که در گروه سلول‌های پروانه‌دار بدون هوای اضافه شده قرار دارد، سلول دنور است. دراین سلول‌ها پالپ از بالا وارد و مانند سلول‌های MS توسط یک صفحهٔ افقی مشبّک به دو بخش تقسیم می‌شوند. مکش هوا در این سلول‌ها، اجباری انجام می‌گیرد.

۱ــ Mineral Separation ۲ــ Denver



سلول فلوتاسیون دنور

۱۲ــ۵ــ۲ــ سلول‌هایی که با هوای فشرده کار می‌کنند : در این سلول‌ها هوای فشرده، عمل به گردش درآوردن پالپ و اختلاط آن با هوا را انجام می‌دهد. هوای فشردهٔ مورد نظر مستقیماً به پالپ دمیده می‌شود و در واقع پروانه‌های مکانیکی در این سلول‌ها وجود ندارند. مقدار هوای ضروری جهت این سلول‌ها ۴ــ۱/۸ مترمکعب در دقیقه در هر مترمربع از کف سلول می‌باشد.

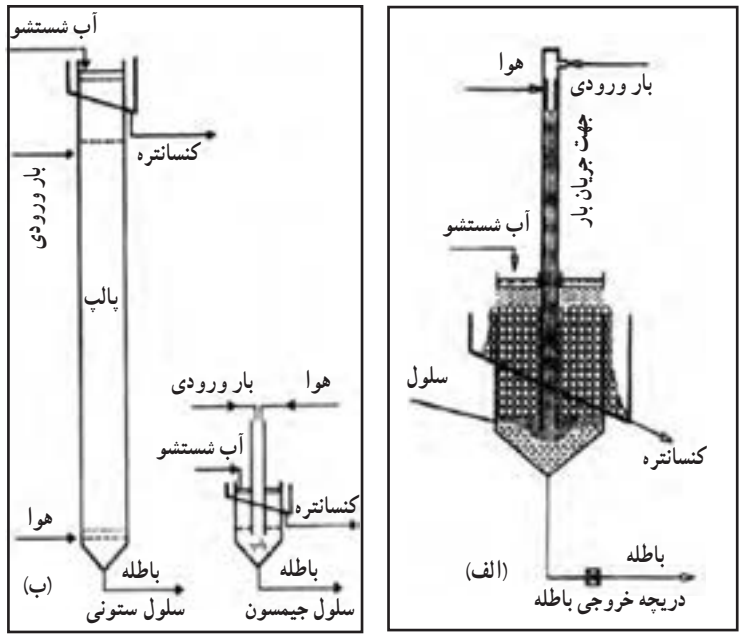
۱۲ــ۵ــ۳ــ سلول‌های پروانه‌دار که با هوای اضافه شده کار می‌کنند : این نوع سلول‌ها در حقیقت مخلوطی از دو روش یاد شده است که در اثر حرکت پروانه‌ها و استفاده از هوای فشرده اضافه شده، عمل فلوتاسیون را انجام می‌دهد.

۱۲ــ۵ــ۴ــ سلول‌های ستونی : این سلول‌ها برای اولین بار در کانادا ساخته شد و طول آن‌ها به بیش از ۱۰متر و قطر آن‌ها به ۲ تا ۳ متر می‌رسد. همزن وجود ندارد و پالپ با هوای فشرده مخلوط و پس از شناور شدن با آب شسته شده و به همین دلیل کنسانتره بسیار پر خلوص‌تر از سلول‌های مکانیکی است. شکل صفحهٔ بعد انواع سلول‌های ستونی را نشان می‌دهد.

۱۲ــ۶ــ مدار فلوتاسیون

هر دستگاه فلوتاسیون شامل یک دستگاه مخلوط کننده می‌باشد که در آن مخلوط سنگ معدن

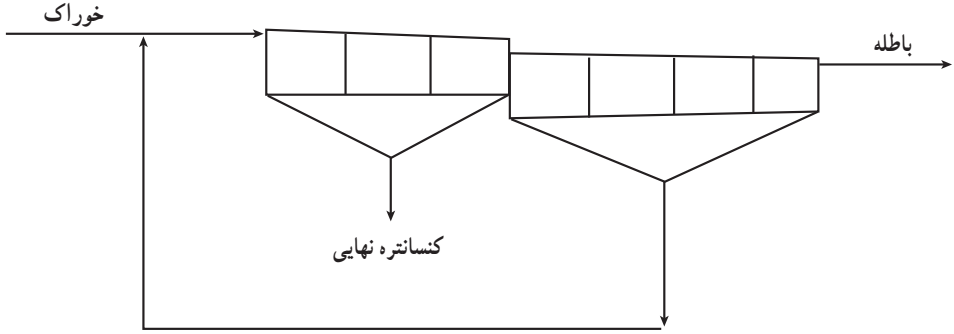
و مواد شیمیایی را به هم می‌زنند و سپس مخلوط را وارد سلول‌های فلوتاسیون می‌کنند. دستگاه مخلوط کنندهٔ استوانه‌ای است که در داخل آن یک پروانهٔ هم زن قرار دارد. مخلوط سنگ معدن و آب با نسبت معینی از قسمت پایین، وارد دستگاه شده، پس از مدّت زمان مشخصی، از لبه ظرف خارج می‌گردد. مخلوط سپس وارد سلول‌ها شده، در آن‌جا، بخش مورد نظر شناور می‌شود. سلول‌ها معمولاً یکی پس از دیگری قرار گرفته‌اند.



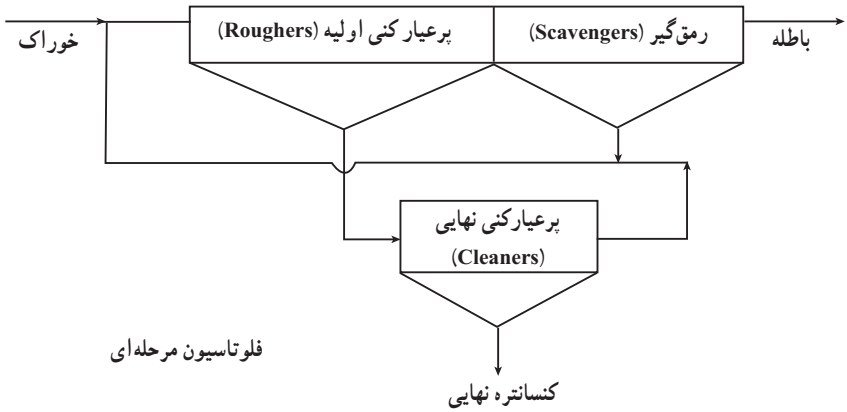
سلول‌های فلوتاسیون

سلول‌های فلوتاسیون به شکل‌های زیر به‌هم متصل می‌شوند ویک بانک رابه وجود می‌آورند.

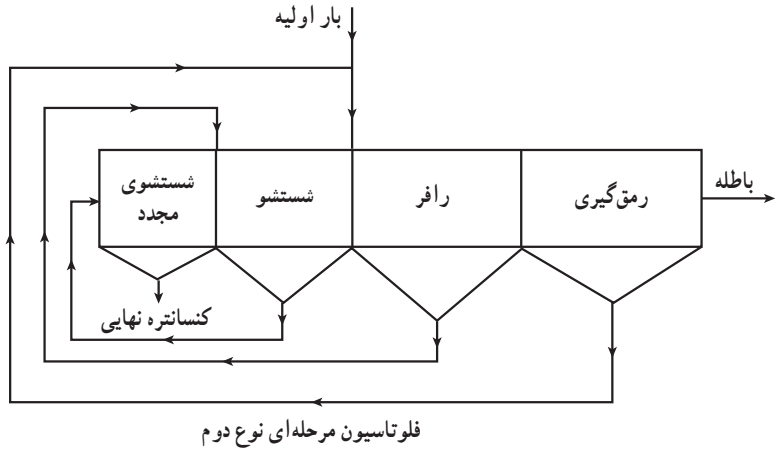
الف) مدار ساده : در این نوع اتصال، فقط یک کنسانتره تشکیل می‌شود.



ب) فلوتاسیون مرحله‌ای شناور نمودن برای بار دوم : این طریقهٔ اتصال سلول برای استخراج فقط یک کنسانتره مناسب است.



ج) فلوتاسیون مرحله‌ای : a : شناور نمودن کنسانتره برای بار اول؛
b : شناور نمودن کنسانتره پرعیار شده؛
c : شناور نمودن کنسانتره برای بار دوم.



فلوتاسیون مرحله‌ای نوع دوم

امروزه دربعضی نقاط عمل فلوتاسیون را با میزهای متحرک انجام می‌دهند، چنانکه مخلوط آب و ذرات را که قبلاً با معرف‌ها و کلکتور لازم ترکیب شده‌اند، از درون ظرف مخلوط کننده، روی میزهایی از نوع ویلفلی می‌ریزند و به سطح میز نیز هوا می‌دهند؛ بدین ترتیب ذرات قابل شناور شدن را از همان ابتدای میز جدا می‌کنند و سپس سایر ذرات در روی میز براساس وزن مخصوص طبقه‌بندی شده، جدا می‌شوند.

خودآزمایی

۱ـ اساس کار فلوتاسیون برچه مبنایی قرار دارد؟

۲ـ عملیات فلوتاسیون از چند قسمت تشکیل شده است؟ توضیح دهید.

۳ـ کف چیست و چگونه ایجاد می‌شود؟

۴ـ قابلیت شناور شدن یک کانی به چه خاصیتی بستگی دارد و ارتباط آن با قطبی و غیرقطبی بودن مولکول چگونه است؟

۵ـ هرگاه مقداری مواد سولفیدی فلزی را در روی سطح آب بریزیم چه پدیده‌ای را می‌توان مشاهده کرد؟ علّت را بررسی کنید.

۶ـ وضعیت pH محیط فلوتاسیون برای یک کانی معین چگونه است؟ منحنی تقریبی کارآیی فلوتاسیون را در pH های مختلف رسم کنید.

۷ـ pH بحرانی چیست؟ در این pH چه اتفاقی در محیط فلوتاسیون رخ می‌دهد؟

۸ـ املاح محلول در آب چه تأثیری در فلوتاسیون می‌گذارند؟

۹ـ کلکتورها چگونه معرف‌هایی هستند؟ به چند دسته تقسیم می‌شوند؟

۱۰ـ گزانتات‌ها چگونه موادی هستند؟

۱۱ـ چهار دسته از کلکتورها را نام ببرید.

۱۲ـ تنظیم کننده‌ها چگونه معرف‌هایی هستند؟

۱۳ـ بازداشت کننده‌ها چه نقشی در محیط فلوتاسیون ایفا می‌کنند؟

۱۴ـ کف سازهای عمده‌ای را که در فلوتاسیون مورد استفاده قرار می‌گیرند، نام ببرید.

۱۵ـ فعال کننده‌ها چه عملی در محیط فلوتاسیون انجام می‌دهند؟

۱۶ـ نقش آب‌گیر کننده‌ها در شناور کردن ذرات چیست؟

۱۷ـ مواد مضر چگونه موادی هستند؟ از هر گروه آن‌ها دو ترکیب را نام ببرید.

۱۸ـ در سلول‌های فلوتاسیون چه عملیاتی باید انجام گیرد؟

۱۹ـ برحسب روش ورود هوا چند نوع سلول فلوتاسیون وجود دارد؟

۲۰ـ منظور از بانک فلوتاسیون چیست؟

فصل ۱۳

روش‌های هیدرومتالورژی (لیچینگ) فروشوئی

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

۱ـ اهمیت لیچینگ را در فرآوری مواد معدنی فرا گیرد.

۲ـ استفاده از باکتری و میکروب‌ها را در صنایع فرآوری ارزیابی کند.

۳ـ روش‌های لیچینگ را مقایسه کند.

۴ـ پارامترهای مؤثر در لیچینگ را بداند.

۵ـ مراحل مختلف در لیچینگ را لیست کند.

۱۳ــ آشنایی

این روش شیمیایی بر مبنای انحلال انتخابی یک کانی و یا فلز در یک حلال مناسب مانند آب، اسید، باز و موارد مشابه استوار می‌باشد. مطابق آنچه در فصل دوم گفته شد این روش طی مراحل مختلف مانند، آماده‌سازی بار اولیه، روش پیش تغلیظ و پیش فرآوری قبل از لیچینگ که ممکن است با سایر روش‌های کانه‌آرایی صورت گیرد، مرحله انحلال عنصر و یا کانی مورد نظر در حلالی مناسب، جدا کردن محلول مادر (غنی) از رسوب باقی مانده، تصفیه محلول مادر و آخرین مرحله بازیابی عناصر با ارزش از محلول مادر به روش تعویض یونی، سمنتاسیون، استخراج حلالی و موارد مشابه صورت می‌گیرد.

ــ **نمونه‌برداری و آماده‌سازی**: به فصل اول و دوم کتاب مراجعه شود. اگر ماده‌معدنی تخلخل نداشته باشد، برای حمله بهتر حلال به آن باید خواص سنجی و وارد مراحل خردایش شود که

در این راستا نقش مطالعات کانی‌شناسی و میکروسکوپی بسیار پراهمیت است.

ـــ **پیش فرآوری** : ممکن است قبل از اینکه مواد مستقیماً وارد مرحله انحلال شود بتوان میزان قابل توجهی از مواد باطله همراه را به روش‌های کانه‌آرائی حذف نمود. از طرفی ممکن است عمل تشویه صورت گیرد که منجر به تبخیر ناخالصی، تغییر کانی‌ها و عدم انحلال آن‌ها (مواد باطله)، سهولت نفوذ حلال، کاهش سختی در مقابل خردایش و دیگر موارد شود.

ـــ **لیچینگ** : وقتی ماده معدنی در تماس با حلال مناسب قرار گیرد، با انحلال مواد مورد نظر، محلول مادر حاصل و در مراحل بعدی عناصر با ارزش آن بازیابی می‌شوند. حلال نباید بر روی دیگر مواد باطله تأثیر داشته باشد. آب یکی از بهترین انواع حلال‌ها می‌باشد که در شرایط معمولی بسیاری از نمک‌ها مانند NaCl, KCl و دیگر موارد را در خود حل می‌سازد.

ـــ **روش‌های لیچینگ** : از روش‌های مهم لیچینگ می‌توان به لیچینگ توده‌ای، ستونی، برجا، همزن و دیگر موارد اشاره کرد. در لیچینگ توده‌ای، مواد را پس از آماده‌سازی و نرمه‌گیری (جدایش ذرات زیر ۲۰ میکرون) به صورت انباشته قرار می‌دهند به نحوی که زیر ساخت‌های مناسب جهت جلوگیری محصول مادر به زمین و نفوذ به آب‌های زیرزمینی دیده شده باشد. یکی از پارامترهای مهم وجود تخلخل مواد است که در حَمله حلال پراهمیت است.

پس از پاشیدن حلال در سطح توده، حلال به مواد نفوذ کرده و عناصر مورد نظر را حل و شکل محلول مادر از محیط خارج می‌شود تا در مراحل بعدی عناصر با ارزش آن بازیابی شود. انحلال توده‌ای کانسنگ‌های کم عیار مس از جمله این موادند. در روش ستونی، مواد در ستونی بر روی هم انباشته و از سطح فوقانی مورد حلال پاشی قرار می‌گیرد و سپس محلول مادر از ته ستون و یا حوضچه خارج می‌شود. ابعاد ماده معدنی به حدود ۱۰ تا ۴۰ میلی‌متر هم می‌رسد و ممکن است در سیکل‌های چند ساعته صورت گیرد. این روش در کلیه مواد معدنی مستعد کاربرد دارد.

در لیچینگ به روش همزن، مواد به اندازه کافی توسط آسیا نرم و سپس وارد تانک‌های لیچینگ می‌شود. با هم زدن مواد، عناصر با ارزش در حلال حل شده و سپس در مراحل بعدی محصول مادر از باطله جدا می‌شود. سیانوراسیون طلا برای دست‌یابی به عنصر طلا را می‌توان بهترین مثال نمونه فرض کرد.

در روش لیچینگ برجا، همان‌طور که از نامش مشخص است، توده‌های مواد معدنی در سطح را درجا با تزریق حلال مناسب، حل و محصول مادر به سطح زمین پمپاژ می‌شود، برخی از معادل اورانیوم، مس و طلا در دنیا بدین شکل فرآوری می‌شوند.

حلال‌ها : از جمله حلال‌های مناسب می‌توان به آب، اسیدها مانند سولفوریک، کلریدریک و بسیاری از اسیدهای آلی و معدنی دیگر اشاره کرد. از مواد قلیایی مانند، سود سوزآور، بی‌کربنات سدیم، نمک سودا وبسیاری دیگر در لیچینگ استفاده می‌شود.

۱۳ــ۱ــ لیچینگ به کمک باکتری

از این روش هم اکنون در مقیاس‌های صنعتی برای کانسنگ‌های اورانیوم، طلا، مس و بسیاری دیگر استفاده می‌شود. هزینه‌های این روش نسبت به دیگر روش‌های لیچینگ ارزان‌تر است.

از باکتری‌های معروف مانند تیوباسیلوس‌ها استفاده فراوانی می‌شود. در واقع باکتری نقش کاتالیزور را در یک فرآیند بیوشیمیایی به عهده دارد. این باکتری‌ها برای رشد از Co_2 هوا استفاده می‌کنند و آهن دوظرفیتی را به سه‌ظرفیتی تبدیل می‌سازند. در دمای تقریبی $30^{\circ}C$ و محیط pH=۲ فعالند. با متابولیسم این میکروب‌ها اسید تولید شده که منجر به انحلال عنصر مورد نظر می‌شود. امروزه از این فرآیند در مقیاس صنعتی استفاده می‌شود.

۱۳ــ۱ــ۱ــ عوامل مؤثر در لیچینگ : در لیچینگ عوامل مهمی از جمله زمان انحلال، دانه‌بندی مواد اولیه، غلظت مواد شیمیایی، دما، سرعت همزن، دانسیته پالپ، ویسکوزیته پالپ و بسیاری دیگر پراهمیت‌اند که بسته به نوع مواد معدنی باید بهینه‌سازی شوند.

۱۳ــ۱ــ۲ــ جدا کردن محلول مادر از باطله : با توجه به دانسیته محلول مادر ومشابهت آن با باطله همراه، جدایش ثقلی در تیکنرِها به سختی صورت می‌گیرد ولی باید بهینه‌سازی و طراحی شوند. پس از جدایش محلول مادر، باید باطله نیز مورد عملیات فیلتراسیون قرار گیرد، تا مانده عناصر با ارزش نیز از آن بازیابی شود.

۱۳ــ۱ــ۳ــ بازیابی عناصر مفید از محلول مادر : یکی از مراحل مهم در روش‌های لیچینگ، بازیابی عناصر با ارزش از محلول مادر است که با روش تبادل یون، استخراج با حلال، سمنتاسیون و بسیاری روش‌های دیگر صورت می‌گیرد. در مورد هر ماده‌معدنی خاص، از روش‌های نام‌برده، پس از بهینه‌سازی پارامترهای مؤثر استفاده می‌شود.

خودآزمایی

۱ـ اصول لیچینگ را تعریف کنید.

۲ـ نقش باکتری در فرآوری را توضیح دهید.

۳ـ انواع لیچینگ را نام ببرید.

۴ـ پارامترهای مؤثر در لیچینگ را نام ببرید.

۵ـ کدام‌یک از کارخانه‌های ایران با لیچینگ کار می‌کنند؟

۶ـ تفاوت لیچینگ میکروبی و غیرمیکروبی در چیست؟

۷ـ چرا باطله حاصل از لیچینگ نیز باید فیلتر شود؟

فصل ۱۴
آب گیری

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

۱ـ اهداف آب‌گیری را بیان کند.

۲ـ روش‌های آب‌گیری را شرح دهد.

۳ـ فیلترها را شرح دهد.

۴ـ انواع فیلترها را توضیح دهد.

۵ـ خشک کن‌ها را شرح دهد.

۶ـ انواع خشک کن‌ها را شرح دهد.

۷ـ کوره را شرح دهد.

۱۴ــ آشنایی

به طور کلی عملیات آب‌گیری با سه هدف زیر صورت می‌گیرد :

الف) کاهش مایع از مواد جامد همراه آن که در این حال مایع مورد نیاز می‌باشد و مواد جامد انباشت می‌شود.

ب) جدایش مایع از جامد که در این حال مقدار مادهٔ جامد موجود در مایع افزایش می‌یابد.

ج) جدایش مواد جامد از مایع و نگهداری مایع.

بنابراین در کانه‌آرایی محصول نهایی به علت دارا بودن مقداری آب، مستقیماً قابل استفاده نبوده و نهایتاً عملیات آب‌گیری باید بر روی آن صورت گیرد.

برای انجام عملیات آب‌گیری روش‌های مختلف و دستگاه‌های گوناگونی وجود دارد که بسته به نوع مادهٔ معدنی و خواص آن می‌توان از هریک از آن‌ها یا تلفیقی از آن‌ها استفاده کرد.

الف) روش لبریز کردن مواد : هرگاه در مایعات دانه‌های جامد به صورت پراکنده باشند، بعد از مدتی دانه‌های درشت‌تر زودتر از دانه‌های ریز ته‌نشین می‌شود و با لبریز کردن مایعات، دانه‌های ریز از محیط خارج می‌شوند.

ب) روش سانتریفوژ کردن : با استفاده از نیروی گریز از مرکز، برای جدا کردن یا ته‌نشین کردن دانه‌های ریز جامد از مایعات، به وسیلهٔ چرخش مایع و ایجاد نیروی گریز از مرکز، ذرات به اطراف منتقل و از سوراخ‌های ریزی که در آن تعبیه شده از آن خارج می‌شود.

ج) روش فشرده کردن : برای جدایش جامد از مایع، از فشردن کردن پالپ با اجسام اسفنجی استفاده می‌کنند.

د) روش فیلتر کردن : برای کاهش بیشتر رطوبت از صافی‌ها استفاده می‌شود.

هـ) روش حرارت دادن : این روش براساس اصول فیزیکی تبخیر، استوار بوده و مایعات با دمادهی بخار شده و جسم جامد تا حد مورد نظر خشک می‌شود.

۱۴ــ۱ــ تیکنرها

روش‌های آب‌گیری در سه مرحله صورت می‌گیرد.

۱ــ تیکنر کردن

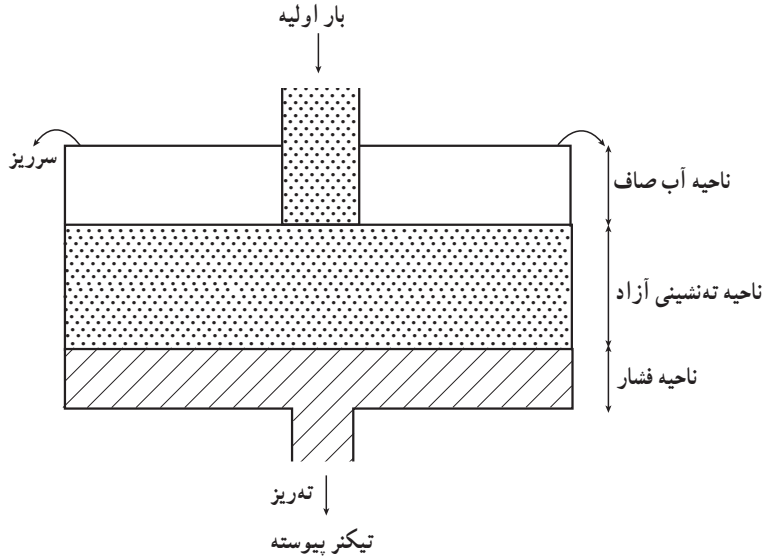
۲ــ فیلتر کردن

۳ــ خشک کردن

در شرایطی که اختلاف چگالی جامد و مایع زیاد باشد تیکنر کردن، روش بسیار مناسبی است. با این عمل ۵۵ تا ۶۰ درصد آب کنسانتره گرفته می‌شود. با فیلتر کردن رطوبت تا ۱۰ درصد نیز می‌رسد که در مرحله بعدی با روش خشک کردن به زیر ۰/۵ درصد کاهش می‌یابد.

در تیکنر کردن چنانچه سرعت ته‌نشینی ذرات کم باشد با اضافه کردن مواد آلی (فلوکولاسیون) و موادمعدنی (کواگولاسیون) سرعت ته‌نشینی را افزایش می‌دهند. در تیکنر کردن عملیات ته‌نشینی در حوضچه‌هایی انجام می‌شود که به آن تیکنر می‌گویند. در طی عملیات، ذرات ته‌نشین شده و با درصد جامد مورد نظر از انتهای آن خارج و آب نیز جهت تصفیه و برگرداندن به کارخانه در حوضچه‌های دیگر وارد می‌شود.

شکل صفحهٔ بعد یک تیکنر پیوسته را نشان می‌دهد.



۱۴ــ۲ــ فیلترها

فیلترها از دستگاه‌های متداول صنعتی، جهت جداسازی مواد جامد موجود از سیال می‌باشند. به علت کاربردهای گوناگون، این دستگاه‌ها امروزه در اشکال مختلف ساخته شده و جهت مصارف گوناگون مورد استفاده قرار می‌گیرند. عمل فیلتراسیون را می‌توان به عبور سیال حاوی مواد جامد از یک بستر ثابت با یک غشاء که ابعاد خلل و فرج‌های آن کوچکتر از اندازهٔ ذرات جامد می‌باشد، تشبیه نمود. در نتیجه سیال از این بستر عبور کرده و مواد موجود در آن برجا می‌ماند. معمولاً جریان ورودی به فیلتر، تحت فشار می‌باشد تا عمل عبور از غشاء سریع‌تر انجام گیرد. با گذشت زمان مواد جامد که باقی می‌ماند، به تدریج منافذ عبور سیال را مسدود می‌کند و افت فشار در فیلتر را بالا می‌برد؛ لذا باید سطح فیلتر را از مواد جامد پاک نمود تا جریان مجدداً برقرار گردد.

در فیلترها سعی بر آن است که سطح فیلتر را زیاد کنند تا مقدار جریان افزایش یابد. فیلترها به دو نوع پیوسته و غیرپیوسته تقسیم می‌شوند. انتخاب فیلترهای غیرپیوسته، بیشتر بر ملاحظات اقتصادی استوار است. جریان ورودی به این فیلترها می‌تواند با اعمال فشار یا خلأ درون فیلتر یا با استفاده از نیروی وزن مواد، انجام شود. فیلترهای صفحه‌ای[۱] و لوله‌ای[۲] را نوع غیرپیوسته و فیلترهای تسمه‌ای استوانه‌ای را از نوع فیلترهای پیوسته مشخص کرده‌اند.

۱۴ــ۲ــ۱ــ فیلترهای صفحه‌ای (فیلتر پرسی) : یکی از قدیمی‌ترین انواع فیلترهاست که

۱ــ Plate and Frame Filters ۲ــ Tube Filter Press

برای انواع سیالات مورد استفاده قرار می‌گیرد. فشار کارکرد این دستگاه معمولاً psi ۱۰۰ـ۵۰ است ولی برای فشارهای تا psi ۱۰۰۰ نیز چنین دستگاه‌هایی ساخته شده است. در این فیلترها غشاء بین دو صفحه قرار می‌گیرد و عمل فیلتراسیون را انجام می‌دهد. برحسب نوع ورود مواد به فیلتر این فیلترها را به ورودی گوشه‌ای[۱]، ورودی جانبی[۲]، ورودی مرکزی[۳] و نوع فیلتر پرس تیغه‌ای تقسیم نموده‌اند.

ساختمان فیلتر پرس

۱۴ـ۲ـ۲ـ فیلتر پرس با ورودی گوشه‌ای : این نوع فیلتر پرس در شکل نشان داده شده است و معمولی‌ترین نوع مورد مصرف فیلتر پرس می‌باشد. بار ورودی از طریق سوراخی که در گوشهٔ صفحه فیلتر قرار دارد، وارد فیلتر می‌شود و بین غشاء، توزیع می‌گردد. ورودی از گوشهٔ پایین انجام می‌گیرد و خروجی مایع از قسمت بالای فیلتر صورت می‌گیرد. در این حالت فیلتر در آغاز کار به خوبی هواگیری می‌شود. در صورتی که مواد جامد به سرعت رسوب کنند، می‌توان بار را از بالا وارد نمود. در بعضی از این دستگاه‌ها برای افزایش جریان ورودی، بار از دو قسمت وارد می‌شود. در این نوع فیلتر پرس ویسکوزیتهٔ سیّال نقش مهمی ندارد.

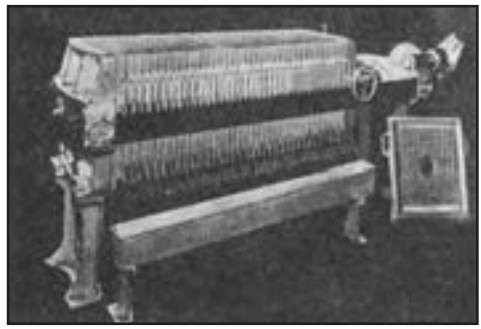
فیلتر پرس با ورودی گوشه‌ای

۱ـ Corner Feed Filter Press ۲ـ Side Feed Filter Press ۳ـ Center Feed Filter Press

۱۴ــ۲ــ۳ــ فیلتر پرس با ورودی جانبی : در این نوع فیلتر پرس جریان ورودی مطابق شکل از دیوارهٔ جانبی وارد می‌شود و مایع خروجی نیز از سمت دیگر خارج می‌شود. عملیات مطابق فیلتر پرس با ورودی گوشه‌ای است، با این تفاوت که معمولاً قسمت ورودی وخروجی، مجزا از صفحهٔ بعدی و قاب بوده و در هنگام کار به فیلتر پرس متّصل می‌شوند. در این حالت غشاء یک پارچه بوده، نیازی به سوراخ کردن یا تغییر شکل قاب و صفحه نیست.

فیلتر پرس با ورودی جانبی

۱۴ــ۲ــ۴ــ فیلتر پرس با ورودی مرکزی : در این نوع فیلتر پرس جریان سیّال ورودی از مرکز، وارد فیلتر پرس می‌شود و بین صفحات غشاء توزیع می‌گردد. در این دستگاه برخلاف دستگاه‌های قبل امکان گرفتگی مسیر در اثر رسوب شدن مواد جامد بسیار کم می‌باشد زیرا در تماس مستقیم با جریان ورودی است. روش کار این فیلتر پرس شبیه دستگاه‌های قبلی است با این تفاوت که تعداد صفحات این دستگاه کمتر است.



فیلتر پرس با ورودی مرکزی

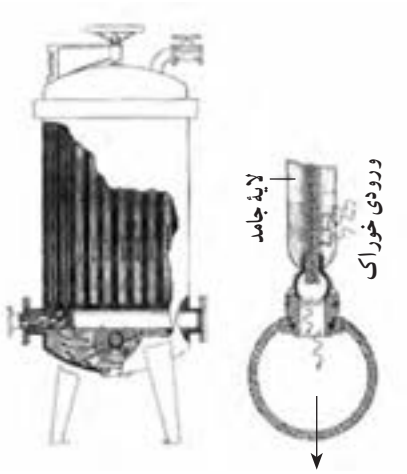
۱۴ــ۲ــ۵ــ فیلتر پرس تیغه‌ای : این دستگاه شبیه فیلتر پرس با ورودی گوشه‌ای است با این تفاوت که به وسیلهٔ تیغه‌های فلزی، تجمع ذرّات جامد در آن به حداقل رسیده است. از این

دستگاه زمانی استفاده می‌کنند که مقدار ذرات جامد بسیار کم باشد و زمانی که از صفحات پشم شیشه‌ای استفاده شود، در حد میکرون مقدار مواد جامد را کاهش می‌دهد.

فیلتر پرس تیغه‌ای

۱۴ـ۲ـ۶ـ فیلترهای لوله‌ای[1]:

در این دستگاه از غشاهای فلزی جهت فیلتراسیون استفاده شده است که به طور لوله‌ای ساخته شده‌اند. این غشاها در لوله‌ای قرار گرفته و به طور عمودی در استوانه‌ای جانمایی می‌شود. غشاء فیلتراسیون ممکن است از سرامیک، کربن، پلاستیک و موارد مشابه ساخته شود. این غشاها بعد از هر بار مصرف می‌توانند مجدداً پس از شستشو، مورد استفاده قرار گیرند. عمل شستشو به علت شکل غشاهای فیلتر به راحتی انجام می‌گیرد.



فیلتر غشایی (لوله‌ای)

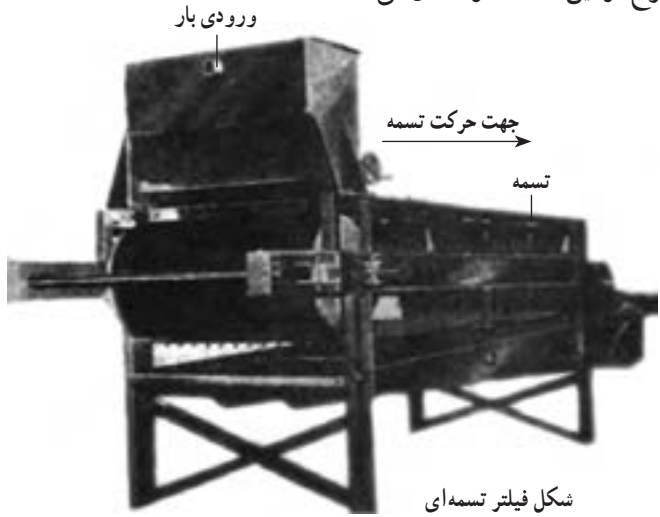
در فیلترهای مداوم همان طوری که از نامشان پیداست، عمل فیلتراسیون برای مدّت طولانی بدون توقّف انجام می‌گیرد و بدیهی است که در این حالت، عملیات کامل نمی‌باشد. در این دستگاه‌ها بار ورودی به سیستم، معمولاً به یک لایهٔ جامد مرطوب و یک محلول رقیق، تقسیم می‌شود. هرچه محلول خروجی رقیق‌تر باشد فیلتراسیون بهتر انجام می‌شود. اصول کار این فیلترها، مشابه فیلترهای غیرپیوسته است، با این تفاوت که به محض افزایش ضخامت لایهٔ جامد روی غشاء، فیلتر به وسیلهٔ این لایه از غشاء جدا شده و از سیستم خارج می‌گردد.

هرچه اختلاف فشار در دو سطح غشاء بیشتر باشد، مقدار جریان عبوری افزایش خواهد یافت.

۱ـ Tube Filter Press

اگرچه جریان سیّال از غشاء می‌تواند به علت وزن سیّال با فشار با خلأ انجام گیرد، ولی در بسیاری از این دستگاه‌ها از خلأ جهت عبور مایع از غشاء استفاده می‌کنند.

۱۴ــ۲ــ۷ــ فیلترهای تسمه‌ای: در این فیلترها مواد ورودی را از بالا بر روی تسمه می‌ریزند. تسمه حرکت افقی داشته، جنس آن از غشاء مورد نیاز می‌باشد. ضمن حرکت افقی تسمه، مایع از منافذ آن عبور کرده، مواد جامد در روی تسمه باقی می‌مانند. در انتهای مسیر هنگامی که تسمه برمی‌گردد، مواد جامد از روی آن تراشیده و در ضمن برگشت تسمه در قسمت پایین می‌توان با وسایل مختلف تسمه را شستشو داد تا عاری از رسوب گردد و دوباره در معرض مواد ورودی قرار گیرد. شکل زیر یک نوع از این دستگاه را نشان می‌دهد.



شکل فیلتر تسمه‌ای

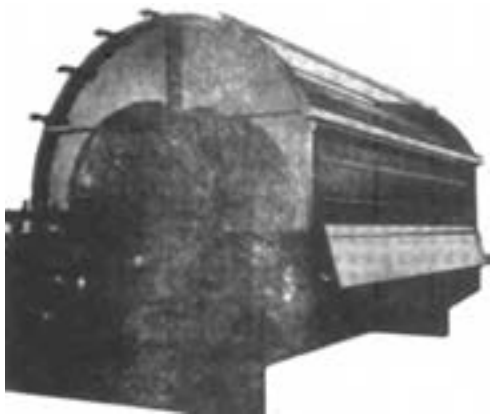
۱۴ــ۲ــ۸ــ فیلترهای استوانه‌ای[1]: این فیلترها به لحاظ حجم کم و کارآیی بالا، امروزه در اشکال مختلفی به کار گرفته شده‌اند. این دستگاه‌ها از استوانه‌ای تشکیل شده‌اند که مواد به طرق مختلفی به آن‌ها منتقل می‌شود. خلأ مایع جریان ورودی را به داخل می‌کشد و مادهٔ جامد بر روی بدنهٔ استوانه باقی می‌ماند. جنس بدنهٔ استوانه از غشاهای مخصوص فیلتر ساخته شده است. استوانه در حال گردش به دور محور افقی خود می‌باشد. از زمانی که سیّال بر روی استوانه ریخته می‌شود، عمل فیلتراسیون انجام می‌گیرد و لایه‌ای از مادهٔ جامد بر روی استوانه تشکیل می‌گردد. این لایه قبل از این که استوانه یک دور کامل بزند، به وسیلهٔ تیغه‌هایی که مماس بر سطح استوانه می‌باشند، تراشیده می‌شود و سطح تمیز دوباره در معرض جریان ورودی قرار می‌گیرد. بین فاصلهٔ تراشیده شدن مواد

۱ــ Drum Filters

جامد و تماس جریان ورودی به فیلتر، می‌توان در صورت لزوم عمل شستشو را انجام داد. این عمل باید به سرعت و به نحوی انجام گیرد که در خلأ داخل سیستم خللی ایجاد نشود. بدیهی است در این حالت مقدار آب شستشو حجم زیادی خواهد داشت که باید دقّت لازم صورت گیرد. شکل زیر یک نوع از این فیلترها را که بار ورودی آن‌ها از بالا وارد می‌شود نشان می‌دهد.

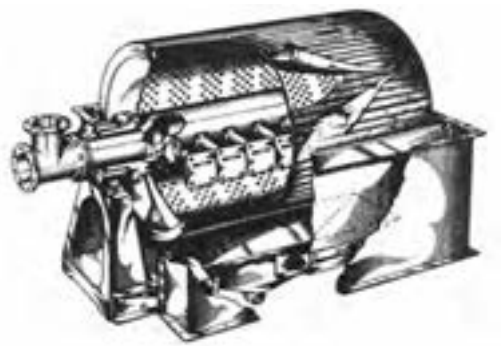
فیلتر استوانه‌ای با بار ورودی از بالا

در شرایطی که بار قبل از ورود به فیلتر نیاز به هم زدن داشته باشد، معمولاً بار را در ظرفی مجهز به هم‌زن قرار می‌دهند و در این حالت قسمت استوانه‌ای فیلتر همواره در تماس با سیّال بوده، در هر دور قسمتی از مایع را در حالت مکش به درون استوانه رانده و مادهٔ جامد باقی مانده روی استوانه توسط کاردک‌هایی تراشیده می‌شود. در این جا نیز بدنهٔ استوانه از جنس غشاء فیلتر می‌باشد. (شکل الف) این نوع فیلتر را نشان می‌دهد.



الف ــ فیلتر دورانی

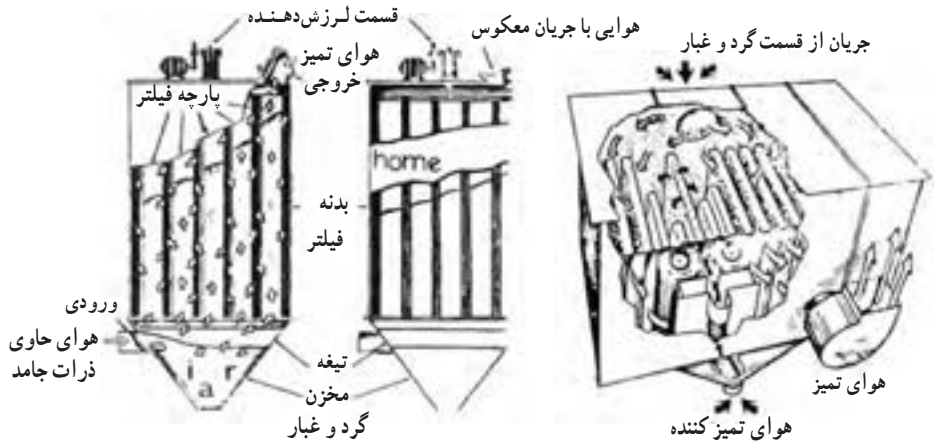
در برخی از دستگاه‌ها به جای تراشیدن لایهٔ جامد تشکیل شده، استوانهٔ فیلتر از داخل به نحوی ساخته شده که در قسمتی از آن هوا به شدت از داخل به خارج استوانه دمیده می‌شود. این عمل به جدا شدن رسوبات منجر می‌گردد. (شکل ب) یک نوع از این فیلتر را نشان می‌دهد.



ب ــ فیلتر دورانی

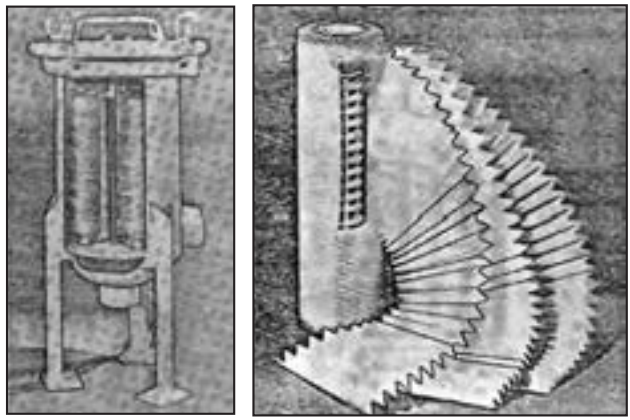
۱۴ــ۲ــ۹ــ فیلترهای پارچه‌ای : در این فیلترها از غشاء پارچه‌ای جهت جداسازی ذرّات جامد از گاز و بخار استفاده می‌کنند. گازها به هنگام عبور از پارچه، ذرّات خود را برجای می‌گذارند. به منظور عمل بهتر و مداوم فیلتر، ذرّات رسوب شده برروی فیلتر را به روش‌های مختلفی از آن جدا می‌کنند. در برخی از فیلترها از وسایل مکانیکی جهت دور کردن ذرّات استفاده می‌کنند. در انواع دیگر فیلترها به وسیلهٔ تکان دادن و یا استفاده از جریان هوای معکوس، فیلتر را از ذرّات جدا می‌سازند. کارآیی عمل، به ماهیت ذرّات بستگی دارد؛ ولی عموماً بسیار بالا می‌باشد. از این فیلترها زمانی استفاده می‌شود که مقدار ذرات جامد موجود در جریان گاز زیاد نباشد، در غیراین صورت منافذ فیلتر به سرعت مسدود شده، افت فشار بالا می‌رود و کارآیی شدیداً پایین خواهد آمد. جنس غشاء پارچه‌ای با توجه به نوع مواد جامد و گاز، انتخاب می‌شود. غشاء باید از نظر شیمیایی نسبت به مواد مقاوم بوده، در صورتی که ذرّات ساینده‌ای در جریان گاز وجود داشته باشد، مقاومت غشاء و در مقابل سایش نیز باید در نظر گرفته شود. در شکل فیلتر پارچه‌ای نشان داده شده که با استفاده از جریان معکوس هوا، ذرّات روی غشاء از آن جدا می‌شود.

در نوع دیگری از فیلترهای پارچه‌ای، غشاءها به صورت آماده، به شکل‌های مختلفی ساخته شده‌اند که به آسانی در محل خود در دستگاه جای می‌گیرند. در شکل یک نوع از این فیلترها را با غشاهای مورد استفاده آن که به صورت لوله‌ای هستند، نشان می‌دهد.



فیلترهای پارچه‌ای

در این نوع فیلترها غشاهای «کارتریج» را به آسانی می‌توان تعویض نمود و پس از شستشو مجدداً مورد استفاده قرار داد. لازم به تذکر است که جنس این فیلترها ممکن است از مواد طبیعی نظیر پشم و پنبه و یا از مواد مصنوعی نظیر پشم شیشه، داکرون، نایلون، الیاف، اکریلیک و سلولزی باشد.



فیلتر با غشاء کارتریج قابل تعویض

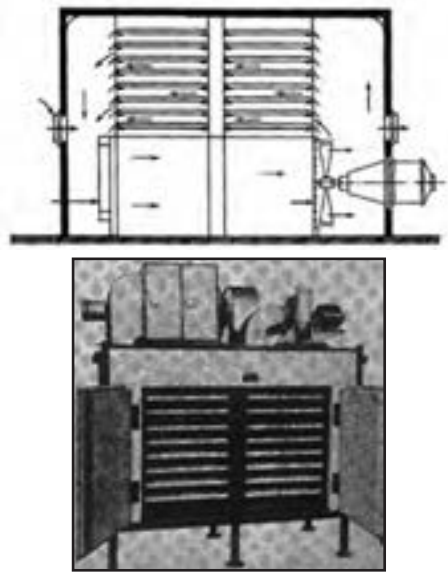
۱۴ــ۳ــ خشک‌کن[۱]

خشک‌کن‌ها دستگاه‌هایی هستند که به منظور جدا کردن مایع از مواد جامد مرطوب، مورد استفاده قرار می‌گیرند. چون در مواردی کنسانترهٔ به دست آمده از فلوتاسیون محتوی میزان قابل توجهی رطوبت است، لذا ضرورت ارسال آن‌ها به دستگاه‌های خشک‌کن کاملاً محسوس است. خشک‌کن‌ها امروزه انواع مختلفی دارند و با توجه به چگونگی رفتار مادهٔ مرطوب در طی خشک شدن و خواص فیزیکی و شیمیایی آن در خطوط تولید قرار می‌گیرند.

خشک‌کن‌ها نیز مانند فیلترها به دو نوع غیرپیوسته و پیوسته تقسیم می‌شوند.

۱۴ــ۳ــ۱ــ خشک‌کن‌های غیرپیوسته

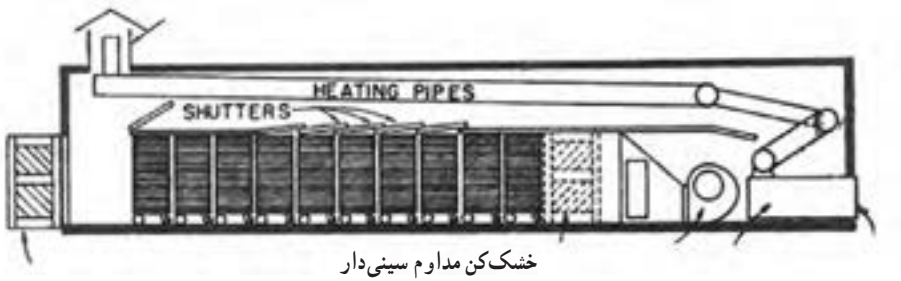
خشک‌کن‌های سینی‌دار: این خشک‌کن‌ها از ساده‌ترین انواع خشک‌کن‌های مورد استفاده در صنعت می‌باشند. از محفظه‌ای تشکیل شده‌اند که در داخل آن‌ها سینی‌هایی به موازات یکدیگر قرار گرفته است که مواد مرطوب را روی آن‌ها قرار داده و به کمک یک منبع حرارتی و یک بادبزن هوای گرم و خشک را از محفظه ورودی مواد مرطوب عبور می‌دهند.



خشک‌کن سینی‌دار

۱ــ Dryers

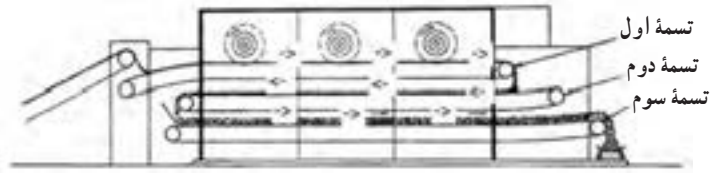
در نوع دیگری از این خشک‌کن‌ها، سینی‌ها از طریق چهارچوب متحرکی که در آن قرار گرفته‌اند، جهت بارگیری به خارج خشک‌کن برده می‌شوند و بعد از قرار دادن مواد در داخل آن‌ها وارد خشک‌کن می‌گردند. معمولاً چهارچوب سینی‌ها دارای چرخ‌هایی است که امکان حرکت آن را آسان می‌سازد و یا در مواردی حرکت سینی‌ها بر روی ریل انجام می‌گیرد.



خشک‌کن مداوم سینی‌دار

۱۴ــ۳ــ۲ــ خشک‌کن‌های پیوسته : این خشک‌کن‌ها عموماً از تونلی تشکیل شده‌اند که تسمه‌ای در آن در حال حرکت می‌باشد. مواد بر روی تسمه قرار گرفته، در مدتی که طول تونل را طی می‌نمایند، در تماس با هوای گرم بوده، خشک می‌شوند. طول این خشک‌کن‌ها ممکن است گاهی به بیش از یک صد متر برسد.

در مواردی که نیاز به زیر و رو کردن مواد خشک شونده در روی تسمه‌ها باشد، از خشک‌کن‌های چند تسمه‌ای استفاده می‌کنند. جهت حرکت تسمه‌ها و مسیر کلی مواد در شکل دیده می‌شود.

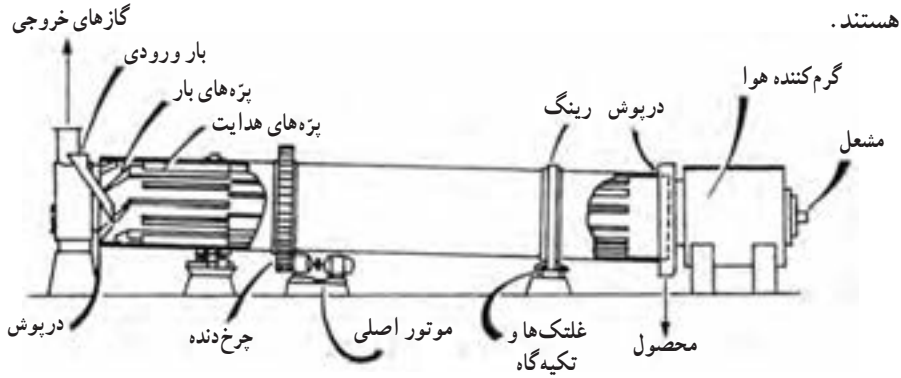


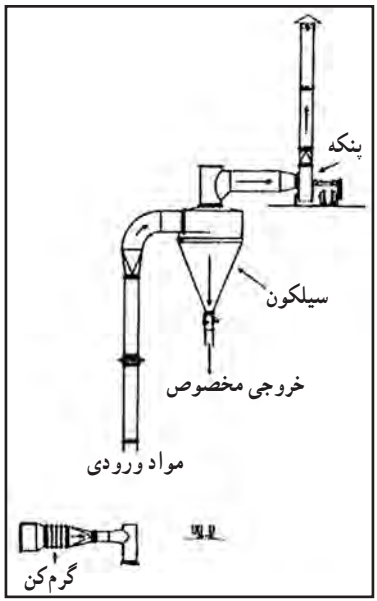
خشک‌کن‌های چندتسمه‌ای

الف) خشک‌کن‌های پیچی[1] : در این نوع خشک‌کن‌ها عمل انتقال و حرکت مواد در یک محفظهٔ استوانه‌ای که در آن هوای گرم و خشک در تماس با مواد مرطوب است، توسط یک یا چند مارپیچ صورت می‌گیرد که ضمن گردش آن‌ها مواد به جلو رانده می‌شوند. این دستگاه‌ها برای آن دسته از موادی به کار می‌روند که اولاً تحت فشار، خواص فیزیکی و شیمیایی آن‌ها تغییر نکند ثانیاً به بدنهٔ استوانه یا پیچ‌ها نچسبد.

۱ــ Screw dryers

ب) خشک‌کن‌های استوانه‌ای : این خشک‌کن‌ها برای خشک کردن پالپ‌ها، مایعات غلیظ شده و مواد خمیری شکل به کار می‌روند و از دستگاه‌های پرمصرف در صنایع غذایی و صنایع شیمیایی هستند.





خشک‌کن هوایی

ج) خشک‌کن‌های هوایی[1] : خشک‌کن‌های هوایی جهت خشک کردن ذرّات جامد و مرطوب به کار می‌روند. در این دستگاه‌ها ذرّات در معرض جریانی از هـوای داغ قرار می‌گیرند و ضمن انتقال به وسیلهٔ هوای داغ در تونل‌هایی خشک می‌شوند. در این خشک‌کن‌ها همهٔ ذرّات مرطوب تماس نسبتاً کاملی با هوای داغ پیدا کرده، به سرعت خشک می‌شوند و به همین علّت زمان اقامت در این خشک‌کن‌ها از چند ثانیه تجاوز نمی‌کند. زمان خشک شدن بین ۳ تا ۱۰ ثانیه تغییر می‌کند. مواد خروجی از فیلترها که به صورت ذرّات مرطوب از سانتریفوژهای مداوم هستند در این سیستم خشک می‌شوند. جهت پخش کردن ذرّات به طور مناسب در جریان هوای داغ از پخش کننده‌ها یا به هم‌زن‌های مکانیکی استفاده می‌کنند. هوای داغ به همراه ذرّات جامد معلّق در آن در هنگام خارج شدن از مخزن خشک‌کن، (که عموماً به طور عمودی قرار دارد) وارد دستگاه جدا کننده‌ای می‌شوند که ذرّات جامد را از جریان گاز جدا می‌کنند. این دستگاه‌ها سیکلون نام دارند و در آن‌ها ذرّات به وسیلهٔ نیروی گریز از مرکز به دیوارهٔ سیکلون منحرف و به پایین می‌ریزند و هوای عاری از ذرّات از سیکلون خارج می‌شود. در شکل یک

۱ــ Peneumatic dryers

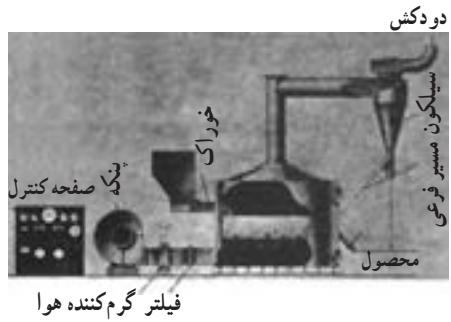
نوع از این خشک‌کن نشان داده شده است.

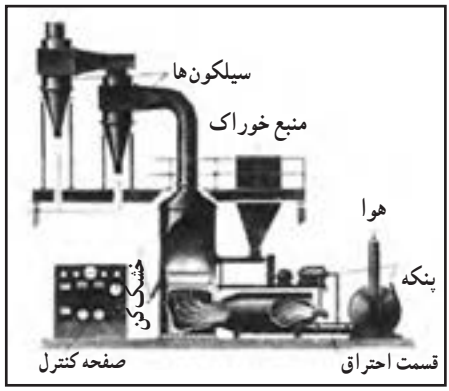
برای جریان هوا از پنکه‌های قوی استفاده می‌کنند و معمولاً یک مبدّل حرارتی که با بخار داغ کار می‌کند، جهت گرم کردن هوا به کار می‌رود. پنکه را می‌توان در پایین مخزن قرار داد که در این حالت سیستم تحت فشار کار می‌کند و در صورتی که پنکه در بالای تونل باشد، سیستم به صورت مکشی کار خواهد کرد. در این حالت پنکه در انتهای مسیر و بعد از سیکلون قرار می‌گیرد. برای جلوگیری از احتمال خروج ذرّات از سیکلون، معمولاً از یک فیلتر پارچه‌ای در انتهای مسیر و قبل از خروج گاز به محیط استفاده می‌کنند.

د) خشک‌کن‌های بستر سیّال[1] : در این خشک‌کن‌ها نیز از جریان هوای داغ برای رطوبت‌زدایی از مواد دانه‌ای شکل یا ذرّات ریز استفاده می‌کنند. اصول کار این خشک‌کن‌ها بدین قرار است که با استفاده از جریان هوای داغ ذرّات را به حالت معلّق و شناور نگه می‌دارند.

در این حالت تقریباً تمام سطح ذرّات در تماس با هوای داغ قرار گرفته، رطوبت خود را از دست می‌دهند. برای شناور نگه داشتن ذرّات، سرعت و مقدار جریان هوا باید دقیقاً تعیین شود. بدنهٔ خشک کن، استوانه‌ای شکل است و هوا از پایین وارد خشک‌کن می‌شود. برای جریان یکنواخت هوا در تمام بستر خشک‌کن از صفحهٔ توزیع کننده که در پایین استوانه قرار دارد، استفاده می‌شود. این صفحه دارای سوراخ‌های بسیار ریزی بوده که امکان عبور ذرات جامد از آن وجود ندارد؛ ولی هوا به آسانی از آن عبور می‌کند. هنگامی که هوا ذرّات را به حالت معلّق نگه‌می‌دارد، بستر حالت سیّال پیدا کرده، از بسیاری جهات دارای خواص سیّال می‌باشد و انتقال حرارت به علت تماس بسیار خوب ذرّه با هوا به خوبی انجام می‌گیرد. رطوبت جدا شده از مواد جامد به همراه هوای داغ، بستر خشک‌کن را ترک می‌کند. برای جریان هوا از پنکه‌های قوی استفاده می‌کنند. گرم کردن هوا به وسیلهٔ مبدّل‌های حرارتی انجام می‌گیرد که اکثراً از بخار داغ استفاده می‌شود. اگر خشک‌کن کوچک و الکتریسته ارزان باشد، از انرژی الکتریکی نیز می‌توان جهت گرم کردن استفاده نمود. از جریان‌های گاز خروجی از کوره نیز می‌توان به عنوان هوای داغ استفاده نمود. در این حالت هوای خروجی با استفاده از یک مشعل که جهت احتراق سوخت به کار می‌رود، گرم می‌شود و بعد از عبور از صفحهٔ توزیع، وارد خشک‌کن می‌گردد. این خشک‌کن‌ها به نام خشک‌کن حرارت مستقیم موسوم‌اند. در شکل یک نوع از خشک‌کن‌های بستر سیّال نشان داده شده است.

۱ــ Fluidized ــ bed dryers





چون جریان هوا داغ خروجی از کوره، ذرّات بسیار ریز را با خود به همراه می‌برد، جهت جدا کردن این ذرّات از هوا، از سیکلون یا فیلتر و یا هر دو استفاده می‌شود. در شکل یک خشک‌کن از نوع حرارت مستقیم نشان داده شده است.

در برخی از شرایط مواد جامد، حاوی محلول حاصل از مراحل هیدرومتالورژی بود و استفاده از هوا به علّت تأثیر اکسیژن بر مواد، مجاز نمی‌باشد. در این حالت از گازهای دیگری نظیر ازت، (جهت تبخیر حلال موجود در مواد جامد) در بستر سیّال استفاده می‌کنند. به این ترتیب که ازت بعد از عبور از مبدّل حرارتی گرم شده، وارد بستر خشک‌کن می‌شود. چون امکان ارسال ازت و حلال به محیط، از نظر اقتصادی و از نظر حفاظت محیط مجاز نیست، در این حالت گازهای خروجی را بعد از عبور از سیکلون ابتدا از یک کندانسور عبور می‌دهند تا حلال جدا شود و سپس گاز مزبور را دوباره به سیستم برمی‌گردانند تا بعد از گرم شدن وارد خشک‌کن شود. در این سیستم کلاً گازها سیکل بسته‌ای را طی می‌کنند و حلال مورد نظر نیز بازیابی می‌شود.

۱۴ــ۴ــ کوره‌ها[۱]

کوره‌ها دستگاه‌هایی هستند که به وسیلهٔ اکسیداسیون شیمیایی سوخت‌ها یا با استفاده از الکتریسیته در آن‌ها گرما تولید می‌شود. قسمت اعظم کوره‌هایی که در صنعت مورد استفاده قرار می‌گیرند، براساس اکسیداسیون سوخت‌های گازی و یا مایع عمل می‌کنند. بدیهی است که در این

۱ــ Furnaces

حالت، تأمین اکسیژن مورد نیاز سوخت نقش مهمی در عملکرد کوره خواهد داشت. قسمت احتراق سوخت در کوره مشعل نام دارد. و آن‌چه برای مشعل مهم است، اختلاط کامل سوخت و هوابه نسبت معین است. با توجه به نوع سوخت و مواد حاصل از احتراق سوخت، انواع مختلف کوره با متعلقات و دستگاه‌های کنترل مختلف ساخته می‌شوند. امروزه در اکثر صنایع، نیاز به منابع گرمایی وجود دارد. در فرآوری مواد معدنی نیز این نیاز وجود دارد. از جمله در کارخانه‌های زغال‌شویی کوره‌هایی با حرارت ۱۲۰۰ـ۱۰۰۰درجه سانتی‌گراد هوای گرم را جهت خشک کردن زغال‌سنگ کنسانتره که تا حدود ۲۰ درصد رطوبت دارد، تأمین می‌کند. در هر صورت برحسب نوع نیاز و مورد مصرف، انواع و اقسام کوره‌های مختلف وجود دارد که ساختمان هریک از آن‌ها دارای ویژگی‌های خاصی است. مثلاً از کوره‌های الکتریکی برای خالص کردن بسیاری از موادمعدنی استفاده می‌شود.

خودآزمایی

۱ـ عملیات آب‌گیری در صنعت با چه اهدافی صورت می‌گیرد؟

۲ـ روش‌های آب‌گیری را نام ببرید.

۳ـ فیلترها چگونه دستگاه‌هایی هستند و با گذشت زمان چه اقدامی باید در مورد آن‌ها انجام داد؟

۴ـ برحسب نوع ورود مواد به فیلترها آن‌ها را چگونه تقسیم‌بندی می‌کنند؟

۵ـ فیلتر پرس با ورودی مرکزی چه مزیّتی بر سایر انواع فیلتر پرس دارد؟

۶ـ اساس کار فیلترهای تسمه‌ای چگونه است؟

۷ـ فیلترهای استوانه‌ای چگونه عمل می‌کنند؟

۸ـ خشک‌کن‌ها چگونه دستگاه‌هایی هستند و چه انواعی دارند؟

۹ـ خشک‌کن‌های پیوسته دارای چه نوع عملکردی هستند؟

۱۰ـ خشک‌کن‌های هوایی چگونه کار می‌کنند؟

۱۱ـ اساس کار خشک‌کن‌های بستر سیّال چیست؟

۱۲ـ کوره‌ها چگونه کار می‌کنند و در زغال‌شویی چه مورد مصرفی دارند؟

فصل ۱۵

کنترل باطله، پساب و مسائل زیست محیطی در فرآوری مواد معدنی

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

۱ـ باطله را شرح دهد.

۲ـ نقش کانه‌آرائی در آلوده کردن محیط زیست را بیان کند.

۳ـ انواع سدهای باطله را بشناسد.

۴ـ طبقه‌بندی باطله‌ها را از نظر آلودگی فراگیرد.

۱۵ــ کنترل باطله، پساب و مسائل زیست محیطی در فرآوری مواد معدنی

باطله‌های فرآوری، موادی هستند که پس از بازیابی فلزات و یا کانی‌های غیرفلزی از کانسنگ‌ها باقی مانده و می‌توانند برحسب نوع فرایند، دانه‌ریز و دانه درشت باشند و با توجه به ماهیت مواد معدنی و روش فراوری، ترکیب شیمیایی و فیزیکی آن‌ها نیز متفاوت می‌باشد. بنابراین مدیریت باطله‌ها به ترکیب شیمیایی و فیزیکی باطله، محل کارخانه و دیگر پارامترها وابسته است. یکی از مهم‌ترین روش‌های انباشت باطله، استفاده از سدهای باطله است. این سدها با هدف نگهداری و کنترل انباشت مواد باطله و در برخی مواقع از خود باطله‌ها ساخته می‌شوند. این سدها ویژگی‌های مشترکی با سدهای ذخیره آب نیز دارند.

معمولاً باطله‌های معدنی را خاک‌های سطحی، روباره معدنی، مواد کم ارزش، باطله‌های

کارخانه‌های فرآوری و مواد به‌جا مانده از مراحل لیچینگ تشکیل می‌دهند. موارد زیر انواع باطله‌های کانه‌آرائی را با توجه به ماهیت و شکل ذرات و دانه‌بندی آن‌ها مشخص می‌سازد.

ــ در فرایند خردایش، ذرات جامد و با تنوع شکل و معمولاً بدون رطوبت و از چند میلی‌متر تا چند صد میکرون متغیر است.

ــ در جدایش ثقلی، ذرات شکل و محدوده مشخص دارند و اغلب درشت دانه هستند.

ــ در سنگ جوری، تنوع شکل و بدون رطوبت و ابعاد آن‌ها در حد سانتی‌متر است.

ــ در جدایش مغناطیسی و الکترواستاتیکی، شکل و محدوده دانه‌بندی مشخص و تا چند میکرون می‌رسد.

ــ در فرایند فلوتاسیون، باطله‌ها به‌صورت پالپ بوده، به همراه مواد شیمیایی و اغلب ریزتر از ۷۵ میکرون هستند.

ــ در فرایندهای لیچینگ، باطله‌ها بصورت بسیار مرطوب بوده و مواد شیمیایی آلاینده موجود در آن‌ها بسیار آسیب رسان بوده و محدوده ابعادی آن‌ها از چند صد میکرون ریزتر از میکرون نیز می‌رسد.

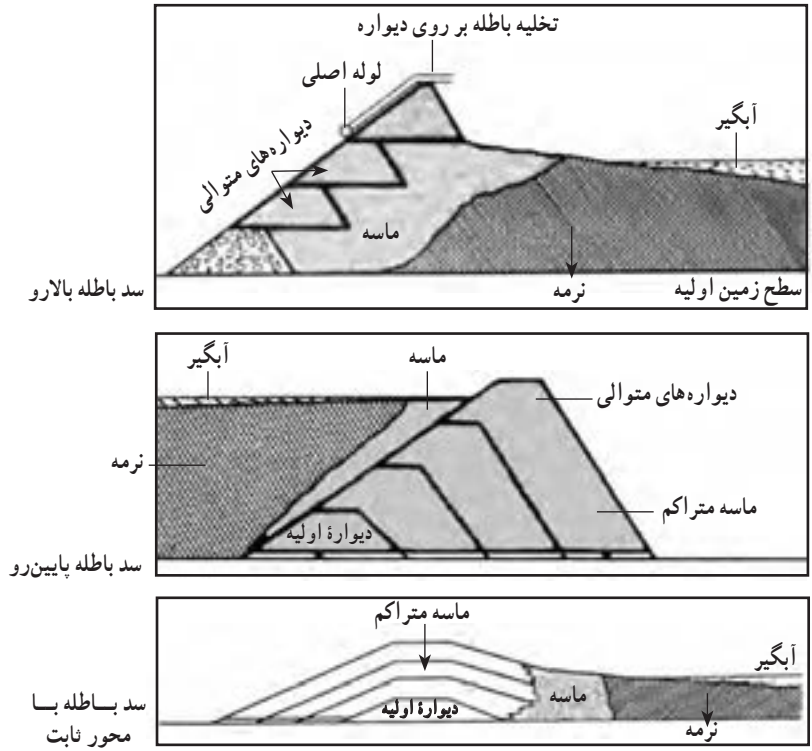
ــ در آب‌گیری از کنسانتره، باطله حاصله، بسیار آلوده و بسته به نوع فرایند، دانه‌بندی متفاوتی دارند.

۱۵ــ۱ــ انواع سدهای باطله

یکی از مهم‌ترین مراحل انباشت باطله، انتخاب محل آن است که بهتر است از نظر اقتصادی نزدیک به معدن و کارخانه باشد. این بخش حجم قابل توجهی از فعالیت‌های معدنی را به خود اختصاص می‌دهد.

زمین زیر سد باید مقاوم باشد و از نظر حمل مجدد آب به کارخانه مطالعات لازم مانند نفوذ به سد باطله، تبخیر و موارد مشابه صورت گیرد. سد باطله ممکن است در داخل دره‌ها نیز ایجاد شود. هزینه‌های انباشت باطله بسیار زیاد و قیمت تمام شده محصول کارخانه را تحت شعاع قرار می‌دهد. در مواقع خاص مانند بادهای شدید، زلزله، سیل و موارد مشابه، تدابیر خاصی باید اتخاذ گردد.

معمولاً سه نوع سد باطله جهت انباشت طراحی می‌شود. سد باطله بالارو، پایین‌رو و محور ثابت. شکل‌های صفحهٔ بعد سه نوع سد باطله را نشان می‌دهد.



سد باطله بالارو، بسیار ساده و کم هزینه است. در این روش سدی با ارتفاع کم در پایین‌ترین ارتفاع ساخته و دیواره سد در مراحل بعد به سمتی که بستر ارتفاع بیشتری دارد، پیشروی می‌کند.

در مدل پایین‌رو، با بالا رفتن دیواره سد، محورطولی آن در امتداد شیب بستر به سمت پایین پیروی می‌کند.

در سد با محور ثابت، خط الرأس دیواره سد با بالا رفتن در وضعیت ثابتی قرار می‌گیرد. در این روش سرعت عملیات بیشتر از سد پایین‌رو است.

۱۵ــ۲ــ انتقال آب به کارخانه

معمولاً ۶۰ درصد آب توسط تیکنرها به کارخانه منتقل می‌شود و حدود ۱۳/۵ درصد به سد باطله نفوذ و ۶/۵ درصد تبخیر می‌شود که در کل حدود ۲۰ درصد آب جبرانی لازم است. البته اعداد ذکر شده برحسب نوع ماده معدنی و سازه و شرایط جوی متغیر می‌باشد.

۱۵ــ۳ــ طبقه‌بندی باطله‌ها از نظر نوع آلایندگی

آلودگی زیست محیطی ناشی از فعالیت‌های معدنی بخصوص فرآوری شامل آلودگی شیمیایی و فیزیکی می‌باشد. آلودگی شیمیایی بسیار جدی و خطرناک می‌باشد و آلودگی فیزیکی از فرایندهای فیزیکی مانند تولید گرد و غبار جامدات معلق در آب و دیگر موارد ناشی می‌شود.

موارد زیر انواع آلاینده را بسته به نوع فرآوری و میزان آسیب‌رسانی آن‌ها مشخص می‌سازد.

ــ سیانور (شیمیایی) که از باطله‌های سیانوراسیون طلا حاصل و بسیار سمی می‌باشد.

ــ فلزات سنگین (شیمیایی) که از باطله‌های طلا و فلزات پایه حاصل و بسیار سمی می‌باشد.

ــ زهاب‌های اسیدی (شیمیایی) که از باطله‌های سولفیدی حاصل و باید خنثی‌سازی شود.

ــ پساب‌های خطرناک (شیمیایی) که از پساب‌های واحد آب‌گیری ــ فلوتاسیون و لیچینگ بوده و بسته به نوع آلاینده بودن آن باید تصفیه و خنثی شود.

ــ مواد فرار و گازهای سمی(شیمیایی) که ناشی از فرایندهای خردایش، لیچینگ و فلوتاسیون بوده و باید رقیق و خنثی‌سازی شود.

ــ مواد رادیواکتیو (شیمیایی) که از باطله‌های مواد رادیواکتیو مانند اورانیوم بوده و باید به‌شدت کنترل و دفن شود.

ــ مواد حاصل از لیچینگ و بسته به نوع مواد و فرایند باید کنترل شود.

از آلاینده‌های نوع فیزیکی می‌توان به گرد وغبار، صوت و سرو صدا اشاره کرد که باید کنترل شوند.

۱۵ــ۴ــ کنترل مسائل زیست‌محیطی

معمولاً روش‌های تصفیه و یا استفاده مجدد از باطله و پساب‌های کارخانه‌ای به دلیل وجود سیانور، پساب‌های اسیدی و فلزات سنگین به شرح زیر می‌باشد.

ــ روش‌های حذف سیانور مانند تجزیه طبیعی، روش‌های فیزیکی و روش‌های شیمیایی

ــ روش‌های تصفیه پساب‌های اسیدی مانند سیستم‌های تصفیه فعال، کانال‌های آهکی باز، باکتری، تصفیه غیرفعال، بیولوژیکی و تالاب

ــ روش‌های حذف فلزات سنگین مانند روش‌های رسوب‌دهی و الکتروشیمی

ــ روش‌های فیزیکی مانند تبخیر، فیلتراسیون و روش‌های بیولوژیکی

خودآزمایی

۱ـ چرا باطله‌ها را باید مدیریت نمود؟

۲ـ باطله‌ها چه نوع موادی هستند؟

۳ـ روش‌های انباشت باطله را نام ببرید.

۴ـ باطله‌ها را از نظر نوع فرایند طبقه‌بندی کنید.

۵ـ باطله‌ها را از نظر نوع آلایندگی طبقه‌بندی کنید.

۶ـ اهمیت مسائل زیست محیطی در فعالیت‌های فرآوری را چگونه ارزیابی می‌کنید؟

منابع فارسی

۱ــ جزوات درسی دکتر بهرام رضایی عضو هیئت علمی دانشگاه صنعتی امیرکبیر (۱۳۹۰)

۲ــ خردایش و طبقه‌بندی ــ دکتر بهرام رضایی، انتشارات نور ۱۳۷۶

۳ــ پرعیارسازی ثقلی ــ دکتر بهرام رضایی، انتشارات دانشگاه هرمزگان ۱۳۷۷

۴ــ پرعیارسازی مغناطیسی ــ دکتر بهرام رضایی، انتشارات دانشگاه امیرکبیر ۱۳۷۸

۵ــ فلوتاسیون ــ دکتر بهرام رضایی، انتشارات دانشگاه هرمزگان ۱۳۷۵

۶ــ تکنولوژی زغال‌شویی ــ دکتر بهرام رضایی، انتشارات دانشگاه امیرکبیر ۱۳۸۰

۷ــ تهیهٔ مواد معدنی ــ دکتر رامز وقار، انتشارات دانشگاه تهران، شماره ۱۱۴۷ چاپ ۱۳۴۶

۸ــ استاندارد روش‌های نمونه‌گیری در سنگ معدنی منگنز بارگیری شده در واگن‌های باربری ــ انتشارات مؤسسهٔ استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران

۹ــ کانه‌آرایی ــ ایران برزگر، انتشارات مدرسه عالی معدن شاهرود (جزوه درسی سال ۱۳۵۴)

۱۰ــ آشنایی با معدن‌کاری ــ حسن مدنی، انتشارات دفتر تحقیقات و برنامه‌ریزی درسی وزارت آموزش و پرورش چاپ ۱۳۶۴

۱۱ــ مهندسی مواد معدنی ــ فرج‌الله مجاب، جزوه انتشاراتی سازمان سنجش آموزش کشور اسفند ماه ۱۳۵۶

۱۲ــ کانه‌آرایی ــ دکتر حسین نعمت‌اللهی، انتشارات دانشگاه تهران زمستان ۱۳۷۵

۱۳ــ ماشین‌آلات صنعتی ــ شهرزاد برقی، کتاب درسی سال سوم رشته صنایع شیمیایی هنرستان‌های فنی ۱۳۶۸

۱۴ــ کانه‌آرایی ــ کتاب‌های دکتر نعمت‌اللهی، دانشگاه تهران سال (۹۰ــ۱۳۸۸)

منابع انگلیسی

۱ــ Wills. B. A. Mineral Processing Technology Pergamon press– 1981.

۲ــ N. L. Weiss. Mineral Processing Vol. 1.1985.