

# فصل ۹

## جدایش به روش میزها

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

۱- جدایش در جریان‌های افقی را شرح دهد.

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

۳- صفحهٔ تغلیظ «بکمن» را شرح دهد.

۴- میز گردان را شرح دهد.

۵- دستگاه‌های متحرک را توضیح دهد.

۶- نوارهای گردان را شرح دهد.

### ۹- 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:

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

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

۳- 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 اندازه ذرات از حدّ معینی کمتر نباشد. شکل ذرات هر قدر کروی تر باشد، عمل راندن ذرات در روی صفحه شیب دار، بهتر انجام می شود اما ذراتی که برای پرعیار کردن به کار می روند، دارای اشکال نامعین بوده، کارآیی آنها بیشتر توسط لغزش انجام می شود.

هنگامی که ذرات را به داخل جریان آب می ریزیم، ذرات تا مدت کمی غوطه ور مانده، سپس رسوب می نمایند و در روی سطح شیب دار قرار می گیرند. تجربه نشان می دهد که سرعت سقوط ذرات در ابتدای سقوط به وزن مخصوص بستگی داشته و مستقل از ابعاد می باشد.

### مطالعه آزاد

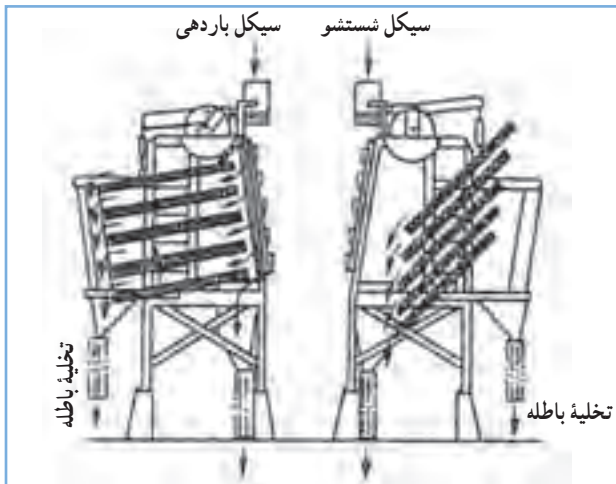
#### ۹-۱- صفحه تغلیظ بکمن<sup>۱</sup>

این میز از یک سری صفحات که به طور موازی روی هم قرار گرفته اند، تشکیل شده است. شیب صفحات در حدود ۵ تا ۱۰٪ بوده و هر قدر ابعاد ذرات ریزتر باشد، شیب صفحات کمتر خواهد بود. باری که به این دستگاهها می دهند، بسیار نرم بوده، در بعضی شرایط به ۵۰۰ مش در سیستم تیلور می رسد ولی به طور معمول ذرات ابعاد ۲۰۰ مش دارند. مخلوط آب و ذرات در حدود ۱۰٪ تا ۲۵٪ جامد داشته، بقیه آن آب می باشد، این مخلوط در تمام عرض روی صفحات میز ریخته می شود، 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 ۵ تا ۶۰ درصد پیدا می نماید و یک فواره آب از بالا با فشار روی سطوح ریخته می شود، در اثر فشار آب ذراتی که روی صفحه باقی مانده اند، به حرکت درآمده، در یک ظرف جداگانه جمع می شوند. مدت شستشو در حدود ۱-۵ دقیقه می باشد دستگاه خودکار، کار موتور باردهی و قطع آن و سپس تغییر شیب صفحات و ریزش آب را، انجام می دهد. تعداد صفحات معمولاً از ۱۰ صفحه تجاوز نمی کند و به طور معمول ۶-۵ صفحه، روی هم قرار دارد. در بعضی نقاط از نوعی تغلیظ کننده که فقط ۲ صفحه دارد، استفاده می شود.

جنس صفحات چوبی است و در مواردی دارای روکش لینولئوم می باشد، 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 کم عیار را که از نظر اقتصادی قابل پرعیار سازی با دستگاههای دیگر نیستند، پرعیار می کنند. این دستگاهها و مصرف انرژی آنها بسیار کم

<sup>۱</sup> - 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 صفحه بکمن مجدداً تغلیظ می‌شوند.

طرز کار میز تغلیظ بکمن

جدول مشخصات صفحه تغلیظ بکمن

مشخصه	اندازه - مقدار
طول صفحات	۳-۵ متر
عرض صفحات	۲-۳ متر
ظرفیت در ۲۴ ساعت	۰/۵-۰/۳ تن در هر متر عرض
سرعت جریان آب روی صفحات	۳۰ سانتی‌متر
راندمان	۰/۵-۰/۳ درصد و اکثر ۶۰ درصد
عمر مفید صفحات	۱-۱/۵ سال
مصرف آب به ازای هر تن جامد	یک متر مکعب

## ۹-۲- میز گردان<sup>۱</sup>

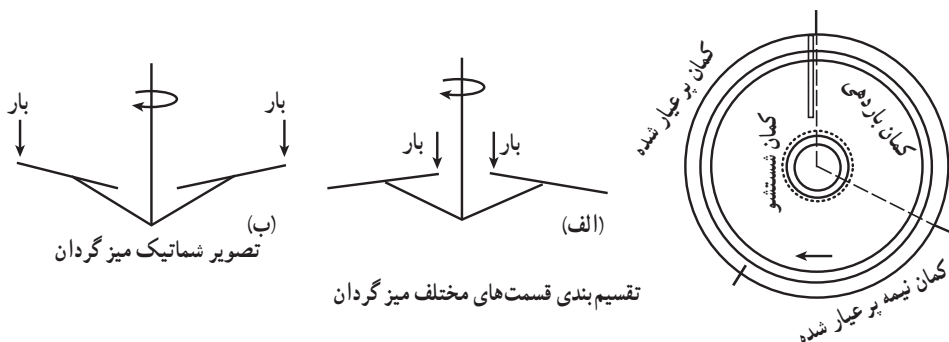
این نوع میزها از یک صفحه مخروطی شکل با سطحی شیب‌دار، که قابل دوران حول محور عمودی خود می‌باشد، تشکیل شده‌اند. شیب صفحه مخروطی به خارج و در مواردی به داخل می‌باشد.

۱- Revolving table

هنگامی که شیب میز به طرف مرکز میز قرار دارد هر قدر به مرکز میز نزدیک تر شویم، دبی جریان بیشتر می شود و در نتیجه، سطح جریان کمتر می گردد. در صورتی که اگر شیب به طرف خارج باشد با دور شدن از محور چرخش، چون سطح اضافه می شود، دبی جریان کمتر می گردد. به طوری که در شکل قسمت «الف» ملاحظه می گردد، ذرات درشت و سنگین در کناره باقی مانده، (اصولاً به حرکت در نمی آیند) و ذراتی که به حرکت درآمده اند هر قدر به طرف مرکز نزدیک تر شوند، سرعت بیشتری یافته، خارج می گردند، در حالی که در میز شکل «ب» تقریباً تمام ذرات در مرکز به حرکت درآمده، هر قدر به جدارها نزدیک شوند، به علت کم شدن جریان آب قادر به حمل ذرات نبوده، آن ها را به ترتیب وزن مخصوص جا می گذارد و فقط ذرات بسیار کوچک همراه با آب خارج می شوند. 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 می گردد، ولی این سرعت دورانی نباید آنقدر زیاد شود که ذرات در اثر نیروی گریز از مرکز به خارج پرتاب گردند. به این دلیل با درشت تر شدن ذرات، سرعت دورانی میز کمتر می شود.

نحوه باردهی میز از مرکز بوده و قطاعی از دایره مرکزی را در برمی گیرد که به آن «قطاع باردهی» گویند. بقیه طول کمان برای شستشو استفاده می گردد و «کمان شستشو» نامیده می شود محیط دایره مرکزی به دو قسمت باردهی و شستشو تقسیم می شود. در قسمت باردهی مخلوط جامد و آب به طور یکنواخت ریخته می شود که آب ذرات نرم و سبک را با خود حمل کرده، خارج می کند و ذرات سنگین روی سطح میز باقی می ماند، چون میز در حال گردش است این ذرات به قسمت دیگر برده می شوند تا آب با فشار زیاد آن ها را شسته، تقسیم بندی کند.



در جدول برخی از مشخصات میزهای گردان ذکر شده است :

### جدول مشخصات مختلف میز گردان

مشخصه	اندازه — مقدار
قطر میز	حدود ۶ متر
شیب کلی میز	۱۰-۸ سانتی متر 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	۲۷۰-۹۰ درجه
عیار بار ورودی	۲-۴ درصد
عیار ماده پرعیار شده	۲۰-۱۰ درصد

برای تغلیظ هرچه بیشتر ماده معدنی، پس از آن عیار محصول «کنسانتره» به حدّ معینی رسید، می توان محصول پرعیار شده 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 می گیرند تعداد زیادی صفحه موازی دارند که روی هم و با فواصل مساوی ۳۵-۳۰ سانتی متر قرار می گیرند. این دستگاه ها روزانه تا صد تن سنگ معدن را پرعیار نموده و عیار متوسط آن را از ۵-۳ به ۲۰-۱۵ درصد می رسند.



میز گردان در مقیاس صنعتی

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

## ۹-۳- دستگاه‌های متحرک

در این دستگاه‌ها صفحه 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 به کار می‌روند عبارت‌اند از: میز لرزان<sup>۱</sup>، میز ویلفلی<sup>۲</sup> و اسپیرال‌ها<sup>۳</sup>.

۹-۳-۱- 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 نوارهایی است که باریک و طولیل بوده، به موازات یکدیگر روی سطح میز، کوبیده شده‌اند. همچنین می‌توان شیارهایی با ایجاد شکاف در تخته 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 وسیله 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 لایه بالایی قرار گرفته‌اند، شسته، در امتداد شیب میز پایین می‌راند. متداولترین نوع میزهای لرزان میز ویلفلی می‌باشد که در اینجا به شرح آن می‌پردازیم:

۹-۳-۲- 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 «کنساتره» 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 جعبه آب شستشو وجود دارد که آب را به طور یکنواخت روی سطح میز می‌پاشد. سطح میز به وسیله روکشی از لینولوم پوشانده شده است و صفحه آن مستطیل یا دوزنقه‌ای شکل است که روی آن با نوارهای چوبی، شیاردار گردیده چنان که ضخامت شیارها از قسمت باردهی به طرف کنساتره 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  $(\frac{1}{4})$  اینچ)  $\frac{6}{5}$  میلی‌متر است.

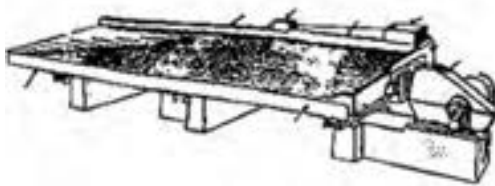
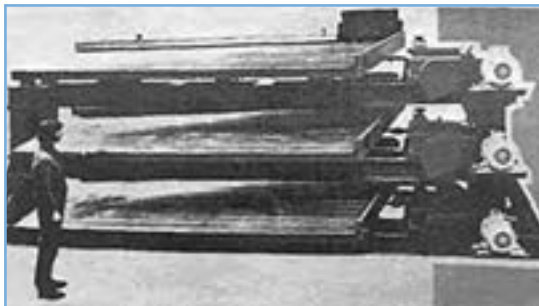
۱- Shaking Tables

۲- Wilfley table

۳- 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 ماده 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، نتیجه 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، کارایی پایین‌تر خواهد آمد. البته ناگفته نماند، که سنگ‌های کربناته به علت آن که دارای وزن مخصوص بسیار نزدیکی به وزن مخصوص گانگ (که اکثراً از سیلیس و سیلیکات‌ها تشکیل شده است) می‌باشند کارایی خوبی ندارند، ولی در مورد سولفیدها بخصوص گالن کارایی بسیار مطلوبی دارد.



میز لرزان

### جدول مشخصات میز ویلفلی

مشخصه	اندازه — مقدار
طول میز	۵ متر
عرض قسمت فوقانی	۲ متر
عرض قسمت تحتانی	۱/۵ متر
شیب عرضی نسبت به افق	۱۰-۴ درجه
شیب طولی برای ذرات نرم	۴-۲ سانتی متر در هر متر طول
شیب طولی برای ذرات درشت	۸-۵ سانتی متر در هر متر طول
تعداد رفت و آمد میز	۲۸۰-۲۳۰ بار در دقیقه
دانه حرکت	۳-۲ سانتی متر
مصرف آب	۶-۴ متر مکعب برای هر تن سنگ معدن
کارآیی جدایش	۶۰-۵۰ درصد
ظرفیت با بار به ابعاد ۸/۰ میلی متر در مورد سنگ معدن گالن	۲۰ تن در ۲۴ ساعت

۹-۳-۳- نوارهای گردان : این دستگاه از یک نوار بی انتها تشکیل گردیده که مواد توأم با آب بر روی آن وارد می شود و مواد سبک و ریز در جهت شیب، به طرف پایین حرکت می کنند و مواد سنگین در اثر حرکت نوار و در جهت عکس شیب بالا برده شده، با آب شستشو می شوند. جریان آب باعث شستن مواد متوسط به طرف پایین شده، مواد سنگین را به سمت مواد کنساتره می راند. برای جلوگیری از تقسیم و طبقه بندی شدن مواد در امتدادهایی موازی با امتداد جریان و همچنین برای کمک به جدا شدن مواد، تمام نوار با یک حرکت سریع، لرزانده می شود.

تسمه های نوع «فرو»<sup>۱</sup> و «ایسبل»<sup>۲</sup> متداول تر از سایر تسمه ها می باشند.

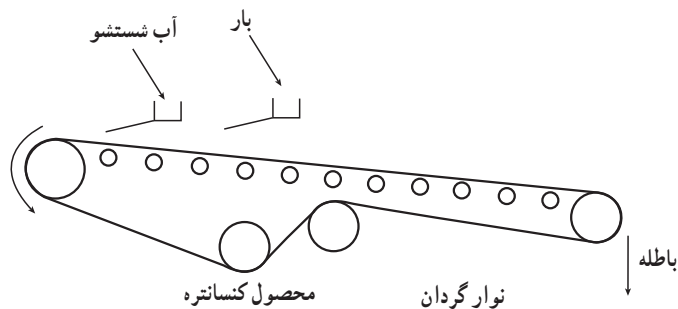
با این وسیله می توان مواد خیلی ریز، یعنی نرمه ها را که با میز پرعیار نمی شوند، پرعیار کرد البته کارآیی آن معمولاً ۵۰٪ یا کمتر، است. باری که وارد نوار گردان می شود، باید قبلاً توسط کلاسیفایر آبی تقسیم بندی شده، هر طبقه بر روی یک ردیف نوار گردان جهت کار، قرارگیرد در بعضی از نوارها شیارهایی عمود بر جهت حرکت آب، ایجاد می نمایند و این موضوع گاهی باعث نتیجه بهتر و گاهی برعکس می شود. دامنه نوسان در نوع «فرو»، از (یک اینچ) ۲/۵۴ سانتی متر برای مواد نرم تا (۲ اینچ) حدود ۵ سانتی متر برای مواد درشت تر (۳۰ مش) و مقدار لرزش ۲۰° بار در دقیقه می باشد.

۱- Frue

۲- Isell

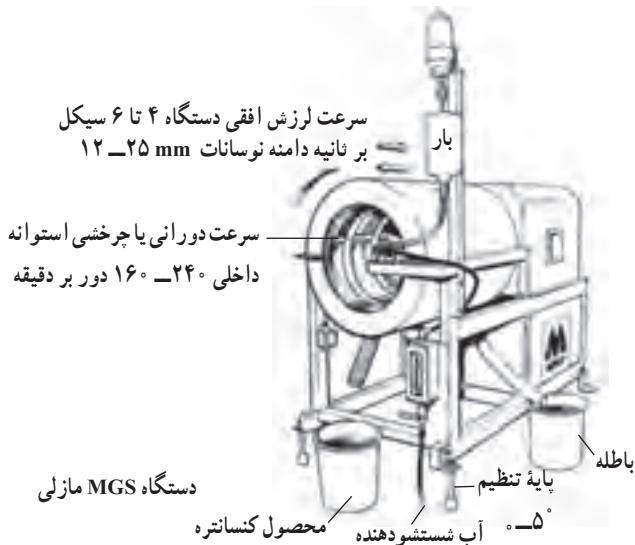


نوارهای شیاردار، شیارها را معمولاً با کوبیدن نوارهای تخته‌ای در فواصل و زوایای معین، ایجاد می‌کنند. ظرفیت نوارها به طور متوسط یک تن در ۲۴ ساعت برای یک فوت از عرض نوار می‌باشد و این ظرفیت با مشخصات موادی که باید جدا شوند، تغییر خواهد کرد.



مطالعه آزاد

جدیدترین دستگاهی که باید به آن اشاره کرد. دستگاه «MGS» 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.



### خودآزمایی

- ۱- در جریان پرعیار کردن مواد معدنی برای آن که ذرات از یکدیگر جدا شوند، از کدام یک از میزها توسط آب استفاده می‌شود؟
- ۲- زاویه بحرانی شیب را تعریف کنید.
- ۳- برای آن که عمل پرعیار کردن توسط میزها به خوبی انجام شود چه شرایطی را باید مورد توجه قرار داد؟
- ۴- صفحه تغلیظ «بکمن» دارای چه مزایایی است؟
- ۵- با رسم شکل میزگردان و اساس کار آن را شرح دهید.
- ۶- با رسم شکل، قسمت‌های مختلف میز گردان را نام‌گذاری کنید.
- ۷- کار آبی میز ویلفلی در مورد سنگ‌های کربناته و سولفید (بخصوص گالن) چه تفاوتی با هم دارد؟
- ۸- طرز عمل نوارهای گردان چگونه است؟

# فصل ۱۰

## جدایش به روش مغناطیسی

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

- ۱- چگونگی پرعیار کردن با استفاده از روش مغناطیسی را به اختصار شرح دهد.
- ۲- خاصیت کانی‌ها را از نظر جدا شدن با مغناطیس بیان کند.
- ۳- جدا کننده‌های مغناطیسی را با ذکر انواع آن‌ها تشریح کند.

### ۱۰- 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 هزینه 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.

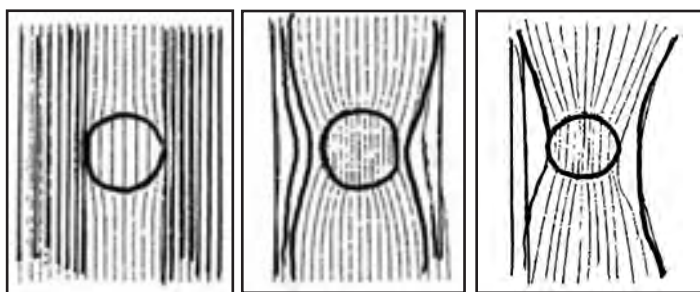
## ۱۰-۱- خاصیت کانی‌ها از نظر جدا کردن با مغناطیس

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

اجسام دیامنیته<sup>۱</sup>: در این کانی‌ها مغناطیس شدن یک رابطه 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 پارامنیته<sup>۲</sup>: در این کانی‌ها مقدار زیادی از اتم‌های جسم دارای حرکات دائم مغناطیسی می‌باشند؛ اما 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 پارامنیترم<sup>۳</sup> می‌گویند.

اجسام فرومنیته<sup>۴</sup>: 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<sup>۴</sup> و بعضی از عناصر کانی‌های کمیاب، فرومنیته هستند همچنین تعدادی آلیاژ و ترکیبات دارای خواص فرومنیته می‌باشند.



اجسام دیامنیته

اجسام پارامنیته

اجسام فرومنیته

در جدول صفحه 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 پارامنیته می‌باشند لذا، کانی‌های سولفیدی دارای خاصیت مغناطیسی ضعیفی هستند که در میدان مغناطیسی خیلی قوی، می‌تواند پرعیار شود. به طور کلی،

۱- Diamagnetic

۲- Paramagnetic

۳- Paramagnetism

۴- Gadolinium

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

۱- **دسته 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.

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

۳- **دسته 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 - اکسید آهن - تیتانیم و تنگستن باشند و نیز بعضی دیگر از اکسیدها مثل گرونا - بیوتیت - اولیون - پروکسن - هورن بلند - را دربرمی‌گیرد.

#### خاصیت مغناطیسی کانی‌های مختلف برحسب سنجش با آهن خالص

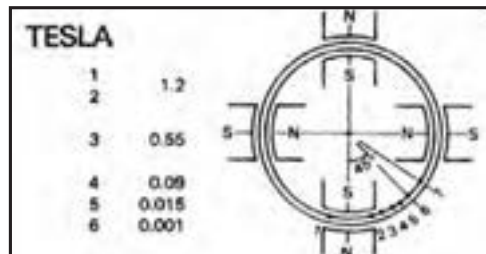
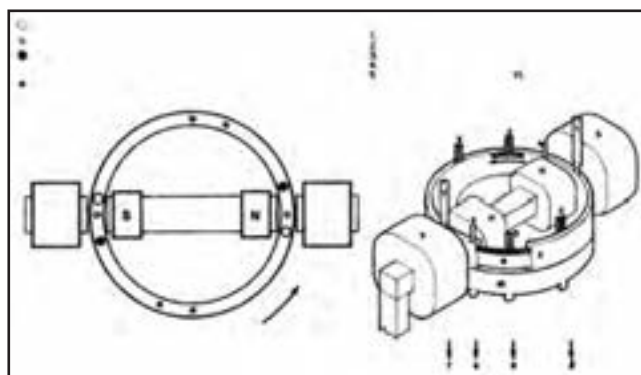
نام کانی	عدد	نام کانی	عدد	نام کانی	عدد
آهن	۱۰۰	هماتیت	۱/۳۲	کوارتز	۰/۳۷
منیتیت	۴۰/۱۸	زیرکن	۱/۰۱	روتیل	۰/۳۷
فرانکلینیت	۳۵/۳۷	لیمونیت	۰/۸۴	دولومیت	۰/۲۲
ایلمنیت	۲۴/۳۷	کروندون	۰/۸۳	آپاتیت	۰/۲۲
پروتیت	۶/۶۹	پیرولوزیت	۰/۷۱	تالک	۰/۱۵
سیدریت	۱/۸۲	مگانیت	۰/۵۲	منیزیت	۰/۱۵
		کالامین	۰/۵۱	ژپس	۰/۱۲
				کالسیت	۰/۰۳

۴- **دسته چهارم** : موادی که جذب آهن‌ربا نمی‌شوند، این دسته از مواد دیامنیستی تشکیل شده‌اند و به علاوه تمام مواد غیرمغناطیسی دیگر به این دسته تعلق دارد و شامل شلیت - مولیدنیت - کاستریت - کوارتز - کلسیت - فلدسپات و موارد مشابه است.

#### ۱-۲- 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

می شدند. و در اواخر قرون وسطی از آهنرباهای دستی استفاده می شد 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 سیم پیچی 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 آلیاژهایی 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.

نکته 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 کننده مغناطیسی، می‌تواند الکترومغناطیس و یا مغناطیس دائمی باشد. ایجاد مغناطیس در الکترومغناطیس عموماً به وسیله جریان دائمی و به ندرت

به وسیله جریان متناوب صورت می‌گیرد. الکترومغناطیس در تمام موارد، چه برای میدان‌های ضعیف و چه در میدان‌های قوی به کار برده می‌شود. ناگفته نماند که در پرعیارسازی به روش مغناطیسی کاربرد مغناطیس دائمی به خاطر محسنات زیاد آن از قبیل ساختمان ساده آن (ایمنی و غیره) در میدان مغناطیسی ضعیف، به سرعت پیشرفت کرده است. به طور کلی جدا کننده‌های مغناطیسی به سیستم مغناطیسی بسته‌مانند، جداکننده 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

ه) 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 کننده استوانه‌ای پرعیار می‌کنند.

### ۱-۳- انواع جدا کننده‌های مغناطیسی

۱-۳-۱- جدا کننده با میدان مغناطیسی ضعیف: جدا کننده‌های مغناطیسی با میدان مغناطیسی ضعیف غالباً استوانه‌ای شکل می‌باشند که می‌توانند به دو طریقه خشک برای دانه‌های درشت و مرطوب برای دانه‌های نرم به کار برده شوند. در روش خشک مواد اولیه از بالا و در روش تر از پایین جدا کننده وارد می‌شود. انواع مختلف جدا کننده با میدان ضعیف عبارت‌اند از:

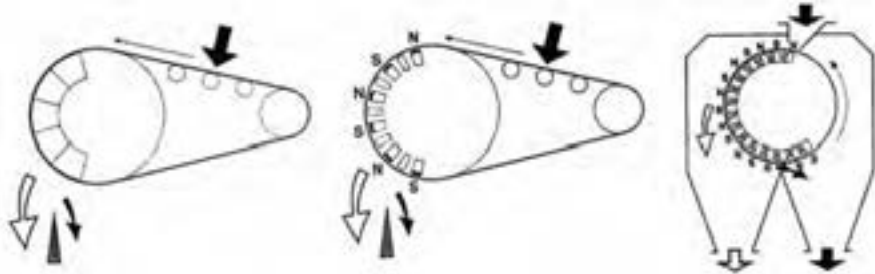
اول: جدا کننده استوانه‌ای به روش‌های خشک و مرطوب.

دوم: جدا کننده‌های مغناطیسی باندار.

۱-۳-۲- جدا کننده استوانه‌ای به روش خشک: در داخل استوانه که حرکت دورانی دارند، یک مغناطیس دو قطبی با مدار باز به طور ساکن قرار دارد. استوانه خارجی باید از فلزی نظیر

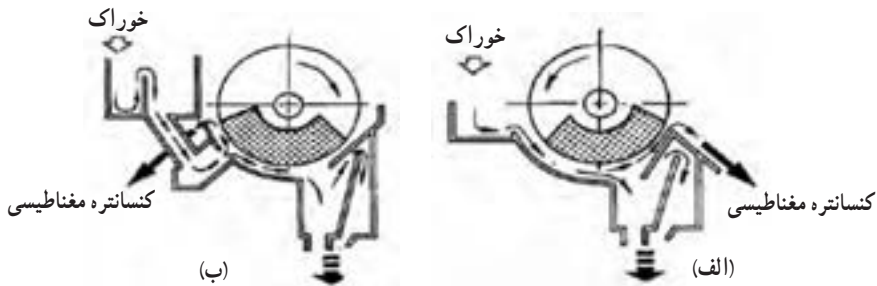
برنج که خاصیت مغناطیسی ندارد، درست شده باشد. مواد اولیه از بالای جدا کننده، وارد می شود و کانی هایی که خاصیت مغناطیسی ندارند، در روی استوانه لغزیده، و کانی هایی با خاصیت مغناطیسی جذب شده، به خارج هدایت می شوند.

قطر استوانه تا یک متر و طول استوانه تا ۱/۵ متر می باشد. سرعت دورانی برای دانه های درشت حدود ۱۵۰ میلی متر ۴۰ تا ۶۰ دور در دقیقه و برای دانه های نرم تا ۴۰ میلی متر ۴۰ تا ۶۰ دور در دقیقه است.



جداکننده مغناطیسی خشک

۱-۳-۳- جدا کننده استوانه ای به روش مرطوب: این نوع از جدا کننده ها بیشتر برای پرعیارسازی مواد ریز که جدایش آن ها از طریق روش خشک ممکن نیست، به کار برده می شود. همچنین برای جدا کردن موادی مانند منیتیت استفاده می شود.



جداکننده مغناطیسی مرطوب

اجزاء مغناطیسی در میدان مغناطیسی خاصیت مغناطیسی دائمی را به خود می گیرند که باید از استوانه جدا گردند. امکاناتی که در تنظیم و جدایش مواد کانی بر روی این قبیل از جدا کننده ها 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 می کند.



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.

۱-۳-۴ جدا کننده با میدان مغناطیسی قوی: جدایش سنگ آهن با خاصیت مغناطیسی ضعیف، به وسیله یک جدا کننده مغناطیسی قوی کمتر متداول است زیرا با روش‌های دیگر امکان تغلیظ این نوع از کانی‌ها راحت‌تر و اقتصادی‌تر صورت می‌گیرد. به طور کلی 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 اولیه سرامیکی یعنی جدا کردن اجزاء مغناطیس محتوی مواد سرامیکی و تهیه ماده پرعیار شده کانی‌های سنگین، ارزش زیادی دارد. جدا کننده‌های با میدان مغناطیسی خیلی قوی، برای دانه‌های کوچکتر از ۱۰ میلی‌متر به کار برده می‌شوند.

جدول مشخصات جدا کننده مغناطیسی مرطوب

مشخصات جدا کننده مغناطیسی مرطوب	اندازه - تعداد
حداکثر نسبت جامد در مخلوط آب و سنگ	۳۰ درصد
حداکثر ابعاد ذرات	۴ میلی‌متر
ظرفیت نوع نواری (عرض یک متر)	۳۰-۱۴ تن در ساعت
عیار آهن پرعیار شده	۷۰٪
کارایی	بیش از ۹۰ درصد

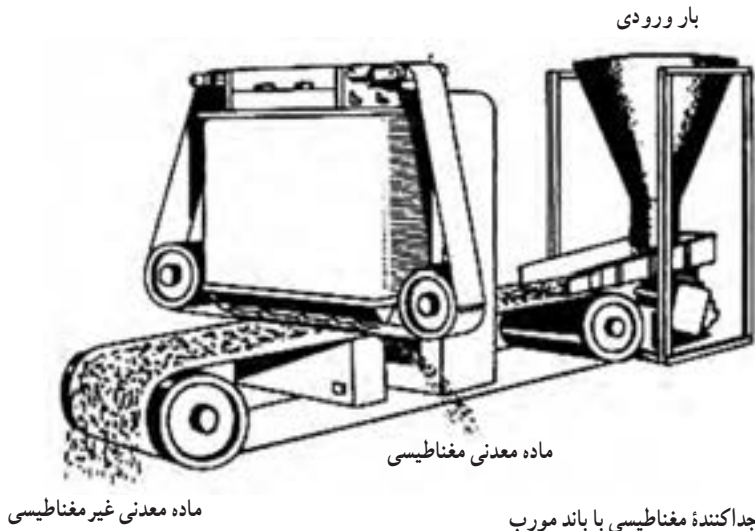
جدول مشخصات جدا کننده مغناطیسی خشک

مشخصات جدا کننده مغناطیسی خشک	اندازه - تعداد
سرعت دورانی چرخ	۵۰ دور در دقیقه
ظرفیت دستگاه	۱۰ تن در ساعت
عیار آهن ورودی	۲۵-۳۵ درصد
عیار آهن خروجی	۶۵-۵۰ درصد
آمپر جریان	۳۰-۵۰ آمپر
ولتاژ معمولی	۱۱۰۷
حداکثر کارایی 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:  
 جداکننده استوانه‌ای القایی، جداکننده حلقه‌ای، جداکننده باندهای باند مورب.  
 تناسب نیروی مغناطیسی و نیروی مقاومتی روش مرطوب، برای اجزاء پارامغناطیس در مقایسه با اجزاء مدنظر، کاربرد جداکننده‌های قوی را محدود می‌کند.

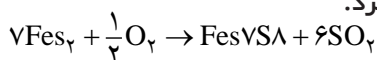
۱-۳-۵- جداکننده مغناطیسی با باند مورب: مواد اولیه خشک را درون یک باند مابین دو قطب یک مغناطیس القایی عبور می‌دهند؛ بعد از جذب اجزاء مغناطیس به وسیله یک باند دیگر که به طور مورب در روی باند اصلی در حرکت است، حمل می‌گردد. شدت جریان ضروری برای این نوع از جداکننده‌ها ۳۵-۵ آمپر می‌باشد و سرعت باند برای اجزاء پارامغناطیس ۵/۲-۰/۲ متر در ثانیه است.

در جداکننده‌های بزرگ با باند مورب، امکان ایجاد ۴ تا ۶ قطب مغناطیسی با شدت میدان‌های مختلف، وجود دارد و می‌توان ۷-۵ محصول را به این وسیله جدا کرد.

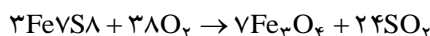


## ۱۰-۴- تبدیل سنگ‌های معدنی آهن به سنگ‌های معدنی مغناطیسی

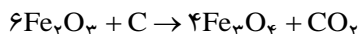
(تشویه مغناطیسی) تعدادی از مواد معدنی دارای خواص مغناطیسی بسیار ضعیفی می‌باشند که حتی به وسیله آهن‌ربای قوی جذب نمی‌شوند، ولی می‌توان آن‌ها را با عملیات حرارتی مناسب، برای آهن‌ربا قابل جذب نمود. سولفیدهای غیر مغناطیسی را می‌توان به روش زیر به سولفیدهای مغناطیسی یا اکسیدهای مغناطیسی، تبدیل کرد مثلاً پیریت را می‌توان با حرارت دادن کوتاه مدت، (۱۴۵-۱۴۰ دقیقه) طبق فرمول زیر به یک سولفید مغناطیسی (پیروتیت) تبدیل کرد.



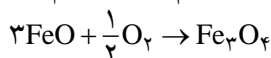
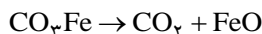
با ادامه مدت حرارت دادن، (۴-۲/۵ ساعت) سولفید تولید شده به اکسید مغناطیسی تبدیل می‌شود که به صورت زیر نشان داده شده است:



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 ۶۰۰-۴۰۰ درجه سانتی‌گراد حرارت می‌دهند مدت عمل حدود ۱/۵ دقیقه می‌باشد.



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



اگر مقدار هوا بیشتر باشد، سنگ معدن تبدیل به  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  می‌گردد. در تمام حالات مذکور،

مواد باید بلافاصله سرد شده تا از اکسیداسیون بعدی جلوگیری به عمل آید.

## خودآزمایی

- ۱- کاربرد جدا کننده‌های مغناطیسی در صنعت را چگونه از لحاظ اقتصادی می‌توان توجیه کرد؟
- ۲- تفاوت اجسام دیامنیته و فرومنیته چیست؟ این تفاوت را با رسم شکل نشان دهید.
- ۳- اجسام پارامنیته دارای چه خصوصیتی هستند؟
- ۴- کانی‌های سیلیت، مولیبدنیت، کاستیریت، کوارتز، کلسیت و فلدسپات از لحاظ مغناطیسی چگونه هستند؟
- ۵- منیته، فرانکلیت و برخی از پیروتیت‌ها از لحاظ مغناطیسی شدن چگونه کانی‌هایی هستند؟
- ۶- کانی‌های سولفیدی از لحاظ خاصیت مغناطیسی چگونه هستند؟ دلیل آن چیست و به چه طریق می‌توان آن‌ها را پرعیار کرد؟
- ۷- برای ایجاد خاصیت مغناطیسی در یک میله آهنی چه باید کرد؟ از این خاصیت در پرعیار کردن مواد معدنی چگونه استفاده می‌کنند؟
- ۸- سیستم الکترومغناطیسی جدا کننده‌های مغناطیسی دارای چه خصوصیتی است و چگونه ایجاد می‌شود؟
- ۹- مزیت کاربرد مغناطیس دائمی چیست؟
- ۱۰- 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؟
- ۱۱- 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؟

# جدایش به روش الکتریکی و الکترواستاتیکی

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

- ۱- پرعیار کردن مواد در میدان الکتریکی را شرح دهد.
- ۲- اجسام عایق، هادی و نیمه هادی را شرح دهد.
- ۳- جداکننده‌های الکترواستاتیکی را تشریح کند.
- ۴- جداکننده‌های الکترواستاتیکی مخزنی و چند استوانه‌ای را توضیح دهد.

## ۱۱- آشنایی

در میدان الکتریکی، مانند دو قطب مغناطیسی نیرویی وجود دارد که این نیرو در فضا بدون ماده حمل کننده‌ای، انتقال پیدا می‌کند. عامل این نیرو، انرژی الکتریکی است که در میدان الکتریکی وجود دارد. بار الکتریکی به وسیله 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.

پرعبارسازی 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 اصطکاک 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 وسیله 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 - اجسام هادی - 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 غیر ممکن می‌گردد. بنابراین جریان الکتریکی که به وسیله 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 وسیله 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 صفحه 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 ذره 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 ذره در میدان الکتریکی اثر می‌کند، با نیروی مغناطیسی که قبلاً شرح داده شد یکسان است.

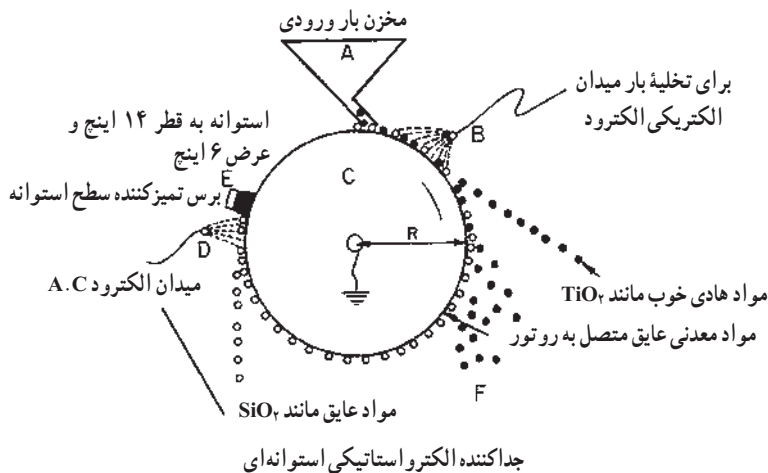
## ۱۱-۱- جدا کننده‌های الکترواستاتیکی

جدا کننده‌های الکترواستاتیکی دو نوع اند: نوع اول دستگاه‌های الکترواستاتیکی با میدان‌های قوی؛ و نوع دوم، 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 کننده الکترواستاتیکی، هنگامی میسر 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 کننده استوانه‌ای الکترواستاتیکی، دانه‌ها از مخزن کانی بر روی استوانه دورانی جدا کننده (از نوع فلز تنگستن که در میدان الکترواستاتیکی الکتروود مقابل E قرار گرفته است) به حرکت در می‌آیند، (این الکتروود 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.

اما دانه‌های هادی در میدان الکتریکی الکتروود منفی فوراً به استوانه فلزی الکترون می‌دهند. در نتیجه، مابین دانه و استوانه فلزی یک نیروی الکتریکی دفع کننده است و بین دانه و الکتروود 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. زاویه  $\alpha$  حالت جدا شدن اجزاء سنگ معدن را می‌رساند هرچه زاویه  $\alpha$  بزرگتر باشد، انتظار جدا شدن ایده‌آل، بیشتر است.



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:

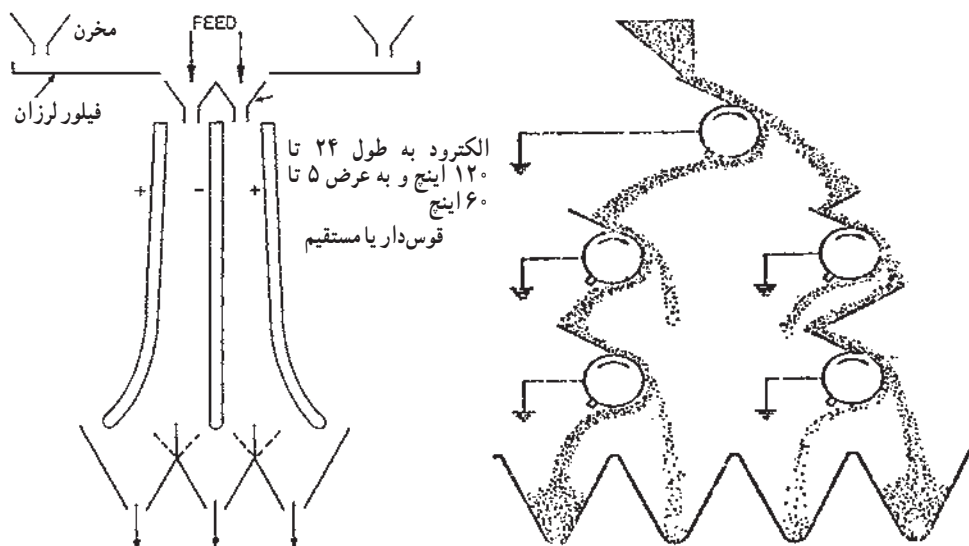
مشخصات دستگاه	اندازه - تعداد
سرعت دوران چرخ استوانه‌ای برای بار معمولی	۵-۱۵۰ rpm
سرعت دوران چرخ استوانه‌ای برای بار نرم	۴۰۰ دور در دقیقه
بار الکتریکی الکتروود	۲۰-۱۲ هزار ولت
ظرفیت دستگاه	۲-۱/۵ تن در ساعت
درشتی ذرات بار ورودی	۱/۵-۰/۵ میلی‌متر
حرارت مناسب جهت کار دستگاه	۸-۹۰°C

**۱۱-۱-۱- جداکننده الکترواستاتیکی مخزنی:** در این جداکننده‌ها اجزاء موادی که جدایش می‌شوند، قبلاً در اثر اصطکاک باردار شده، بار مثبت یا منفی به خود گرفته‌اند، در نتیجه از بالای جداکننده، به محیط جدایش نزدیک به محور مخزن، فرستاده می‌شوند. محیط جدایش از دو الکتروود 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 الکتروودها قرار گرفته، به سمت الکتروود 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.

**۱۱-۲- جداکننده 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 مانده کانی که از اجزاء هادی و نیمه هادی تشکیل شده است، از یکدیگر جدا می‌شود. این جداکننده می‌تواند با قطب‌های مختلف الکترودها با ولتاژ ۱۸-۵ کیلووات و شدت جریان چند میلی‌آمپر، کار کند. به وسیله 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

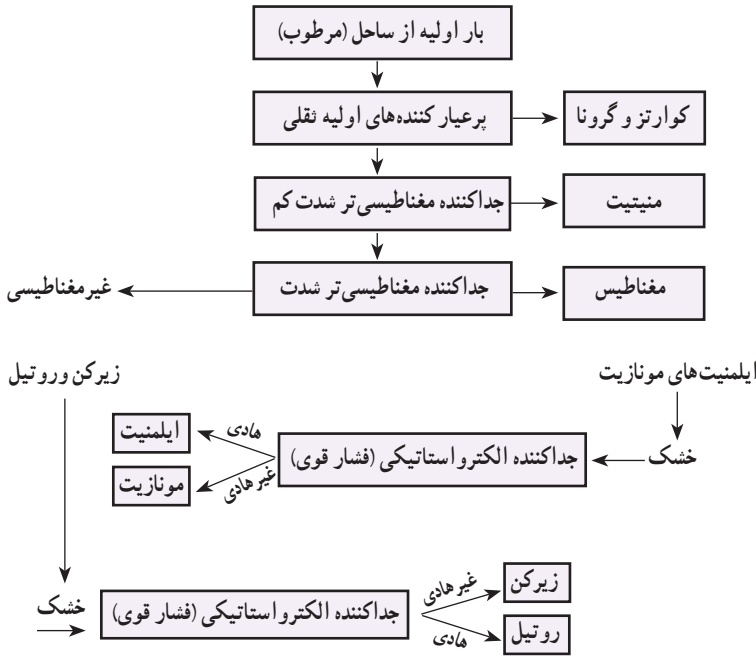
## ۱۱-۲- کاربرد ترکیبی جداکننده‌های مغناطیسی و الکترواستاتیکی

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 غیر هادی و منیتیت، ایلمنیت و روتیل هادی می‌باشند و از طرفی کوارتز، روتیل و زیرکن خاصیت دیامغناطیس، گرونا، ایلمنیت و مونازیت، پارامنیتیت و منیتیت خاصیت فرومغناطیسی دارند.

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



### خودآزمایی

- ۱- فرمول کولومب را بنویسید و توضیح دهید که در میدان الکتریکی چه نیرویی وجود دارد و ویژگی آن چیست؟
- ۲- عامل اصلی جدایش ذرات در میدان الکتریکی چیست؟ براساس این خاصیت اجسام را چگونه دسته‌بندی می‌کنند؟
- ۳- تفاوت اجسام عایق و هادی از لحاظ انتقال الکترون‌ها چیست؟
- ۴- اجسام نیمه عایق دارای چه خصوصیتی هستند؟
- ۵- ماشین‌های جداکننده الکترواستاتیکی، چند نوع‌اند؟
- ۶- جدایش دانه‌های کانی در جداکننده الکترواستاتیکی در چه شرایطی میسر است؟
- ۷- طرز کار جداکننده الکترواستاتیکی مخزنی را شرح دهید.
- ۸- استوانه‌های موجود در جداکننده‌های 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 :

- ۱- اصول اولیه فلوتاسیون را شرح دهد.
- ۲- تئوری فلوتاسیون و عملیات آن را بیان کند.
- ۳- خواص سه‌گانه آب شامل کشش سطحی، هیدراتاسیون و تأثیر املاح محلول در آب را توضیح دهد.
- ۴- معرف‌های فلوتاسیون را شرح دهد.
- ۵- سلول‌های فلوتاسیون را تشریح کند.
- ۶- مدار فلوتاسیون را توضیح دهد.

### ۱۲- آشنایی

فلوتاسیون امروزه یکی از مهم‌ترین روش‌های جداسازی ماده معدنی با ارزش از باطله همراه است که از سابقه تاریخی دیرینه‌ای برخوردار است. در یونان قدیم، روش ابتدایی فلوتاسیون معمول بوده است اما 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 عمده فلوتاسیون بر سایر روش‌های پرعیارسازی این است که موادی که عیار آن‌ها بسیار کم می‌باشند، توسط این روش پرعیار می‌شوند و نتایج مطلوبی نیز حاصل گردیده است.

پرعیار کردن مواد معدنی که عیار فلزی آن‌ها ۳-۵٪ 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 ۴۰-۳۰ 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 پریعیارسازی به کار گرفته می‌شود؛ به عنوان مثال می‌توان معادن زغال سنگ «پابدانا - باب نیزو» در کرمان، معدن زغال سنگ «تره» در شاهرود، معدن زغال سنگ «زیرآب» در مازندران، معدن مس سرچشمه 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 آب‌گریز جذب حباب و به سطح منتقل ولی ذرات آب‌گیر در ظرف باقی می‌ماند.

## ۱۲-۱- تئوری فلوتاسیون

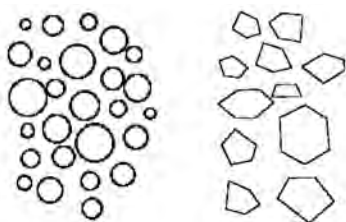
مراحل اولیه کار فلوتاسیون بر آزمایش و تجربه استوار شده بود زیرا معلومات و مبانی علمی کمی در دسترس بوده، ولی در سال‌های اخیر، اصول تئوری آن کمک زیادی به توسعه این فرایند نموده است. به طور کلی عملیات فلوتاسیون را می‌توان به سه قسمت تقسیم کرد :

۱- تشکیل کف؛

۲- تأثیر مواد شیمیایی بر روی کانی؛

۳- تشکیل مجموعه 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 وسیله هوای فشرده توسط کمپرسور یا هر دو طریق، انجام می‌شود. مشخصات کف از قبیل دوام، اندازه حباب‌ها، الاستیسیته، فراوانی حباب‌ها و غیره به وسیله وجود اجسامی که خواص سطحی آب را تغییر می‌دهند، تعیین می‌شود. این مواد که کف‌کننده 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 الاستیسیته کف می‌شود که برای فلوتاسیون اهمیت دارد. بدون کف سازها حباب‌های کف فوراً شکسته شده، از بین می‌روند. در



حباب های کف کروی و چندوجهی

اشکال روبه‌رو مقاطع کف‌های ساده، نشان داده شده است :  
در شکل سمت چپ، حباب‌های هوا کروی است که به وسیله 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،

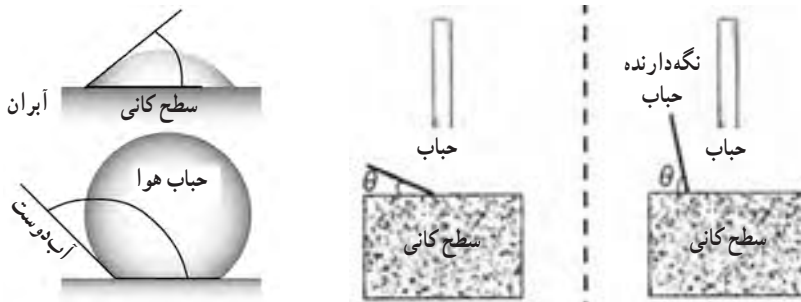
بادوام و درشت می‌باشند. حباب‌های چند وجهی به وسیله لایه‌های نازک آب از هم جدا شده‌اند و در فلوتاسیون سولفیدهای فلزی، مورد استفاده قرار می‌گیرند. وجود ذرات ریز جامد در سطح حباب‌ها باعث استحکام آن‌ها می‌شود؛ همچنین مقدار معرف اضافه شده حتی به میزان بسیار کم در سطح حباب‌ها جمع شده، باعث استحکام آن‌ها می‌گردد.

**تأثیر مواد شیمیایی:** مواد شیمیایی مورد مصرف در فلوتاسیون موادی هستند که کانی‌های بخصوصی را شناور ساخته، از شناور شدن بقیه، جلوگیری می‌کنند. از نظر کلی قابلیت شناور شدن یک کانی به «آبرانی»<sup>۱</sup> آن بستگی مستقیم دارد. خاصیت آبرانی با خواص سطحی مولکول‌ها رابطه 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 کلرورسیدیم یک مولکول قطبی و هیدروکربورهای پارافینی  $C_nH_{2n+1}$  غیرقطبی می‌باشند. کانی‌هایی که سطح آن‌ها قطبی است، قابل جذب به وسیله آب هستند، بنابراین قابل شناور شدن نمی‌باشند. برعکس کانی‌های با سطوح غیرقطبی، آب‌گریز 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 ذره 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 - هوا و جامد - 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، اندازه این نیروها طوری است که اولاً کانی به علت نیروی کشش سطحی مناسب به سطح حباب هوا می‌چسبد و ثانیاً مجموعه حباب هوا و کانی نسبت به مایع حرکت کرده، بالا می‌آید.

---

۱- به طور کلی خواص سطحی ذرات مستقل از ابعاد بوده و به جز در مورد ذرات بسیار ریز، تقریباً یکسان است. سطوح اکثر کانی‌ها اگر تازه تهیه شده، عاری از هرگونه ناخالصی و چربی باشند، آب‌گیر با هیدروفیل (Hydrophile) هستند؛ یعنی اگر در مجاور آب قرار گیرند، بلافاصله یک لایه 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، به صورت «آبران» Hydrophobe در می‌آورد.



نمایش آب دوست و هودوست بودن یک کانی

## ۱۲-۲- 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 می شود.

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

در صورتی که مواد آماده شده را در سلول بریزیم، مشاهده می شود که باطله جذب آب نموده و در سلول باقی می ماند ولی مواد با ارزش که قبلاً با مواد شیمیایی مناسب آب گریز شده شناور می شوند 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 لایه آب می دهند و در نتیجه باعث مرطوب شدن سطح و آب پذیر می شوند، آب خالص نیز درجه یونیزاسیون پایین داشته و به عبارت دیگر مقدار ثابت دی الکتریک 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 شدت 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.



pH مناسب برای کالکوزین، ۴/۵ و ۱۰/۵ می‌باشد، از طرف دیگر برای هر ماده 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. علت 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

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

وجود بعضی از املاح معدنی باعث تغییر این pH بحرانی شده، آن را بالا یا پایین می‌آورند. به عنوان مثال، اگر به محلول فلوتاسیون ۲/۰ 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.

## ۱۲-۳- معرفی‌های مورد مصرف در فلوتاسیون

۱۲-۳-۱- کلکتورها: کلکتورها مواد شیمیایی آلی هستند که باعث می‌شوند کانی‌های لازم، به سطح حباب هوا چسبیده، ضمن شناور شدن از بقیه 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 دسته «آنیونیک<sup>۱</sup>» و «کاتیونیک<sup>۲</sup>» تقسیم می‌کنند که در این جا به شرح آن‌ها می‌پردازیم.

الف) گزانتات‌ها<sup>۳</sup>: گزانتات‌ها نمک‌های اسید گزانتوژن<sup>۴</sup> می‌باشند و برای فلوتاسیون کانی‌های سولفیدی و اکسیدهای سرب و مس پس از فعال شدن استفاده می‌شوند. گزانتات‌ها معروف‌ترین و پر مصرف‌ترین کلکتورها در فلوتاسیون می‌باشند. مقدار مصرف آن‌ها اغلب کم بوده، بین ۱۰-۳۰ 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 تجارتي آئروفلوت<sup>۵</sup> در صنعت مصرف زیادی دارند. مشتقات فسفردار بسیار فراوان بوده، در حدود ۲۵۰۰ ماده آلی مختلف را، شامل می‌شوند. خاصیت خوردنگی 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.

۱- Anionic

۲- Cationic

۳- Xanthate

۴- Xanthogen

۵- Aeroflout



کلکتور معروف این دسته، اسید دی کرزبل دی تیوفسفوریک است که برخلاف 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، به کار می‌رود.

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

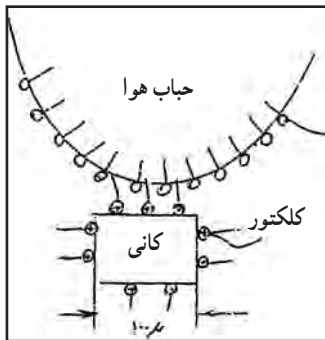
ه) **صابون‌ها و اسیدهای چرب**: این مواد به صورت اسید چرب یا نمک قلیایی، در صنعت فلوتاسیون استفاده فراوانی دارند. این کلکتورها را بیشتر برای شناور کردن اکسیدهای فلزی و کانی‌های فلزات قلیایی و بعضی از سیلیکات‌ها، کربنات‌ها و فسفات‌ها به کار می‌برند.

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

۱۲-۳-۲- **تنظیم کننده‌های pH**: 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 وسیله اضافه کردن اسیدها یا بازها به وجود آید. اسید سولفوریک - اسید فلوئوریک (FH) و سولفات مس pH را کاهش و متقابلاً کربنات دو سود - آهک - سیانور سدیم، (NaCN) ، pH را افزایش می‌دهند.

۱۲-۳-۳- **بازداشت کننده‌ها**: 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 صفحه بعد مناسب‌ترین بازداشت کننده‌ها برای کانی‌های مختلف با مقدار مصرف آن‌ها ذکر شده است.

مقدار مصرف (گرم در تن)	رسوب دهنده	کانی مورد نظر
۵۰-۲۵۰	سیانور پتاسیم	پیریت
۵۰-۵۰۰	سیانور پتاسیم	اسفالریت
۱۰۰-۵۰۰	سیانور پتاسیم	سولفیدهای مس
۲۰۰-۵۰۰	دی کرومات‌ها	گالن
۵۰۰-۱۰۰۰	کلور آهن دو ظرفیتی و کروم آلومینیم سه ظرفیتی	باریت



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

### ۱۲-۳-۴- کف‌سازها<sup>۱</sup>: 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 فعال‌کننده‌ای برای سطوح مرزی داشته باشند، مسئله 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.

این قشر نازک که گروه قطبی آن به طرف مایع و گروه غیر قطبی آن به طرف گاز قرار می‌گیرد، از یک طرف از تمرکز آبی 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 طور کلی می‌توان گفت کف‌سازها ترکیبات قطبی و غیر قطبی 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<sup>۲</sup>، روغن اوکالیپتوس<sup>۳</sup>، اسید کریزلیک<sup>۴</sup> و روغن‌هایی که از تقطیر چوب یا زغال به دست می‌آیند. امروزه از MIBC به‌طور وسیعی استفاده می‌شود.

### ۱۲-۳-۵- فعال‌کننده‌ها: فعال‌کننده‌ها از جمله معرف‌هایی هستند که خاصیت شناور شدن

بعضی از مواد معدنی را، تقویت می‌کنند؛ زیرا بعضی از کانی‌های فلزی سولفیدی بخصوص روی و

۱- Frothing agents

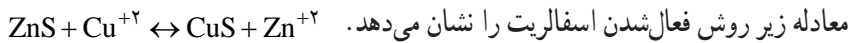
۲- Pine oil

۳- Eucalyptus oil

۴- Cresylic acid

بعضی از کانی‌های غیر فلزی، در حالت طبیعی به وسیله کلکتورها شناور نمی‌شوند و تنها با اضافه کردن فعال‌کننده‌ها می‌توان آن‌ها را شناور ساخت.

سولفات مس تقویت‌کننده 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 آب آهک می‌گردد. برای فعال شدن پیریت رسوب شده، از سولفید سدیم یا اسید سولفوریک استفاده می‌شود.



۱۲-۳-۶- متفرق‌کننده‌ها: 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 متفرق‌کننده استفاده می‌شود.

## ۱۲-۴- 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 نترات کروم، در تن کافی است که بازیابی فلوتاسیون گالن را، به صفر برساند. املاح جیوه - آلومینیم - کبالت - نیکل - منیزیم - دارای همین خاصیت هستند. از کربنات سدیم و آهک و در بعضی مواقع سیانوریتاسیم، وقتی که با املاح آهن مواجه باشیم می‌توان برای حذف چنین موادی استفاده کرد.

## ۱۲-۵- 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 :

۱- سلول‌های پره‌دار بدون هوای اضافه شده؛

۲- سلول‌هایی که با هوای فشرده کار می‌کنند؛

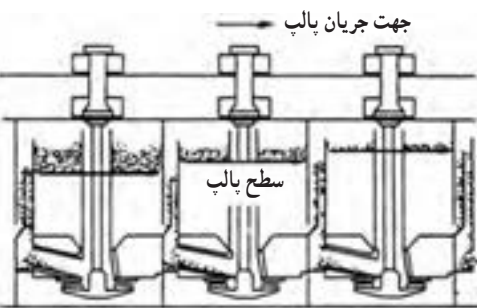
۳- سلول‌های پره‌دار با هوای اضافه شده؛

۱۲-۵-۱- سلول‌های پره‌دار بدون هوای اضافه شده : گردش و اختلاط پالپ در این

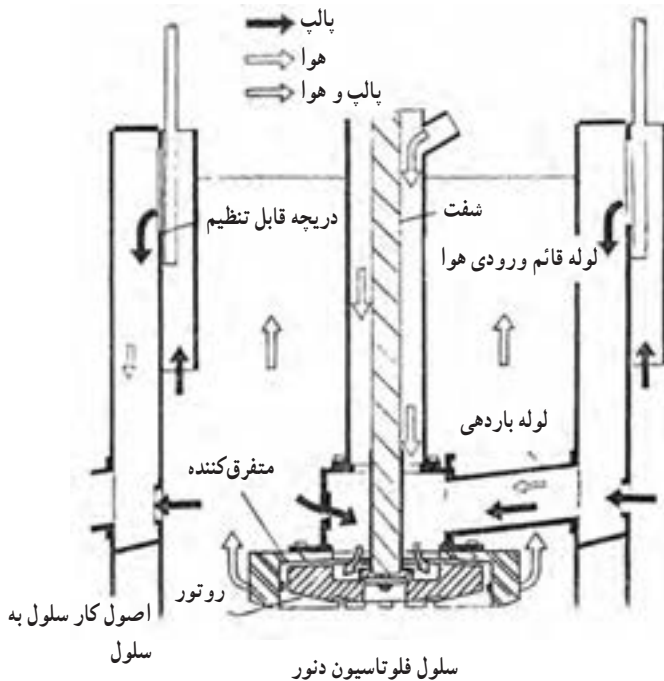
سلول‌ها به وسیله پروانه‌هایی حاصل می‌شود که در اثر گردش پروانه، هوای مورد نیاز فلوتاسیون را از بیرون مکیده، به داخل سلول فلوتاسیون هدایت می‌کنند. دو نوع سلول موسوم به سلول‌های فلوتاسیون



MS<sup>۱</sup> و سلول‌های فلوتاسیون دنور<sup>۲</sup> 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 بر اثر گردش پروانه با هوای مکیده شده کاملاً مخلوط گردید، سپس توسط دریچه مخصوصی وارد بخش کف می‌شود و در آنجا کف به دست آمده، همراه با کانی از سلول خارج می‌شود. در کارخانه فلوتاسیون تعداد بی شماری از سلول‌ها را کنار یکدیگر قرار می‌دهند. سلول‌های فلوتاسیون MS منحصراً در شستشوی زغال سنگ 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. در این سلول‌ها پالپ از بالا وارد و مانند سلول‌های MS توسط یک صفحه افقی مشبک به دو بخش تقسیم می‌شوند. مکش هوا در این سلول‌ها، اجباری انجام می‌گیرد.



۱۲-۵-۲- 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 فشرده مورد نظر مستقیماً به پالپ دمیده می‌شود و در واقع پروانه‌های مکانیکی در این سلول‌ها وجود ندارند. مقدار هوای ضروری جهت این سلول‌ها ۴-۱/۸ مترمکعب در دقیقه در هر مترمربع از کف سلول می‌باشد.

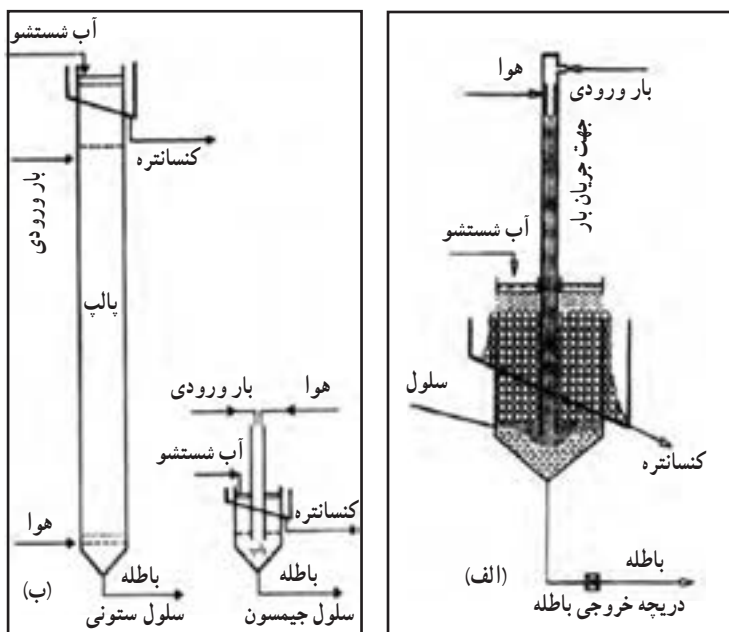
۱۲-۵-۳- سلول‌های پروانه‌دار که با هوای اضافه شده کار می‌کنند: این نوع سلول‌ها در حقیقت مخلوطی از دو روش یاد شده است که در اثر حرکت پروانه‌ها و استفاده از هوای فشرده اضافه شده، عمل فلوتاسیون را انجام می‌دهد.

۱۲-۵-۴- سلول‌های ستونی: این سلول‌ها برای اولین بار در کانادا ساخته شد و طول آن‌ها به بیش از ۱۰ متر 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 صفحه بعد انواع سلول‌های ستونی را نشان می‌دهد.

## ۱۲-۶- مدار فلوتاسیون

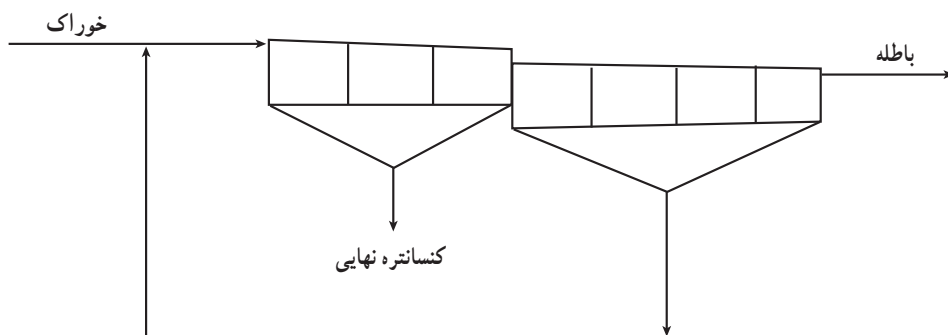
هر دستگاه فلوتاسیون شامل یک دستگاه مخلوط کننده می‌باشد که در آن مخلوط سنگ معدن

و مواد شیمیایی را به هم می‌زنند و سپس مخلوط را وارد سلول‌های فلوتاسیون می‌کنند. دستگاه مخلوط‌کننده استوانه‌ای است که در داخل آن یک پروانه هم‌زن قرار دارد. مخلوط سنگ معدن و آب با نسبت معینی از قسمت پایین، وارد دستگاه شده، پس از مدت 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.

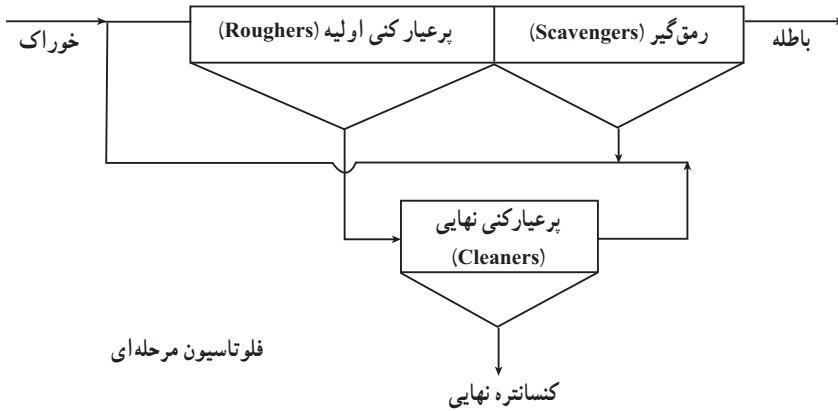


سلول‌های فلوتاسیون

سلول‌های فلوتاسیون به شکل‌های زیر به هم متصل می‌شوند و یک بانک را به وجود می‌آورند. الف) مدار ساده: در این نوع اتصال، فقط یک کنسانتره تشکیل می‌شود.

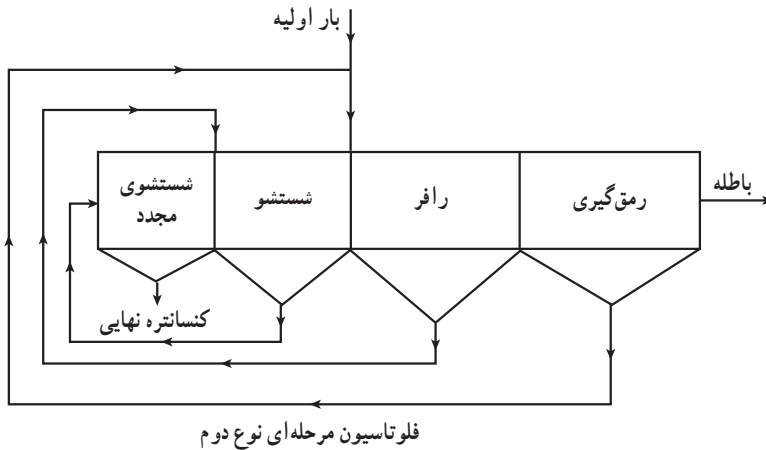


ب) فلوتاسیون مرحله‌ای شناور نمودن برای بار دوم : این طریقه اتصال سلول برای استخراج فقط یک کنسانتره مناسب است.



فلوتاسیون مرحله‌ای

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 در بعضی 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

- ۱- اساس کار فلوتاسیون بر چه مبنایی قرار دارد؟
- ۲- عملیات فلوتاسیون از چند قسمت تشکیل شده است؟ توضیح دهید.
- ۳- کف چیست و چگونه ایجاد می‌شود؟
- ۴- قابلیت شناور شدن یک کانی به چه خاصیتی بستگی دارد و ارتباط آن با قطبی و غیر قطبی بودن مولکول چگونه است؟
- ۵- هرگاه مقداری مواد سولفیدی فلزی را در روی سطح آب بریزیم چه پدیده‌ای را می‌توان مشاهده کرد؟ علت را بررسی کنید.
- ۶- وضعیت pH محیط فلوتاسیون برای یک کانی معین چگونه است؟ منحنی تقریبی کارایی فلوتاسیون را در pH های مختلف رسم کنید.
- ۷- pH بحرانی چیست؟ در این pH چه اتفاقی در محیط فلوتاسیون رخ می‌دهد؟
- ۸- املاح محلول در آب چه تأثیری در فلوتاسیون می‌گذراند؟
- ۹- کلکتورها چگونه معرف‌هایی هستند؟ به چند دسته تقسیم می‌شوند؟
- ۱۰- گزانتات‌ها چگونه موادی هستند؟
- ۱۱- چهار دسته از کلکتورها را نام ببرید.
- ۱۲- تنظیم‌کننده‌ها چگونه معرف‌هایی هستند؟
- ۱۳- بازداشت‌کننده‌ها چه نقشی در محیط فلوتاسیون ایفا می‌کنند؟
- ۱۴- کف‌سازهای عمده‌ای را که در فلوتاسیون مورد استفاده قرار می‌گیرند، نام ببرید.
- ۱۵- فعال‌کننده‌ها چه عملی در محیط فلوتاسیون انجام می‌دهند؟
- ۱۶- نقش آب‌گیرکننده‌ها در شناور کردن ذرات چیست؟
- ۱۷- مواد مضر چگونه موادی هستند؟ از هر گروه آن‌ها دو ترکیب را نام ببرید.
- ۱۸- در سلول‌های فلوتاسیون چه عملیاتی باید انجام گیرد؟
- ۱۹- برحسب روش ورود هوا چند نوع سلول فلوتاسیون وجود دارد؟
- ۲۰- منظور از بانک فلوتاسیون چیست؟