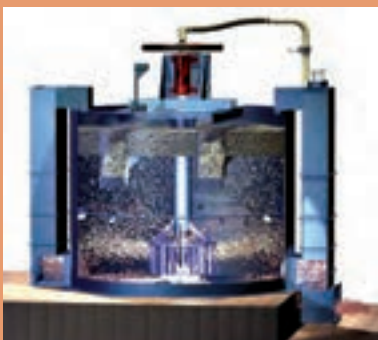


پودمان ۴

تحلیل روش‌های پر عیار سازی مواد معدنی



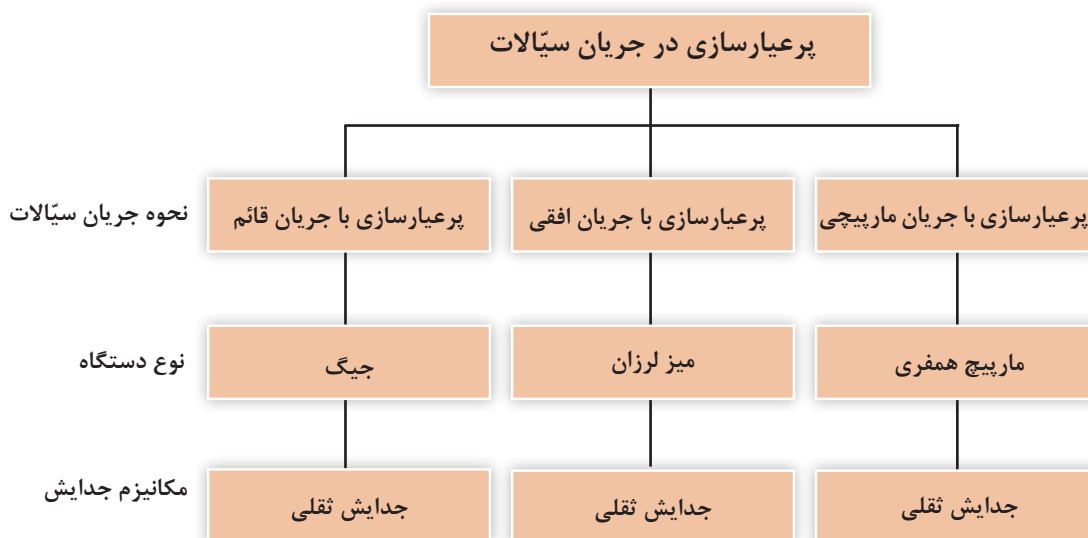
واحد یادگیری ۷

تحلیل روش‌های پرعیارسازی در جریان سیالات

اگر مواد معدنی با ناخالصی همراه نباشد برای استخراج و استفاده در صنعت نیاز به فراوری و پرعیارسازی ندارد و مستقیماً و بدون صرف هزینه فراوری مورد استفاده قرار می‌گیرد که این بهترین شرایط ممکن است. ولی در عمل معمولاً این‌گونه نیست. بلکه موادی که از معادن استخراج می‌شوند همیشه با میزان قابل توجهی از ناخالصی‌ها همراه هستند و در اکثر مواقع وجود این ناخالصی‌ها و باطله همراه، عیار ماده معدنی را به قدری کاهش می‌دهد که بدون عملیات فراوری و پرعیارسازی ارزش اقتصادی لازم را نخواهد داشت. در این رابطه عواملی از قبیل: ترکیبات کانی شناختی و بافت ماده معدنی، شکل، ابعاد و نحوه قرارگیری کانی‌های با ارزش و کم ارزش، درجه آزادی، نوع باطله همراه (کربناته و سیلیکاته) خواص فیزیکی و شیمیایی، بازار مصرف و... از پارامترهای تأثیرگذار در انتخاب روش یا روش‌های فراوری و پرعیارسازی می‌باشند. البته هزینه و نحوه فراوری بسته به حالات مختلف ماده معدنی و سایر عوامل متفاوت است و باید با بررسی و تحقیق لازم بهترین روش برای فراوری انتخاب گردد. بنابراین لازم است جهت انتخاب روش‌های مناسب فراوری یک ماده معدنی با نحوه کار دستگاه‌های پرعیارسازی مواد معدنی آشنا شویم. در این بخش به بررسی نحوه کارکرد برخی از مهم‌ترین دستگاه‌های پرعیارسازی می‌پردازیم.

روش‌های پرعیارسازی در جریان سیالات

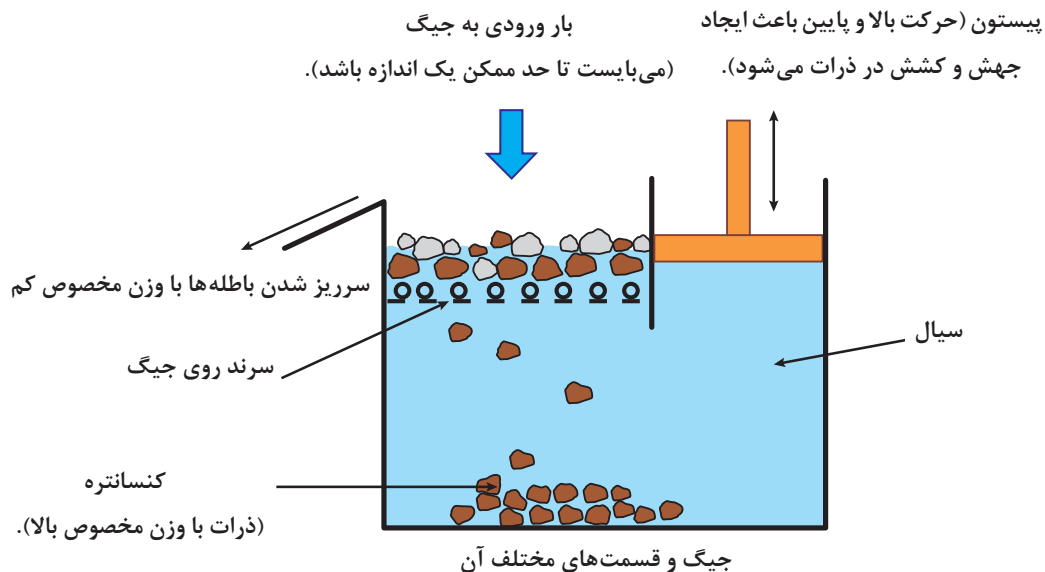
پرعیارسازی مواد معدنی به‌وسیله سیالات می‌تواند به سه شکل انجام شود که عبارت‌اند از:



الف) پرعیار سازی مواد معدنی در جریان قائم

جدایش با استفاده از جیگ: به طور کلی جیگ‌ها دستگاه‌هایی هستند که برای پرعیار سازی ذرات نسبتاً درشت ساخته شده‌اند. این دستگاه‌ها از دیرباز برای پرعیار سازی کانی‌های سولفیدی به کار می‌رفته‌اند. از آنجایی که ذرات درشت اکثراً توسط سرندها طبقه‌بندی می‌شوند لذا بار ورودی به جیگ‌ها برحسب ابعاد و قطر دانه‌ها طبقه‌بندی می‌گردد و هر قدر این طبقه‌بندی دقیق‌تر و اختلاف وزن بیشتر باشد، عمل جیگ و کارایی آن بهتر و محصول به دست آمده خالص‌تر خواهد بود.

جیگ‌ها یک محفظه با کف مشبک توری دارند که مواد معدنی را در داخل محفظه آنها ریخته سپس آب از لابه لای مواد معدنی بالا و پایین می‌آید و در نتیجه مواد به صورت ذراتی معلق روی شبکه و یا توری به شکل طبقات برحسب وزن مخصوص قرار می‌گیرد. لذا ملاحظه می‌شود که اساس کار جیگ برحسب سقوط ذرات در داخل آب می‌باشد. در مورد جیگ ذرات به صورت آزاد سقوط نمی‌کنند و نیز زمان سقوط بسیار کوتاه است و ذرات به صورت دسته جمعی سقوط می‌کنند.



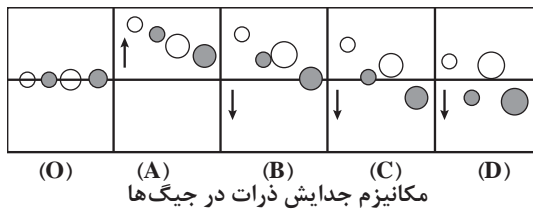
طرز کار جیگ: پرعیار سازی مواد معدنی در جیگ براساس وزن مخصوص مواد انجام می‌شود. همان طور که در شکل بالا نشان داده شده است جیگ با استفاده از یک پیستون دو جریان آب ایجاد می‌کند. یک جریان آب بالارو و دیگری جریان آب پایین‌رو که به طور متناوب بر روی قشری از مواد معدنی اثر می‌کند و مواد را بر اساس وزن مخصوص تقسیم‌بندی می‌کند.

مکانیزم‌های اصلی عملیات پرعیار سازی در جیگ عبارت‌اند از:

اگر برای آب در جیگ سطح ثابتی را فرض کنیم، آب دارای دو حرکت بالا آمدن و پایین آمدن از سطح ثابت خواهد بود که اولی را حرکت جهشی^۱ و زمان انجام آن را زمان جهش و دیگری را حرکت کششی^۲ و زمان

۱- Pulsion

۲- Suction



انجام آن را زمان کشش گویند. به این دو دوره در جیگ دوره‌های تناوب گفته می‌شود و می‌تواند با حرکت رفت و برگشت پیستون و یا بالا و پایین شدن سرندی که مواد بر روی آن قرار دارند، ایجاد گردد. شکل روبه‌رو نشان می‌دهد در صورتی که ذرات دارای

وزن مخصوص کم (رنگ سفید، مثلاً کانی کوارتز) و وزن مخصوص زیاد (رنگ مشکی، مثلاً کانی گالن) و با اندازه‌های مختلف در یک سطح ارتفاعی فرضی در جیگ قرار گرفته باشند (مرحله ۰) در مراحل مختلف عملکرد جیگ به چه صورتی از هم تفکیک می‌شوند.

در شکل بالا برای عملکرد جیگ ۴ مرحله در نظر گرفته شده است. فلش به سمت بالا نشان دهنده زمان جهش و فلش‌های روبه پایین زمان کشش را نشان می‌دهند.

● **جهش:** در این مرحله با توجه به حرکت روبه بالای آب نسبت به سطح فرضی، ذرات به ترتیب وزن خود که در آن اندازه و وزن مخصوص هر دو دخیل هستند به سمت بالا حرکت می‌کنند.

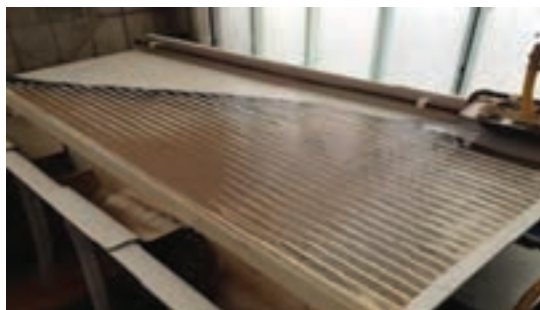
● **اختلاف شتاب اولیه:** در این مرحله با توجه به ایجاد نیروی کشش موادی که دارای وزن مخصوص بالاتری هستند با شتاب اولیه بیشتر به طرف پایین کشیده می‌شوند.

● **سقوط با مانع:** مقدار مواد در داخل جیگ به حدی است که ذرات به‌طور مداوم با یکدیگر برخورد می‌کنند. این برخورد باعث می‌شود تا مواد نتوانند با یک سرعت ثابتی سقوط کنند و به همین علت مواد دارای وزن مخصوص بیشتر، زودتر ته نشین می‌شوند. به این نحوه سقوط ذرات، سقوط با مانع می‌گویند.

● **چکیدن:** حرکت دانه‌های کوچک از لابه‌لای دانه‌های بزرگ را چکیدن گویند. در عمل دانه‌های درشت وقتی روی هم ته‌نشین شوند دیگر نمی‌توانند پایین‌تر بروند در صورتی که دانه‌های ریز از لابه‌لای دانه‌های درشت عبور کرده و به طرف پایین حرکت می‌کنند و از دانه‌های درشت جدا می‌شوند. پایین رفتن ذرات ریز هم به علت نیروی ثقل و هم به علت ادامه حرکت جهش و کشش در مایع می‌باشد که این پدیده را حرکت بین دانه‌ای یا از لابه‌لای دانه‌ها گویند.

ب) پرعیارسازی مواد معدنی در جریان افقی

جدایش با استفاده از میز لرزان: دستگاه میز لرزان مؤثرترین دستگاه جهت جدایش مواد با روش ثقلی



میز لرزان

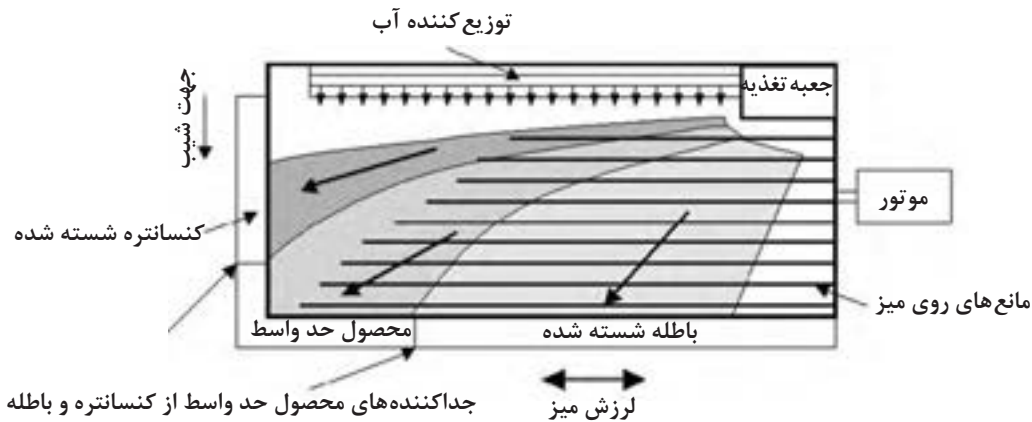
است و برای مواد معدنی ریزدانه و معمولاً بسیار کم عیار که از نظر ارزش اقتصادی بالا بوده و قابل پرعیارسازی به وسیله دستگاه‌های دیگر نیستند به کار می‌رود. مصرف انرژی این دستگاه بسیار کم است از این دستگاه برای پرعیارسازی ذرات طلا و گاهی اوقات محصول کم عیار دستگاه‌های فلوتاسیون نیز توسط این دستگاه پرعیار می‌گردد.

میز لرزان از یک سطح مستطیل شکل که در جهت طول و عرض دارای شیبی جزئی می‌باشد تشکیل

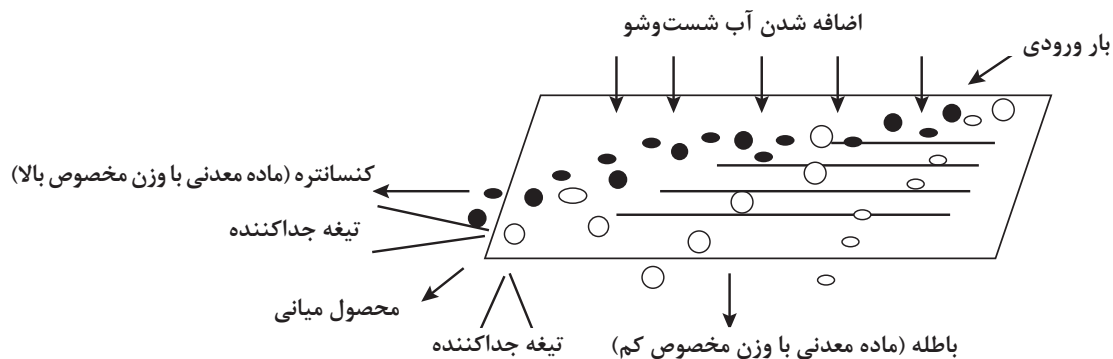
شده است. بار اولیه به صورت پالپ با غلظت کم از مواد جامد از یک گوشه آن وارد شده و بر روی میز توزیع می‌گردد. سطح میز توسط موانعی که معمولاً در امتداد میز هستند پوشیده شده است که ارتفاع آنها از سمت ورود بار اولیه به طرف دیگر به تدریج کم می‌شود به نحوی که بخش انتهایی سطح میز صاف و بدون مانع است.

طرز کار میز لرزان

مواد به صورت پالپ با درصد جامد کم از گوشه بالایی و سمت راست توسط جعبه تغذیه (شکل زیر) بر روی میز لرزان ریخته می‌شوند. جریان نازک لایه آب توسط توزیع کننده آب که در امتداد بالایی میز قرار گرفته است بر روی میز و مواد معدنی ریخته می‌شود. موتور لرزاننده یک حرکت نوسانی در جهت طول میز به آن منتقل می‌کند. این حرکت به نحوی است که میز را به آرامی جلو می‌برد و به سرعت به عقب برمی‌گرداند. در نتیجه دانه‌های جامد موجود بر روی سطح میز در امتداد طول آن به جلو پرتاب می‌شوند. بنابراین دانه‌ها تحت تأثیر دو نیرو قرار می‌گیرند یکی نیروی ناشی از حرکت میز در جهت طول آن و دیگری نیروی ناشی از حرکت لایه نازک آب در امتداد بزرگ‌ترین شیب میز (عمود بر امتداد نوسان میز) برآیند این دو نیرو در امتداد قطر میز از محل ورود بار اولیه است.



تأثیر جریان لایه نازک آب به ابعاد و چگالی دانه‌ها بستگی دارد، در نتیجه دانه‌های کوچک‌تر و سنگین‌تر دارای حرکتی عمدتاً در جهت طول میز هستند و بدین ترتیب به بخش محصول پر عیار شده هدایت می‌شوند. حال آنکه دانه‌های درشت‌تر و سبک‌تر با عبور از موانع به بخش باطله منتقل می‌گردند. لازم به ذکر است که بخشی از این موانع که دارای مشخصات وزن و ابعاد میانی باطله و کنسانتره هستند با حرکت قطری به محصول میانی منتقل می‌شوند. بخش محصول میانی به وسیله تیغه‌هایی قابل تنظیم است.



نحوه پر عیار سازی بر روی یک میز لرزان



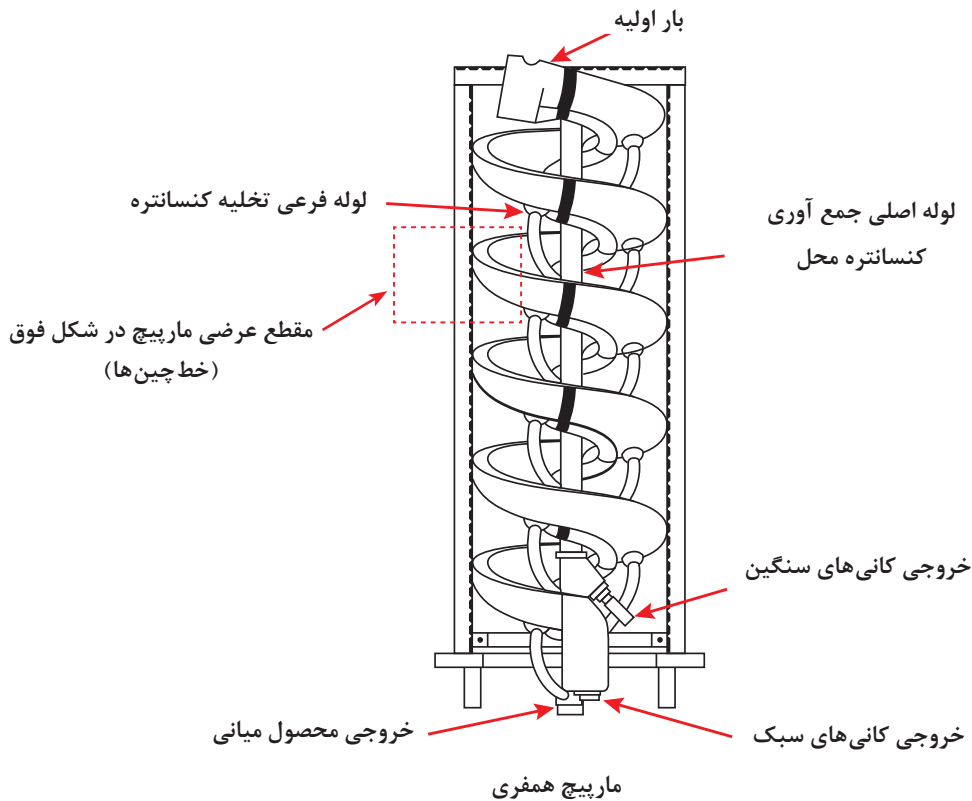
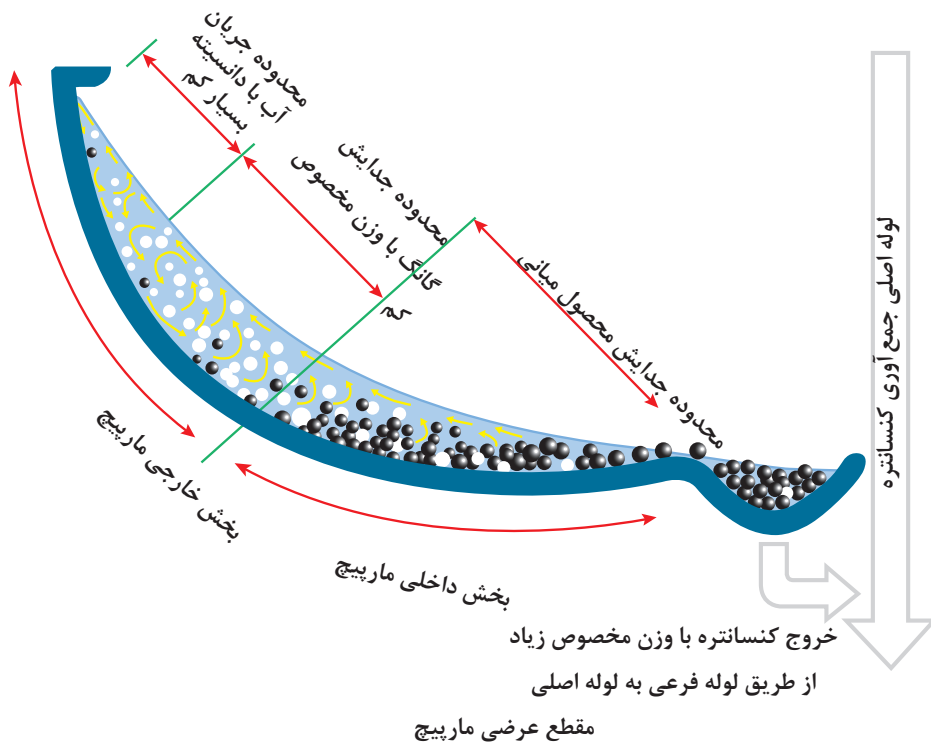
با توجه به توضیحات ارائه شده در خصوص نحوه پرعیارسازی مواد معدنی ریزدانه و با ارزش اقتصادی بالا بر روی میز لرزان جدول زیر را تکمیل کنید.

وزن مخصوص ذرات	اندازه ذرات	جهت حرکت پیش بینی شده بر روی میز	نوع محصول
زیاد	کوچک	طولی	
زیاد	بزرگ		
زیاد	متوسط		
متوسط	متوسط	قطری	میانی
کم	بزرگ		
کم	متوسط		میانی

ج) پرعیارسازی مواد معدنی در جریان مارپیچی

مارپیچ همفری: جداکننده‌های مارپیچی طی سالیان زیاد در کانه‌آرایی دارای کاربردهای مختلفی بوده‌اند ولی بیشترین کاربرد آنها در مورد کانسارهای ماسه‌ای ساحلی مانند ماسه‌های ایلمنیت دار، روتیل، زیرکن و موناژیت دار بوده است. بار اولیه با ابعادی حدود ۳ میلی‌متر تا ۷۵ میکرون به صورت پالپی با غلظت کمتر از ۵۰ درصد جامد از قسمت بالای مارپیچ وارد می‌شود و در موقع پایین آمدن بار بر روی مسیر مارپیچی کانی‌های سنگین (دانه‌های سیاه رنگ) بخش داخلی مارپیچ را می‌پیمایند. دانه‌های گانگ (دانه‌های سفیدرنگ) نیز همراه با بخش عمده آب با توجه به اینکه دارای سرعت حرکت بیشتری هستند تحت تأثیر نیروی گریز از مرکز بزرگ تری قرار می‌گیرند و بنابراین بخش خارجی مارپیچ را اشغال کرده و به سمت پایین حرکت می‌کنند. به علاوه با جریان آب شست‌وشو در امتداد محور مارپیچ و عبور آن از نوار تشکیل شده از کانی‌های سنگین دانه‌های گانگ باقی‌مانده در این بخش جدا شده و به سمت بخش خارجی مارپیچ هدایت می‌شوند. در پایین‌ترین سطح از مقطع مارپیچ مجراهایی برای مواد پرعیار شده پیش‌بینی شده است که با تنظیم آنها می‌توان عرض نوار پرعیار شده را تنظیم کرد. با توجه به خروج تدریجی مواد پرعیار شده در طول مسیر عیار بخش باقیمانده بر روی مارپیچ به تدریج از بالا به پایین کم شده و از انتهای مسیر باطله‌ها نیز تخلیه می‌گردند.

پودمان ۴: تحلیل روش‌های پر عیار سازی مواد معدنی



واحد یادگیری ۸

انتخاب روش‌های فلوتاسیون در پرعیارسازی مواد معدنی

فلوتاسیون

فلوتاسیون یا شناورسازی عملیاتی است که در فراوری مواد معدنی به‌طور رایج مورد استفاده قرار می‌گیرد. این روش یکی از مهم‌ترین و پرکاربردترین روش‌های جداسازی ماده معدنی با ارزش از باطله است. پرعیار کردن مواد معدنی کم عیار فلزی (۳ تا ۵ درصد) جز به روش فلوتاسیون با هیچ روش دیگری ممکن و مقرون به صرفه نیست زیرا عملاً پرعیار کردن این مواد با روش‌های فیزیکی براساس وزن مخصوص کارایی بسیار پایینی دارد و بازیابی آنها از ۵۰٪ تجاوز نمی‌کند، درحالی‌که بازیابی همین مواد با روش فلوتاسیون تا ۹۰ درصد می‌رسد. ابعاد بار ورودی فلوتاسیون‌ها حدود کمتر از ۲۵۰ میکرون است.

روش فلوتاسیون در اکثر معادن ایران برای پرعیارسازی به‌کار گرفته می‌شود. به‌عنوان مثال معادن زغال‌سنگ کرمان (پابدانا و باب‌نیزو)، معادن زغال‌سنگ البرز شرقی (معادن ترزه)، معادن زغال‌سنگ البرز مرکزی (معادن زغال‌سنگ زیرآب)، معدن مس سرچشمه در استان کرمان و معادن سرب و روی آهنگران ملایر، معدن ایران کوه اصفهان، معدن کوشک یزد، انگوران زنجان و بسیاری دیگر.

مبنای روش فلوتاسیون قابلیت تر شونده‌گی سطحی کانی‌هاست. وقتی مواد معدنی در آب قرار می‌گیرند سطح خارجی برخی از کانی‌ها در تماس با آب، تر می‌شوند. این نوع کانی‌ها را هیدروفیل یا آب‌پذیر می‌نامند. در صورتی که سطح کانی در تماس با آب تر نشوند، کانی هیدروفوب یا آبران نام می‌گیرند.

از نظر خواص سطحی کانی‌ها به دو گروه قطبی و غیر قطبی تقسیم می‌شوند. کانی‌های غیرقطبی در سطح خود پیوندهای مولکولی ضعیفی دارند. سطح بعضی از این کانی‌ها از مولکول‌های کووالانسی (نیروی واندروالس) تشکیل شده است و سطح غیر قطبی آنها به سادگی آب جذب نمی‌کند و در نتیجه این مواد آبرانند. کانی‌های قطبی در سطح خود پیوندهای مولکولی قوی دارند و نوع پیوند در این کانی‌ها الکترووالانس است و از نظر جذب حباب هوا ضعیف‌اند. سطح قطبی این کانی‌ها به شدت با مولکول آب ترکیب می‌شود و این دسته از کانی‌ها به‌طور طبیعی آب‌دوست می‌باشند. کانی‌ها به لحاظ آب‌دوست یا آبران بودن به ۶ گروه تقسیم می‌شوند. در جدول صفحه بعد درجه قطبی بودن در مورد کانی‌های گروه دوم کم و به ترتیب در گروه‌های بعدی افزایش می‌یابد. کانی‌های گروه اول کاملاً غیر قطبی هستند. به‌جز طلا، نقره، مس و تمامی سولفیدهای گروه دوم که به علت پیوند یونی کم و بیش درجه قطبی قوی دارند. قطبی بودن کانی‌ها در سولفیدها کم است و به ترتیب در سولفات‌ها، کربنات‌ها، هالیدها، فسفات‌ها، اکسیدها، هیدرواکسیدها، سیلیکات‌ها و کوارتز زیاد می‌شود. کانی‌های گروه یک به‌طور طبیعی آبران هستند. علت اصلی این پدیده غیرقطبی بودن آنها است. علت دوم آبران بودن این کانی‌ها عدم حضور پیوند هیدروژنی است. به‌عنوان مثال پیوند هیدروژنی آب با یون‌های اکسیژن، دلیل اصلی تر شونده‌گی اکسیدها و سیلیکات‌ها است. یون سولفید به علت ابعاد بزرگش، با آب پیوند هیدروژنی تشکیل نمی‌دهد پس گوگرد و بسیاری از مواد دیگر نظیر مولیبدنیت و استینیت آبرانی طبیعی دارند. در تالک و پیروفیلیت اتم‌های داخلی لایه توسط پیوندهای یونی به یکدیگر متصل هستند درحالی‌که اتم‌های اکسیژن در دولایه مجاور با نیروهای ضعیف باقی‌مانده به یکدیگر متصل می‌شوند و لذا بار الکتریکی آنها ناچیز بوده و ساختار غیرقطبی از خود نشان می‌دهند.

تقسیم‌بندی کانی‌ها از نظر قطبی و غیر قطبی بودن

بسیار قطبی						غیر قطبی
بسیار آب دوست						آبران طبیعی
گروه ۶	گروه ۵	گروه ۴	گروه ۳	گروه ۲	گروه ۱	
زیرکن	هماتیت	سروزیت	باریت	گالن	گرافیت	
ویلیمیت	مگنتیت	مالاکیت	انهدریت	کولیت	الماس	
همی مورفیت	گوتیت	آزوریت	ژیپس	بورنیت	زغال	
بریل	کرومیت	ولفنیت	انگلزیت	کالکوسیت	گوگرد	
گروه فلدسپات	ایلمنیت	فلورین		کوبالتیت	مولیبدنیت	
سیلیمانیت	کروندوم	کلسیت		ارسنوپیریت	استیینیت	
گروه گارنت	لیمونیت	منیزیت		پیریت	پیروفیلیت	
کوارتز	ولفرامیت	دولومیت		اسفالریت	تالک	
	تانتالیت	آپاتیت		فلزات طلا، نقره، مس و پلاتین	آبودریت	
	روتیل	اسمیت زونیت				
	کاسیتیریت	شنلیت				

در روش فلوتاسیون سعی می‌شود با استفاده از مواد شیمیایی مناسب که به آنها کلکتور می‌گویند. سطح خارجی یک یا چند کانی در سنگ معدنی را هیدروفوب یا آبران کنند. در این حالت چنانچه در داخل محیط حباب‌های هوا ایجاد شود دانه‌های کانی هیدروفوب شده به حباب‌های هوا می‌چسبند و همراه آنها به سطح پالپ منتقل می‌شوند. با افزودن موادی به نام کف‌ساز این حباب‌ها تشکیل لایه‌ای از کف را در سطح پالپ می‌دهند که حاوی کانی هیدروفوب شده است و با تخلیه کف می‌توان این کانی‌ها را از سایر کانی‌ها جدا کرد.

می‌خواهیم دو دسته مواد معدنی را که شامل کانی‌های

۱ آنتراسیت، ژیپس و کوارتز

۲ گالن، اسفالریت، سروزیت، کوارتز، دولومیت و کلسیت

هستند را به‌طور جداگانه به روش فلوتاسیون فراوری کنیم. کدام‌یک از کانی‌ها زودتر به حباب‌های هوا می‌چسبند و شناور می‌شود و کدام‌یک در کف سلول فلوتاسیون باقی می‌ماند و شناور نمی‌شود.

بارش فکری

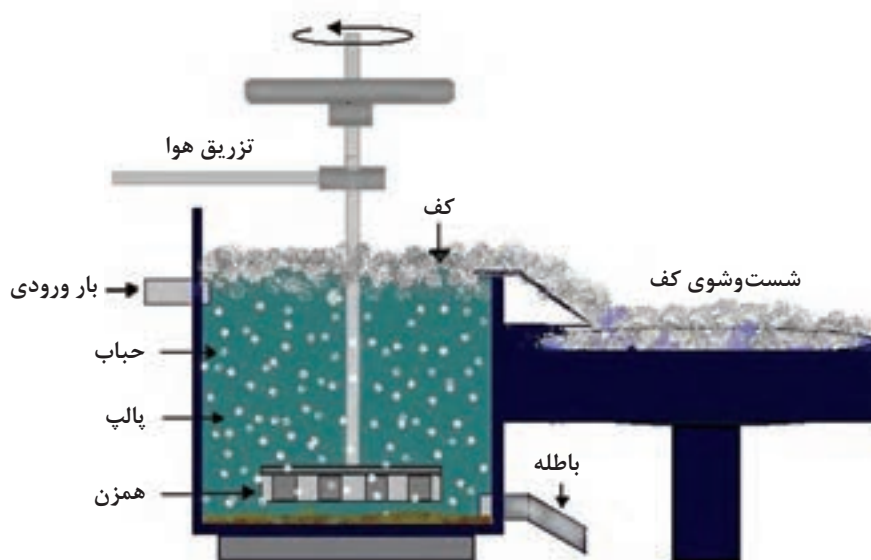


سؤال: با توجه به آنچه در خصوص روش فلوتاسیون بیان شده تعریف هر یک از اصطلاحات زیر را در مقابلشان بنویسید.

	هیدروفیل (آب دوست)
	هیدروفوب (آبراز)
	کلکتور
	کف ساز
	فلوتاسیون

طرز کار دستگاه های فلوتاسیون

در یک سلول فلوتاسیون بار ورودی به صورت پالپ معمولاً با استفاده از پمپ و لوله به داخل سلول فلوتاسیون ریخته می شود. هوا از طریق لوله هایی به کف سلول وارد می شود و با استفاده از همزنی که نزدیک کف سلول فلوتاسیون قرار گرفته، پالپ به هم زده می شود. هم زدن باعث می شود تا از ته نشینی و به هم چسبیدن مواد در پالپ جلوگیری شود و تعدادی حباب هوا تشکیل گردد. افزودن محلول های کف ساز و تزریق هوا به فرایند تشکیل حباب های بیشتر و مقاوم تر جهت کارایی بهتر فلوتاسیون کمک می کند. کانی هایی که به وسیله کلکتور هیدروفوب شده اند می توانند به حباب های هوا چسبیده و به سطح محلول منتقل شوند. در نهایت کانی های هیدروفیل در کف سلول ته نشین شده و از آنجا خارج می شوند و کانی های هیدروفوب به سطح سلول منتقل شده و از بالای سلول خارج می شوند. شکل زیر قسمت های مختلف یک سلول فلوتاسیون را نشان می دهد.



یک سلول فلوتاسیون و قسمت های مختلف آن

به‌طور کلی فرایندهای مؤثر در عملیات فلوتاسیون را می‌توان به سه مرحله تقسیم کرد:

تأثیر مواد شیمیایی بر کانی: مواد شیمیایی مورد استفاده در فلوتاسیون موادی هستند که کانی‌های بخصوصی را شناور ساخته و از شناور شدن بقیه جلوگیری می‌کنند. از نظر کلی قابلیت شناور شدن یک کانی به هیدروفوب (آبران) بودن آن بستگی دارد. خاصیت آبرانی با خواص سطحی مولکول‌ها رابطه مستقیم داشته یا به عبارت دیگر به قطبی یا غیرقطبی بودن مولکول‌های سطحی بستگی دارد و مولکول‌های قطبی از یون‌ها تشکیل شده‌اند در حالی که مولکول‌های غیرقطبی از اتم‌ها تشکیل شده و هیچ بار الکتریکی ندارند. مثلاً کلرور سدیم یک مولکول قطبی و هیدروکربورهای پارافینی غیرقطبی می‌باشد. کانی‌هایی که سطح آنها قطبی است به وسیله آب قابل جذب هستند بنابراین قابلیت شناور شدن نیستند. برعکس کانی‌های با سطوح غیرقطبی هیدروفوب (آب‌گریز) هستند و در نتیجه شناور می‌شوند.

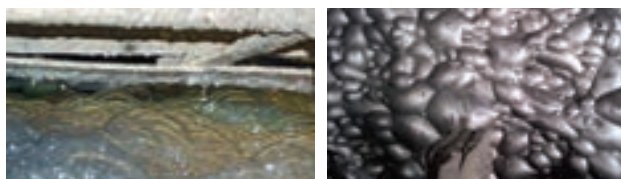
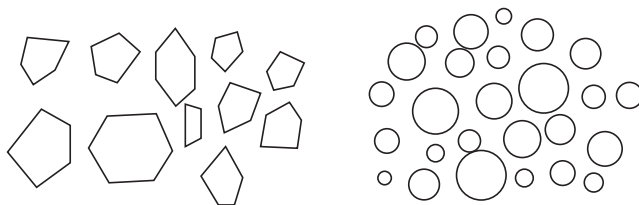
تشکیل کف: کف‌ها عبارت‌اند از حباب‌های هوا که درون آب قرار گرفته و تا حدودی در این محیط دوام دارند. پراکنده کردن حباب‌های هوا درون آب به طریق مکانیکی و یا از طریق هوای فشرده توسط کمپرسور و یا هر دو انجام می‌شود. مشخصات کف از قبیل دوام، اندازه حباب‌ها، الاستیسیته، فراوانی حباب‌ها و... به وسیله وجود مواد شیمیایی که خواص کف را تغییر می‌دهند، تعیین می‌شود. این مواد که کف‌ساز نام دارند به مقدار کم در آب حل می‌شوند و وجود آنها باعث افزایش دوام و الاستیسیته کف می‌شود که برای فلوتاسیون اهمیت دارد. بدون کف‌سازها حباب‌های کف فوراً شکسته شده و از بین می‌رود.

الاستیسیته چیست؟ و افزایش الاستیسیته حباب با افزوده شدن کف‌ساز در فلوتاسیون به چه معناست؟

پژوهش

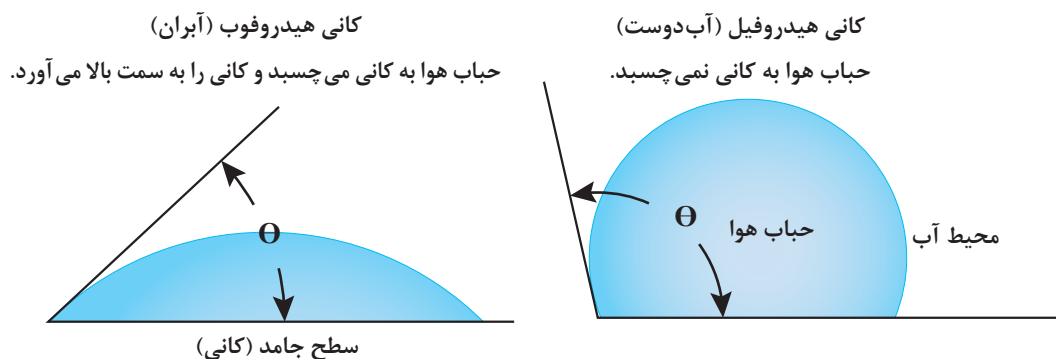


شکل سمت راست حباب‌های هوای کروی شکل که به وسیله لایه‌های آب از هم جدا شده‌اند را نشان می‌دهد. این حباب‌ها کوچک و کم دوام بوده مقدار آب در آنها زیاد است در حالی که در حباب‌های تقریباً چند وجهی سمت چپ حباب‌ها خشک با دوام و درشت می‌باشند. حباب‌های چند وجهی به وسیله لایه‌های نازک آب از هم جدا می‌شوند. وجود ذرات ریز جامد در سطح حباب‌ها باعث استحکام آنها می‌شود؛ همچنین مقدار کف‌ساز اضافه شده حتی به مقدار بسیار کم در سطح حباب‌ها جمع شده و باعث استحکام آنها می‌گردد.



حباب‌های کروی و چند وجهی در فلوتاسیون

تشکیل مجموعه حباب و کانی و شناور شدن آن: در فلوتاسیون ذرات کانی به حباب‌های هوا که در محیط وجود دارند چسبیده و بالا می‌آیند. هر ذره قابل شناور شدن در سلول فلوتاسیون 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، ارشمیدوس و غیره در 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. ثانیاً؛ مجموعه حباب هوا و کانی نسبت به مایع حرکت کرده و بالا می‌آید.



زاویه تماس (θ)	کوچک	بزرگ
چسبندگی	زیاد	کم
قابلیت ترشوندگی	کم	زیاد
قابلیت شناور شدن	دارد	ندارد

معرف‌های مورد استفاده در فلوتاسیون

کلکتورها: کلکتورها مواد شیمیایی آلی هستند که باعث می‌شوند، کانی‌های مورد نظر، به سطح حباب هوا چسبیده، ضمن شناور شدن از بقیه مواد جدا شوند. بنابراین کلکتورها مایعاتی آلی با ساختمان مولکول قطبی و غیر قطبی هستند که در آب حل می‌شوند. قسمت قطبی این مایعات عموماً با کانی‌های مورد نظر پیوند برقرار می‌کنند در حالی که قسمت غیر قطبی (آلی) آنها سطح کانی‌ها را آبران می‌کند. در شکل صفحه بعد ساختمان یک مولکول کلکتور سدیم اولئات نشان داده شده است.

$ \begin{array}{cccccccccccccccc} \text{H} & \text{H} & \text{H} & \text{H} & \text{H} & \text{H} & \text{H} & \text{H} & \text{H} & \text{H} & \text{H} & \text{H} & \text{H} & \text{H} & \text{H} & \text{H} & \text{H} & \text{H} & \text{H} & \text{H} \\ & \\ \text{H}-\text{C}-\text{C}-\text{C}-\text{C}-\text{C}-\text{C}-\text{C}-\text{C}=\text{C}-\text{C}-\text{C}-\text{C}-\text{C}-\text{C}-\text{C}-\text{C}-\text{C} & \begin{array}{l} \text{O} \\ \parallel \\ \text{C} \\ \diagup \quad \diagdown \\ \text{O} \quad \text{Na} \end{array} \end{array} $	
مولکول کلکتور	
گروه غیرقطبی (آلی)	گروه قطبی
آنیون	کاتیون
گروه هیدروفوب‌کننده کانی مورد نظر	گروه برقرارکننده
زنجیره هیدروکربن	پیوند با کانی مورد نظر

ساختار مولکول کلکتور اولئات سدیم

کلکتورها به طور طبیعی وجود دارند و یا به صورت مصنوعی تهیه می‌شوند. کلکتورها به دو دسته کلی:

کلکتورهای غیر یونیزه

این کلکتورها دارای ترکیبات غیر قطبی هستند و به طور کلی از ترکیبات هیدروکربن تشکیل شده‌اند که در آب حل نمی‌شوند. این کلکتورها به صورت یک فیلم نازک دور کانی‌ها را می‌گیرند و اجازه تر شده به وسیله آب را به آنها نمی‌دهند.

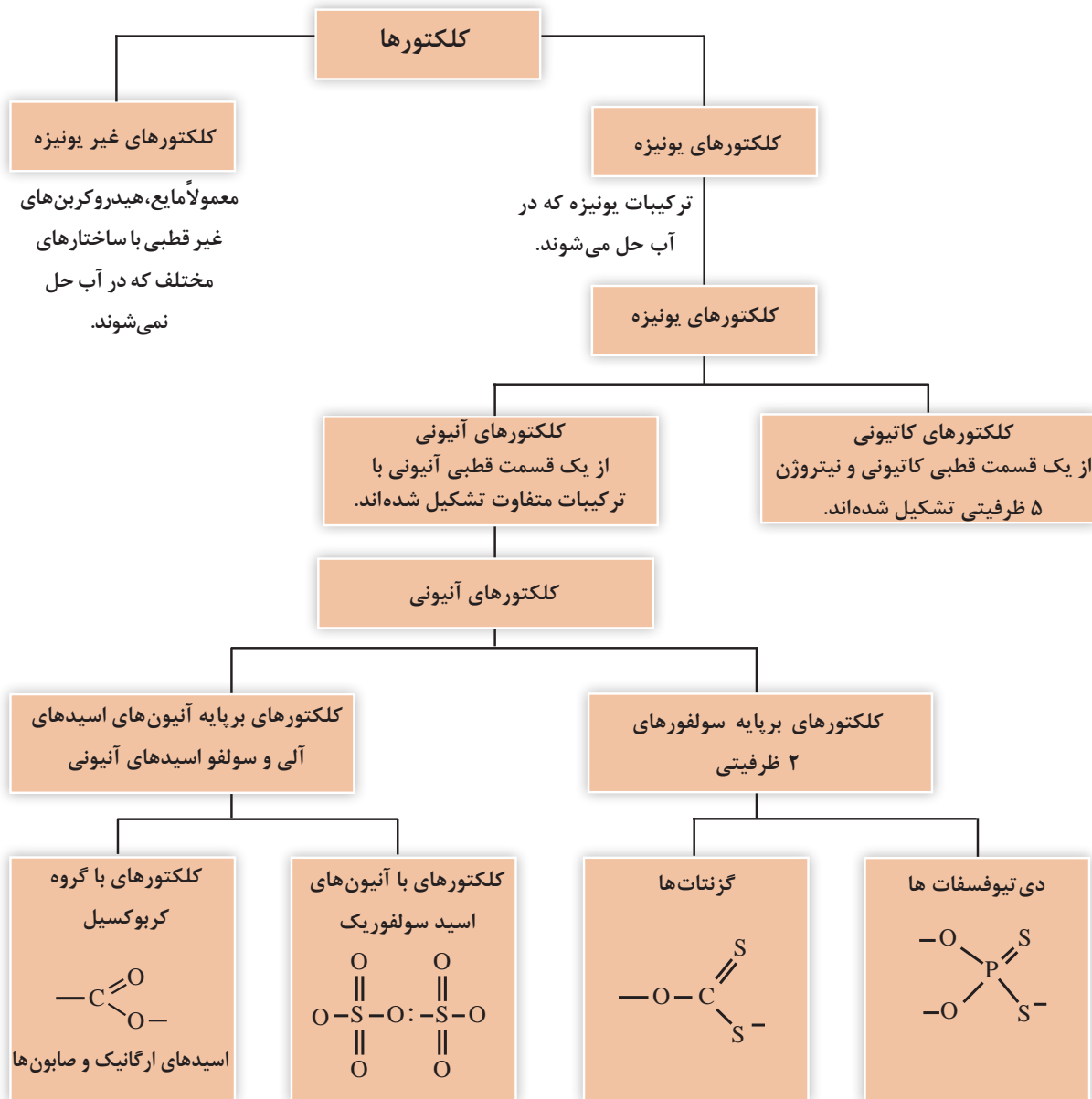
کلکتورهای یونیزه شونده

این کلکتورها در آب حل شده و به یون تبدیل می‌شوند. بزرگ‌ترین گروه کلکتورهای مورد استفاده در صنعت، کلکتورهای یونیزه شونده هستند که به دو دسته تقسیم می‌شوند:

کلکتورهای آنیونی: دارای بار منفی هستند و با بار منفی خود با کانی مورد نظر که دارای بار مثبت است، پیوند برقرار می‌کند و باعث هیدروفوب شدن آن می‌شوند.

کلکتورهای کاتیونی: که با بار مثبت به سطح کانی مورد نظر که دارای بار منفی است، چسبیده و آن را آبران یا هیدروفوب می‌کنند.

طبقه‌بندی کلکتورها در نمودار صفحه بعد نشان داده شده است.

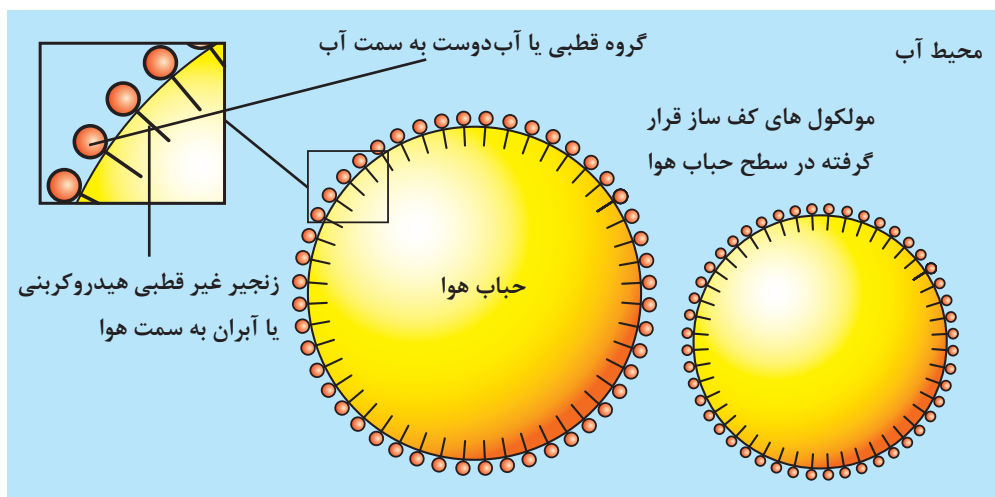


کاربرد	نام کلکتور	گروه کلکتور
کانی‌های به‌طور طبیعی آبران مانند زغال و کانی‌های مولیبدن و بیسموت	هیدروکربن‌های غیر قطبی و اشباع شده و یا حلقوی مانند نفت، گازوئیل، کروزین، روغن‌های کرکینک، قطران، روغن‌های چوب و بنزین	غیر یونیزه
سیلیکات‌ها، فسفات‌ها و همچنین همتیت، کاسیتريت، کلسیت و کانی‌های غیر فلزی و نمک‌ها به‌کار می‌روند. برخی از انواع آنها در فلوتاسیون سولفیدها هم کاربرد دارند.	آمین‌ها (نیتروزن‌های ۵ ظرفیتی) این کلکتورها مشتقات آمونیاک هستند و در محدوده pH ۹ تا ۱۱ خاصیت کف‌سازی دارند.	کاتیونی (آمین‌ها)
سولفیدها و بعضی از کربنات‌ها	گزنات‌ها	یونیزه شونده
معمولاً همراه با گزنات‌ها جهت فلوتاسیون سولفیدهای مس و سرب به‌کار می‌روند.	دی تیوفسفات‌ها	
سولفیدها	تیو کربنات‌ها	
سولفیدها	تیو کاربامیدها	
نیکل و کبالت و سرب‌های اکسیده	مرکاپتان‌ها	
گالن	تیو کاربا نیلیدها	
در pH ۴ تا ۸ خاصیت کف‌سازی دارند. فلزات قلیایی خاکی و همراه گزنات‌ها در فلوتاسیون اکسیدها و سولفیدها کاربرد دارد.	اکسیدریل‌ها شامل کربوکسیلات‌ها، سولفونات‌ها، آلکیل سولفونات‌ها و هیدروکسامات‌ها	

تنظیم‌کننده‌های pH: برای فلوتاسیون هر کانی pH بهینه‌ای وجود دارد که تحت آن شرایط، بازیابی فلوتاسیون حداکثر می‌شود. به‌علاوه مقدار pH بر عملکرد مواد شیمیایی تأثیر به‌سزایی دارد. بیشتر عملیات فلوتاسیون در محیط‌های قلیایی که pH از ۷ تا ۱۳ تغییر می‌کند صورت می‌گیرد. pH مناسب به نوع کانی، نوع و غلظت مواد شیمیایی و دمای محیط بستگی دارد. pH کمتر از ۷ را اسیدی و pH بالای ۷ را قلیایی گویند. موادی که عمدتاً برای تنظیم pH در فلوتاسیون مورد استفاده قرار می‌گیرند عبارت‌اند از: جهت افزایش pH: آهک، کربنات سدیم، هیدروکسید سدیم و هیدروکسید آمونیوم جهت کاهش pH: اسید سولفوریک، اسید سولفور و اسید هیدروکلریدریک

کف‌سازها: کف‌سازها ترکیبات قطبی و غیر قطبی هستند که خاصیت آنها در فصل مشترک فاز مایع و جامد

زیاد بوده و باعث جذب کانی‌های آبران می‌شوند. عمل ایجاد کف در مایعات خالص کار دشواری است. زیرا حباب‌های تشکیل شده به محض رسیدن به سطح مایع پاره می‌شوند. کف‌سازها دارای ترکیبات قطبی و غیر قطبی هستند که بر روی پوسته بیرونی حباب‌های هوا اثر می‌کنند به طوری که سر قطبی یا آب‌دوست آنها به سمت آب و زنجیر غیر قطبی هیدروکربنی یا آبران به سمت هوا قرار می‌گیرد.



جهت‌گیری مولکول‌های کف‌ساز در سطح حباب‌ها

علاوه بر توانایی کف‌سازها در تشکیل کف، این مواد نقش‌های دیگری نیز در محیط پالپ ایفا می‌کنند که شامل: تشکیل حباب‌های ریزتر؛ بدین ترتیب توزیع هوا در سلول فلوتاسیون بهبود خواهد یافت. کاهش میزان ادغام حباب‌ها: تجمع کف‌سازها در سطح حباب هوا، به دلیل ایجاد بار هم‌نام از تماس و ادغام حباب‌ها با یکدیگر جلوگیری می‌کند. افزایش مقاومت سطحی حباب‌ها: کف‌ساز باعث کاهش کشش سطحی و افزایش الاستیسیته در سطح حباب‌ها شده و در نتیجه سبب افزایش پایداری حباب‌ها می‌شود. کنترل شکل حباب‌ها: کف‌سازها باعث کروی‌تر شدن و در نتیجه کاهش سرعت صعود حباب‌ها در سلول فلوتاسیون می‌شود. کف‌سازهای عمده در فلوتاسیون عبارت‌اند از:

کف‌ساز	کاربرد و مقدار مصرف
متیل ایزوبوتیل کرینول (MIBC)	در فلوتاسیون کانی‌های سولفیدی ($\sim 30 \text{ g/t}$) و زغال سنگ ($\sim 125 \text{ g/t}$)
روغن کاج	در فلوتاسیون کانی‌های سولفیدی ($\sim 30 \text{ g/t}$) و زغال سنگ ($\sim 125 \text{ g/t}$) و سیلیکات‌ها (همراه با کلکتورهای کاتیونی)
کرزیل (اسید کرزلیک)	در فلوتاسیون کانی‌های سولفیدی ($\sim 40 \text{ g/t}$)
پلی‌اترهای هیدروکسیله	در فلوتاسیون کانی‌های سولفیدی ($\sim 25 \text{ g/t}$)

بازداشت‌کننده‌ها (بازدارنده‌ها):

مواد شیمیایی هستند که اضافه کردن آنها به محیط فلوتاسیون باعث هیدروفیل (آب‌دوست شدن) دیگر کانی‌ها و در نتیجه فلوته نشدن آنها می‌گردد و در عین حال تأثیر نامناسبی بر روی کانی مورد نظر جهت فلوته شدن ندارد. مدت بازداشت کردن ممکن است موقتی و یا دائمی باشد. بازداشت‌کننده‌ها به دو گروه آلی و غیر آلی (معدنی) تقسیم می‌شوند. انواع غیر آلی در اثر واکنش‌های شیمیایی در سطح کانی جذب می‌شوند. بازداشت‌کننده‌های آلی نیز به صورت لایه‌ای نازک سطح کانی‌ها را می‌پوشانند. انواع بازداشت‌کننده‌ها عبارت‌اند از:

بازداشت‌کننده‌های غیر آلی	محدوده کاربرد
یون CN^- (به شکل NaCN)	بازداشت کانی‌های سولفیدی با عناصر Ag, Fe, Cu, Zn, Sb و Ni, Cd
یون $(Cr_2O_7)^{2-}$ (به شکل دی کرومات پتاسیم $K_2Cr_2O_7$)	جهت بازداشت گالن
سولفید سدیم	بازداشت سولفیدهای روی و آهن و همچنین مس طی فلوتاسیون مولیبدن
گاز SO_2	بازداشت سولفیدهای روی، آهن و گالن
سولفات روی	بازداشت اسفالریت و پیریت
کربنات‌ها، فسفات‌ها، سولفات‌ها و فلئورها	بازداشت کانی‌های خانواده نمک‌ها به کمک اسیدهای چرب
سیلیکات و متاسیلیکات سدیم ($Na_2O \cdot mSiO_2$)	بازداشت کوارتز و گانگ‌های سیلیکاته و همچنین کلسیت
غلظت یون H^+	جهت بازداشت بعضی کانی‌ها
اسید فلوسیلیک	بازداشت میندریت، تورمالین، کوارتز و توپاز
فلئوریک	جهت بازداشت کوارتز
هیپوکلرید سدیم	بازداشت کالکوپیریت و کالکوسیت
آهک	بازداشت پیریت و پنتلانیدیت
بازداشت‌کننده‌های آلی	محدوده کاربرد
اتر پلی گلیکول	بازداشت کلسیت و دولومیت
نشاسته و دکسترین	بازداشت رس‌ها، گالن، اکسیدهای آهن، میکا و تالک
کربوکسی متیل سلولز	بازداشت هماتیت، کلسیت، دولومیت، آپاتیت و تالک
صمغ و گارها	بازداشت تالک و کانی‌های سیلیکاته
تانن و کبراکو	بازداشت کلسیت و دولومیت

فعال کننده‌ها: از جمله معرف‌هایی هستند که خاصیت شناور شدن بعضی از مواد معدنی را تقویت می‌کنند. زیرا بعضی از کانی‌های فلزی سولفیدی به خصوص روی و بعضی از کانی‌های غیر فلزی در حالت طبیعی به وسیله کلکتور شناور نمی‌شوند و باید با اضافه کردن فعال کننده آنها را شناور نمود. برخی از فعال کننده‌های مهم عبارت‌اند از:

فعال کننده	محدوده کاربرد
یون‌های مس و سرب	جهت فعال کردن سولفیدها به ویژه اسفالریت
سولفور سدیم	جهت سولفیدی کردن کانی‌های کربناته نظیر سروزیت و مالاکیت
نیترات و استات سرب	جهت فعال کردن اسپینیت، نمک طعام و نیز فعال کردن سیلیکات‌ها و کربنات‌ها یا کلکتورهای چرب
یون فلورید	جهت فعال کردن بعضی از سیلیکات‌ها نظیر فلدسپات و بریل

متفرق کننده‌ها: در برخی موارد لازم است تا ذرات رس و نرمه را که در سطح کانی‌ها چسبیده و از شناور شدن آنها جلوگیری می‌کند برداشته شود. کربنات سدیم به عنوان متفرق کننده اصلی برای حذف رس و نرمه از سطوح کانی‌ها به کار می‌رود.

ارزشیابی پودمان ۴ پرعیارسازی مواد معدنی

عنوان پودمان فصل	تکالیف عملکردی (شایستگی‌ها)	استاندارد عملکرد (کیفیت)	نتایج	استاندارد (شاخص‌ها، داوری، نمره دهی)	نمره
تحلیل روش‌های پرعیارسازی مواد معدنی	تحلیل روش‌های پرعیارسازی در جریان سیالات	دستور العمل‌های پرعیارسازی (جدایش در جریان‌ها و فلوتاسیون)	بالاتر از حد انتظار	اصول کار جیک، میز لرزان و سلول‌های فلوتاسیون را بیان کرده و دستگاه پرعیارسازی را برای ماده معدنی انتخاب می‌کند.	۳
	انتخاب روش‌های فلوتاسیون در پرعیارسازی معدنی		در حد انتظار	اصول کار جیک، میز لرزان و سلول‌های فلوتاسیون را بیان می‌کند.	۲
			پایین‌تر از انتظار	اصول کار جیک، میز لرزان را بیان می‌کند.	۱
	نمره مستمر از ۵				
	نمره شایستگی پودمان از ۳				
	نمره پودمان از ۲۰				