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]

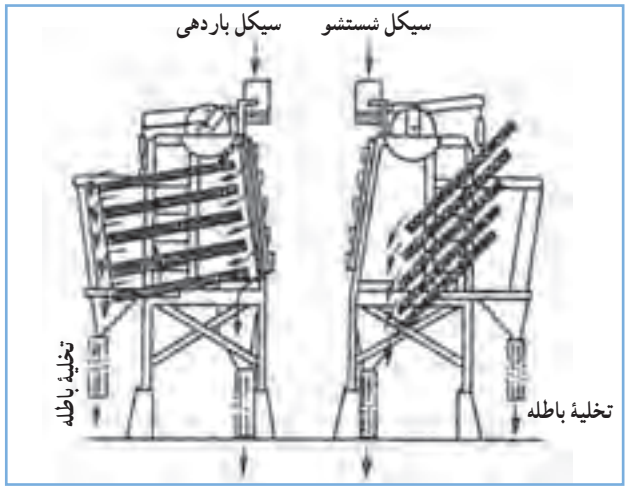
این میز از یک‌سری صفحات که به طور موازی روی هم قرار گرفته‌اند، تشکیل شده است. شیب صفحات در حدود ۵ تا ۱۰٪ بوده و هرقدر ابعاد ذرات ریزتر باشد، شیب صفحات کمتر خواهد بود. باری که به این دستگاه‌ها می‌دهند، بسیار نرم بوده، در بعضی شرایط به ۵۰۰ مش در سیستم تیلور می‌رسد ولی به طور معمول ذرات ابعاد ۲۰۰ مش دارند. 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.

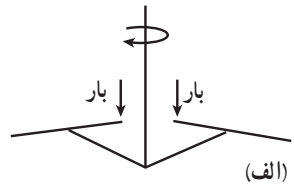
۱ــ Revolving table

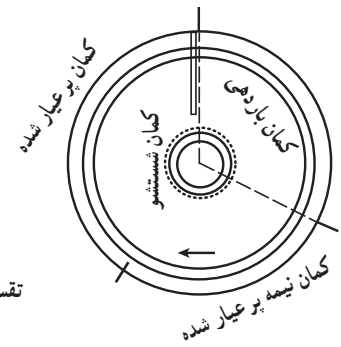
هنگامی که شیب میز به طرف مرکز میز قرار دارد هرقدر به مرکز میز نزدیک‌تر شویم، دبی جریان بیشتر می‌شود و در نتیجه، سطح جریان کمتر می‌گردد. در صورتی که اگر شیب به طرف خارج باشد با دور شدن از محور چرخش، چون سطح اضافه می‌شود، دبی جریان کمتر می‌گردد. به طوری که در شکل قسمت «الف» ملاحظه می‌گردد، ذرات درشت و 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 :

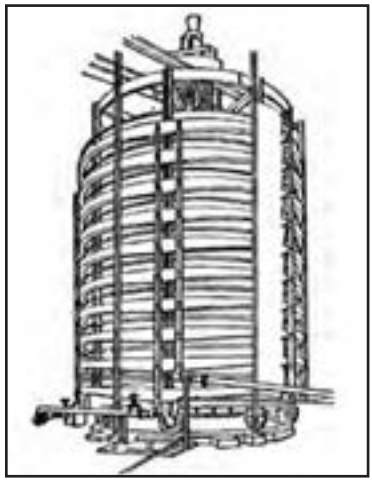
جدول مشخصات مختلف میز گردان

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 :

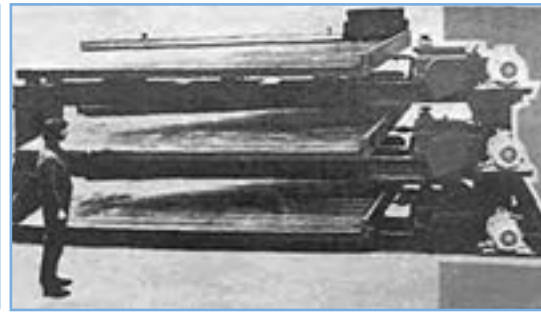
۹ــ۳ــ۲ــ میز ویلفلی : این میز یکی از متداولترین میزها در نوع خود است که تاکنون تغییرات زیادی داشته است. امروزه بیش از ۲۲ هزار نمونه میز ویلفلی در جهان مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این میز برای سهولت کار، قسمت بالا را قسمت «بار» و قسمت پایین را قسمت «باطله» قسمتی که مواد پرعیار شده را می‌دهد قسمت «کنسانتره» 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.

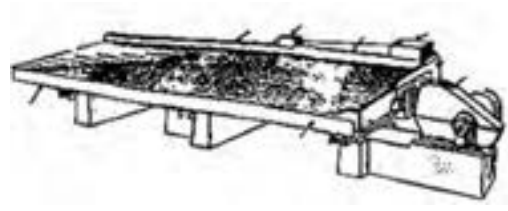
۱ــ Shaking Tables ۲ــ Wilfley table ۳ــ Spiral

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

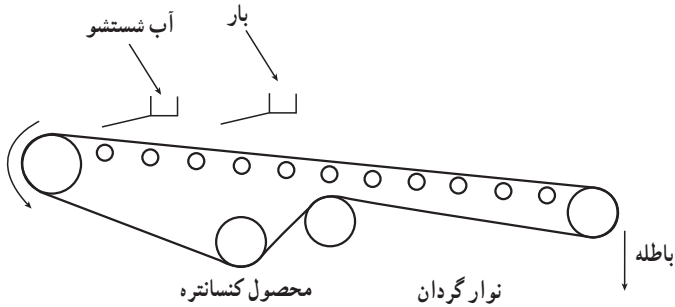
۹ــ۳ــ۳ــ نوارهای گردان : این دستگاه از یک نوار بی‌انتها تشکیل گردیده که مواد توأم با آب بر روی آن وارد می‌شود و مواد سبک و ریز در جهت شیب، به طرف پایین حرکت می‌کنند و مواد سنگین در اثر حرکت نوار و در جهت عکس شیب بالا برده شده، با آب شستشو می‌شوند. جریان آب باعث شستن مواد متوسط به طرف پایین شده، مواد 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

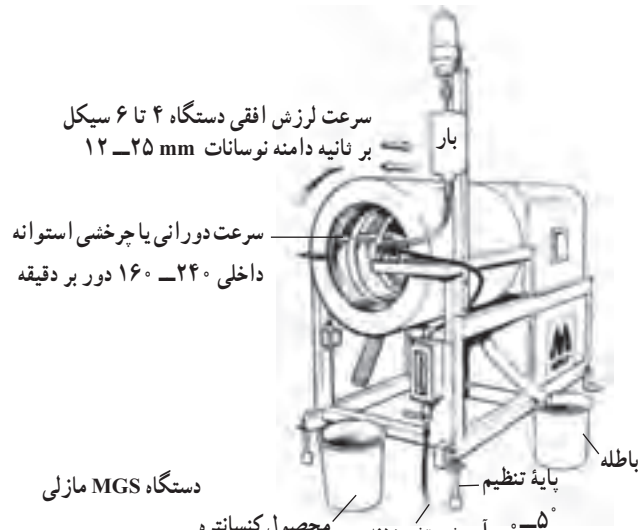
۱ــ Frue ۲ــ Isell

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.

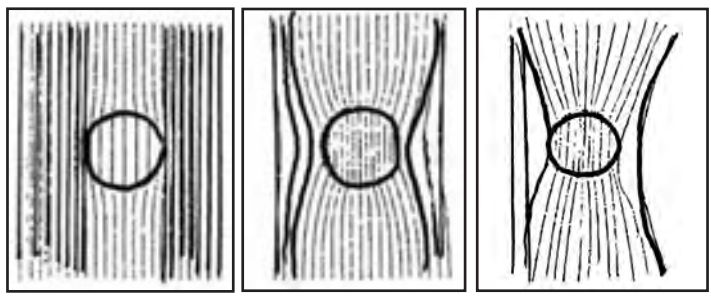
۱۰ــ۱ــ خاصیت کانی‌ها از نظر جدا کردن با مغناطیس

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

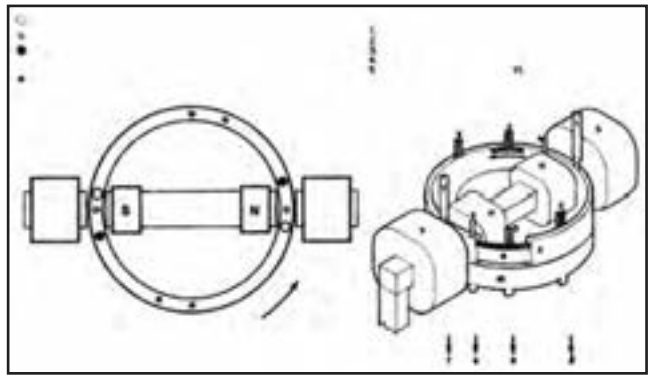
نام کانی	عدد	نام کانی	عدد	نام کانی	عدد
آهن	۱۰۰	هماتیت	۱/۳۲	کوارتز	۰/۳۷
منیتیت	۴۰/۱۸	زیرکن	۱/۰۱	روتیل	۰/۳۷
فرانکلینیت	۳۵/۳۷	لیمونیت	۰/۸۴	دولومیت	۰/۲۲
ایلمنیت	۲۴/۳۷	کروندون	۰/۸۳	آپاتیت	۰/۲۲
پیروتیت	۶/۶۹	پیرولوزیت	۰/۷۱	تالک	۰/۱۵
سیدریت	۱/۸۲	مگانیت	۰/۵۲	منیزیت	۰/۱۵
		کالامین	۰/۵۱	ژیپس	۰/۱۲
				کالسیت	۰/۰۳

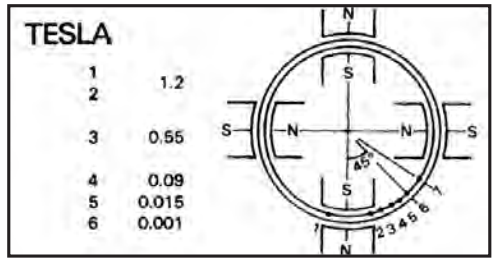
۴ــ دستهٔ چهارم : موادی که جذب آهن‌ربا نمی‌شوند، این دسته از مواد دیامنیتیتی تشکیل شده‌اند و به علاوه تمام مواد غیرمغناطیسی دیگر به این دسته تعلق دارد و شامل شئلیت ــ مولیبدنیت ــ کاستریت ــ کوارتز ــ کلسیت ــ فلدسپات و موارد مشابه است.

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 :

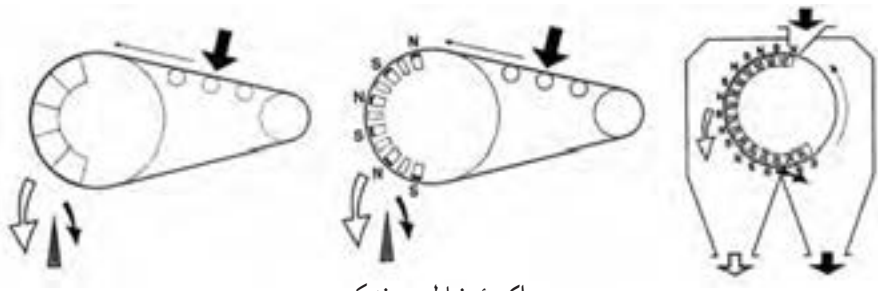
اول : جدا کنندهٔ استوانه‌ای به روش‌های خشک و مرطوب.

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

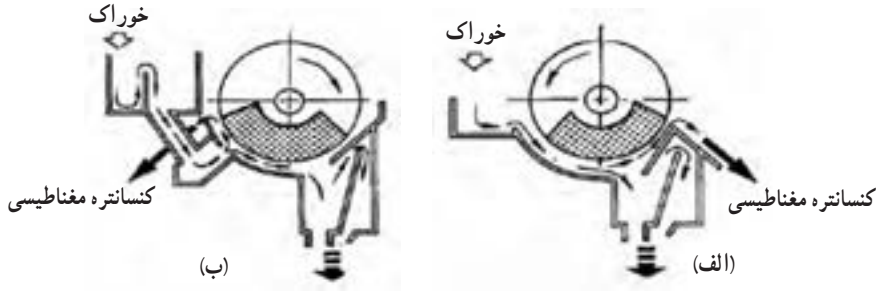
برنج که خاصیت مغناطیسی ندارد، درست شده باشد. مواد اولیه از بالای جدا کننده، وارد می‌شود و کانی‌هایی که خاصیت مغناطیسی ندارند، در روی استوانه لغزیده، و کانی‌هایی با خاصیت مغناطیسی جذب شده، به خارج هدایت می‌شوند.

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

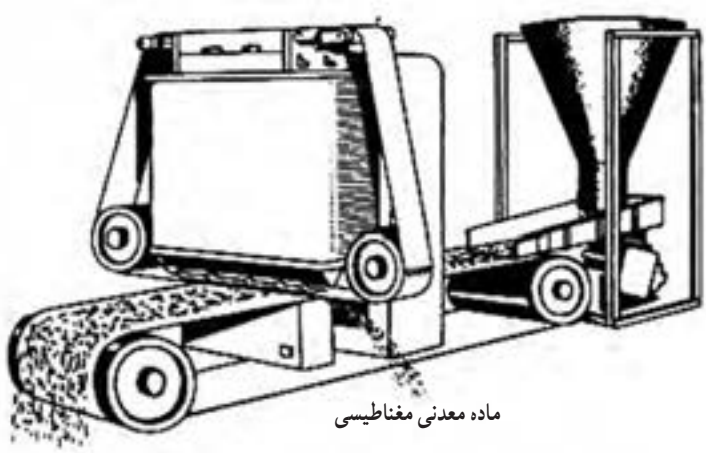
دانه‌های درشت‌تر کانی‌هایی با خاصیت مغناطیسی متوسط را هم می‌توان به کمک این روش، پرعیار کرد. مهم‌ترین جداکننده‌های مغناطیسی قوی خشک، عبارت‌اند از :

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

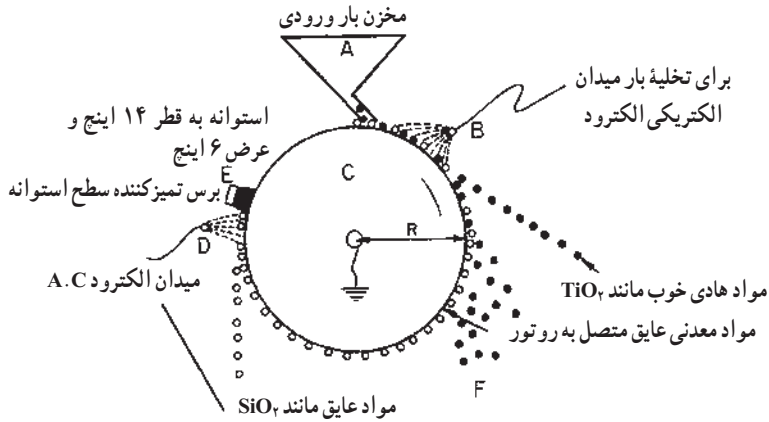
جداکننده‌های الکترواستاتیکی دو نوع‌اند : نوع اول دستگاه‌های الکترواستاتیکی با میدان‌های قوی؛ و نوع دوّم، الکترواستاتیکی با میدان‌های ضعیف. هر دو دستگاه در اساس یکی بوده، ولی جنس و مقدار نیروی مصرفی آن‌ها تفاوت دارند و باید در هر مورد (بسته به نوع سنگ معدنی) که می‌خواهند کار کنند، دستگاه با میدان قوی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

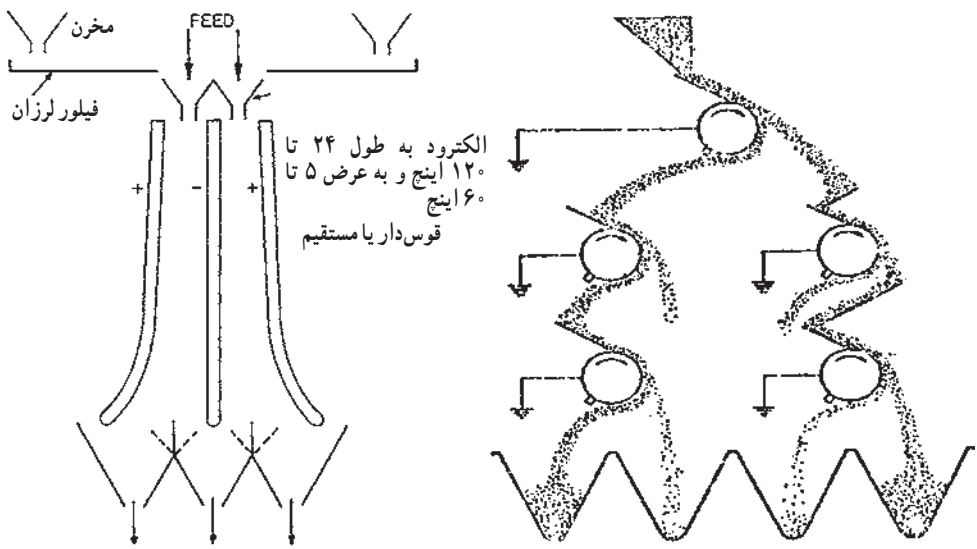
۱۱ــ۱ــ۱ــ جداکنندهٔ الکترواستاتیکی مخزنی : در این جدا کننده‌ها اجزاء موادی که جدایش می‌شوند، قبلاً در اثر اصطکاک باردار شده، بار مثبت یا منفی به خود گرفته‌اند، در نتیجه از بالای جدا کننده، به محیط جدایش نزدیک به محور مخزن، فرستاده می‌شوند.

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

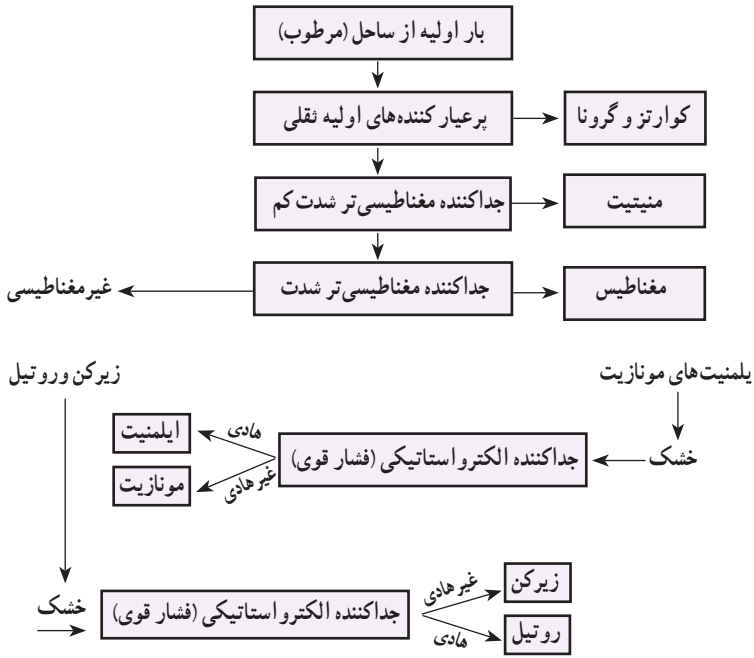
۱۱ــ۲ــ کاربرد ترکیبی جداکننده‌های مغناطیسی و الکترواستاتیکی

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

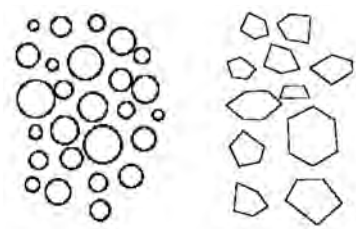
مراحل اولیهٔ کار فلوتاسیون بر آزمایش و تجربه استوار شده بود زیرا معلومات و مبانی علمی کمی در دسترس بوده، ولی در سال‌های اخیر، اصول تئوری آن کمک زیادی به توسعهٔ این فرایند نموده است. به طور کلی عملیات فلوتاسیون را می‌توان به سه قسمت تقسیم کرد :

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

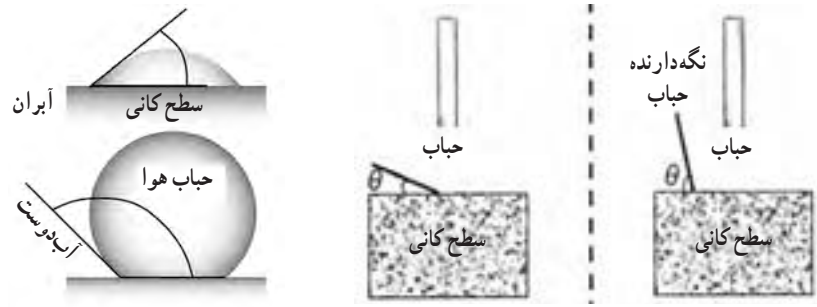
در شکل سمت چپ، حباب‌های هوا کروی است که به وسیلهٔ لایه‌های آب، از هم جدا شده‌اند؛ این حباب‌ها کوچک و کم دوام بوده، مقدار آب در آن‌ها زیاد است، در حالی که در حباب‌های تقریباً چند وجهی، حباب‌ها خشک،

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

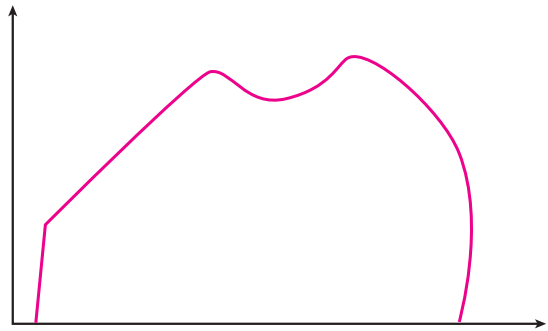
در این جا خواص مهم آب از نظر فلوتاسیون، یعنی کشش سطحی هیدراتاسیون و تأثیر املاح محلول در آب بیان می‌شود.

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.

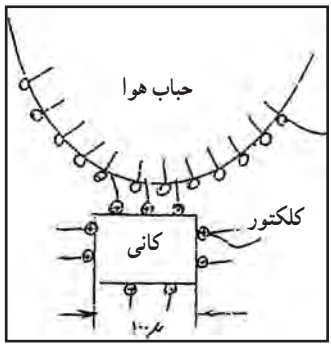
۱۲ــ۳ــ۲ــ تنظیم کننده‌های pH[1] : تنظیم کننده‌ها معرف‌هایی هستند که میزان اسیدی یا قلیایی بودن محلول‌ها را تنظیم نموده، pH محیط را ثابت نگه می‌دارند تا فلوتاسیون در شرایط مناسبی انجام شود. محلول‌های اسیدی دارای pH پایین‌تر از ۷، محلول‌های خنثی دارای pH مساوی ۷ و محلول‌های قلیایی دارای pH بزرگتر از ۷ 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؛

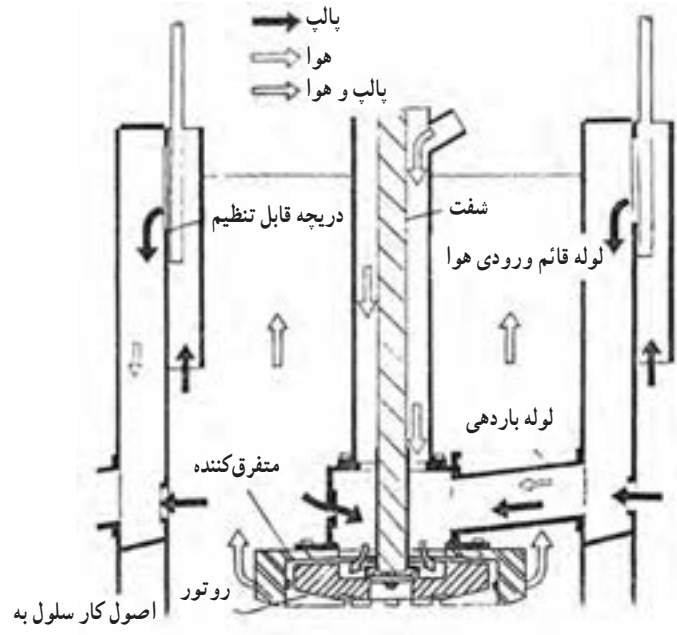
۲ــ سلول‌هایی که با هوای فشرده کار می‌کنند؛

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.

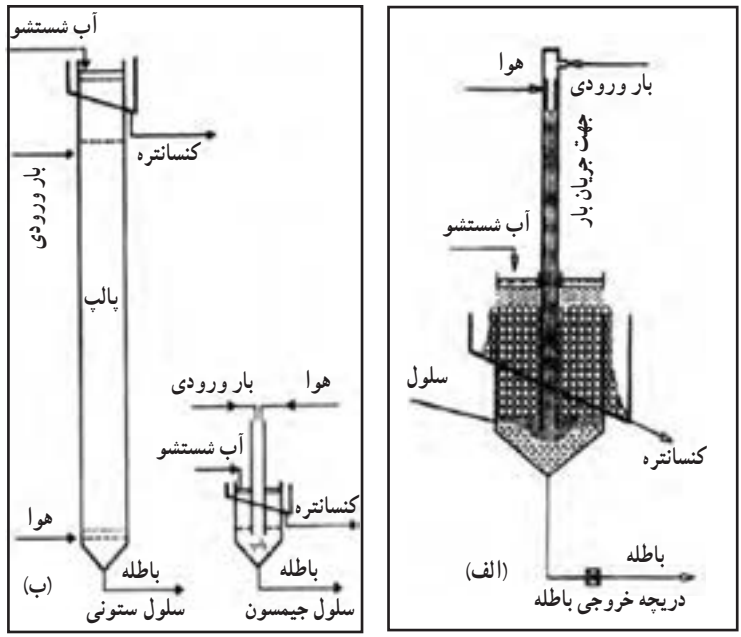
۱۲ــ۵ــ۳ــ سلول‌های پروانه‌دار که با هوای اضافه شده کار می‌کنند : این نوع سلول‌ها در حقیقت مخلوطی از دو روش یاد شده است که در اثر حرکت پروانه‌ها و استفاده از هوای فشرده اضافه شده، عمل فلوتاسیون را انجام می‌دهد.

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

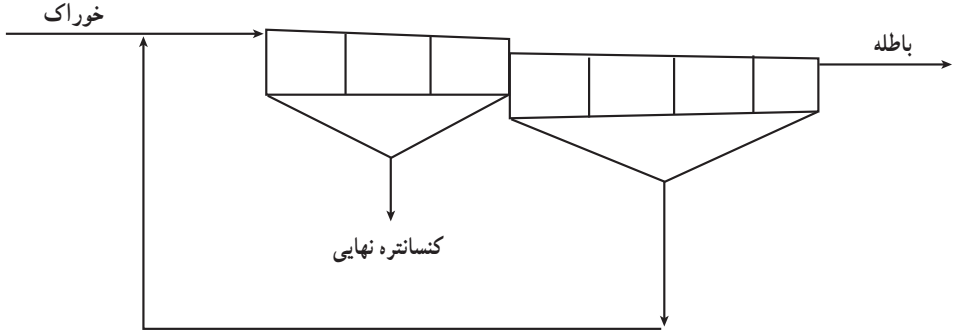
و مواد شیمیایی را به هم می‌زنند و سپس مخلوط را وارد سلول‌های فلوتاسیون می‌کنند. دستگاه مخلوط کنندهٔ استوانه‌ای است که در داخل آن یک پروانهٔ هم زن قرار دارد. مخلوط سنگ معدن و آب با نسبت معینی از قسمت پایین، وارد دستگاه شده، پس از مدّت زمان مشخصی، از لبه ظرف خارج می‌گردد. مخلوط سپس وارد سلول‌ها شده، در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



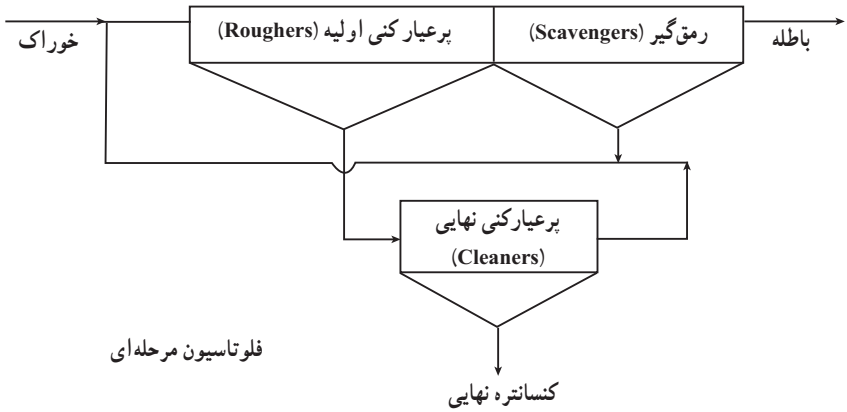
سلول‌های فلوتاسیون

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

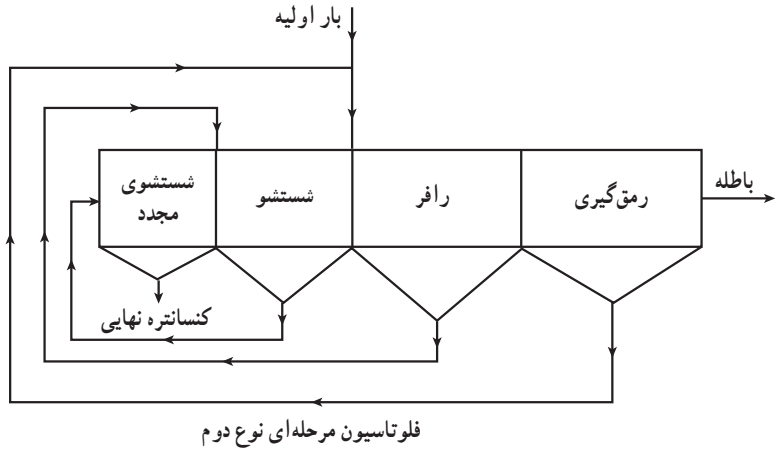
الف) مدار ساده : در این نوع اتصال، فقط یک کنسانتره تشکیل می‌شود.



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؟