جمهوری اسلامی ایران

سازمان برنامه و بودجه کشور

راهنمای نرمه‌زدایی در واحدهای کانه‌آرایی

ضابطه شماره ۷۳۸

سازمان برنامه و بودجه کشور
معاونت فنی، امور زیربنایی و تولیدی
امور نظام فنی اجرایی، مشاورین و پیمانکاران

nezamfanni.ir

وزارت صنعت، معدن و تجارت
معاونت امور معادن و صنایع معدنی
دفتر نظارت و بهره‌برداری

www.mimt.gov.ir

۱۳۹۷

omoorepeyman.ir

omoorepeyman.ir

باسمه تعالی

ریاست جمهوری
سازمان برنامه و بودجه کشور
رییس سازمان

بخشنامه به دستگاه‌های اجرایی، مهندسان مشاور و پیمانکاران	شماره: ۹۷/۶۳۴۰۸۹
	تاریخ: ۱۳۹۷/۱۱/۱۵

موضوع: راهنمای نرمه‌زدایی در واحدهای کانه‌آرایی

در چارچوب نظام فنی و اجرایی یکپارچه کشور موضوع ماده (۳۴) قانون احکام دائمی برنامه‌های توسعه کشور و ماده (۲۳) قانون برنامه و بودجه و مواد (۶) و (۷) آیین‌نامه استانداردهای اجرایی طرح‌های عمرانی- مصوب سال ۱۳۵۲، به پیوست ضابطه شماره ۷۳۸ امور نظام فنی و اجرایی، با عنوان «**راهنمای نرمه‌زدایی در واحدهای کانه‌آرایی**» از نوع گروه سوم ابلاغ می‌شود.

رعایت مفاد این ضابطه در صورت نداشتن ضوابط بهتر، از تاریخ ۱۳۹۸/۰۴/۰۱ الزامی است.

امور نظام فنی اجرایی، مشاورین و پیمانکاران این سازمان دریافت‌کننده نظرات و پیشنهادهای اصلاحی در مورد مفاد این ضابطه بوده و اصلاحات لازم را اعلام خواهد کرد.

محمد باقر نوبخت

omoorepeyman.ir

omoorepeyman.ir

اصلاح مدارک فنی

خواننده گرامی:

امور نظام فنی اجرایی، مشاورین و پیمانکاران سازمان برنامه و بودجه کشور، با استفاده از نظر کارشناسان برجسته مبادرت به تهیه این نشریه نموده و آن را برای استفاده به جامعه مهندسی کشور عرضه نموده است. با وجود تلاش فراوان، این اثر مصون از ایرادهایی نظیر غلطهای مفهومی، فنی، ابهام، ایهام و اشکالات موضوعی نیست.

از این‌رو، از شما خواننده گرامی صمیمانه تقاضا دارد در صورت مشاهده هرگونه ایراد و اشکال فنی مراتب را به صورت زیر گزارش فرمایید:

۱- در سامانه مدیریت دانش اسناد فنی و اجرایی (سما) ثبت‌نام فرمایید: sama.nezamfanni.ir

۲- پس از ورود به سامانه سما و برای تماس احتمالی، نشانی خود را در بخش پروفایل کاربری تکمیل فرمایید.

۳- به بخش نظرخواهی این نشریه مراجعه فرمایید.

٤- شماره بند و صفحه موضوع مورد نظر را مشخص کنید.

٥- ایراد مورد نظر را بصورت خلاصه بیان دارید.

٦- در صورت امکان متن اصلاح شده را برای جایگزینی ارسال کنید.

کارشناسان این امور نظرهای دریافتی را به دقت مطالعه نموده و اقدام مقتضی را معمول خواهند داشت.

پیشاپیش از همکاری و دقت نظر جنابعالی قدردانی می‌شود.

نشانی برای مکاتبه : تهران، میدان بهارستان، خیابان صفی علیشاه، سازمان برنامه و بودجه کشور، امور نظام فنی اجرایی، مشاورین و پیمانکاران مرکز تلفن ۳۳۲۷۱

Email:nezamfanni@mporg.ir **web: nezamfanni.ir**

omoorepeyman.ir

omoorepeyman.ir

باسمه تعالی

پیشگفتار

نظام فنی و اجرایی کشور (مصوبه شماره۴۲۳۳۹/ ت ۳۳۴۹۷ هـ مورخ ۱۳۸۵/۴/۲۰ هیات وزیران) به کارگیری معیارها، استانداردها و ضوابط فنی در مراحل تهیه و اجرای طرح و نیز توجه لازم به هزینه‌های نگهداری و بهره‌برداری در قیمت تمام شده طرح‌ها را مورد تاکید جدی قرار داده است و این امور به استناد ماده ۲۳ قانون برنامه و بودجه و نظام فنی اجرایی کشور وظیفه تهیه و تدوین ضوابط و معیارهای فنی طرح‌های توسعه‌ای کشور را به عهده دارد.

نرمه، به ذراتی با ابعاد تقریبی ریزتر از ۱۵ تا ۲۰ میکرون گفته می‌شود که با شروع عملیات آتشباری، در طی حمل و نقل، ریزش و خردایش مواد به وجود می‌آید و به دلایل متعددی در کلیه فرآیندهای فرآوری مانند سنگ‌شکنی، آسیا، سرندها، کلاسیفایرها، روش‌های ثقلی، مغناطیسی، الکتریکی و الکترواستاتیکی، فلوتاسیون و لیچینگ (به ویژه برجا و توده‌ای) مشکل‌زا و غیرقابل بازیابی است. از آنجایی که بخش قابل توجهی از مواد با ارزش در این محدوده ابعادی متمرکز بوده و احتمال هدرروی آن‌ها به بخش باطله نیز زیاد است و از طرفی وجود این ذرات کلیه فرآیندها و روش‌های فرآوری را به دلیل محدودیت ابعادی خاص، تحت‌الشعاع قرار می‌دهند، بنابراین شناخت، شناسایی، تعیین هویت، نحوه تولید، کنترل در طی فرآیندها، نرمه-زدایی، بازیابی و بهره‌وری اهمیت خاصی دارد.

ضابطه حاضر با عنوان **"راهنمای نرمه‌زدایی در واحدهای کانه‌آرایی"** در چارچوب برنامه تهیه ضوابط و معیارهای معدن تهیه شده است.

با همه‌ی تلاش های انجام شده قطعا هنوز کاستی‌هایی در متن موجود است که امید است، کاربرد عملی و در سطح وسیع این ضابطه توسط مهندسان موجبات شناسایی و برطرف نمودن آن‌ها را فراهم آورد. در پایان، از تلاش‌ها و جدیت جناب آقای سید جواد قانع‌فر رییس امور نظام فنی اجرایی، مشاورین و پیمانکاران، همچنین جناب آقای دکتر جعفر سرقینی مجری محترم طرح تهیه ضوابط و معیارهای فنی بخش معدن کشور، کارشناسان دفتر نظارت و بهره‌برداری معادن و متخصصان همکار در امر تهیه و نهایی نمودن این ضابطه، تشکر و قدردانی می‌نماید. امید است شاهد توفیق روزافزون همه‌ی این بزرگواران در خدمت به مردم شریف ایران اسلامی باشیم.

حمیدرضا عدل

معاون فنی، امور زیربنایی و تولیدی

زمستان ۱۳۹۷

omoorepeyman.ir

مجری طرح

جعفر سرقینی	معاون امور معادن و صنایع معدنی- وزارت صنعت، معدن و تجارت

اعضای شورای عالی به ترتیب حروف الفبا

فرزانه آقا رمضانعلی	کارشناس ارشد مهندسی صنایع- سازمان برنامه و بودجه کشور
عباسعلی ایروانی	کارشناس ارشد مدیریت کارآفرینی (کسب و کار)- وزارت صنعت، معدن و تجارت
بهروز برنا	کارشناس مهندسی معدن- سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور
محمد پریزادی	کارشناس ارشد مهندسی معدن- سازمان برنامه و بودجه کشور
عبدالعلی حقیقی	کارشناس ارشد زمین‌شناسی
جعفر سرقینی	دکترای مهندسی فرآوری مواد معدنی- وزارت صنعت، معدن و تجارت
علیرضا غیاثوند	کارشناس ارشد زمین‌شناسی اقتصادی- وزارت صنعت، معدن و تجارت
حسن مدنی	کارشناس ارشد مهندسی معدن- دانشگاه صنعتی امیرکبیر
هرمز ناصرنیا	کارشناس ارشد مهندسی معدن- سازمان نظام مهندسی معدن

اعضای کارگروه فرآوری به ترتیب حروف الفبا

احمد امینی	کارشناس ارشد مهندسی فرآوری مواد معدنی- سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور
عبدالعلی حقیقی	کارشناس ارشد زمین‌شناسی
محمدرضا خالصی	دکترای مهندسی فرآوری مواد معدنی- دانشگاه تربیت مدرس
بهرام رضایی	دکترای مهندسی فرآوری مواد معدنی- دانشگاه صنعتی امیرکبیر
فرشته رشچی	دکترای مهندسی متالورژی- دانشگاه تهران

اعضای کارگروه تنظیم و تدوین به ترتیب حروف الفبا

مهدی ایران‌نژاد	دکترای مهندسی فرآوری مواد معدنی- دانشگاه صنعتی امیرکبیر
بهرام رضایی	دکترای مهندسی فرآوری مواد معدنی- دانشگاه صنعتی امیرکبیر
علیرضا غیاثوند	کارشناس ارشد زمین‌شناسی اقتصادی- وزارت صنعت، معدن و تجارت
حسن مدنی	کارشناس ارشد مهندسی معدن- دانشگاه صنعتی امیرکبیر
بهزاد مهرابی	دکترای زمین‌شناسی اقتصادی- دانشگاه خوارزمی

اعضای گروه هدایت و راهبری پروژه

خانم فرزانه آقارمضانعلی	رئیس گروه امور نظام فنی و اجرایی
آقای علیرضا غیاثوند	رئیس گروه ضوابط و معیارهای معاونت امور معادن و صنایع معدنی
آقای اسحق صفرزاده	کارشناس معدن امور نظام فنی و اجرایی

پیش‌نویس این گزارش توسط آقای **دکتر مهدی ایران‌نژاد** با همکاری آقای **مهندس مصطفی چگینی** تهیه شده و پس از بررسی و تایید توسط کارگروه فرآوری، به تصویب شورای عالی برنامه رسیده است.

omoorepeyman.ir

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فصل اول- کلیات

۱-۱- آشنایی ۳

۱-۲- تعاریف و مفاهیم ۴

فصل دوم- شناسایی نرمه و مشکلات آن در فرآیند کانه‌آرایی

۲-۱- آشنایی ۹

۲-۲- شناسایی نرمه ۹

۲-۲-۱- شناسایی نرمه در حالت گسسته ۱۰

۲-۲-۲- روش شناسایی نرمه در حالت پیوسته ۱۲

۲-۳- عوامل موثر در تولید نرمه و مشکلات آن در کانه‌آرایی ۱۲

۲-۳-۱- افزایش انرژی سطحی ۱۳

۲-۳-۲- کاهش جرم ۱۳

۲-۳-۳- افزایش سطح ویژه ۱۴

۲-۳-۴- خواص شیمیایی و فیزیکی ذرات نرمه ۱۴

۲-۳-۵- تاثیر عوامل اقتصادی ۱۴

فصل سوم- تاثیر نرمه در کارآیی تجهیزات کانه‌آرایی

۳-۱- آشنایی ۱۹

۳-۲- تاثیر نرمه در کارآیی مدارهای کانه‌آرایی ۲۰

۳-۲-۱- مدارهای خردایش ۲۰

۳-۲-۲- تجهیزات طبقه‌بندی (سرندها و کلاسیفایرها) ۲۰

۳-۲-۳- تجهیزات جدایش ۲۰

۳-۲-۴- تجهیزات فلوتاسیون ۲۱

۳-۲-۵- تجهیزات آبگیری ۲۳

۳-۲-۶- سایر تجهیزات کانه‌آرایی ۲۳

فصل چهارم- کنترل نرمه در واحدهای کانه‌آرایی

۴-۱- آشنایی ۲۷

۴-۱-۱- روش‌های فیزیکی ۲۷

۴-۱-۲- روش‌های شیمیایی ۲۷

omoorepeyman.ir

۴-۲- کنترل نرمه در فرآیند تولید ۲۸
۴-۲-۱- کنترل نرمه در مرحله استخراج ۲۸
۴-۲-۲- کنترل نرمه در بار ورودی ۲۸

فصل پنجم- نرمه‌زدایی در واحدهای کانه‌آرایی

۵-۱- آشنایی ۳۳
۵-۲- روش‌های نرمه‌زدایی ۳۳
۵-۲-۱- روش‌های مکانیکی ۳۳
۵-۲-۲- روش‌های فیزیکی ۳۳
۵-۲-۳- روش‌های شیمیایی ۳۳
۵-۲-۴- روش‌های شیمی- فیزیکی ۳۳
۵-۳- تجهیزات نرمه‌زدایی ۳۴
۵-۳-۱- میز نرمه ۳۴
۵-۳-۲- جداکننده موزلی ۳۴
۵-۳-۳- جداکننده استوانه لرزان ۳۴
۵-۳-۴- هیدروسیکلون ۳۴
۵-۳-۵- سیکلوسایزر ۳۵
۵-۳-۶- سیکلون هوکی ۳۵
۵-۳-۷- کلاسیفایر نوسانی ۳۵
۵-۳-۸- کلاسیفایر مارپیچی ۳۵
۵-۳-۹- تیکنر ۳۵
۵-۳-۱۰- حوضچه ته‌نشینی نرمه ۳۵
۵-۳-۱۱- دستگاه فراصوت ۳۶
۵-۴- نرمه‌زدایی در تجهیزات فرآوری ۳۶
۵-۴-۱- نرمه‌زدایی در سرندها ۳۶
۵-۴-۲- نرمه‌زدایی در کلاسیفایرها ۳۶
۵-۴-۳- نرمه‌زدایی در جداکننده‌های مغناطیسی ۳۷
۵-۴-۴- نرمه‌زدایی با تجمع و تفرق ذرات ۳۹

omoorepeyman.ir

فصل ۱

کلیات

omoorepeyman.ir

omoorepeyman.ir

۱-۱- آشنایی

وجود نرمه[1] در بخش‌های مختلف مدارهای خردایش، فلوتاسیون، جدایش ثقلی، جدایش مغناطیسی و سایر فرآیندهای کانه‌آرایی مشکل‌ساز است. از جمله مشکلات ناشی از وجود نرمه در واحدهای کانه‌آرایی، می‌توان کاهش کارآیی واحدهای مختلف، ایجاد اختلال در عملکرد مطلوب فرآیند، اثرات زیست‌محیطی و مشکلات اقتصادی مانند مصرف زیاد مواد شیمیایی و از بین رفتن بخش قابل ملاحظه‌ای از ماده معدنی با ارزش در مرحله نرمه‌زدایی را نام برد.

عملیات نرمه‌زدایی[2] به ویژه در مورد رس‌ها در بیشتر فرآیندهای موجود در صنایع معدنی از جمله واحدهای کانه‌آرایی به علت تاثیر منفی بر میزان مصرف مواد شیمیایی و عملکرد آن‌ها از یک سو و عیار و بازیابی محصول از سوی دیگر، بسیار اهمیت دارد. کارآیی فرآیندهای طبقه‌بندی، جدایش ثقلی و مغناطیسی، فلوتاسیون، فیلتراسیون و سایر عملیات کانه‌آرایی به طور قابل ملاحظه‌ای با وجود نرمه و رس‌ها کاهش می‌یابد. این مشکل در کانه‌آرایی فسفات و کانی‌های سولفیدی اهمیت بیشتری دارد. برای کاهش میزان نرمه در مدارهای کانه‌آرایی، علمیات نرمه‌زدایی با استفاده از تجهیزات مختلفی مانند هیدروسیکلون[3]، سرند[4]، سیکلوسایزر[5]، سایر کلاسیفایرها[6] انجام می‌گیرد و همچنین با افزودنی‌های شیمیایی مانند سیلیکات سدیم، کربنات سدیم، اسید سولفوریک، تری‌پلی‌فسفات، هگزامتافسفات و نظایر آن می‌توان نرمه را کنترل کرد. در برخی از کارخانه‌های کانه‌آرایی هنوز از طبقه‌بندی‌کننده‌های مارپیچی[7] برای حذف نرمه در پالپ استفاده می شود، اما با توجه به هزینه‌های سرمایه‌ای و عملیاتی زیاد آن‌ها، استفاده از آن‌ها بسیار کم شده است.

با کاهش ذخایر پرعیار مواد معدنی با ترکیب کانی‌شناسی ساده و دستیابی به ذخایر کم عیار با ترکیبات پیچیده، خردایش بیشتر مواد معدنی تا دستیابی به درجه آزادی مطلوب، امری اجتناب‌ناپذیر است. مقدار زیادی از ذرات نرمه در حین عملیات استخراج و نرم کردن مواد معدنی کم عیار تولید می‌شود. امروزه محصول اغلب معادن بزرگ دنیا درجه آزادی پایینی دارد که این امر نیاز به خردایش بیشتر مواد را ضروری می‌سازد. خردایش بیشتر باعث ایجاد حجم بسیار زیادی از ذرات ریز و نرمه می‌شود که نه تنها بازدهی روش‌های کانه‌آرایی را کاهش می‌دهد، بلکه موجب افزایش انتقال مواد با ارزش به بخش باطله را به دنبال دارد، بنابراین با استخراج چنین موادی، علاوه بر کاهش کارآیی جدایش به علت کاهش جدایش انتخابی، احتمال اتلاف مقدار قابل توجهی ذرات نرمه با ارزش نیز وجود دارد. در نتیجه به منظور بهبود جدایش انتخابی ذرات، باید اقدام به نرمه‌زدایی موثر ذرات نرمه از بار اولیه کرد و نیز به منظور جلوگیری از اتلاف ذرات نرمه با ارزش، بازیابی آن‌ها را ممکن ساخت.

در بسیاری از موارد مقدار ذرات نرمه با ارزش حجم قابل توجهی دارند، به گونه‌ای که مقدار ۲۰ تا ۵۰ درصد از مواد با ارزش در حین کانه‌آرایی بسیاری از کانی‌ها و نرمه‌زدایی از آن‌ها از بین می‌رود. مهم‌ترین اهداف نرمه‌زدایی به شرح زیر است:

الف- شناسایی نرمه مواد در بخش‌های مختلف مدار کانه‌آرایی

ب- کاهش مقدار نرمه موجود در پالپ با تمرکز بر حداقل اتلاف ماده معدنی با ارزش

1- Slime
2- Desliming
3- Hydrocyclone
4- Screen
5- Cyclosizer
6- Classifire
۷- Spiral classifire

omoorepeyman.ir

پ- حذف ذرات ریز موجود در پالپ برای جلوگیری از اثرات منفی آن‌ها در فرآیند کانه‌آرایی

ت- افزایش کارآیی واحدهای مختلف کارخانه کانه‌آرایی

ث- حفظ محیط زیست

ج- آبگیری از نرمه‌های باطله و بازیافت آب مصرفی کارخانه

هدف از این نشریه، کنترل و نرمه‌زدایی مواد در واحدهای کانه‌آرایی است و شامل نرمه‌های معلق در هوا، گرد و غبار و موارد مشابه در کارخانه نمی‌شود.

۱-۲- تعاریف و مفاهیم

واژه‌های به کار رفته در این نشریه بر مبنای تعاریف زیر ارایه شده است و سایر موارد هم همان معانی مندرج در نشریه شماره ۴۴۱ سازمان برنامه و بودجه کشور با عنوان "تعاریف و مفاهیم در فعالیت‌های معدنی، واژه‌ها و اصطلاحات پایه فرآوری مواد معدنی" را می‌دهند.

نرمه: نرمه در کانه‌آرایی به ذرات زیر ۱۵ تا ۲۰ میکرون[1] گفته می‌شود ولی در فرآیندهای مختلف، ذرات با ابعاد متفاوت ممکن است نرمه محسوب شوند. در واقع بر اساس محدوده ابعادی بهینه برای هر دستگاه و یا فرآیند، ذرات با ابعاد ریزتر از محدوده بهینه که ممکن است در عملکرد آن و یا فرآیند اختلال ایجاد کند، نرمه نامیده می‌شود.

نرمه‌های اولیه: به ذرات بسیار ریز مانند رس، آلومینا، آهن هیدراته، عناصر نادر خاکی و فلدسپات هوازده موجود در ذخایر معدنی گفته می‌شود، که معمولا در کپه‌های قدیمی و در ذخایری که در معرض تغییرات آب و هوایی قرار گرفته‌اند، یافت می‌شود.

نرمه‌های ثانویه: ذرات بسیار ریزی از مواد معدنی خرد شده هستند که در حین عملیات آتشباری، حمل و نقل مواد (ماده خشک و تر) و آسیا کردن در مدارهای کانه‌آرایی ایجاد می‌شود. جلوگیری از تولید نرمه در این بخش غیرممکن است ولی می‌توان با استفاده از روش‌های آتشباری کنترل شده و شیوه‌های مناسب حمل و نقل از یک سو و خردایش انتخابی ذرات از سوی دیگر، تولید نرمه را کاهش داد.

نرمه زغال‌سنگ: پالپ حاوی محدوده ابعادی ذراتی که ۵۰ درصد وزنی آن و یا مقدار بیشتر، از الک ۲۰۰ مش (زیر ۷۴ میکرون- ASTM) عبور کند را اصطلاحا نرمه زغال‌سنگ می‌نامند.

حد نرم کردن بهینه: شاخصی برای خردایش ذرات که بر مبنای ۸۰ درصد ذرات آزاد شده کانی و یا کانی‌های با ارزش و عبور کرده از یک الک مشخص بیان می‌شود.

نرمه پوشی[2]: لایه نازکی از ذرات بسیار ریز و یا نرمه که بر روی سطح ذرات درشت تجمع می‌یابد و یک لایه سطحی را تشکیل می‌دهد.

آب نرمه: آب حاصل از شستشوی مواد معدنی که حاوی ذرات ریز کانی‌های مختلف و ماده با ارزش است.

۱- نرمه در کانه‌آرایی برای مواد معدنی مختلف و روش‌های مختلف، متفاوت است. برای مواد معدنی مختلف ابعاد ذرات نرمه را نمی‌توان با یک محدوده مشخص نشان داد.

2- Slime coating

omoorepeyman.ir

نرمه‌زدایی: عملیاتی که طی آن ذرات نرمه حذف می‌شود. بدین منظور از سرندهای با چشمه‌های ریز، سیکلوسایزر در شدت جریان‌های کم و هیدروسیکلون در مقیاس‌های بزرگتر استفاده می‌شود.

انتقال نرمه: فرآیندی است که در آن با استفاده از افشاندن آب، ذرات نرمه از صافی‌های پارچه‌ای، تانک‌های الکترولیز و مجاری خط فرآیند، جمع‌آوری شده و به داخل تانک‌های رسوب دهنده منتقل می‌شود تا در این مخازن، فلزات با ارزش از نرمه جدا و بازیابی شوند.

فروشویی نرمه: یکی از روش‌های فروشویی که در آن ذرات نرمه در محلول حل می‌شود را فروشویی نرمه می‌گویند. در این فرآیند، نرمه در داخل تجهیزات همزن‌دار حل می‌شود. برخی از همزن‌ها مجهز به پاروهای مکانیکی هستند و یا به واسطه بالابرهایی[1] در داخل تانک دارای همزن، پالپ را به گردش درمی‌آورند تا انحلال کامل نرمه در داخل آن انجام گیرد.

زلال‌سازی: ته‌نشینی سریع ذرات جامد در یک سیال مایع باعث تشکیل دو فاز کاملا مشخص یکی شفاف (بدون ذرات جامد) و دیگری کدر (تجمع ذرات جامد) می‌شود. زلال‌سازی، فرآیند حذف ذرات ریز جامد باقی‌مانده از یک پالپ با درصد جامد بسیار کم با یکی از روش‌های ته‌نشینی، فیلتر کردن یا گریز از مرکز است. وقتی‌که ذرات خیلی ریز (در حد میکرون) باشند، سرعت سقوط آن‌ها بسیار کم می‌شود. برای رفع این مشکل از ته‌نشینی گریز از مرکز و یا تجمع ذرات ریز مانند لخته‌سازی (فلوکولاسیون[2]) استفاده می‌شود.

کواگولاسیون[3]: فرآیند تجمع ذرات ریز با استفاده از کنترل بار الکتریکی سطحی به کمک الکترولیت‌های معدنی مانند آهک را کواگولاسیون می‌نامند. تفاوت این فرآیند با لخته‌سازی در مقاومت کمتر توده تشکیل شده پس از تجمع ذرات است. در کواگولاسیون از نمک‌های معدنی که شامل کاتیون‌هایی مانند Ca^{2+}، Fe^{3+} و Al^{3+} هستند، برای خنثی کردن بارهای منفی ذرات استفاده می‌شود که باعث تسریع در تجمع ذرات و افزایش سرعت ته‌نشینی می‌شود.

کواگولان[4]: نوعی الکترولیت معدنی مانند آهک است که افزودن آن به محیط پالپ باعث تجمع ذرات می‌شود. به عنوان مثال افزودن آهک به پالپ حاوی ذرات ریز زغال‌سنگ، افزایش سرعت ته‌نشینی نرمه‌های زغال‌سنگ در تیکنرها را به دنبال دارد.

لخته‌سازی: به هم پیوستن ذرات ریز به کمک مواد شیمیایی لخته‌ساز و تشکیل لخته به منظور تسریع در ته‌نشینی را لخته‌سازی یا فلوکولاسیون می‌نامند. این فرآیند معمولا در تانک‌های ته‌نشینی و تیکنرها انجام می‌شود که در آن‌ها با تشکیل لخته‌های ذرات جامد و افزایش وزن آن‌ها، سرعت ته‌نشینی ذرات افزایش یافته و در نتیجه زمان لازم برای جداسازی فاز جامد از مایع کاهش می‌یابد.

لخته‌سازی انتخابی: فرآیندی که طی آن، جذب انتخابی یک لخته‌ساز آلی بر روی سطح ذرات ریز انجام می‌گیرد. با جذب لخته‌سازهای مختلف بر روی ذرات متفاوت در محیط پالپ، گروه‌های متفاوت لخته‌ای تشکیل می‌شود.

در لخته‌سازی از پلیمرهای آلی با زنجیره بلند برای ارتباط بین ذرات استفاده می‌شود. ماده پلیمری پلی‌آکریل‌آمید[5] متداول‌ترین نوع لخته‌ساز مورد استفاده در کانه‌آرایی است.

1- Elevator
2- Flocculation
3- Coagulation
4- Coagulant
5- Polyacrylamide

omoorepeyman.ir

هموفلوکولاسیون[1]**:** هر گاه دو ذره هم نوع در فرآیند لخته‌سازی موجود باشند، هموفلوکولاسیون بین ذره هم نوع (یک خانواده)[2] و هتروفلوکولاسیون بین ذرات هم نوع (چند خانواده)[3] ممکن است اتفاق افتد. مطالعات بسیاری در زمینه استفاده از لخته‌سازهای پلیمری در صنعت کاغذسازی انجام شده که بیشترین کاربرد را فرآیند هموفلوکولاسیون ذرات بسیار ریز نرمه و الیاف در مقیاس کوچک دارد. مونت‌موریلونیت همراه با پلیمرهای کاتیونی مانند پلی اکریل‌آمید باعث افزایش ابعاد و سرعت تجمع مواد فلوکه شونده در فرآیند هموفلوکولاسیون الیاف و سلولزهای کریستالی می‌شود.

اولترافلوکولاسیون[4]**:** عملیاتی که باعث افزایش شتاب فرآیند جداسازی ذرات معلق (سوسپانسیون) به وسیله ته‌نشینی و کاهش حجم ویژه ماده ته‌نشین شده تا دو برابر می‌شود. فرآیند اولترافلوکولاسیون ممکن است به منظور کاهش مصرف ماده لخته‌ساز در حدود دو تا سه برابر نیز استفاده شود.

1- Homo-flocculation
2- One family
3- Families
4- Ultra-Flocculation

omoorepeyman.ir

فصل ۲

شناسایی نرمه و مشکلات آن در فرآیند کانه‌آرایی

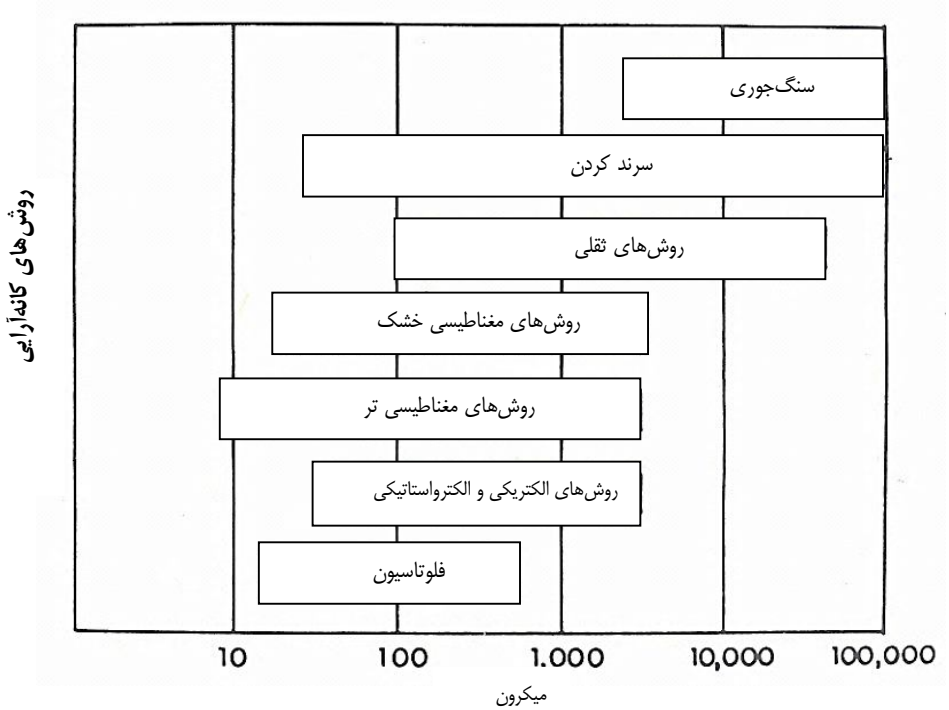
omoorepeyman.ir

omoorepeyman.ir

۲-۱- آشنایی

بسیاری از تجهیزات موجود در یک واحد کانه‌آرایی در محدوده مشخصی از ذرات، کارآیی مطلوبی دارند و در محدوده دانه‌بندی بسیار ریز و یا بسیار درشت بازدهی آن‌ها به شدت کاهش می‌یابد.

هر یک از مراحل طبقه‌بندی، جدایش ثقلی و مغناطیسی، فلوتاسیون، فیلتراسیون و دیگر فرآیندهای کانه‌آرایی یک محدوده موثر ابعادی دارند که در این دامنه، روش‌های یاد شده عملکرد مطلوب و کارآیی بهینه‌ای دارند. در شکل ۲-۱ محدوده دانه‌بندی مناسب برای روش‌های مختلف کانه‌آرایی مواد معدنی ارایه شده است.



شکل ۲-۱- محدوده ابعادی موثر در فرآیندهای مختلف کانه‌آرایی

۲-۲- شناسایی نرمه

آگاهی از مشکلات ناشی از وجود نرمه در تجهیزات مختلف کانه‌آرایی مستلزم شناخت نرمه و روش شناسایی آن است. برای تعیین دانه‌بندی مواد روش‌های مختلفی وجود دارد اما رایج‌ترین آن‌ها که دارای دقت مطلوبی هستند تجزیه سرندی و استفاده از سیکلوسایزر در مقیاس آزمایشگاهی است. تعیین به موقع دانه‌بندی مواد، نتایج مطلوب‌تری را در اختیار قرار می‌دهد و امکان انجام راه‌های حل مشکلات در مدارهای پایین دست را در زمان مورد نیاز ممکن می‌سازد. در واقع با تعیین دانه‌بندی پیوسته و لحظه‌ای[1] (برخط) و شناسایی نرمه موجود در آن‌ها، می‌توان از بروز مشکلاتی مانند کاهش کارآیی فرآیند و مصرف، افزایش و یا تغییر مواد شیمیایی و سایر مشکلات احتمالی جلوگیری کرد. در جدول ۲-۱ روش‌های شناسایی نرمه در فرآیندهای مختلف ارایه شده است.

1- Online

omoorepeyman.ir

در واحدهای فرآوری فعال عوارض زیر معرف وجود نرمه در فرآیند است:

- تعیین خصوصیات پالپ مانند گرانروی، جرم مخصوص و رئولوژی
- تعیین تغییر در پارامترهای متالورژیکی فرآیند مانند عیار و بازیابی
- افزایش میزان مصرف انرژی و یا هدرروی آن مانند کاهش میزان آب برگشتی به مدار، افزایش رطوبت کیک و موارد مشابه
- افزایش میزان مصرف مواد شیمیایی مانند کلکتور، کف‌ساز، لخته‌ساز و موارد مشابه

جدول ۲-۱- روش‌های شناسایی نرمه در فرآیندهای کانه‌آرایی

روش		روش شناسایی نرمه
شناسایی ثانویه	روش‌های گسسته	تجزیه سرندی
		تعیین دانه‌بندی مواد با استفاده از سیکلوسایزر
	روش‌های پیوسته	تعیین دانه‌بندی ذرات روی نوار یا درون لوله با استفاده از روش‌های نوری، رادیواکتیو یا صوتی

۲-۲-۱- شناسایی نرمه در حالت گسسته

یکی از روش‌های رایج تشخیص وجود نرمه و حتی مقدار آن در بار اولیه بخش‌های مختلف یک مدار کانه‌آرایی، شناسایی نرمه در روش گسسته است. در این روش با نمونه‌گیری از بخش‌های مختلف بار یا جریان پالپ و انجام عملیات طبقه‌بندی با تجزیه سرندی و یا با استفاده از دستگاه سیکلوسایزر و موارد مشابه، می‌توان میزان نرمه را مشخص کرد.

بر اساس ابعاد بهینه ذرات تعریف شده در هر روش و یا فرآیند مورد بررسی و میزان حساسیت آن به نرمه، از تجهیزات مختلفی استفاده می‌شود. در صورتی که دامنه ابعادی ذرات در حد بسیار ریز میکرونی محدود شود، از سیکلوسایزر استفاده می‌کنند. روش گسسته عمدتا در مراحل طراحی و انتخاب تجهیزات و نیز بررسی‌های جامع برای تغییر مدار و بهینه‌سازی عملکرد آن استفاده می‌شود.

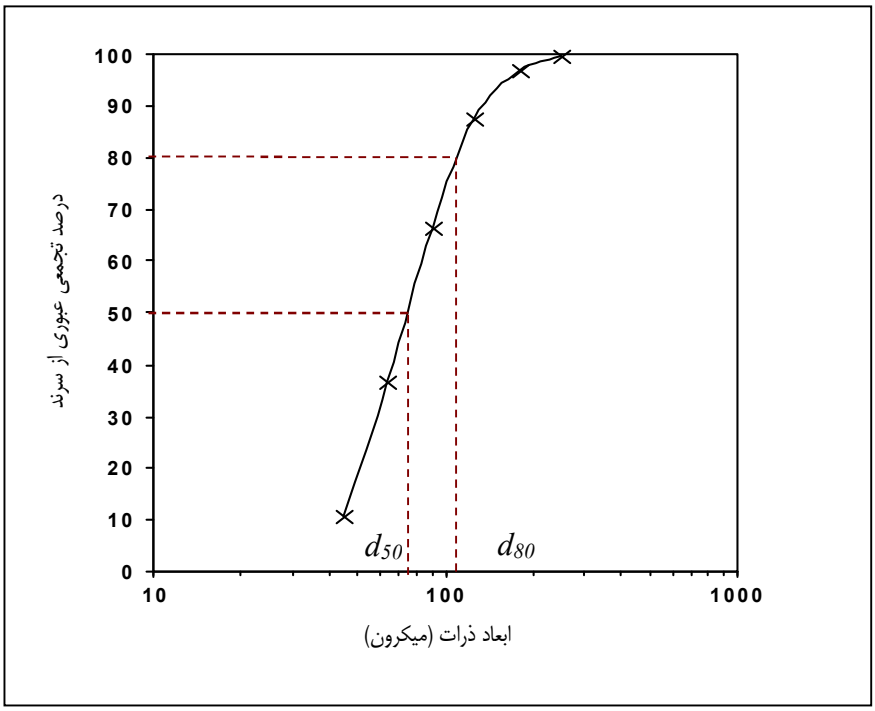
الف- شناسایی نرمه با تجزیه سرندی

در روش تجزیه سرندی، نمونه معرف با یک سری سرند آزمایشگاهی به مدت مشخصی (حدود ۲۰ دقیقه) سرند شده و سپس وزن مواد باقی‌مانده روی هر سرند تعیین می‌شود. نتایج بر اساس درصد عبوری از سرند ثبت و مقدار تجمعی آن نسبت به ابعاد ذرات در یک نمودار نیمه‌لگاریتمی رسم می‌شود (شکل ۲-۲). بخش ریزتر از ابعاد مورد نظر (به عنوان مثال ۲۵ میکرون) به عنوان مقدار نرمه موجود در نمونه تعیین می‌شود.

ب- شناسایی نرمه با سیکلوسایزر

سیکلوسایزر از پنج سیکلون تشکیل شده است. این سیکلون‌ها به نحوی قرار گرفته‌اند که سرریز یک سیلکون، بار ورودی واحد بعدی را تشکیل می‌دهد. سیکلون‌های یاد شده در مقایسه با سیکلون‌های متداول به صورت معکوس قرار می‌گیرند که در قسمت ته‌ریز هر سیکلون یک مجرای خاص قرار دارد، به نحوی که خروجی ته‌ریز به طور کامل مسدود باشد. در این دستگاه آب با یک جریان مشخص به داخل سیکلون‌ها وارد شده و نمونه جامد از یک ظرف جداگانه به مسیر بالای سیکلون‌ها هدایت می‌شود.

omoorepeyman.ir



شکل ۲-۲- منحنی آنالیز سرندی ماده معدنی

مواد در عبور از سیکلون‌ها، بر اساس ابعاد، طبقه‌بندی و در بین آن‌ها توزیع می‌شوند. توزیع اولیه ذرات خیلی دقیق نیست، به طوری که در هر ته‌ریز، مقادیری از ذرات ریز نیز یافت می‌شوند. با ادامه جریان آب در هر سیکلون، تعداد ذرات کوچکتر از ابعاد مشخص به تدریج کاهش می‌یابد و چنین ذراتی به سمت سرریز رانده می‌شوند. در حقیقت هر سیکلون شبیه یک سرند عمل می‌کند که در آن، ابعاد چشمه سرند به شدت جریان و متغیرهایی مانند گرانروی سیال و اختلاف جرم مخصوص جامد و سیال بستگی دارد. پس از انجام عملیات طبقه‌بندی، وزن مواد ته‌نشین شده در ته‌ریز هر یک از سیکلون‌ها تعیین شده و همانند عملیات تجزیه سرندی، منحنی تجمعی درصد عبوری مواد نسبت به ابعاد ذرات رسم می‌شود.

پ- سایر روش‌های شناسایی نرمه

برای تعیین دانه‌بندی ذرات در محدوده کوچکتر از دامنه تجزیه سرندی، از روش‌های مبتنی بر ته‌نشینی ذرات در سیال، نیروی گریز از مرکز، اندازه‌گیری سطح مخصوص ذرات و یا مقاومت الکتریکی آن‌ها استفاده می‌شود. هر یک از روش‌های یاد شده نیز با استفاده از تجهیزات مختلفی به شرح جدول ۲-۲ انجام می‌گیرد:

جدول ۲-۲- نوع روش و تجهیزات مورد استفاده در شناسایی نرمه‌ها

نوع روش	تجهیزات
ته‌نشینی	بشر ته‌نشینی، الوتریاتور و پی‌پت اندرسون
گریز از مرکز	سانتریفوژ، جداکننده باکو[1]، سیکلوسایزر و پی‌پت
سطح مخصوص	شمارنده کولتر[2]

1- Bahco
۲- Coulter counter

omoorepeyman.ir

ادامه جدول ۲-۲- نوع روش و تجهیزات مورد استفاده در شناسایی نرمه‌ها

نوع روش	تجهیزات
مقاومت الکتریکی ذرات	روش جذب گاز BET[1] روش نفوذپذیری لی و نورس[2]

۲-۲-۲- روش شناسایی نرمه در حالت پیوسته

روش پیوسته شناسایی نرمه در بار اولیه فرآیندهای کانه‌آرایی، در شرایطی استفاده می‌شود که حساسیت فرآیند نسبت به نرمه بسیار زیاد و فرآیند شناسایی به صورت لحظه‌ای و بر خط باشد. در چنین شرایطی عکس‌العمل نسبت به حذف نرمه و یا جلوگیری از ایجاد آن بلافاصله انجام می‌گیرد.

در این روش، با استفاده از یک دستگاه نمونه‌گیر یا حسگر که بر روی مسیر عبور مواد خشک یا پالپ نصب می‌شود، داده‌هایی به بخش آنالیز اطلاعات فرستاده می‌شود و با استفاده از بررسی داده‌ها، نتایج نهایی پردازش اطلاعات در قالب نمودارهای توزیع دانه‌بندی ذرات در اختیار کاربر قرار می‌گیرد. روش‌های اندازه‌گیری دایم عمدتا به وسیله اشعه لیزر یا امواج فراصوت انجام می‌شود.

الف- شناسایی نرمه با اشعه لیزر

با استفاده از اشعه لیزر می‌توان ابعاد ذرات را از ۰/۰۵ تا ۳۵۰۰ میکرون تعیین کرد. اندازه‌گیری با روش بسیار سریع انجام می‌گیرد و مدت زمان لازم برای انجام این امر بر اساس میزان نمونه تحت بررسی متفاوت است. به طور متوسط اندازه‌گیری را می‌توان در مدت ۵ ثانیه انجام داد.

ب- شناسایی نرمه به روش فراصوت

این روش بر مبنای جذب امواج فراصوت با ابعاد ذرات پایه‌گذاری شده است. میزان جذب این امواج در یک پالپ به درصد جامد پالپ و همچنین دانه‌بندی مواد تشکیل دهنده آن بستگی دارد. هر چه درصد جامد پالپ بیشتر و ابعاد ذرات درشت‌تر باشد، انرژی جذب شده نیز بیشتر است. در این روش نیز مانند روش‌های لیزری، داده‌ها به بخش پردازش اطلاعات فرستاده شده و در آنجا بر اساس میزان انرژی جذب شده، دانه‌بندی مواد تعیین می‌شود. نتایج نهایی نیز به صورت منحنی‌های توزیع دانه‌بندی نمایش داده می‌شود.

۲-۳- عوامل موثر در تولید نرمه و مشکلات آن در کانه‌آرایی

به علت ماهیت نرم و چسبنده نرمه‌ها، زمان ته‌نشینی این ذرات بسیار طولانی است و در آب به حالت معلق در می‌آیند که معمولا باعث بروز مشکلات فنی و اقتصادی به ویژه در مرحله آبگیری از پالپ می‌شود. از سوی دیگر، وجود نرمه در بار اولیه مدارهای فلوتاسیون منجر به کاهش کارآیی می‌شوند، بنابراین باید این ذرات را از محیط خارج کرد.

۱- Brunauer-Emmet-Teller

۲- Lea and Nurse

omoorepeyman.ir

با افزایش مقدار ذرات ریز، نیروهای سطحی ذره و کلوییدها بر سایر نیروهای موجود در محیط سیال غلبه می‌کند و در نتیجه کارآیی فرآیندهایی مانند پرعیارسازی ثقلی ذرات به شدت کاهش می‌یابد. از این رو، شناسایی عوامل و پارامترهای مشکل‌ساز در کانه‌آرایی این نوع ذرات نرمه مهم است.

با افزایش مقدار نرمه، نرمه‌پوشی بر روی سطح کانی افزایش می‌یابد و باعث تغییرات سطحی ذره می‌شود. بدین ترتیب احتمال برخورد و اتصال ذره به حباب در محیط فلوتاسیون کاهش و بنابراین کارآیی سیستم کاهش می‌یابد.

تغییرات شیمیایی در سطح یا ترکیب کانی‌شناسی ذرات یکی دیگر از دلایل بروز مشکل در جدایش آن‌ها است.

علاوه بر موارد یاد شده نرمه باعث بروز پدیده‌های زیر می‌شود.

۲-۳-۱- افزایش انرژی سطحی

یکی از معایب عمده وجود نرمه، افزایش انرژی سطحی است. ذرات بسیار ریز به دلیل عواملی مانند عدم رشد بلور، وجود ترک‌های زیاد، تغییر شکل، دارا بودن لبه‌های تیز انرژی سطحی زیادی دارند که این امر منجر به بروز مشکلات زیادی از جمله موارد زیر می‌شود:

- جذب غیریکنواخت مواد شیمیایی در سطح ذره
- افزایش هیدراتاسیون
- واکنش سطحی سریع به عوامل محیطی از جمله تغییرات pH
- افزایش انحلال که با اشباع شدن محلول، باعث افزایش گرانروی سیال و ایجاد لخته‌های جامد زیاد می‌شود. به عنوان مثال وجود ذرات کلوییدی در محیط پالپ، منجر به افزایش گرانروی می‌شود زیرا پالپ حاوی نرمه زیاد در pHهای پایین در معرض بروز فلوکولاسیون و لخته‌سازی قرار می‌گیرد و بدین ترتیب گرانروی ظاهری آن افزایش می‌یابد و جدایش ذرات را مشکل می‌سازد.

۲-۳-۲- کاهش جرم

جرم بسیار کم ذرات نرمه نسبت به سطح ویژه زیاد آن نیز منجر به ایجاد مشکلاتی در هنگام فرآوری مواد معدنی می‌شود. عمده‌ترین مشکلات ناشی از این امر عبارتند از:

- تکانه[1] (اندازه حرکت) کم ذرات، این امر منجر به کاهش احتمال برخورد و اتصال ذره به حباب هوا می‌شود.
- کواگولاسیون غیریکنواخت، به دلیل تفاوت در ابعاد ذرات، لخته‌های ایجاد شده در بخش‌های مختلف پالپ متفاوت و غیریکسان است.
- تداخل ذرات در کنسانتره مانند راهیابی ذرات نرمه باطله به کف
- احتمال کم برخورد ذره با حباب و اتصال آن‌ها به یکدیگر
- افزایش انرژی بین ذرات در فواصل نزدیک به دلیل کوچک بودن شعاع ذره، غلبه بر این انرژی بسیار مشکل است و در اغلب موارد، انرژی بین ذره‌ای عملکرد فرآیندهایی مانند فلوتاسیون را تحت تاثیر قرار می‌دهد.

1- Momentum

omoorepeyman.ir

۲-۳-۳- افزایش سطح ویژه

سطح ویژه بسیار زیاد نرمه منجر به بروز مشکلاتی از قبیل موارد زیر می‌شود:

– افزایش آهنگ انحلال در آب، این امر باعث پایداری گونه‌های معلق در پالپ می‌شود.

– افزایش مصرف مواد شیمیایی، افزایش سطح ویژه باعث جذب بیشتر مواد شیمیایی مانند کلکتور، کف‌ساز، متفرق‌کننده‌ها و موارد مشابه در سطح ذرات می‌شود.

– پایداری کف. به دلیل مصرف زیاد موادی مانند کف‌سازها در سلول فلوتاسیون، کف ایجاد شده بیش از حد پایدار می‌شود به گونه‌ای که حباب‌های هوا در بالای سلول به راحتی از بین می‌روند و باعث کاهش کارآیی تیکنرها می‌شود.

– افزایش چگالی پالپ. ذرات بسیار ریز دارای پوشش مواد شیمیایی بسیار سنگین شده و سبب افزایش دانسیته پالپ و در نتیجه گرانروی آن می‌شود.

– پوشش سطح ذرات با ارزش به وسیله ذرات بسیار ریز گانگ موجب تجمع ذرات یا پوشش نرمه روی سطح کانی‌ها می‌شود که در فرآیندهایی مانند فلوتاسیون، جدایش مغناطیسی و الکترواستاتیکی و یا فروشویی باعث کاهش کارآیی می‌شود.

۲-۳-٤- خواص شیمیایی و فیزیکی ذرات نرمه

تاثیر اندازه ذرات بر میزان انحلال آن‌ها برای ذرات بزرگتر از ۰/۱ میکرون چندان مهم نیست و معمولا در کارخانه‌های کانه‌آرایی، ابعاد ریزترین ذرات به ندرت کمتر از ۰/۵ میکرون است، بنابراین می‌توان از پدیده افزایش انحلال ذرات در داخل پالپ و ابعاد ذره بر انحلال آن صرف نظر کرد. از سوی دیگر، به هم پیوستگی ذرات ریز و تشکیل ذرات درشت‌تر کم محلول در محیط پالپ نیز هنگامی رخ می‌دهد که اندازه ذرات بین ۰/۱ تا ۰/۵ میکرون باشد.

۲-۳-۵- تاثیر عوامل اقتصادی

مهم‌ترین زیان‌های اقتصادی نرمه‌ها به شرح زیر است:

– کاهش بازیابی کانی با ارزش

– هدرروی مواد با ارزش

– هدرروی بخش اعظم ماده با ارزش در جدایش واسطه سنگین و ثقلی

– کاهش عیار کنسانتره به دلیل درگیر شدن مکانیکی و یا دنباله‌روی ناشی از آب و یا خلا پشت سر حباب‌ها

– افزایش میزان مصرف کلکتور

– اتلاف بخش زیادی از آب مصرفی کارخانه

– افزایش میزان مصرف فلوکولانت‌ها

– مصرف فلوکولانت‌های با ارزش، به منظور لخته‌سازی در پالپ‌های با شرایط مشکل با فلوکولانت‌های معمول

– افزایش هزینه‌های مرتبط با انباشت باطله و پایداری سد باطله، این هزینه‌ها به ویژه برای باطله‌های با رقت بالا و ذرات ریز نرمه که پایداری سد باطله را کاهش می‌دهند به مراتب بیشتر است.

omoorepeyman.ir

– مصرف انرژی و هزینه بسیار زیاد در مدارهای فرآوری برای بازیابی و حذف مواد شیمیایی مصرفی، مانند کلکتور، بازداشت‌کننده و دیگر مواد

– افزایش انرژی مصرفی در فرآیند آسیا کردن

– افزایش مصرف مواد خردکننده، افزایش میزان سایش بار خردکننده، آستر و در مواردی بدنه آسیا

– افزایش میزان مصرف مواد شیمیایی

– افزایش هزینه‌های مراحل بعدی

omoorepeyman.ir

omoorepeyman.ir

فصل ۳

تاثیر نرمه در کارآیی تجهیزات کانه‌آرایی

omoorepeyman.ir

omoorepeyman.ir

۳-۱- آشنایی

وجود نرمه در بخش‌های مختلف مدار، مانند خردایش، طبقه‌بندی فلوتاسیون، جدایش ثقلی، جدایش مغناطیسی و سایر فرآیندهای دیگر مشکل‌ساز است (جدول ۳-۱). از جمله مشکلات ناشی از حضور نرمه در مدار واحدهای کانه‌آرایی می‌توان به کاهش کارآیی تجهیزات مختلف، ایجاد اختلال در عملکرد مطلوب فرآیند و هدرروی بخش قابل ملاحظه‌ای از ماده معدنی با ارزش در مرحله نرمه‌زدایی اشاره کرد.

جدول۳-۱- مشکلات ناشی از وجود نرمه در فرآیندهای مختلف کانه‌آرایی

فرآیند	مشکلات ناشی از وجود نرمه
سنگ‌شکنی	کاهش ظرفیت سنگ‌شکن، خفگی گلوگاه سنگ‌شکن به دلیل تجمع ذرات ریز به ویژه در هنگام افزایش رطوبت و ذرات رسی در ماده معدنی
آسیا کردن	افزایش گرانروی پالپ، افزایش انرژی مصرفی برای خردایش ذرات، افت کارایی بار خردکننده عدم برخورد با سطح ذره پوشیده شده از نرمه، کاهش انرژی بار خردکننده، عدم امکان خردایش با مکانیزم سایش به دلیل پوشیده شدن سطح ذرات با نرمه
طبقه‌بندی	گرفتگی چشمه‌های سرند به وسیله ذرات نرمه به ویژه در رطوبت بالا و کاهش دقت جدایش آن‌ها، افزایش زمان سرند برای ذرات بسیار ریز، افزایش گرانروی پالپ و کاهش دقت جدایش در کلاسیفایرها
فلوتاسیون	کاهش عیار کنسانتره به دلیل دنباله‌روی نرمه‌های باطله از آب و به تله افتادن آن‌ها بین حباب‌ها، افزایش مصرف مواد شیمیایی مانند کلکتور به منظور خنثی کردن بار سطح ذرات بسیار ریز، کاهش بازیابی به دلیل عدم برخورد مناسب بین حباب و ذره، هدرروی ماده با ارزش به دلیل نرمه‌پوشی به وسیله نرمه باطله
جدایش ثقلی	افزایش گرانروی پالپ و عدم امکان جدایش دقیق ذرات باطله از کنسانتره، زمان ته‌نشینی بسیار طولانی برای ذرات نرمه و کاهش شدید ظرفیت جداکننده‌ها
جدایش مغناطیسی	کاهش عیار کنسانتره به دلیل به تله افتادن ذرات نرمه باطله بین ذرات درشت‌تر کنسانتره در جدایش خشک، کاهش کارآیی جداکننده‌ها به دلیل تشکیل گره‌های مغناطیسی، هدرروی ماده با ارزش ریزدانه به دلیل پیروی از سیال و دنباله‌روی از آب در جداکننده‌های تر
جدایش الکترواستاتیکی	کاهش عیار کنسانتره به دلیل چسبیدن ذرات بسیار ریز با بار الکتریکی زیاد به سطح ذرات جداکننده و راه‌یابی آن‌ها به کنسانتره
سنگ‌جوری	اختلال در تشخیص خواص سطحی ذرات و عدم امکان جدایش دقیق ذرات پوشیده شده از نرمه
تیکنر	عدم تشکیل گرهک‌های پایدار به دلیل چگالی بار بسیار زیاد روی ذرات نرمه، عدم امکان بازیافت بخش اعظم آب مصرفی، کاهش درصد جامد ته‌ریز تیکنر و هدرروی آب، گل‌آلود شدن سرریز تیکنر به دلیل سرعت ته‌نشینی بسیار کم ذرات ریز و راه‌یابی آن ها به سرریز، کاهش ظرفیت تیکنر به دلیل زمان ماند طولانی ذرات بسیار ریز در داخل آن
فیلتراسیون	کاهش کارآیی فیلترها به دلیل گرفتگی چشمه‌های فیلتر با ذرات نرمه، افزایش رطوبت فیلتر کیک و هدرروی بخشی از آب برگشتی به کارخانه، افزایش میزان ذرات ریز در آب فیلتر شده و ته‌نشین شدن این ذرات در مخازن مربوط به آب بازگشتی از مدار
فروشویی توده‌ای	کاهش تخلخل و نفوذپذیری در اثر ایجاد نرمه‌ها

omoorepeyman.ir

۳-۲- تاثیر نرمه در کارآیی مدارهای کانه‌آرایی

۳-۲-۱- مدارهای خردایش

الف- کاهش کارآیی خردایش در آسیاهای گلوله‌ای به وسیله افزایش گرانروی و مرکزگریز شدن گلوله‌ها

ب- افزایش برق مصرفی و در نتیجه افزایش قیمت تمام شده

پ- افزایش مصرف انرژی بر اساس قانون باند

ت- هدرروی بخش قابل ملاحظه‌ای از ماده معدنی با ارزش

ث- ایجاد مشکل در مراحل بعدی

ج- گرفتگی گلوگاه‌ها (خفگی) و کاهش ظرفیت

بر اساس قانون باند میزان انرژی مصرفی به شدت با کاهش ابعاد ذرات، افزایش می‌یابد. میزان انرژی مورد نیاز برای خردایش ذرات تا ابعاد ۴۰ میکرون تقریبا یکسان است اما با کاهش ابعاد ذرات به حد زیر ۳۸ میکرون به شدت افزایش می‌یابد. از این رو، خردایش ذرات تا این حد از نظر اقتصادی به صرفه نیست.

۳-۲-۲- تجهیزات طبقه‌بندی (سرندها و کلاسیفایرها)

وجود ذرات نرمه در بار ورودی سرند، به ویژه در شرایط وجود مواد رسی با رطوبت بالا باعث گرفتگی چشمه‌های سرند و کاهش دقت طبقه‌بندی آن می‌شود. چسبیدن ذرات ریز اطراف ذرات درشت‌تر از چشمه سرند، باعث انتقال آن‌ها به بخش بزرگتر از چشمه سرند شده که این امر باعث افزایش بار در گردش و کاهش میزان مواد در زیر سرند می‌شود.

وجود ذرات ریز در بار ورودی کلاسیفایرها نیز باعث اختلال در طبقه‌بندی آن‌ها و کاهش دقت جدایش می‌شود، زیرا با افزایش گرانروی پالپ و تغییر رفتار پالپ، جدایش ذرات در محیط متلاطم و گرانروی زیاد مشکل است. علاوه بر موارد یاد شده، به دلیل ریزتر شدن ذرات، زمان ماند برای جدایش آن‌ها افزایش یافته و بدین ترتیب ظرفیت دستگاه کاهش می‌یابد.

۳-۲-۳- تجهیزات جدایش

هر یک از دستگاه‌های جداکننده‌های مغناطیسی، ثقلی و الکترواستاتیکی در محدوده ابعادی بهینه‌ای از ذرات، حداکثر کارآیی لازم را دارد. وجود ذرات بیشتر از حد معمول باعث بروز مشکلات زیادی در عملکرد این تجهیزات می‌شود. از جمله این مشکلات، اختلال در جدایش ذرات ریز و درشت از یکدیگر به ویژه در جدایش ثقلی است.

الف- جداکننده‌های مغناطیسی

ایجاد گره‌های مغناطیسی. در جداکننده‌های مغناطیسی خشک، ذرات نرمه خود به صورت قطب‌های مغناطیسی عمل می‌کنند و در اطراف هر ذره میدانی با گرادیان زیاد به وجود می‌آید. بدین ترتیب سایر ذرات غیرمغناطیسی نرمه به بخش کنسانتره منتقل می‌شوند، از این رو عیار محصول کاهش می‌یابد.

دنباله‌روی از آب. ذرات بسیار ریز نرمه تحت تاثیر حرکت آب قرار گرفته و نیروی مغناطیسی روی آن‌ها تاثیرگذار نخواهد بود. این امر باعث هدرروی ماده با ارزش و یا انتقال ذرات نرمه باطله به محصول می‌شود.

omoorepeyman.ir

ب- جداکننده‌های ثقلی

استفاده از روش‌های ثقلی برای ذرات ریزتر از ۱۰۰ و گاه ۷۵ میکرون بسیار مشکل است. حد مناسب ابعاد ذرات برای روش‌های مختلف جدایش ثقلی در شکل ۳-۱ ارایه شده است. بر اساس شکل ۳-۱ تنها میز نرمه در ابعاد بسیار ریز کارآیی قابل قبول را دارد که جداکننده یاد شده در عملیات نرمه‌گیری کاربرد زیادی دارد.

روش‌های ثقلی نسبت به نرمه بسیار حساس‌اند، زیرا این ذرات باعث افزایش گرانروی پالپ می‌شود و حرکت ذرات جامد در داخل سیال را مشکل می‌کند. در نتیجه جدایش ذرات با ارزش و باطله از یکدیگر به خوبی انجام نمی‌شود. در اغلب روش‌های جدایش ثقلی، ذرات ریزتر از ۱۰۰ میکرون در مرحله آماده‌سازی، بار اولیه به بخش باطله منتقل می‌شود که بر اساس نوع ترکیب کانی‌شناسی ماده معدنی ممکن است بخش قابل توجهی از ماده با ارزش به صورت ذرات میانی هدر رود.

پ- جداکننده‌های الکتریکی و الکترواستاتیکی

در صورتی که ذرات بسیار ریز ماده با ارزش اطراف ذرات باطله را احاطه کنند، به دلیل هدایت الکتریکی آن‌ها، سطح ذره باردار شده و جذب استوانه مغناطیسی می‌شود و مقداری از باطله به بخش با ارزش راه می‌یابد و بدین ترتیب، عیار کنسانتره کاهش می‌یابد.

در صورت ریزدانه بودن ذرات باطله به ویژه مواد رسی در حضور رطوبت و چسبیدن آن به مواد با ارزش، از باردار شدن سطح آن‌ها و ایجاد القای الکترواستاتیکی جلوگیری شده و این امر باعث هدرروی ماده با ارزش می‌شود.

۳-۲-٤- تجهیزات فلوتاسیون

محدوده بهینه ابعاد ذرات و شناورسازی مطلوب آن‌ها، به درجه آزادی کانی مورد نظر بستگی دارد که این امر خود بـه پارامترهـایی مانند ترکیب کانی‌شناسی ماده معدنی، پراکندگی و یا تجمع کانی مورد نظر در گانگ و آزاد بودن ذرات وابسته است.

ابعاد مناسب ذرات به وجود آمده پالپ به قابلیت شناوری کانی‌ها نیز بستگی دارد. ذرات نرمه قابلیت شـناوری کمتـری نسـبت بـه ذرات درشت‌تر دارند. این ذرات اینرسی پایین‌تری دارند و این امر منجر می‌شود حرکت آن‌هـا بـه صـورت مسـتقل نباشـد و از طریـق دنباله‌روی[1] از جریان‌های هیدرودینامیکی انجام می‌گیرد.

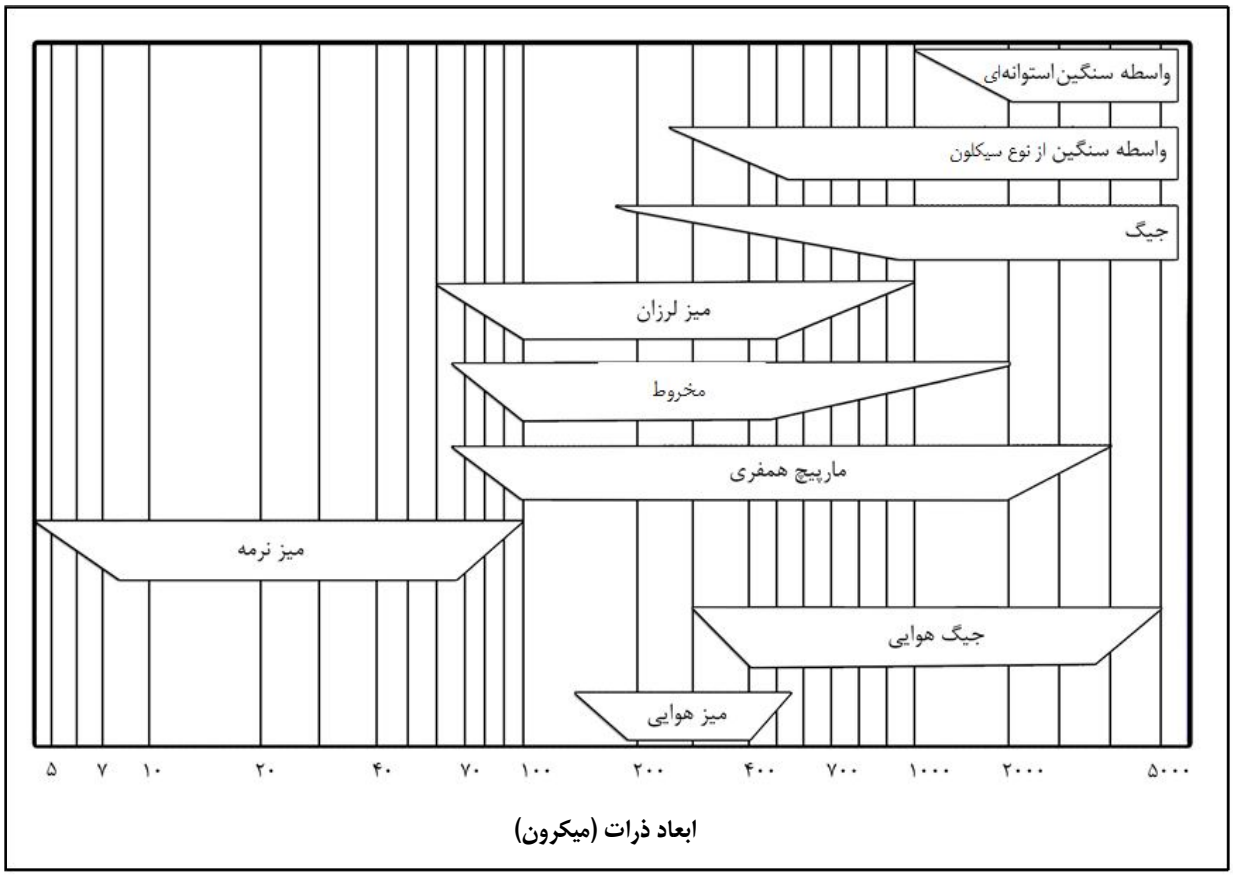
الف- دنباله‌روی ذرات ریز

به دلیل کوچک بودن ابعاد ذرات، برخورد ذره با حباب هوا موثر نیست و منجر به اتصال نمی‌شود، در نتیجه ذرات کانی با ارزش به فاز کف منتقل نمی‌شود که این امر هدرروی ماده با ارزش را به دنبال دارد.

ذرات نرمه باطله به دلیل دنباله‌روی از آب وارد آب پشت سر حباب هوا می‌شوند و بدین ترتیب باطله به فاز کف انتقال یافته و عیار کنسانتره کاهش می‌یابد.

1- Entrainment

omoorepeyman.ir



شکل ۳-۱- محدوده تقریبی ابعاد مناسب بار ورودی برای روش‌های جدایش ثقلی

ب- تداخل در شناورسازی و تولید کف پایدار

وجود نرمه باعث افزایش گرانروی پالپ و در نتیجه کاهش تحرک سایر ذرات در محیط می‌شود. از این رو اتصال ذرات به حباب‌ها سخت می‌شود و بازیابی کاهش می‌یابد. در صورتی که ذرات موجود از نوع گانگ باشند، عیار کنسانتره کاهش می‌یابد. پایداری کف باعث اختلال در شناورسازی می‌شود.

پ- پوشش نرمه

نرمه پوشی باطله بر روی کانی با ارزش باعث کاهش بازیابی کنسانتره به دلیل بازداشت ذرات با ارزش پوشیده شده از باطله شده و نرمه پوشی کانی با ارزش روی گانگ باعث کاهش عیار کنسانتره به دلیل انتقال ذرات باطله به کنسانتره می‌شود.

بازیابی کانی با ارزش در حضور نرمه در یک محدوده ابعادی معین بالاترین مقدار را دارد. بازیابی ذرات نرمه کانی با ارزش به دلیل کاهش احتمال برخورد مطلوب و افزایش چگالی بار، در سطح کانی کاهش می‌یابد و همچنین، مصرف مواد شیمیایی برای ذرات ریزدانه را افزایش می‌دهد.

افزایش سطح ویژه ذرات و تغییر شیمیایی سطح آن‌ها نیز دلیل بارزی بر کاهش شناورشوندگی ذرات نرمه است. ذرات نرمه انرژی سطحی زیاد و جرم ناچیز و تحرک کم دارند. از این رو، احتمال برخورد آن‌ها با حباب هوا کاهش می‌یابد. با افزایش این ذرات در محیط، میزان پوشش ذرات درشت‌تر، به وسیله آن‌ها افزایش می‌یابد و شناورسازی انتخابی ذرات درشت با مشکل مواجه می‌شود.

omoorepeyman.ir

۳-۲-۵- تجهیزات آبگیری

الف- تیکنرها

وجود نرمه در تیکنرها منجر به کاهش آهنگ ته‌نشینی ذرات به دلیل پایین بودن جرم ذرات ریز و نیز ایجاد شرایط سقوط با مانع برای سایر ذرات می‌شود. از این رو، ظرفیت تیکنر به دلیل افزایش زمان ماند، کاهش می‌یابد.

کیفیت آب سرریز به دلیل ورود بخشی از ذرات نرمه کاهش می‌یابد که این امر خود باعث بروز مشکلات زیادی در سایر بخش‌های مدار می‌شود زیرا آب سرریز به عنوان آب برگشتی در اغلب موارد به داخل کارخانه برمی‌گردد و چنانچه آب تمیز نباشد، احتمال گرفتگی لوله‌ها و شیرها را به دنبال دارد.

به منظور افزایش ظرفیت تیکنر، باید سرعت تخلیه ته‌ریز را افزایش داد. در نتیجه درصد جامد ته‌ریز تیکنر کم شده و بدین ترتیب حجم آبی که از طریق باطله از کارخانه خارج می‌شود، افزایش می‌یابد و در نتیجه مصرف آب زیاد می‌شود.

به دلیل بالا بودن چگالی بار ذرات ریز، در فرآیندهای فلوکولاسیون وکواگولاسیون مشکلاتی از قبیل عدم تشکیل توده‌های بزرگ، قوی و پایداری زیاد نیز باعث کاهش کارآیی عملیات می‌شود.

ب- فیلترها

فرآیند فیلتراسیون و آبگیری از ذرات کنسانتره نهایی برای دستیابی به رطوبت مطلوب، یک امر ضروری است. این عملیات که عمدتا با فیلترهای نواری افقی و یا عمودی، استوانه‌ای و موارد مشابه انجام می‌گیرد، به ابعاد ذرات موجود در پالپ بسیار حساس است زیرا با کاهش ابعاد ذرات، احتمال گرفتگی کامل چشمه‌های فیلتر و کور شدن آن وجود دارد. بدین ترتیب رطوبت کیک نهایی افزایش و کارآیی فیلتر کاهش می‌یابد.

۳-۲-۶- سایر تجهیزات کانه‌آرایی

وجود نرمه در سایر تجهیزات کانه‌آرایی مانند میزها، مارپیچ‌ها و نظایر آن نیز باعث کاهش کارآیی عملیاتی آن‌ها می‌شود، زیرا هر یک از این تجهیزات در محدوده دانه‌بندی مشخصی، بالاترین کارآیی را دارند، بنابراین با افزایش میزان نرمه در پالپ و تغییر رفتار سیال، پارامترهای عملیاتی تجهیزات مانند ظرفیت دستگاه و زمان ماند مواد نیز تغییر می‌کند و فرآیند به خوبی انجام نمی‌گیرد.

omoorepeyman.ir

omoorepeyman.ir

فصل ۴

کنترل نرمه در واحدهای کانه‌آرایی

omoorepeyman.ir

omoorepeyman.ir

٤-١- آشنایی

کنترل نرمه در واحدهای کانه‌آرایی به دو روش فیزیکی و شیمیایی انجام می‌گیرد (جدول ۴-۱).

جدول ٤-١- روش‌های کنترل نرمه در فرآیندهای مختلف کانه‌آرایی

روش	توضیحات
فیزیکی	طراحی مناسب سیستم آتشباری
	استفاده از تجهیزات مناسب بارگیری و باربری هنگام حمل و نقل ماده معدنی
	استفاده از سیستم خردایش مناسب (انتخاب صحیح سنگ‌شکن، آسیا و نوع مدار خردایش)، انتخاب صحیح بار خردکننده، ابعاد چشمه‌های سرند کنترلی یا شبکه خروجی آسیا
شیمیایی	استفاده از مواد شیمیایی کمک خردایش در طی خردایش ذرات در آسیا
	استفاده از مواد شیمیایی مانند متفرق‌کننده‌ها در فلوتاسیون برای جلوگیری از نرمه‌پوشی ذرات
	استفاده از مواد شیمیایی مانند فلوکولانت برای ایجاد لخته‌های بزرگتر در فرآیندهای آبگیری

٤-١-١- روش‌های فیزیکی

روش‌های فیزیکی متداول کنترل نرمه‌ها به قرار زیر است:

- طراحی صحیح سیستم آتشباری
- ایجاد کارگاه‌های مناسب در معادن زیرزمینی
- استفاده از تجهیزات بارگیری و باربری مناسب نوع ماده معدنی و خواص آن
- بهینه‌سازی عملیات سنگ‌شکنی و آسیا کردن، انتخاب مناسب نوع بار خردکننده، ابعاد چشمه شبکه (دریچه تخلیه آسیا)، تنظیم دهانه خروجی سنگ‌شکن و نظایر آن

٤-١-٢- روش‌های شیمیایی

از دیگر روش‌های کاهش اثرات منفی نرمه در فرآیندهای کانه‌آرایی، استفاده از روش‌های شیمیایی است که در آن با استفاده از مواد شیمیایی مانند متفرق کننده، pH محیط، خواص شیمی سطح ذرات بار سطحی را تغییر داده و تاثیر نرمه در محیط را کاهش می‌دهند. از جمله عمده‌ترین مواد شیمیایی مورد استفاده می‌توان به افزودنی‌های شیمیایی، کلکتور، بازدارنده، متفرق‌کننده، فلوکولانت‌ها و کواگولانت‌ها اشاره کرد.

omoorepeyman.ir

٤-۲- کنترل نرمه در فرآیند تولید

٤-۲-۱- کنترل نرمه در مرحله استخراج

اولین مرحله تولید نرمه، حین استخراج است که باید با به کارگیری روش‌های مناسب در استخراج روباز و زیرزمینی از تولید بیش از حد نرمه جلوگیری کرد.

عدم انتخاب صحیح مواد ناریه، طراحی نامناسب فاصله‌داری و بارسنگ چال‌ها، بیش‌خرج‌گذاری چال‌ها و فشار ناشی از حرکت ماشین‌آلات سنگین در معادن روباز از جمله عمده‌ترین موارد ایجاد نرمه در معادن روباز است. در معادن زیرزمینی نیز شیوه استخراج نامناسب ماده معدنی و حمل و نقل غیرصحیح ماده استخراجی به ویژه برای مواد شکننده مانند زغال‌سنگ باعث تولید نرمه می‌شود.

٤-۲-۲- کنترل نرمه در بار ورودی

الف- استفاده از متفرق‌کننده‌ها و فلوکولانت‌ها

- استفاده از متفرق‌کننده‌ها و فلوکولانت‌ها، به ویژه در مدارهای آسیا برای بهبود خواص پالپ که باعث کاهش میزان نرمه می‌شود.

- استفاده از مدار بسته در فرآیند خردایش که با تنظیم آهنگ یا نسبت ذرات متوسط خرد شده باعث کارآیی حداکثری خردایش و کاهش تولید نرمه می‌شود.

- خردایش ذرات بسیار ریز با ایجاد ترک‌های بیشتر در ماده معدنی بدون آگلومراسیون مجدد ذرات امکان‌پذیر است. با انجام عملیات آماده‌سازی بار اولیه مانند اعمال شوک حرارتی و ایجاد ترک بین ماده معدنی با ارزش و گانگ باید به درجه آزادی مطلوب رسید، زیرا آزادسازی کانی با ارزش از گانگ، هدف اصلی عملیات خردایش در فرآوری است.

ب- استفاده از افزودنی‌های شیمیایی

- استفاده از مواد شیمیایی کمک خردایش‌ها از به هم پیوستن ذرات ریز نرمه جلوگیری می‌کند و آن‌ها را به صورت پراکنده نگه می‌دارد که این امر خود باعث افزایش کارآیی عملیات خردایش می‌شود. بعضی از این مواد شیمیایی برای جلوگیری از اثر بد پوشش‌دهی گلوله‌ها با ذرات نرمه در خردایش موثراند.

- از تاثیر دیگر کمک خردایش‌ها، ایجاد تغییر در گرانروی پالپ و یا سهولت جریان مواد خشک است. این عمل باعث تسهیل حرکت مواد در داخل آسیا و احتمال بیشتر قرار گرفتن ذرات در محل‌های مناسب بین گلوله‌ها می‌شود.

- در آسیا کردن مواد معدنی خشک، با ریزتر شدن ذرات، آهنگ خردایش کمتر می‌شود که این امر احتمالا به دلیل به هم چسبیدن ذرات کوچک در اثر نیروی جذب واندروالسی و یا نرم شدن سطح گلوله‌ها به دلیل پوشش آن‌ها به واسطه نرمه‌ها رخ می‌دهد.

در آسیا به روش خشک ترکیبات آلی ساده مانند اتیلن گلیکول، پروپیلن گلیکول، اسید اولییک استفاده می‌شود که با جذب شدن در سطح ذرات از به هم پیوستن آن‌ها جلوگیری می‌کنند. میزان مصرفی این مواد شیمیایی به طور معمول بین ۱۰۰ تا ۵۰۰ گرم بر تن است.

omoorepeyman.ir

در آسیاهای خشک به دلیل اضافه شدن کمک خردایش‌ها از ایجاد نرمه زیاد جلوگیری می‌شود و همچنین تاثیر منفی ضربه‌گیری ذرات نرمه در بین گلوله‌ها کاهش می‌یابد که مهم‌ترین تاثیر این امر، کاهش زمان ماند ذرات در داخل آسیا است.

انتخاب درصد مناسب پالپ موجب افزایش آهنگ خردایش در آسیا به روش تر می‌شود. نقش عمده کمک خردایش‌ها، کاهش گرانروی ظاهری در پالپ‌هایی است که درصد جامد در آن‌ها بالا است.

– ذرات ریز نسبت به ذرات درشت در افزایش گرانروی نقش زیادی دارند. وجود ذرات ریز تا حد بیش از ۳۰ درصد حجمی، به شدت گرانروی پالپ را افزایش می‌دهد که این امر منجر به کاهش کارآیی آسیا می‌شود. استفاده از کمک خردایش‌ها به کاهش زمان ماند باعث به حداقل رساندن میزان نرمه ثانویه تولید شده در محیط آسیا است. مهم‌ترین کمک خردایش در آسیاهای گلوله‌ای آب است.

پ- استفاده از محلول‌های آلی

در اغلب موارد، خردایش در حضور محلول‌های آلی نسبت به خردایش در محیط حاوی آب به طور موثرتری انجام می‌گیرد. سطوح آزاد حاصل از خردایش در محلول‌های آلی مانند ایزوآمیل آلکلات به مقدار ۱۲ برابر نسبت به نبود این ماده افزایش داشته است. نتایج آزمایش‌های مختلف نشان می‌دهد خردایش با کمک تتراکلریدکربن و متیل‌سیکلوهگزان نسبت به نیتروژن با آهنگ بالاتری انجام می‌شود. کارآیی عملیات نرم کردن در آب به طور قابل توجهی، متناسب با مقدار آب موجود در محلول آلی است.

ت- استفاده از فعال‌کننده‌های سطح (سطح سازها)[1]

توده‌های نرمه تجمع یافته در داخل آسیا باعث تحلیل و افزایش مصرف انرژی برای جلوگیری از فلوکولاسیون می‌شود. خاصیت آبرانی[2] ذرات با فعال‌کننده‌های سطحی باعث کاهش کارآیی خردایش می‌شود.

با اضافه کردن میزان بیشتری از فعال‌کننده، سطح ویژه کاهش می‌یابد، بنابراین در تعیین میزان فعال کننده مصرفی باید دقت لازم انجام گیرد.

نوع فعال‌کننده سطح، باید متناسب با نوع ماده معدنی انتخاب شود، زیرا یک فعال‌کننده تاثیر یکسانی بر روی مواد متفاوت ندارد.

یکی دیگر از مشکلات تولید نرمه در محیط آسیا، پوشش دیواره آسیا و بار خرد کننده به وسیله ذرات کلوییدی است. باید توجه کرد، فلوکولاسیون باعث پوشش‌دهی سطح آسیاهای میله‌ای و گلوله‌ای می‌شود که میزان خردایش را کاهش می‌دهد. افزودن پلیمرها و متفرق کننده‌های شیمیایی بر آهنگ کلوییدی شدن پالپ و در نتیجه خردایش آسیا موثر است.

ث- استفاده از مواد غیرآلی

استفاده از مواد غیرآلی در pHهای خاصی اثر مثبت دارد و عمده‌ترین تاثیر آن‌ها در تغییر خواص سطحی ماده معدنی و آماده‌سازی آن‌ها برای خردایش بهتر در زمان کمتر و با جلوگیری از تولید نرمه بیشتر است.

با افزایش pH محیط حتی در حضور کلرید آلومینیم، ویژگی‌هایی مانند قابلیت نرمایش، خردایش و سیالیت پالپ کاهش می‌یابد. تنها اثری که با افزایش pH زیاد می‌شود، تفرق مواد است.

1- Surfacetants
2- Hydrophobicity

omoorepeyman.ir

تغییرات خواص یاد شده با اضافه کردن کلرید آلومینیم نسبت به حالت قبل متفاوت است. برای مثال افزودن کلرید آلومینیم به محیط آسیا باعث بهبود در خردایش کوارتز می‌شود، در صورتی‌که کلرید کلسیم تاثیر معکوس دارد.

omoorepeyman.ir

فصل ۵

نرمه‌زدایی در واحدهای کانه‌آرایی

omoorepeyman.ir

omoorepeyman.ir

۵-۱- آشنایی

نرمه‌زدایی آخرین مرحله از عملیات شناسایی و کنترل نرمه است. بنابراین به هر دلیلی که نرمه تولید شود و تاثیر منفی بر فرآیند داشته باشد، باید از محیط عمل خارج شود. معمولا عملیات نرمه‌زدایی در مقیاس صنعتی با هیدروسیکلون صورت می‌گیرد.

۵-۲- روش‌های نرمه‌زدایی

عمده‌ترین روش‌های نرمه‌زدایی از بار اولیه و یا از پالپ در فرآیندهای مختلف کانه‌آرایی در زیر ارایه می‌شود.

۵-۲-۱- روش‌های مکانیکی

در این روش با تنظیم پارامترهایی مانند شدت نوسان، سرعت حرکت پارو، ابعاد چشمه سرند، دستگاه‌ها و تجهیزاتی مانند سرندها، میزها و کلاسیفایرها، ذرات پالپ را به دو بخش درشت دانه و ریزدانه تقسیم می‌کند و بدین ترتیب ذرات نرمه پالپ قبل از ورود به فرآیندهای بعدی جدا می‌شوند. با این روش به دلیل محدود بودن دامنه ابعادی ذرات، برای اندازه‌های بسیار ریز کارآیی مطلوبی ندارد.

۵-۲-۲- روش‌های فیزیکی

با ایجاد حرکت گردابی پالپ و یا ماده معدنی خشک در داخل دستگاه‌هایی مانند سیکلون، هیدروسایزر و سیکلوسایزر در اثر ایجاد اختلاف بین نیروی وزن و نیروی گریز از مرکز، ذرات ریز از درشت جدا می‌شود. از این روش در نرمه‌زدایی از پالپ ورودی به تجهیزاتی مانند آسیا استفاده می شود.

فلوکولاسیون مغناطیسی ذرات به ویژه در فرآوری سنگ آهن برای آبگیری از نرمه‌ها در تجهیزاتی مانند تیکنر از دیگر روش‌های نرمه‌زدایی فیزیکی است.

۵-۲-۳- روش‌های شیمیایی

در این روش با کنترل pH یا تغییر آن از طریق استفاده از مواد شیمیایی، بار سطحی کانی‌ها و در نتیجه رفتار آن‌ها تغییر می‌کند. از این روش در جداکننده‌های الکترواستاتیکی استفاده می‌شود، اما به دلیل تاثیر منفی بعضی از مواد اضافه شده برای فرآیندهای بعدی و همچنین مشکل بازیافت آن‌ها، فقط در بعضی مواقع استفاده می‌شود.

۵-۲-٤- روش‌های شیمی- فیزیکی

فلوتاسیون حامل[1]، فلوکولاسیون، کواگولاسیون و موارد مشابه از جمله عمده‌ترین روش‌های شیمی- فیزیکی نرمه‌زدایی‌اند که در آن بر حسب نوع فرآیند یا از قطعات کانی و یا افزودن ماده شیمیایی و ایجاد تغییر در بار سطحی ذرات نرمه‌ها از پالپ جدا می‌شوند.

در فلوتاسیون حامل با چسبیدن ذرات نرمه به یک ذره درشت‌تر کانی امکان انتقال ذرات به بخش کنسانتره میسر می‌شود. محدودیت‌های عمده این روش، کاربرد محدود، هزینه‌بر بودن و نیز کنترل سخت شرایط عملیاتی این نوع روش است.

1- Carrier flotation

omoorepeyman.ir

در فلوکولاسیون یا کواگولاسیون نیز عمدتا با خنثی کردن بار سطحی ذرات و یا ایجاد پل الکترواستاتیکی بین ذرات آن‌ها را به یکدیگر نزدیک کرده و لخته‌های بزرگتری ایجاد می‌کنند تا با افزایش سرعت ته‌نشینی، جدایش آن‌ها آسان‌تر شود.

۵-۳- تجهیزات نرمه‌زدایی

۵-۳-۱- میز نرمه

یکی از وسایل مورد استفاده در فرآیند پرعیارسازی ثقلی مواد معدنی، میز نرمه بارتلی- موزلی است. در این دستگاه که بیشتر برای فرآوری نرمه مواد معدنی یا زغال بسیار دانه‌ریز استفاده می‌شود، عملیات جدایش و طبقه‌بندی به وسیله ریفل‌های مخصوص و آبگیرهای سطحی به آرامی انجام می‌گیرد.

از میز نرمه برای فرآوری مواد معدنی با ابعاد ریزتر از ۱۰۰ میکرون استفاده می‌شود.

میز کوردوری[1] نوعی میز نرمه است که معمولا برای پرعیارسازی ذرات ریزتر از ۷۴ میکرون طلا کاربرد دارد.

۵-۳-۲- جداکننده موزلی

جداکننده موزلی نیز نوعی جداکننده ثقلی است که برای جدایش ذرات ریز به کار می‌رود. این جداکننده بر اساس جریان‌های سیال عمل می‌کند و در آن از قانون ارشمیدس برای جدا کردن ذرات استفاده می‌شود.

۵-۳-۳- جداکننده استوانه لرزان

نوع دیگری از جداکننده‌های ثقلی، جداکننده‌های استوانه‌ای لرزان است. این دستگاه متشکل از استوانه‌ای است که شیب محور طولی آن قابل تنظیم است و حول این محور با سرعت متغیر دوران می‌کند. در این روش علاوه بر حرکت رفت و برگشتی، استوانه در امتداد محور خود نیز حرکت نوسانی غیر یکنواختی انجام می‌دهد که در جهت افزایش شیب به سرعت به جلو حرکت می‌کند و در جهت عکس با سرعتی کمتر به عقب برمی‌گردد. به این دستگاه جداکننده ثقلی چندگانه (MGS)[2] گفته می‌شود. نحوه جدایش مواد در این وسیله مشابه میزهای لرزان است که با توجه به ساختمان آن‌ها نیروی گریز از مرکز نیز بر ذرات وارد می‌شود. دستگاه یاد شده برای جدایش ذرات ریزتر از ۱۰۰ میکرون به کار می‌رود.

۵-۳-٤- هیدروسیکلون

در هیدروسیکلون از نیروی گریز از مرکز برای شتاب دادن به سرعت ته‌نشینی ذرات استفاده می‌شود. هیدروسیکلون مهم‌ترین وسیله برای طبقه‌بندی ذرات در ابعاد ریز (۵ تا ۱۵۰ میکرون) است. ذرات با سرعت ته‌نشینی زیاد به سمت دیواره حرکت می‌کنند و از دریچه ته‌ریز خارج می‌شوند. به دلیل تاثیر نیروی مقاومت سیال، ذرات با سرعت ته‌نشینی کم به سمت منطقه کم فشار در امتداد محور حرکت می‌کنند و به طرف بالا از دریچه به سرریز تخلیه می‌شوند.

1- Corduroy table
2- Multi gravity separator

omoorepeyman.ir

۵-۳-۵- سیکلوسایزر

سیکلوسایزرها تجهیزاتی هستند که به طور گسترده در آزمایشگاه‌ها برای طبقه‌بندی و تعیین دانه‌بندی ذرات ریز دانه (در محدوده ابعادی ۸ تا ۵۰ میکرون) استفاده می‌شوند. در صورت افزایش جرم مخصوص ذرات تا ۷/۵ گرم بر سانتی‌متر مکعب، می‌توان ذرات تا حد ۴ میکرون را نیز طبقه‌بندی کرد.

۵-۳-٦- سیکلون هوکی

سیکلون هوکی نوعی سیکلون است که برای استحصال و جداسازی ذرات ریزتر از ۵۰ میکرون به کار می‌رود و در مقایسه با مارپیچ‌ها، مکانیزم ساده‌تری دارد.

۵-۳-۷- کلاسیفایر نوسانی

کلاسیفایر نوسانی نوعی کلاسیفایر جامی است که با ایجاد حرکت نوسانی با دامنه کوتاه، باعث جدایش ذرات بسیار ریز از ذرات درشت‌تر می‌شود. در مکانیزم طبقه‌بندی ذرات به وسیله این کلاسیفایر، ذرات دانه‌ریز شناور می‌شوند و به سمت لبه ظرف حرکت می‌کنند. ذرات دانه درشت به سمت پایین جام مخروطی کلاسیفایر حرکت می‌کنند و از آنجا به وسیله پاروهایی به بیرون منتقل می‌شوند. این کلاسیفایر برای عملیات نرمه‌گیری بسیار مناسب اما به دلیل قیمت نسبتا بالا و ظرفیت پایین، کاربرد آن محدود است.

۵-۳-۸- کلاسیفایر مارپیچی

در این کلاسیفایرها ذرات با سرعت ته‌نشینی کم در داخل سیال به سرریز منتقل می‌شوند. ذرات با سرعت ته‌نشینی زیاد نیز در ته مخزن مارپیچ رسوب می‌کنند و در جهت خلاف جریان آب به وسیله مارپیچ، به سمت فوقانی دستگاه منتقل می‌شوند. حرکت مارپیچ باعث آزاد شدن نرمه شده و از ورود آن‌ها به خروجی بالا (ذرات درشت) جلوگیری می‌کند.

اصول کار این کلاسیفایر مشابه کلاسیفایرهای پارویی است، اما در این دستگاه به جای استفاده از یک پارو یا یک مارپیچ، برای تخلیه مواد درشت از چندین پارو استفاده می‌شود.

۵-۳-۹- تیکنر

تیکنر، مخزن یا حوضچه‌ای است که در آن ذرات جامد بر اثر ته‌نشینی از سیال جدا می‌شوند. در تیکنرها برای افزایش سرعت ته‌نشینی ذرات ریز و نرمه، از مواد شیمیایی به نام فلوکولانت‌ها استفاده می‌شود.

۵-۳-۱۰- حوضچه ته‌نشینی نرمه

تانک‌ها یا مخازن بزرگی که نرمه در داخل آن‌ها ذخیره می‌شود تا زمان ماند لازم برای ته‌نشینی و یا فرآوری مجدد ذرات ریزدانه فراهم شود.

omoorepeyman.ir

۵-۳-۱۱- دستگاه فراصوت

دستگاه فراصوت وسیله‌ای است که در آن با ایجاد ارتعاش، ذرات بسیار ریز از سطح ذرات درشت‌تر جدا شده و در داخل سیال پراکنده می‌شوند. بدین ترتیب علاوه بر اینکه تعیین ابعاد ذرات به صورت واقعی انجام می‌گیرد، تاثیر ذرات نرمه در فرآیندهای سطحی نیز بسیار کم می‌شود.

۵-٤- نرمه‌زدایی در تجهیزات فرآوری

۵-٤-۱- نرمه‌زدایی در سرندها

نرمه‌زدایی در سرندها با روش‌های زیر انجام می‌گیرد:

- نرمه‌زدایی با شستشوی مواد از طریق نصب دوش‌های پرفشار آب بر روی سرندها
- نرمه‌زدایی با استفاده از مواد شیمیایی کمکی به ویژه برای مواد بسیار ریز رسی و چسبنده به سطح سرند

۵-٤-۲- نرمه‌زدایی در کلاسیفایرها

الف- نرمه‌زدایی در هیدروسیکلون

هیدروسیکلون برای نرمه‌زدایی مواد، جدا کردن مواد دانه درشت از یک سیال و غلیظ کردن پالپ و همچنین برای شستشوی زغال‌سنگ دانه‌ریز استفاده می‌شود.

سیکلون‌های نرمه‌زدایی در صورت امکان قبل از فیلتراسیون، سانتریفوژ کردن، سرندهای آبگیری، طبقه‌بندی، فرآیندهای فلوتاسیون، اسپیرال و جدایش مغناطیسی استفاده می‌شوند. با استفاده از این تجهیزات، محصولات نهایی مانند دانه‌های بسیار ریز نیز تحت عملیات نرمه‌زدایی قرار می‌گیرند. به دلیل کارآیی پایین جدایش در این نوع از هیدورسیکلون‌ها، ابعاد آن‌ها نیز کوچک است و به صورت مجموعه‌ای از سرندها در یک خوشه در مدار قرار می‌گیرند.

نمونه‌ای از هیدروسیکلون‌ها با قطر ۵۰ میلی‌متر با ظرفیت بالا برای نرمه‌زدایی بسیار رایج است. طراحی هیدروسیکلون‌های ۵۰ میلی‌متری به گونه‌ای است که ذراتی با ابعاد ۵ تا ۱۰ میکرون (d_{50}) را جدا می‌سازد.

هیدروسیکلون‌های کوچکتر با قطر ۱۳ تا ۲۵ میلی‌متر، ظرفیت پایین و مشکلات عملیاتی دارند و به صورت گروهی در یک خوشه در مدار قرار می‌گیرند.

هیدروسیکلون‌ها تجهیزاتی ارزان قیمت‌اند که برای حذف نرمه‌های کوچکتر از ۱۰۰ میکرون استفاده می‌شوند، به نحوی که درصد ذرات زیر ۱۰۰ میکرون در بخش ته‌ریز سیکلون از سه درصد وزنی تجاوز نمی‌کند.

هیدروسیکلون‌ها برای حذف بیشتر نرمه‌ها استفاده می‌شوند، اما به طور معمول جریان سرریز شامل ۳۰ تا ۴۰ درصد آب است و به دلیل مشکلات عملیاتی برخی از نرمه‌ها از ته‌ریز هیدروسیکلون خارج می‌شوند.

به طور معمول هیدروسیکلون‌ها ۸۰ تا ۹۰ درصد مواد نرمه را در بار اولیه با ابعاد ریزتر از ۱۰۰ میکرون را حذف می‌کنند که با طراحی و انجام عملیات نرمه‌زدایی با هیدروسیکلون‌های چندگانه در چند مرحله مقدار باقی‌مانده نرمه در محصول ته‌ریز کاهش می‌یابد.

omoorepeyman.ir

ب- نرمه‌زدایی با هیدروسایزرها

هیدروسایزر دستگاهی است که مکانیزم آن بر مبنای جلوگیری از ته‌نشینی ذرات جامد در داخل سیال استوار است و برای انجام عملیات نرمه‌زدایی استفاده می‌شود. در این دستگاه با استفاده از جریان آب، ذرات با حرکات رفت و برگشتی رو به بالا و پایین در داخل سیال معلق می‌شوند. ضمن فرآیند تعلیق ذرات، هنگام بالا و پایین رفتن، فرآیند طبقه‌بندی انجام می‌گیرد، به نحوی که ذرات درشت در قسمت پایین قرار می‌گیرند و ذرات ریز نیز در سطح بالاتر پراکنده می‌شوند و به حالت تعلیق در می‌آیند. عملیات اصلی هیدروسایزرها با استفاده از فشارسنج موجود در بخش نوسان کنترل می‌شود.

در مواردی که بیش از ۴ تا ۵ درصد وزنی ابعاد مواد معدنی آن ریزتر از ۱۰۰ میکرون باشد و یا هنگامی که هدف، حذف تمام نرمه‌ها یا بخشی از مواد با ابعاد ریزتر از ۱۵۰ میکرون باشد، از هیدروسایزرهای نوع فلوتکس[1] استفاده می‌شود.

۵-٤-۳- نرمه‌زدایی در جداکننده‌های مغناطیسی

الف- نرمه‌زدایی از بار اولیه

نرمه علاوه بر کاهش امکان جدایش انتخابی، ظرفیت جداکننده را نیز کاهش می‌دهد، بنابراین باید آن را از محیط خارج و یا تاثیر آن را با روش‌هایی مانند انجام عملیات تفرق و تجمع ذرات خنثی کرد.

در روش‌های خشک نیز نرمه پوشی در سطوح ذرات و آگلومره شدن ذرات مغناطیسی و غیرمغناطیسی، بازدهی جداکننده و بازیابی فرآیند را کاهش می‌دهد. عملیات نرمه‌زدایی را می‌توان با سرندهای چشمه ریز و کلاسیفایرها انجام داد.

ب- نرمه‌زدایی با تفرق پالپ و کنترل pH

با این عمل، ضمن باز شدن گره‌های نرمه می‌توان پایداری ذرات را افزایش داد و جذب انتخابی ذرات مغناطیسی را با جداکننده‌ها میسر کرد. تفرق با استفاده از سانتریفوژهای خشک نیز در جدایش ذرات مغناطیسی رایج است. در این تجهیزات، نیروی حاصل از شدت میدان مغناطیسی چرخشی، باعث شکسته شدن گره‌ها می‌شود و بدین ترتیب می‌توان ذرات غیرمغناطیسی درگیر در توده‌ها (گره‌ها) را به کمک نیروی گریز از مرکز ناشی از چرخش استوانه، آزاد کرد. علاوه بر این، تفرق با کنترل pH محیط نیز امکان‌پذیر است.

پ- نرمه‌زدایی با غربال کردن مغناطیسی

وجود ناخالصی‌های فرومغناطیسی به ویژه در ابعاد بسیار ریز در بار اولیه هنگام جدایش کانی‌های پارامغناطیسی، مشکلات زیادی از جمله مسدود شدن مجرای ماتریس را به وجود می‌آورد. راه‌های حل حذف این ذرات در این روش به شرح زیر است:

- ایجاد ارتباط مناسب بین توزیع ابعادی بار اولیه و طراحی ماتریس به منظور کاهش تنش مکانیکی
- نرمه‌زدایی ذرات ریز فرومغناطیسی
- ایجاد ارتعاشات از طریق دمیدن شدید هوا و یا آب به درون ماتریس
- شستشوی صوتی

1- Density Flotex

omoorepeyman.ir

هیچ یک از موارد یاد شده به طور کامل و موثر باعث حذف ذرات فرومغناطیسی نمی‌شوند. ضمن اینکه عوارض جانبی هر یک از این روش‌ها نیز باید در نظر گرفته شود. به عنوان مثال با ده بار شستشوی مجدد ماتریس با جریان آب، بازدهی جذب آن برای ذرات پارامغناطیسی ۳۰ درصد کاهش می‌یابد. بعضی مواقع حتی با شستشوی آب و یا هوا نمی‌توان به حذف ذرات فرومغناطیسی کمک کرد.

در مقایسه با راه حل‌های یاد شده، غربال کردن مغناطیسی یعنی حذف ذرات نرمه فرومغناطیسی در بار اولیه به کمک ماتریس‌های پارامغناطیسی (ماتریس آلومینیمی و یا توری از جنس فولاد ضد زنگ) و یا استفاده از جداکننده‌هایی با شدت پایین، روش مناسبی برای افزایش کارآیی جداکننده‌های شدت بالا است.

ت- نرمه‌زدایی با فلوکولاسیون مغناطیسی و بی‌مغناطیس کردن ذرات

فلوکولاسیون مغناطیسی فرآیندی است که طی آن ذرات بسیار ریز پارامغناطیسی و فرومغناطیسی را می‌توان به کمک سیم‌پیچ‌های مغناطیس‌کننده به توده‌ای از ذرات تبدیل و سپس از محیط عمل خارج کرد.

با عملیات فلوکولاسیون و ته‌نشینی گره‌های مغناطیسی تخلخل چنین توده‌هایی افزایش می‌یابد. توده مغناطیسی تشکیل شده را می‌توان از سیم‌پیچ‌های بی‌مغناطیس‌کننده عبور داد. بی‌مغناطیس کردن ذرات نیز، معمولا با عبور پالپ از داخل لوله‌های قائمی که مجهز به سیم‌پیچ‌های مغناطیسی با جریان متناوب هستند، انجام می‌گیرد. از سیم‌پیچ‌های مغناطیس‌کننده قبل از عملیات زیر استفاده می‌شود:

- در تیکنرها به منظور دستیابی به سرریزی شفاف با افزایش سرعت ته‌نشینی ذرات پس از تجمع مغناطیسی آن‌ها
- در جداکننده‌های مغناطیسی به منظور جلوگیری از تلفات ذرات فرومغناطیسی برای ذرات ریزتر از ۱۰ میکرون
- در نرمه‌زدایی انتخابی به منظور افزایش سرعت ته‌نشینی ذرات مغناطیسی نسبت به ذرات نرمه گانگ

از سیم‌پیچ‌های بی‌مغناطیس‌کننده قبل از عملیات زیر استفاده می‌شود:

- در فرآیند طبقه‌بندی ذرات، توده‌های مغناطیسی به منظور طبقه‌بندی در مدار بسته با آسیا مشکلاتی را ایجاد می‌کنند که باید آن‌ها را از سیم‌پیچ‌های بی‌مغناطیس‌کننده عبور داد.
- در بین مراحل جدایش به روش مغناطیسی، برای جلوگیری از به دام افتادن ذرات غیرمغناطیسی در توده‌های مغناطیسی لازم است تا توده مغناطیسی با سیم‌پیچ و مغناطیس‌کننده باز شود تا ذرات گانگ از ذرات مغناطیسی جدا شوند که به این عمل بی‌فلوکولاسیون[1] گفته می‌شود.
- در فرآیند جدایش به روش واسطه سنگین، به منظور افزایش جرم مخصوص واسطه سنگین و کاهش گرانروی لازم است که ذرات گره شده از یکدیگر باز شوند.
- در عملیات فیلتراسیون، لازم است تا برای کاهش رطوبت کیک (علیرغم سرعت بالای فیلتراسیون)، گره‌ها و یا توده‌ها باز شوند.
- در پمپاژ پالپ به منظور سهولت جریان پالپ، لازم است تا گره‌های مغناطیسی باز شوند.

1- Deflocculation

omoorepeyman.ir

– در عملیات هم‌جوشی[۱] برای مخلوط کردن کنسانتره قبل از عملیات کلوخه‌سازی توده‌ها را باید باز کرد.

– در آسیا کردن به روش خشک نیز برای افزایش بازدهی آسیا بهتر است از فرآیند بی‌فلوکولاسیون استفاده شود.

۵-٤-٤- نرمه‌زدایی با تجمع و تفرق ذرات

شناورسازی بسیاری از کانی‌ها به دلیل نرمه‌پوشی در سطح کانی به صورت مطلوب امکان‌پذیر نیست، بنابراین برای افزایش کارآیی فرآیند فلوتاسیون، به وسیله مواد شیمیایی متفرق‌کننده، این ذرات را از سطح کانی جدا می‌کنند و در مرحله بعد با استفاده از لخته‌سازها عملیات تجمع ذرات ریز نرمه و شناورسازی آن‌ها انجام می‌گیرد.

الف- نرمه‌زدایی با فلوکولاسیون به کمک پلیمرها

پلی‌الکترولیت‌ها (پلی‌اکریل‌آمید) پلیمرهایی محلول در آب و با وزن مولکولی زیاد هستند که پیوندهایی بین ذرات به وجود می‌آورند و با باری مخالف بار سطحی ذرات، باعث تجمع آن‌ها می‌شوند. تشکیل این توده‌ها به میزان تماس بین ذرات و همچنین انرژی بین آن‌ها که برآیند دو نیروی دافعه و جاذبه است، بستگی دارد.

یکی دیگر از راه‌های تجمع ذرات، استفاده از فلوکولانت‌های مختلف است. فلوکولانت‌ها به دو نوع آنیونی و کاتیونی تقسیم می‌شوند.

– فلوکولانت‌های آنیونی برای غلیظ کردن پالپ، کنسانتره، باطله‌های زغال‌سنگ، مس، سرب، کنسانتره و باطله روی، یاقوت و نرمه‌های فسفات و گل قرمز استفاده می‌شوند.

– فلوکولانت‌های غیریونی برای غلیظ کردن پالپ، کنسانتره و به ویژه نرمه‌های آهن و باطله‌های فلوتاسیون طلا به کار می‌روند و این مواد در pHهای اسیدی به نسبت یک تا ۵۰ گرم در تن استفاده می‌شود.

ب- نرمه‌زدایی با کواگولاسیون

کواگولاسیون به معنی اضافه کردن الکترولیت‌های معدنی به سوسپانسیونی حاوی کلوییدهای باردار پایدار برای ناپایدار کردن شیمیایی آن‌ها و کاهش هم‌زمان پتانسیل سطحی ذرات و فشردگی دو لایه الکتریکی است. این امر باعث نزدیک شدن ذرات به یکدیگر و ایجاد لخته‌های بزرگتر می‌شود.

پ- نرمه‌زدایی با تجمع و تفرق انتخابی

یکی از متداول‌ترین روش‌های فرآوری ذرات ریز و بسیار ریز، فلوکولاسیون انتخابی به کمک پلیمرها است. این روش محدودیت‌های خاصی هم در صنعت دارد که از جمله آن‌ها می‌توان به مشکل بودن خنثی‌سازی بار توده‌ای، کواگولاسیون غیرانتخابی چند کانی با یکدیگر (هتروکواگولاسیون)، فعال‌سازی سطح ذرات با یون‌های موجود در محیط و به دام افتادن ذرات و یا هتروفلوکولاسیون اشاره کرد.

میزان تجمع و تفرق انتخابی کانی‌ها به آزاد شدن تک تک ذرات در محیط سیال بستگی دارد که یکی از مهم‌ترین روش‌های جدایش این توده‌ها از محیط سوسپانسیون، فرآیند فلوتاسیون است. از واکنش‌های غیرانتخابی فلوکولان در محیط فلوتاسیون باید جلوگیری شود.

۱- Sintering

omoorepeyman.ir

مواد شیمیایی که درجه انتخابی ذرات را افزایش می‌دهند، عموما به سه دسته پلیمرها، متفرق‌کننده‌ها و فعال‌کننده‌ها تقسیم می‌شوند. جذب پلیمرها نسبت به سطح‌سازها و مواد شیمیایی غیرآلی چندان انتخابی نیست و دلیل این تا حدودی مربوط به ماهیت پیوند هیدروژنی بین پلیمر و سطح ذره است. با کنترل شیمیایی محیط سیال و همچنین کنترل پتانسیل سطحی و انتخاب گروه فعال و عمل‌کننده پلیمر می‌توان شرایط جذب انتخابی پلیمر در سطح ذرات را فراهم کرد.

در جدول ۵-۱ نحوه فلوکولاسیون انتخابی کانی‌ها و جدایش آن‌ها از یکدیگر ارایه شده است. در این جدول، نوع فلوکولانت مناسب برای انجام عملیات فلوکولاسیون، مواد شیمیایی مورد نیاز برای کنترل pH محیط و نیز درصد جامد مطلوب پالپ ارایه شده است. روش مطلوب برای جدایش توده‌های تشکیل شده و بازیابی کانی با ارزش از باطله همراه نیز در ستون آخر این جدول آورده شده است.

جدول ۵-۱- فلوکولاسیون انتخابی کانی‌ها و نحوه بازیابی آن‌ها از محیط سیال پایدار

فلوکولاسیون انتخابی کانی الف از کانی ب		نوع فلوکولانت	مواد شیمیایی کمکی	درصد جامد	روش جدایش توده‌های تشکیل شده از محیط سیال پایدار
الف	ب				
پیریت	کوارتز	پلی‌اکریل آمید یا پلی‌اکریل لوفیریل	-	۴	فلوتاسیون (غیرمستقیم)
اسفالریت	کوارتز	پلی‌اکریل آمید یا پلی‌اکریل لوفیریل	-	۴	فلوتاسیون
اسمیت زونیت	کوارتز	پلی‌اکریل آمید یا پلی‌اکریل لوفیریل	-	۴	فلوتاسیون
گالن	کوارتز	پلی‌اکریل آمید هیدرولیز شده	-	۲-۱۰	روش‌های معمول فرآوری
گالن	کلسیت	پلی‌اکریل آمید هیدرولیز شده ضعیف	سولفید سدیم و پلی اکریلات سدیم	۵	روش‌های معمول فرآوری
کلسیت	کوارتز	پلی‌اکریل آمید هیدرولیز شده	-	۱-۵	روش‌های معمول فرآوری
کلسیت	روتیل	پلی‌اکریل آمید هیدرولیز شده قوی	پیروفسفات تتراسدیم	۲	روش‌های معمول فرآوری
آلومینا	کوارتز	پلی‌اکریل آمید هیدرولیز شده قوی	پیروفسفات تتراسدیم	۲	روش‌های معمول فرآوری
اکسید و کربنات منیزیم	گانگ	پلی‌اکریل آمید	سولفات آلومینیم	-	فلوتاسیون
تالک - لیمونیت	پیریت (ریزتر از ۱۰ میکرون)	پلی‌اتیلن اکسید	کف ساز	-	فلوتاسیون
گانگ	کرومیت	کربوکسی متیل سلولز(CMC)	سود و سیلیکات سدیم	۱۸	فلوتاسیون
زغال‌سنگ	شیل	پلی‌اکریل آمید	پیروفسفات تتراسدیم + نمک‌های کلسیم	-	روش‌های معمول فرآوری
باریت	فلورین- کوارتز	نشاسته ذرت- نشاسته	سیلیکات سدیم	۰/۳	روش‌های معمول فرآوری
فلورین	کوارتز	آلجینات آمونیم	-	۰/۳	روش‌های معمول فرآوری
کریزوکل	کوارتز	گزانتات سلولز	سود+ سولفید سدیم + کلرور سدیم	-	روش‌های معمول فرآوری
اکسید و مس سولفیدهای دولومیت- کوارتز	پلی‌اکریل آمید کسیت	پلی‌اکریلات سدیم	هگزافسفات سدیم	۳/۶	روش‌های معمول فرآوری
کریزوکل	کوارتز	پلی‌اکریل آمید آنیونی و کاتیونی	هگزافسفات سدیم و کلرور سدیم	۲-۷	روش‌های معمول فرآوری

omoorepeyman.ir

ت- نرمه‌زدایی با فعال‌کننده‌ها و متفرق‌کننده‌ها

تجمع و یا تفرق انتخابی مواد به دلیل وجود یون‌های محلول در محیط، بسیار مشکل است. مشابه شرایط حاکم بر فلوتاسیون، برای کنترل شیمی محیط و غلبه بر آنیون‌ها و کاتیون‌های مزاحم باید از مواد شیمیایی تنظیم‌کننده استفاده کرد.

از این مواد باید زمانی استفاده کرد که مقدار ذرات نرمه در محیط زیاد باشد، زیرا این ذرات با پوشش سطحی در سطح ذرات دیگر باعث کاهش تجمع ذرات (فلوکولاسیون و یا کواگولاسیون انتخابی) می‌شوند. همه مواد شیمیایی مورد استفاده در فرآیند فلوکولاسیون انتخابی نباید تاثیر منفی در مرحله فلوتاسیون داشته باشند.

برای نمونه چند مورد به شرح زیر ارایه شده است:

- فلوکولاسیون انتخابی کانی‌های آهن

طی عملیات کانه‌آرایی کانسنگ‌هایی که کانی‌های متفاوت دارند، تولید نرمه، جدایش این کانی‌ها را بسیار مشکل می‌سازد. با فلوکولاسیون انتخابی می‌توان ذرات مورد نظر را فلوکوله و سپس با روش فلوتاسیون آن‌ها را بازیابی کرد.

- فلوکولاسیون انتخابی فسفات

در بیشتر موارد بازیابی ذرات فسفات همراه باطله با فلوتاسیون مشکل است و یکی از روش‌های بازیابی آن‌ها، فلوکولاسیون انتخابی ذرات فسفات پس از تفرق گانگ رس به کمک نشاسته آنیونی در pH حدود ۹ است. در این موارد از هیدرواکسید سدیم و سیلیکات سدیم به عنوان متفرق‌کننده استفاده می‌شود.

- فلوکولاسیون انتخابی کائولینیت از کوارتز

کائولین دو بار سطحی متفاوت دارد. بار سطح ذرات منفی بوده و بار لبه‌های آن مثبت است، بنابراین به طور طبیعی لخته می‌شود (هموکواگولاسیون). با توجه به تفاوت نقطه بار صفر[1] کوارتز و کائولینیت و به دلیل تشابه خواص سطحی آن‌ها نسبت به عملکرد پلیمر، جدایش این کانی‌ها از یکدیگر به سادگی انجام نمی‌گیرد.

ث- نرمه‌زدایی با آگلومراسیون ذرات به کمک روغن[2]

در این روش ابتدا به کمک سدیم سیلیکات، سدیم کربنات و یا پلی‌اکریلات، نرمه‌ها را متفرق می‌کنند و در مرحله بعد، نرمه‌ها به صورت انتخابی با کلکتور آبران می‌شوند. پس از آن به کمک مایع دیگری که حاوی قطرک‌های روغن است، ذرات آبران طی عمل پیوند پلیمری (پیوند موبینه بین ذرات آبران) قطرک‌های متشکل از نرمه و روغن را تشکیل می‌دهند. از این روش در فرآوری گرافیت، جدایش اسفالریت از گالن، زغال‌سنگ، آهن، قلع و بسیاری از کانی‌های دیگر استفاده می‌شود.

ج- نرمه‌زدایی از طریق فلوتاسیون با کانی حامل (آلترافلوتاسیون)

فرآیند آلترافلوتاسیون بر اساس تمایل ذرات به چسبیدن به یکدیگر استوار است. ذرات بسیار ریز تمایل زیادی به چسبیدن به یکدیگر ندارند ولی تمایل بیشتری به چسبندگی ذرات درشت‌تر دارند. به منظور رفع این مشکل، معمولا از یک کانی به عنوان کانی حامل مانند کلسیت استفاده می‌شود که به وسیله آن می‌توان نرمه‌ها را در محیط سیال جمع‌آوری کرد. در این عمل، ذرات نرمه پس از چسبیدن به سطح کانی حامل در شرایط مناسبی به روش فلوتاسیون شناور می‌شوند. یکی از محدودیت‌های این فرآیند، مصرف قابل توجه انرژی در طی مرحله آماده‌سازی است.

1- Zero point of charge
2- Spherical oil agglomeration

omoorepeyman.ir

چ- نرمه‌زدایی از بار اولیه واحدهای جدایش ثقلی

دانه‌بندی محدود و آماده‌سازی مناسب بار اولیه از جمله پارامترهای مهمی است که در کارآیی جدایش با روش‌های ثقلی موثر است. حذف ذرات تقریبا کلوییدی در بار اولیه در کارآیی و ظرفیت دستگاه تاثیر دارد. نحوه آماده‌سازی بار اولیه برای هر یک از دستگاه‌های ثقلی متفاوت است و در مورد برخی از آن‌ها انجام عملیات زیر توصیه می‌شود:

– در مورد جداکننده‌های واسطه سنگین، سرند کردن بار اولیه و شستشوی آن برای حذف نرمه و آبگیری آن به منظور حذف رطوبت آزاد

– در جیگ‌ها، سرند کردن بار اولیه به روش تر برای حذف نرمه، انتقال و هدایت پیوسته آب تازه به مخزن زیر جیگ برای کنترل فرآیند

– در میزهای لرزان، طبقه‌بندی هیدرولیکی بار اولیه برای دستیابی به چگالی بهینه پالپ (۲۰ تا ۲۵ درصد) و افزایش آب شستشو به طور پیوسته و کنترل شده

در جدایش به وسیله میزهای لرزان حذف ذرات بسیار ریز نیز به دلیل تغییر گرانروی پالپ ضروری است، زیرا در صورت افزایش گرانروی پالپ، حرکت انتقالی ذرات کند می‌شود.

– در انجام عملیات با مخروط ریچارد و مارپیچ همفری توصیه می‌شود که عملیات نرمه‌زدایی از بار اولیه به خوبی انجام گیرد و ذرات درشت‌تر از حد لازم نیز در بار اولیه حذف شوند.

– در میز نرمه بارتلی– موزلی و جداکننده‌های نواری توصیه می‌شود که بار اولیه نرمه‌زدایی شده و ذرات درشت در بار اولیه حذف شوند و شدت جریان حجمی پالپ و جرم مخصوص آن نیز ثابت باشد.

بر اساس ویژگی‌های پالپ و نوع فرآیند می‌توان از عملیاتی مانند سرند کردن، طبقه‌بندی با استفاده از سیکلوسایزرها و هیدروسایزرها برای نرمه‌زدایی از پالپ و یا مواد خشک استفاده کرد. روش‌های نرمه‌زدایی در فرآیندهای مختلف را می‌توان به صورت جدول ۵–۲ ارایه کرد.

جدول ۵–۲– روش‌های نرمه‌زدایی در فرآیندهای مختلف کانه‌آرایی

روش	نحوه انجام روش شناسایی نرمه
مکانیکی	سرند کردن
	میز نرمه
	کلاسیفایر
فیزیکی	سیکلون
	هیدروسایزر
	سیکلوسایزر
	فیلتراسیون
	جدایش ثقلی
شیمیایی	آبگیری حرارتی
	پالپ با افزودن مواد شیمیایی pH کنترل
	الکتروسینتیک

omoorepeyman.ir

ادامه جدول ۵-۲- روش‌های نرمه‌زدایی در فرآیندهای مختلف کانه‌آرایی

روش	نحوه انجام روش شناسایی نرمه
شیمی- فیزیکی	فلوتاسیون حامل، انتخابی، روغن و نظایر آن
	فلوکولاسیون و کواگولاسیون (آگلومراسیون)

omoorepeyman.ir

omoorepeyman.ir

خواننده گرامی

امور نظام فنی اجرایی، مشاورین و پیمانکاران سازمان برنامه و بودجه کشور، با گذشت بیش از چهل سال فعالیت تحقیقاتی و مطالعاتی خود، افزون بـر ششصـد عنـوان ضـابطه تخصصـی- فنـی، در قالـب آیـین‌نامـه، معیـار، دستورالعمل، مشخصات فنی عمومی، نشریه و مقاله، به صورت تالیف و ترجمه، تهیه و ابلاغ کرده است. ضابطه حاضر در راستای موارد یاد شده تهیـه شـده، تـا در راه نیـل بـه توسـعه و گسـترش علـوم در کشـور و بهبـود فعالیت‌های عمرانی به کار برده شود. فهرست ضوابط منتشر شده در پایگاه اطلاع‌رسانی**nezamfanni.ir** قابل دستیابی می‌باشد.

امور نظام فنی و اجرایی

omoorepeyman.ir

omoorepeyman.ir

عناوین پروژه‌های اکتشاف برنامه تهیه ضوابط و معیارهای معدن

ردیف	عنوان پروژه	شماره نشریه در سازمان برنامه و بودجه کشور	شماره نشریه در سازمان نظام مهندسی معدن ایران
۱	تعاریف و مفاهیم در فعالیت‌های اکتشافی	۳۲۸	-
۲	فهرست خدمات مراحل مختلف اکتشاف زغال‌سنگ	۳۵۱	-
۳	دستورالعمل رده‌بندی ذخایر معدنی	۳۷۹	-
۴	راهنمای ملاحظات زیست‌محیطی در فعالیت‌های اکتشافی	٤۹۸	۱۳
۵	دستورالعمل تهیه نقشه‌های زمین‌شناسی- اکتشافی بزرگ مقیاس رقومی (۱:۲۵۰۰۰)	۵۳۲	۲۰
۶	فهرست خدمات مراحل چهارگانه اکتشاف سنگ آهن	۵۳٦	۱۷
۷	علایم استاندارد نقشه‌های زمین‌شناسی	۵۳۹	۲۳
۸	دستورالعمل اکتشاف ژئوشیمیایی بزرگ‌مقیاس رسوبات آبراهه‌ای (۱:۲۵۰۰۰)	۵٤۰	۲٤
۹	فهرست خدمات مراحل چهارگانه اکتشاف مس	۵٤۱	۲۵
۱۰	فهرست خدمات اکتشافی سنگ‌ها و کانی‌های صنعتی (باریت، بنتونیت، زئولیت، سلستین، سیلیس، فلدسپار، فلوئورین)	۵٦٦	۳٦
۱۱	واژه‌ها و اصطلاحات پایه اکتشاف، استخراج و فرآوری مواد معدنی	۵٦۷	۳۷
۱۲	فهرست خدمات مراحل چهارگانه اکتشاف مس سرب و روی	۵۸۱	٤۰
۱۳	راهنمای مطالعات ژئوفیزیکی اکتشافی به روش‌های مغناطیس‌سنجی، گرانی‌سنجی و لرزه‌نگاری در اکتشافات معدنی	۵۹٤	۲۸
۱۴	فهرست خدمات مراحل چهارگانه اکتشاف آنتیموان	۵۹۵	۳٤
۱۵	فهرست خدمات مراحل مختلف اکتشاف سنگ‌ها و کانی‌های قیمتی و نیمه‌قیمتی	۵۹۹	٤۳
۱۶	فهرست خدمات و راهنمای مطالعات دورسنجی در اکتشاف مواد معدنی	٦۱۵	٤۵
۱۷	فهرست خدمات و دستورالعمل مراحل مختلف اکتشاف مواد اولیه سیمان	٦۱۷	٤۷
۱۸	فهرست خدمات و دستورالعمل بررسی‌های چاه‌پیمایی	٦۱۸	٤۸
۱۹	فهرست خدمات مراحل مختلف اکتشاف عناصر نادر خاکی	٦٤۸	۵۱
۲۰	فهرست خدمات مراحل مختلف اکتشاف قلع	٦٤۹	۵۲
۲۱	دستورالعمل آماده‌سازی و اندازه‌گیری عناصر در سنگ آهن	٦۵۲	۵٤
۲۲	دستورالعمل آماده‌سازی، تهیه نمونه و مطالعات میکروسکوپی و سیالات درگیر برای نمونه‌های اکتشافی	٦۵۵	۵۵
۲۳	دستورالعمل اکتشافات ژئوشیمیایی محیط‌های سنگی در مقیاس ۱:۲۵،۰۰۰	٦۷۱	٦۲
۲۴	دستورالعمل یکسان‌سازی اسامی مواد معدنی	۲۳۱	٦۵
۲۵	راهنمای مطالعات ژئوفیزیکی به روش‌های مقاومت ویژه، پلاریزاسیون القایی، الکترومغناطیسی و پتانسیل خودزا در اکتشاف مواد معدنی	۵۳۳	٦٦
۲۶	دستورالعمل تهیه گزارش پایان عملیات اکتشافی	٤۹۵	۷۰
۲۷	فهرست خدمات مراحل مختلف اکتشاف طلا	۷۰۳	۷۵
۲۸	دستورالعمل آماده‌سازی و اندازه‌گیری غلظت فلزات گرانبها (طلا، نقره و گروه پلاتین)	۷۰٤	۷۸
۲۹	دستورالعمل تهیه طرح اکتشاف مواد معدنی	۷۱۳	۸۰
۳۰	فهرست خدمات مراحل مختلف اکتشاف گچ و نمک	۷۲۱	۸۱
۳۱	دستورالعمل آماده‌سازی و اندازه‌گیری غلظت فلزات پایه (مس، روی و سرب)	۷۲۷	۸۲
۳۲	فهرست خدمات اکتشاف سنگ‌ها و کانی‌های صنعتی (پرلیت، دیاتومیت و ورمیکولیت)	۷۲۸	۸۳
۳۳	دستورالعمل اکتشافات ژئوشیمیایی خاک در مقیاس ۱:۲۵۰۰۰	۷۳۰	۸۵

omoorepeyman.ir

عناوین پروژه‌های اکتشاف برنامه تهیه ضوابط و معیارهای معدن

ردیف	عنوان پروژه	شماره نشریه در سازمان برنامه و بودجه کشور	شماره نشریه در سازمان نظام مهندسی معدن ایران
۳۴	راهنمای مطالعات GIS در مقیاس ناحیه‌ای و تعیین نواحی امیدبخش	۷۳۹	۸۷
۳۵	دستورالعمل اکتشاف ناحیه‌ای طلا به روش بلگ	در دست تدوین	
۳۶	فهرست خدمات مراحل مختلف اکتشاف در شورابه‌ها	در دست تدوین	
۳۷	فهرست خدمات و دستورالعمل اکتشاف سنگ‌ها و کانی‌های صنعتی (نسوزها): خاک نسوز، منیزیت– هونتیت، بوکسیت، نسوزهای آلومینو سیلیکاته (کیانیت، سیلیمانیت و آندالوزیت)، گرافیت و دولومیت	در دست تدوین	
۳۸	دستورالعمل بررسی‌های ژئوشیمیایی به روش اکتشافات بیوژئوشیمیایی و ژئوبوتانی	در دست تدوین	

omoorepeyman.ir

عناوین پروژه‌های کمیته استخراج برنامه تهیه ضوابط و معیارهای معدن

ردیف	عنوان پروژه	شماره نشریه در سازمان برنامه و بودجه کشور	شماره نشریه در سازمان نظام مهندسی معدن ایران
۱	تعاریف و مفاهیم در فعالیت‌های استخراجی	۳۴۰	-
۲	مقررات تهویه در معادن	۳۵۰	-
۳	مقررات فنی آتشباری در معادن	۴۱۰	-
۴	دستورالعمل تهیه نقشه‌های استخراجی معدن	۴۴۲	۸
۵	راهنمای ارزشیابی دارایی‌های معدنی	۴۴۳	۹
۶	دستورالعمل فنی روشنایی در معادن	۴۸۹	۱۰
۷	دستورالعمل امداد و نجات در معادن	۴۸۸	۱۸
۸	راهنمای تهیه گزارش‌های طراحی معدن	۴۹۶	۱۱
۹	دستورالعمل ترابری در معادن	۵۰۶	۱۴
۱۰	دستورالعمل توزیع هوای فشرده در معادن	۵۳۱	۱۹
۱۱	دستورالعمل طراحی و اجرای سیستم نگهداری تونل‌های معدنی	۵۳۷	۲۱
۱۲	دستورالعمل تحلیل پایداری و پایدارسازی شیب‌ها در معادن روباز	۵۳۸	۲۲
۱۳	راهنمای محاسبه قیمت تمام شده در فعالیت‌های معدنی	۵۴۲	۲۶
۱۴	دستورالعمل نگهداری و کنترل سقف در کارگاه‌های استخراج	۵۵۳	۲۹
۱۵	واژه‌ها و اصطلاحات پایه اکتشاف، استخراج و فرآوری مواد معدنی	۵۶۷	۳۷
۱۶	راهنمای آبکشی در معادن	۵۷۳	۳۸
۱۷	دستورالعمل طراحی هندسی بازکننده‌ها و حفریات زیرزمینی	۵۷۹	۴۱
۱۸	راهنمای ملاحظات زیست‌محیطی در فعالیت‌های استخراجی	۶۱۱	۴۴
۱۹	راهنمای ارزیابی و کنترل پیامدهای ناشی از انفجار در معادن	۶۱۶	۴۶
۲۰	راهنمای انتخاب روش استخراج ذخایر معدنی	۶۲۳	۴۹
۲۱	دستورالعمل تعیین مرز تغییر روش استخراج از روباز به زیرزمینی	۶۲۵	۵۰
۲۲	دستورالعمل کاربرد روش‌های عددی در طراحی ژئومکانیکی معادن	۶۵۶	۵۶
۲۳	راهنمای ارزیابی ایمنی، بهداشت و محیط زیست (HSE) در معادن	۶۶۹	۶۰
۲۴	راهنمای امکان‌سنجی پروژه‌های معدنی	۵۵۸	۶۴
۲۵	دستورالعمل پر کردن کارگاه‌های استخراج معادن زیرزمینی	۲۸۳	۶۹
۲۶	راهنمای محاسبه بار و توزیع برق در معادن	۳۰۴	۷۱
۲۷	دستورالعمل گاززدایی در معادن زغال‌سنگ	۷۰۹	۷۶
۲۸	دستورالعمل ابزاربندی و رفتارنگاری در معادن روباز	۷۲۵	۸۴
۲۹	دستورالعمل بازرسی و تعمیر سیستم‌های نگهداری در حفریات معدنی	۷۲۶	۸۶
۳۰	دستورالعمل کنترل رقیق‌شدگی در معادن	در دست تدوین	
۳۱	راهنمای تخمین و کنترل نشست در معادن	در دست تدوین	
۳۲	علایم استاندارد نقشه‌های استخراجی معدن	در دست تدوین	
۳۳	راهنمای متره و برآورد در فعالیت‌های استخراج معدنی	در دست تدوین	
۳۴	راهنمای مکان‌یابی و جانمایی تاسیسات و تجهیزات در معادن روباز	در دست تدوین	
۳۵	راهنمای طراحی و احداث شبکه‌های زیرزمینی معادن	در دست تدوین	

omoorepeyman.ir

عناوین پروژه‌های فرآوری برنامه تهیه ضوابط و معیارهای معدن

ردیف	عنوان پروژه	شماره نشریه در سازمان برنامه و بودجه کشور	شماره نشریه در سازمان نظام مهندسی معدن ایران
۱	راهنمای اکتشاف، استخراج و فرآوری سنگ‌های تزیینی و نما	۳۷۸	-
۲	تعاریف و مفاهیم در فعالیت‌های کانه‌آرایی	٤٤١	۷
۳	فهرست خدمات طراحی پایه واحدهای کانه‌آرایی و فرآوری مواد معدنی	٤۹۷	۱۲
۴	علایم استاندارد نقشه‌های کانه‌آرایی	۵۰۸	۱۵
۵	راهنمای نرم‌افزاری علایم استاندارد نقشه‌های کانه‌آرایی مواد معدنی	۵۰۸	۲۷
۶	دستورالعمل مکان‌یابی واحدهای کانه‌آرایی و فرآوری	۵۱۵	۱٦
۷	ضوابط انجام آزمایش‌های کانه‌آرایی در مقیاس آزمایشگاهی، پایه و پیشاهنگ	۵٤٤	۳۱
۸	راهنمای محاسبه تعیین ظرفیت ماشین‌آلات و تجهیزات واحدهای کانه‌آرایی	۵٤۵	۳۲
۹	راهنمای انباشت مواد باطله در واحدهای کانه‌آرایی و فرآوری	۵۵۹	۳۳
۱۰	راهنمای سنگ‌جوری مواد معدنی به روش‌های دستی یا خودکار	۵۵٤	۳۰
۱۱	راهنمای حمل و نقل مواد معدنی در مدارهای کانه‌آرایی	۵٦٤	۳۹
۱۲	شناسایی مواد معدنی و آزادسازی آن‌ها در کانه‌آرایی	۵٦۵	۳۵
۱۳	واژه‌ها و اصطلاحات پایه اکتشاف، استخراج و فرآوری مواد معدنی	۵٦۷	۳۷
۱۴	ضوابط و معیارهای انتخاب آسیای خودشکن و نیمه‌خودشکن	۵۸۰	٤۲
۱۵	دستورالعمل کنترل و خنثی‌سازی آرسنیک، سولفید و سیانید در آزمایشگاه‌های فرآوری	٦۵۱	۵۳
۱۶	دستورالعمل نمونه‌برداری در کانه‌آرایی	٦٦۰	۵۷
۱۷	راهنمای تعیین شاخص خردایش در آسیاهای مختلف	٦٦۱	۵۸
۱۸	راهنمای آزمایش‌های جدایش ثقلی در مقیاس آزمایشگاهی	٦٦۲	۵۹
۱۹	راهنمای انتخاب مدار خردایش مواد معدنی	٦۷۰	٦۱
۲۰	راهنمای افزایش مقیاس در واحدهای کانه‌آرایی	٦۷۲	٦۳
۲۱	راهنمای آزمایش‌های خشک‌کردن، تشویه و تکلیس در مقیاس آزمایشگاهی	۳۷۲	٦۷
۲۲	راهنمای پذیرش و نگهداری نمونه‌های معدنی در آزمایشگاه کانه‌آرایی	٦۸۰	٦۸
۲۳	راهنمای پوشش و تجهیزات حفاظتی کارکنان در واحدهای کانه‌آرایی	۵۱٤	۷۲
۲۴	راهنمای مخلوط‌سازی بار ورودی در کارخانه‌های فرآوری مواد معدنی	۵۷۲	۷۳
۲۵	فهرست کنترل کیفی بار ورودی، مواد در گردش و محصولات واحدهای کانه‌آرایی	۷۰۸	۷۷
۲۶	دستورالعمل دانه‌بندی مواد معدنی	۷۱۰	۷۹
۲۷	راهنمای نرمه‌زدایی در واحدهای کانه‌آرایی	۷۳۸	۸۸
۲۸	فهرست خدمات مهندسی تفصیلی واحدهای کانه‌آرایی	در دست تدوین	
۲۹	راهنمای محاسبات در آزمایش‌های کانه‌آرایی	در دست تدوین	
۳۰	راهنمای آماده‌سازی نمونه در آزمایشگاه کانه‌آرایی	در دست تدوین	
۳۱	راهنمای فنی کنترل و پایش تجهیزات فرآوری	در دست تدوین	
۳۲	راهنمای آزمایش‌های هیدرومتالورژی در مقیاس آزمایشگاهی	در دست تدوین	

omoorepeyman.ir

Islamic Republic of Iran
Budget and Planning Organization

Guideline for Desliming in Mineral Processing Plants

No. 738

Office of Deputy for Technical and Infrastructure Development Affairs

Department of Technical and Executive Affairs

nezamfanni.ir

Ministry of Industry, Mine and Trade
Deputy of Mine Affairs and Mineral Industries
Office for Mining Supervision and Exploitation

http://mimt.gov.ir

2019

omoorepeyman.ir

این نشریه

به شناسایی، خواص‌سنجی و بررسی نقش نامطلوب نرمـه در فرآیندها و چگونگی کنترل نرمه و نرمه‌زدایی می‌پردازد.

omoorepeyman.ir