پودمان ۴

تحلیل روش‌های پر عیارسازی مواد معدنی

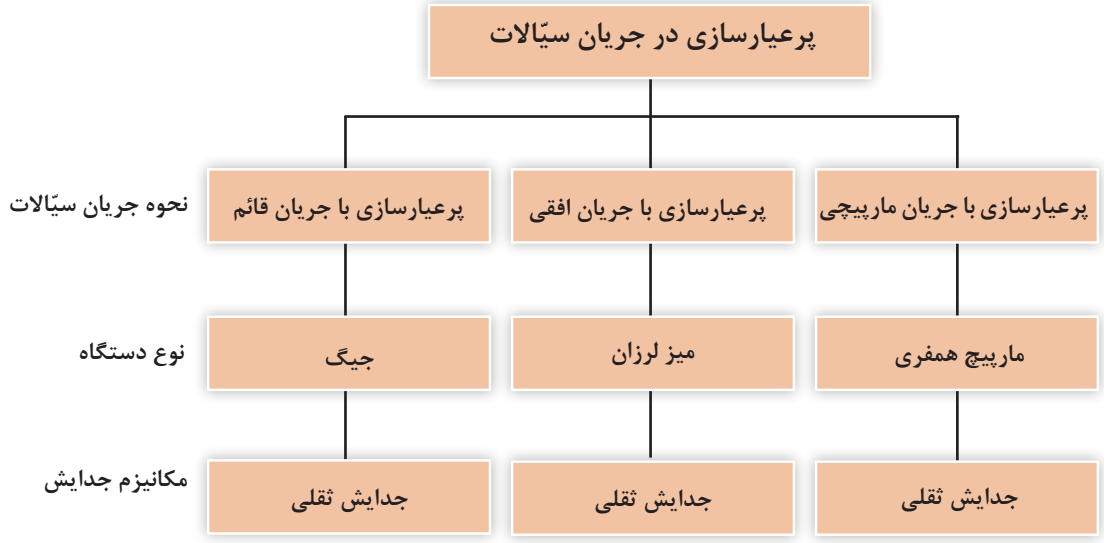
واحد یادگیری ۷

تحلیل روش‌های پرعیارسازی در جریان سیّالات

اگر مواد معدنیِ 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 سیّالات

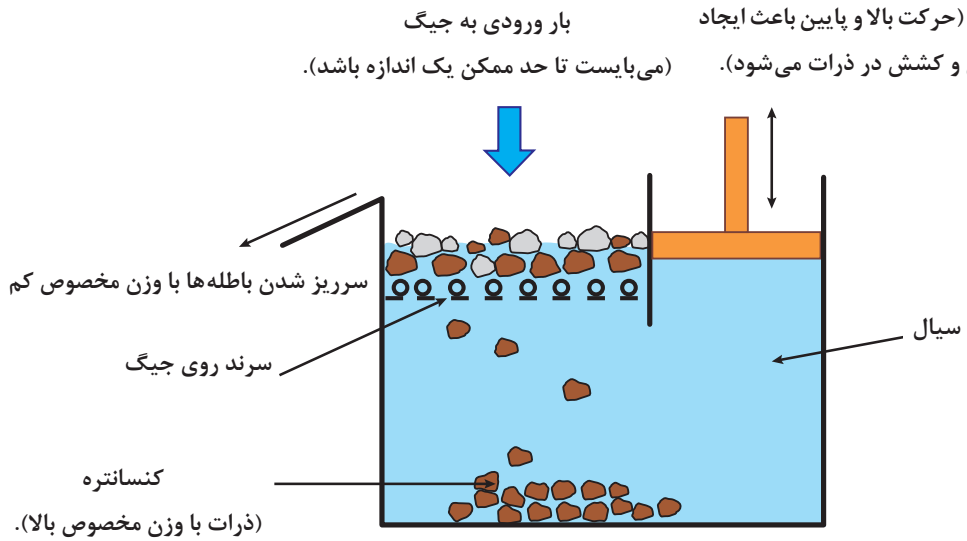
پرعیارسازی مواد معدنی به‌وسیله سیالات می‌تواند به سه شکل انجام شود که عبارت‌اند از:



الف) پرعیارسازی مواد معدنی در جریان قائم

جدایش با استفاده از جیگ: به‌طور کلی جیگ‌ها دستگاه‌هایی هستند که برای پرعیارسازی ذرات نسبتاً درشت ساخته شده‌اند. این دستگاه‌ها از دیرباز برای پرعیارسازی کانی‌های سولفیدی به‌کار می‌رفته‌اند. از آنجایی‌که 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 به‌دست 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 به‌صورت 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 به‌صورت آزاد سقوط نمی‌کنند و نیز زمان سقوط بسیار کوتاه است و ذرات به‌صورت دسته جمعی سقوط می‌کنند.



جیگ و قسمت‌های مختلف آن

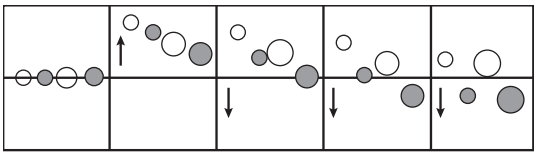
طرز کار جیگ: پرعیارسازی مواد معدنی در جیگ براساس وزن مخصوص مواد انجام می‌شود. همان‌طور که در شکل بالا نشان داده شده است جیگ با استفاده از یک پیستون دو جریان آب ایجاد می‌کند. یک جریان آب بالارو و دیگری جریان آب پایین‌رو که به‌طور متناوب بر روی قشری از مواد معدنی اثر می‌کند و مواد را بر اساس وزن مخصوص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

مکانیزم‌های اصلی عملیات پرعیارسازی 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



مکانیزم جدایش ذرات در جیگ‌ها

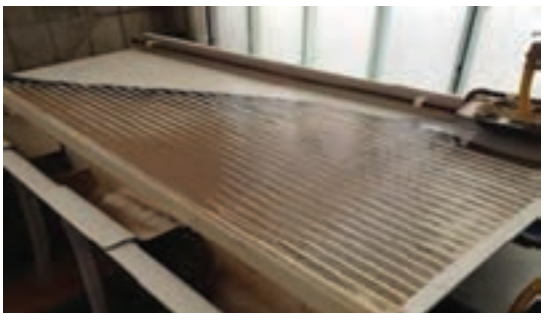
انجام آن را زمان کشش گویند. به این دو دوره در جیگ دوره‌های تناوب گفته می‌شود و می‌تواند با حرکت رفت و برگشت پیستون و یا بالا و پایین شدن سرندی که مواد بر روی آن قرار دارند، ایجاد گردد. شکل روبه‌رو نشان می‌دهد درصورتی‌که ذرات دارای وزن مخصوص کم (رنگ سفید، مثلاً کانی کوارتز) و وزن مخصوص زیاد (رنگ مشکی، 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 دهندهٔ 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 درصورتی‌که 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 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 به‌کار 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.

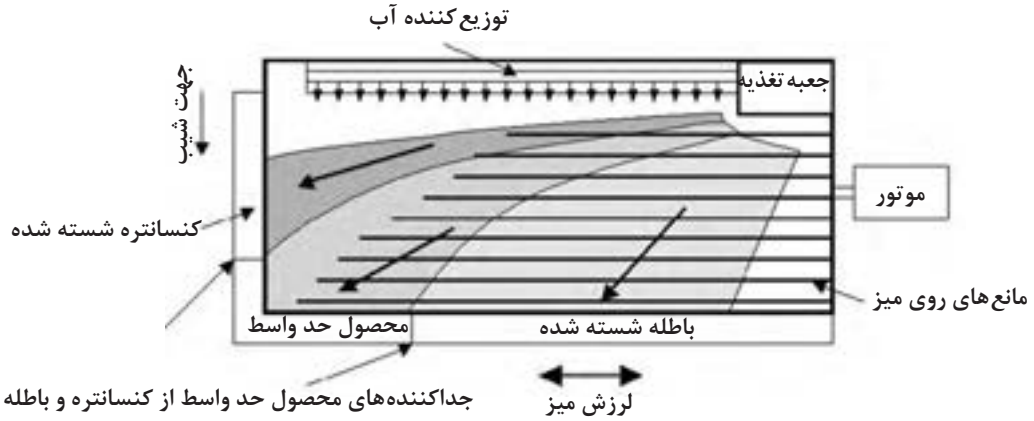

میز لرزان

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

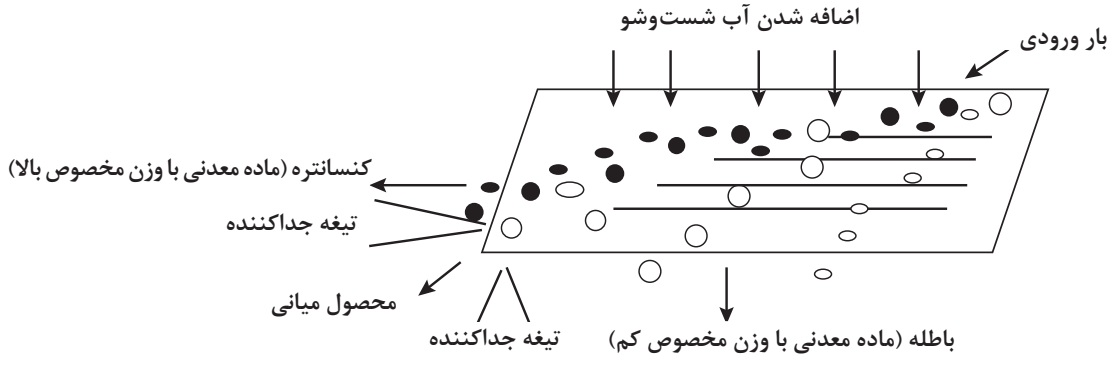
شده است. بار اولیه به‌صورت پالپ با غلظت کم از مواد جامد از یک گوشه آن وارد شده و بر روی میز توزیع می‌گردد. سطح میز توسط موانعی که معمولاً در امتداد میز هستند پوشیده شده است که ارتفاع آنها از سمت ورود بار اولیه به طرف دیگر به تدریج کم می‌شود به نحوی که بخش انتهایی سطح میز صاف و بدون مانع است.

طرز کار میز لرزان

مواد به‌صورت 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 توزیع‌کننده 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) برایند 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 پرعیار شده هدایت می‌شوند. حال آنکه دانه‌های درشت‌تر و سبک‌تر با عبور از موانع به بخش باطله منتقل می‌گردد. 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 پرعیارسازی بر روی یک میز لرزان

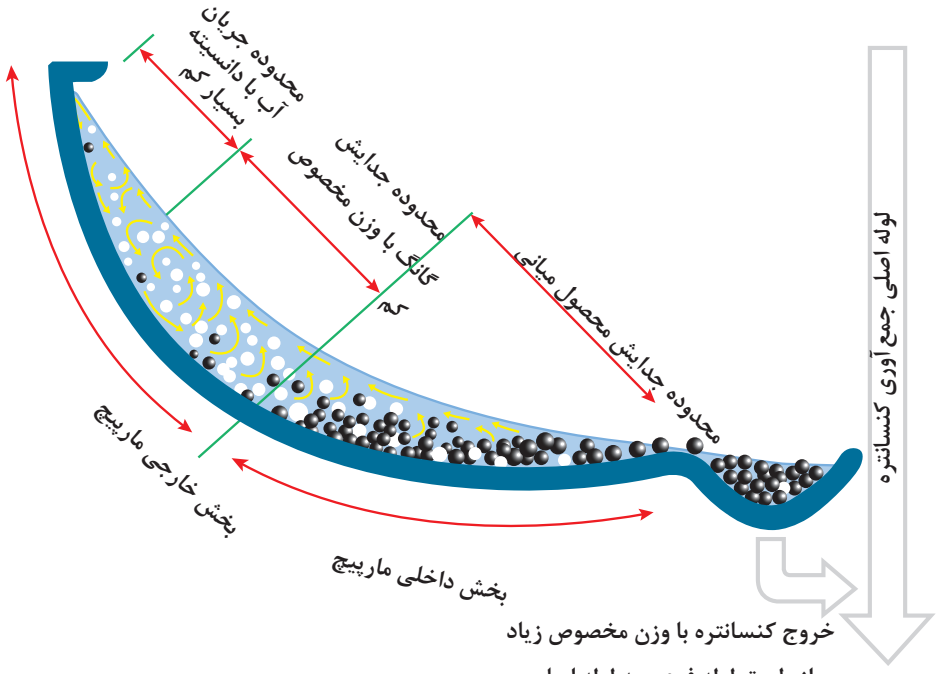
تفکر

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.

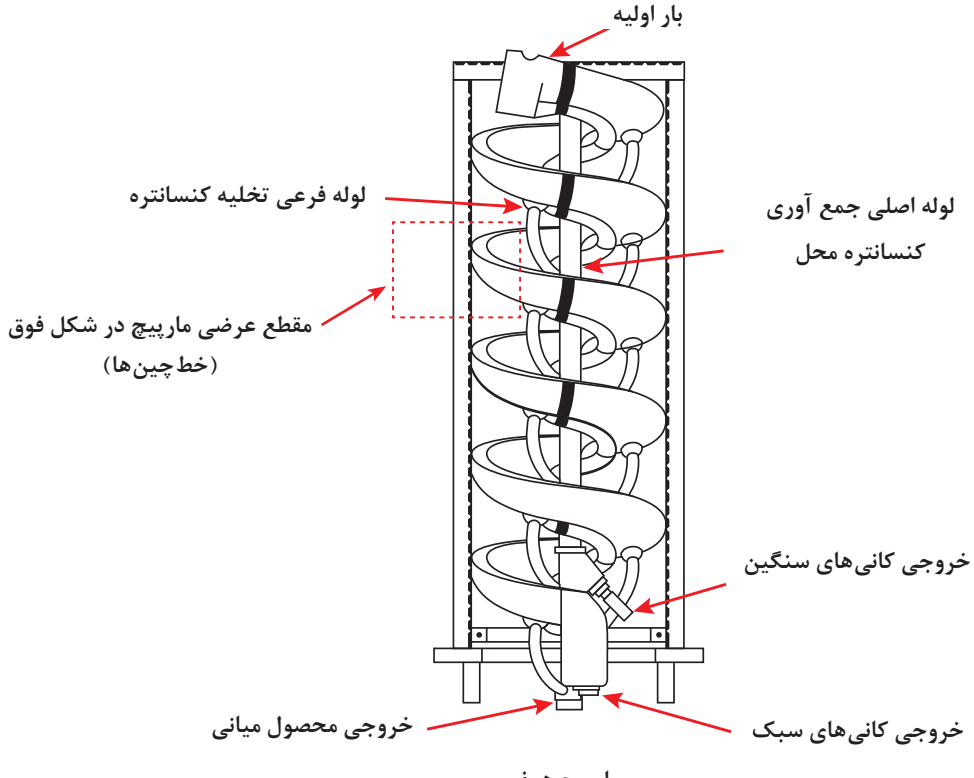
وزن مخصوص ذرات	اندازه ذرات	جهت حرکت پیش‌بینی شده بر روی میز	نوع محصول
زیاد	کوچک	طولی	
زیاد	بزرگ		
زیاد	متوسط		
متوسط	متوسط	قطری	میانی
کم	بزرگ		
کم	متوسط		میانی

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 مونازیت‌دار بوده است. بار اولیه با ابعادی حدود ۳ میلی‌متر تا ۷۵ میکرون به‌صورت 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 بزرگ‌تری قرار می‌گیرند و بنابراین بخش خارجی مارپیچ را اشغال کرده و به سمت پایین حرکت می‌کنند. به‌علاوه با جریان آب شست‌وشو در امتداد محور مارپیچ و عبور آن از نوار تشکیل شده از کانی‌های سنگین دانه‌های گانگ باقی‌مانده در این بخش جداشده 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 به‌تدریج از بالا به پایین کم شده و از انتهای مسیر باطله‌ها نیز تخلیه می‌گردند.



مقطع عرضی مارپیچ



مارپیچ همفری

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. به عنوان مثال معادن زغال‌سنگ کرمان (پابدانا و باب نیزو)، معادن زغال‌سنگ البرز شرقی (معادن تزره)، معادن زغال‌سنگ البرز مرکزی (معدن 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 شوندگی 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 آب پذیر می‌نامند. درصورتی‌که 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 الکتروالانس 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 صفحهٔ بعد درجه قطبی بودنِ 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. به عنوان مثال پیوند هیدروژنی آب با یون‌های اکسیژن، دلیل اصلی تر شوندگی 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 استیبنیت 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

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

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.

بارش فکری

می‌خواهیم دو دسته مواد معدنی را که شامل کانی‌های

۱ آنتراسیت، ژیپس و کوارتز

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

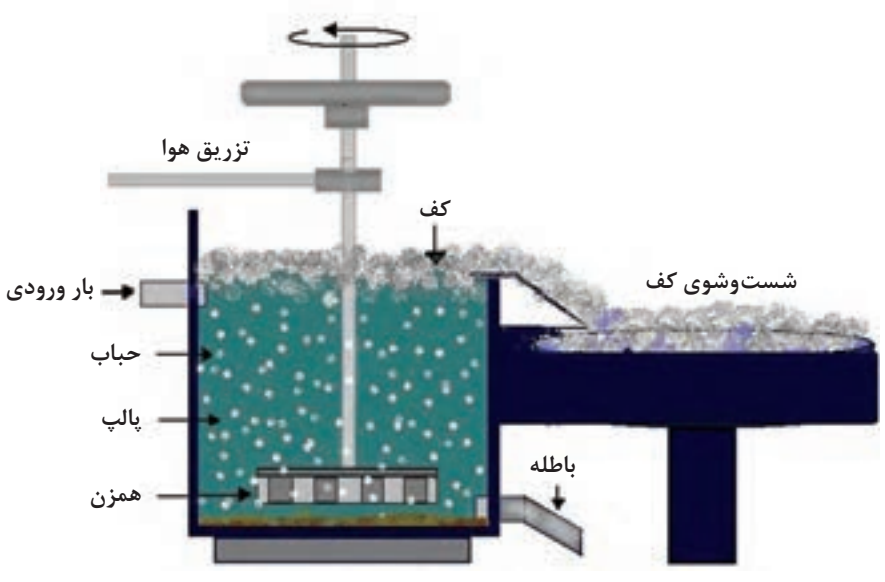
هستند را به‌طور جداگانه به روش فلوتاسیون فراوری کنیم. کدام‌یک از کانی‌ها زودتر به حباب‌های هوا می‌چسبد و شناور می‌شود و کدام‌یک در کف سلول فلوتاسیون باقی می‌ماند و شناور نمی‌شود.

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

هیدروفیل (آب دوست)	
هیدروفوب (آبران)	
کلکتور	
کف‌ساز	
فلوتاسیون	

طرز کار دستگاه‌های فلوتاسیون

در یک سلول فلوتاسیون بار ورودی به‌صورت پالپ معمولاً با استفاده از پمپ و لوله به داخل سلول فلوتاسیون ریخته می‌شود. هوا از طریق لوله‌هایی به کف سلول وارد می‌شود و با استفاده از همزنی که نزدیک کف سلول فلوتاسیون قرار گرفته، پالپ به هم زده می‌شود. هم زدن باعث می‌شود تا از ته‌نشینی و به هم چسبیدن مواد در پالپ جلوگیری شود و تعدادی حباب هوا تشکیل گردد. افزودن محلول‌های کف‌ساز و تزریق هوا به فرایند تشکیل حباب‌های بیشتر و مقاوم‌تر جهت کارایی بهتر فلوتاسیون کمک می‌کند. کانی‌هایی که به‌وسیله کلکتور هیدروفوب شده‌اند می‌توانند به حباب‌های هوا چسبیده و به سطح محلول منتقل شوند. در نهایت کانی‌های هیدروفیل در کف سلول ته‌نشین شده و از آنجا خارج می‌شوند و کانی‌های هیدروفوب به سطح سلول منتقل شده و از بالای سلول خارج می‌شوند. شکل زیر قسمت‌های مختلف یک سلول فلوتاسیون را نشان می‌دهد.



یک سلول فلوتاسیون و قسمت‌های مختلف آن

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

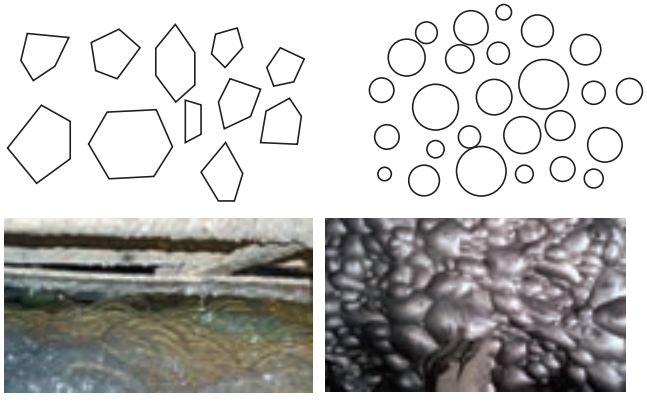
تأثیر مواد شیمیایی بر کانی: مواد شیمیایی مورد استفاده در فلوتاسیون موادی هستند که کانی‌های بخصوصی را شناور ساخته و از شناور شدن بقیه جلوگیری می‌کنند. از نظر کلی قابلیت شناور شدن یک کانی به هیدروفوب (آبران) بودن آن بستگی دارد. خاصیت آبرانی با خواص سطحی مولکول‌ها رابطه مستقیم داشته یا به عبارت دیگر به 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 ندارد. 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 (آب گریز) 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... به‌وسیله 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.

پژوهش

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

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.

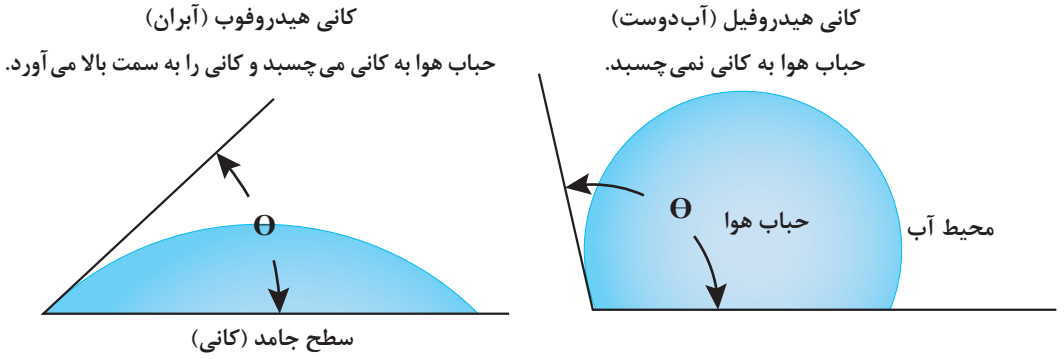


حباب‌های کروی و چند وجهی در فلوتاسیون

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. به‌طوری 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.

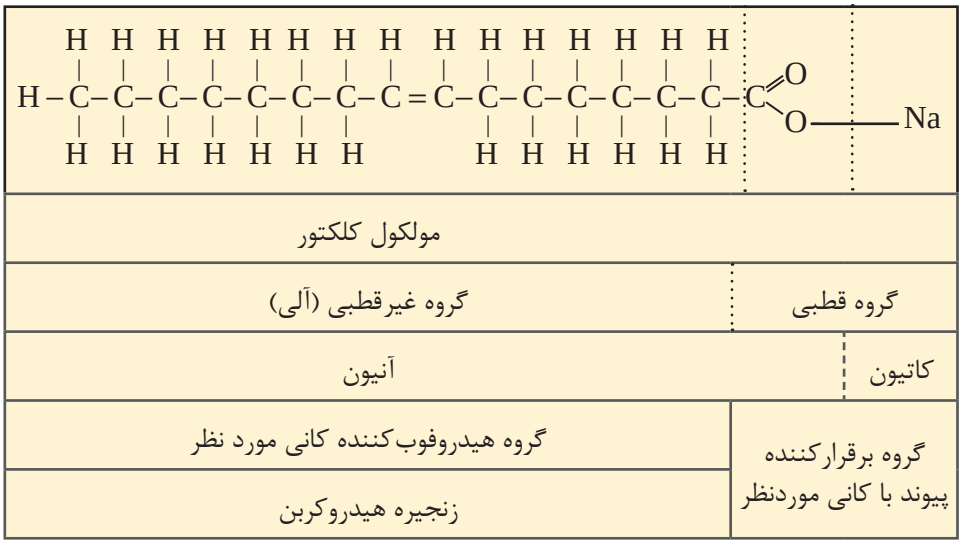
ثانیاً؛ مجموعه حباب هوا و کانی نسبت به مایع حرکت کرده و بالا می‌آید.



زاویه تماس (Θ)	کوچک	بزرگ
چسبندگی	زیاد	کم
قابلیت تر شوندگی	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 درحالی‌که قسمت غیر قطبی (آلی) آنها سطح کانی‌ها را آبران می‌کند. در شکل صفحه بعد ساختمان یک مولکول کلکتور سدیم اولئات نشان داده شده است.



ساختار مولکول کلکتور اولئات سدیم

کلکتورها به‌طور طبیعی وجود دارند و یا به‌صورت مصنوعی تهیه می‌شوند. کلکتورها به دو دسته کلی:

کلکتورهای غیر یونیزه

این کلکتورها دارای ترکیبات غیر قطبی هستند و به‌طور کلی از ترکیبات هیدروکربن تشکیل شده‌اند که در آب حل نمی‌شوند. این کلکتورها به‌صورت 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.

کلکتورها

کلکتورهای غیر یونیزه

معمولاً مایع، هیدروکربن‌های غیر قطبی با ساختارهای مختلف که در آب حل نمی‌شوند.

کلکتورهای یونیزه

ترکیبات یونیزه که در آب حل می‌شوند.

کلکتورهای یونیزه

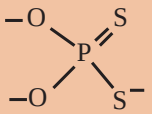
کلکتورهای کاتیونی
از یک قسمت قطبی کاتیونی و نیتروژن ۵ ظرفیتی تشکیل شده‌اند.

کلکتورهای آنیونی
از یک قسمت قطبی آنیونی با ترکیبات متفاوت تشکیل شده‌اند.

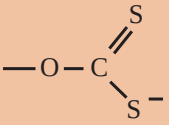
کلکتورهای آنیونی

کلکتورهای برپایه سولفورهای ۲ ظرفیتی

دی تیوفسفات ها

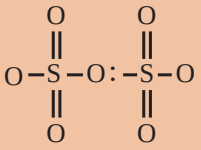


گزنتات‌ها

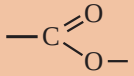


کلکتورهای برپایه آنیون‌های اسیدهای آلی و سولفو اسیدهای آنیونی

کلکتورهای با آنیون‌های اسید سولفوریک



کلکتورهای با گروه کربوکسیل



اسیدهای ارگانیک و صابون‌ها

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

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.

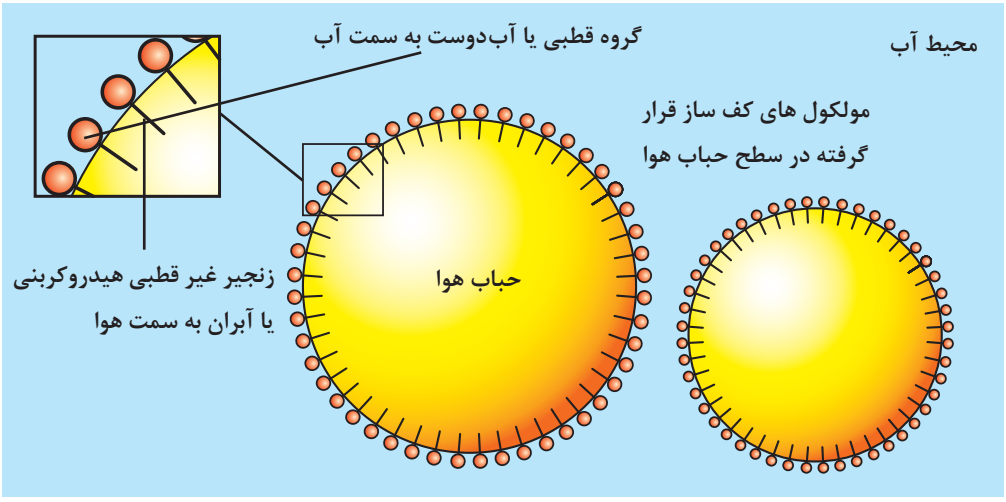
بیشتر عملیات فلوتاسیون در محیط‌های قلیایی که pH از ۷ تا ۱۳ تغییر می‌کند صورت می‌گیرد. pH مناسب به نوع کانی، نوع و غلظت مواد شیمیایی و دمای محیط بستگی دارد. pH، کمتر از ۷ را اسیدی و pH بالای ۷ را قلیایی گویند. موادی که عمدتاً برای تنظیم pH در فلوتاسیون مورد استفاده قرار می‌گیرند عبارت‌اند از:

جهت افزایش pH: آهک، کربنات سدیم، هیدروکسید سدیم و هیدروکسید آمونیوم

جهت کاهش pH: اسید سولفوریک، اسید سولفورو 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 به‌طوری 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 کربینول (MIBC)	در فلوتاسیون کانی‌های سولفیدی (~۳۰ g/t) و زغال‌سنگ (~۱۲۵g/t)
روغن کاج	در فلوتاسیون کانی‌های سولفیدی (~۳۰ g/t) و زغال‌سنگ (~۱۲۵g/t) و سیلیکات‌ها (همراه با کلکتورهای کاتیونی)
کرزیل (اسید کرزیلیک)	در فلوتاسیون کانی‌های سولفیدی (~۴۰ g/t)
پلی‌اترهای هیدروکسیله	در فلوتاسیون کانی‌های سولفیدی (~۲۵g/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 به‌صورت 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 Zn، Cu، Fe، Ag، Cd، Ni و Sb
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 فلوئورها	بازداشت کانی‌های خانواده نمک‌ها به کمک اسیدهای چرب
سیلیکات و متاسیلیکات سدیم $(Na_2O.mSiO_2)$	بازداشت کوارتز و گانگ‌های سیلیکاته و همچنین کلسیت
غلظت یون H^+	جهت بازداشت بعضی کانی‌ها
اسید فلوسیلسیک	بازداشت میندریت، تورمالین، کوارتز و توپاز
فلوئوریک	جهت بازداشت کوارتز
هیپوکلرید سدیم	بازداشت کالکوپیریت و کالکوسیت
آهک	بازداشت پیریت و پنتلاندیت
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 به‌خصوص روی و بعضی از کانی‌های غیر فلزی در حالت طبیعی به وسیله کلکتور شناور نمی‌شوند و باید با اضافه کردن فعال‌کننده آنها را شناور نمود. برخی از فعال‌کننده‌های 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	جهت‌فعال‌کردن‌اسیبنیت،نمک‌طعام‌ونیزفعال‌کردن‌سیلیکات‌هاوکربنات‌هایاکلکتورهای‌چرب
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 ماده‌معدنی انتخاب می‌کند.	۳
			در حد انتظار	اصول کار جیک، میز لرزان و سلول‌های فلوتاسیون را بیان می‌کند.	۲
	انتخاب روش‌های فلوتاسیون در پرعیارسازی مواد معدنی		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				