جمهوری اسلامی ایران

سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور

راهنمای انتخاب مدار خردایش مواد معدنی

ضابطه شماره ۶۷۰

سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور

امور نظام فنی و اجرایی

nezamfanni.ir

وزارت صنعت، معدن و تجارت

معاونت امور معادن و صنایع معدنی

دفتر نظارت و بهره‌برداری

www.mimt.gov.ir

۱۳۹٤

omoorepeyman.ir

omoorepeyman.ir

باسمه تعالی

ریاست جمهوری
سازمان مدیریت و برنامه ریزی کشور
رییس سازمان

بخشنامه به دستگاه‌های اجرایی، مهندسان مشاور و پیمانکاران	**شماره:**	**۹۴/۳۰۴۸۰۱**
	تاریخ:	**۱۳۹۴/۱۰/۱۵**

موضوع: راهنمای انتخاب مدار خردایش مواد معدنی

به استناد ماده (۲۳) قانون برنامه و بودجه و مواد (۶) و (۷) آیین‌نامه استانداردهای اجرایی طرح‌های عمرانی- مصوب سال ۱۳۵۲ و در چارچوب نظام فنی و اجرایی کشور (موضوع تصویب‌نامه شماره ۴۲۳۳۹/ت۳۳۴۹۷هـ مورخ ۱۳۸۵/۴/۲۰ هیأت محترم وزیران)، به پیوست ضابطه شماره ۶۷۰ امور نظام فنی و اجرایی، با عنوان «راهنمای انتخاب مدار خردایش مواد معدنی» از نوع گروه سوم ابلاغ می‌شود.

رعایت مفاد این ضابطه در صورت نداشتن ضوابط بهتر، از تاریخ ۱۳۹۵/۰۴/۰۱ الزامی است.

امور نظام فنی و اجرایی 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 و اجرایی سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی 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- ***شماره بند و صفحه موضوع مورد نظر را مشخص کنید.***

۲- ***ایراد مورد نظر را به صورت خلاصه بیان دارید.***

۳- ***در صورت امکان متن اصلاح شده را برای جایگزینی ارسال نمایید.***

۴- ***نشانی خود را برای تماس احتمالی ذکر فرمایید.***

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 مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، امور نظام فنی و اجرایی، مرکز تلفن ۳۳۲۷۱

Email:info@nezamfanni.ir **nezamfanni.ir**

omoorepeyman.ir

omoorepeyman.ir

باسمه تعالی

پیشگفتار

نظام فنی و اجرایی کشور (مصوبه شماره۴۲۳۳۹/ ت ۳۳۴۹۷ هـ مـورخ ۱۳۸۵/۴/۲۰ هیـات وزیـران) بـه کـارگیری معیارهـا، استانداردها و ضوابط فنی در مراحل تهیه و اجرای طرح و نیز توجه لازم به هزینه‌های نگهداری و بهره‌بـرداری در قیمـت تمـام شده طرح‌ها را مورد تاکید جدی قرار داده است و این امور به استناد ماده ۲۳ قانون برنامه و بودجه و نظام فنی و اجرایـی کشـور وظیفه تهیه و تدوین ضوابط و معیارهای فنی طرحهای توسعه‌ای کشور را به عهده دارد.

خردایش فرآیندی است که طی آن مواد معدنی در مراحل مختلفی از جمله سنگ‌شکنی و آسیا به محصولی با ابعاد مورد نظـر تبدیل می‌شوند تا نه تنها حمل و نقل آن به مراحل بعدی ساده‌تر شود، بلکه دسـتیابی بـه درجـه آزادی کـه مهـم‌تـرین اهـداف خردایش است را نیز تامین کند. این فرآیند یکی از مراحل پرهزینه موجود در کارخانه‌های فرآوری است، به نحـوی کـه بـیش از ۵۰ درصد هزینه‌های سرمایه‌گذاری و عملیاتی را به خود اختصاص می‌دهد. بنابراین طراحی، انتخاب مدار مناسب، بهینه‌سـازی و کنترل از پارامترهای مربوط به مدار خردایش است که با در نظر گرفتن آن‌ها می‌توان نه تنهـا بـازدهی مکـانیکی را افـزایش داد بلکه محصول مطلوب‌تری را برای مراحل پرعیارسازی آماده کرد.

بر این اساس ضابطه "**راهنمای انتخاب مدار خردایش مواد معدنی**" با هدف ارایه شـیوه یکسـان بـرای طراحـی و انتخاب مدار های خردایش و بر اساس برنامه تهیه ضوابط و معیارهای معدن تهیه شده است.

با همه‌ی تلاش انجام شده قطعا هنوز کاستی‌هایی در متن موجود است که إن‌شاءا... کاربرد عملی و در سـطح وسـیع ایـن ضابطه توسط مهندسان موجبات شناسایی و برطرف نمودن آن‌ها را فراهم خواهد نمود. در پایان، از تلاش و جدیت جناب آقـای مهندس غلامحسین حمزه مصطفوی و کارشناسان امور نظام فنی و اجرایی همچنین جناب آقای دکتر جعفـر سـرقینی مجـری محترم طرح تهیه ضوابط و معیارهای فنی بخش معدن کشور در وزارت صنایع و معادن، کارشناسان دفتر نظارت و بهره‌بـرداری معادن و متخصصان همکار در امر تهیه و نهایی نمودن این نشریه، تشکر و قدردانی می‌نماید. امید است شاهد توفیق روزافـزون همه‌ی این بزرگواران در خدمت به مردم شریف ایران اسلامی باشیم.

غلامرضا شافعی

معاون فنی و توسعه امور زیربنایی

دی ۱۳۹٤

omoorepeyman.ir

مجری طرح

آقای جعفر سرقینی	معاون امور معادن و صنایع معدنی – وزارت صنایع و معادن

اعضای شورای عالی به ترتیب حروف الفبا

فرزانه آقا رمضانعلی	سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور	کارشناس ارشد مهندسی صنایع
سیف ا... امیری	وزارت صنعت، معدن و تجارت	کارشناس ارشد مهندسی صنایع
بهروز برنا	سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور	کارشناس مهندسی معدن
محمد پریزادی	سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور	کارشناس ارشد مهندسی معدن
عبدالعلی حقیقی	سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور	کارشناس ارشد زمین‌شناسی
جعفر سرقینی	وزارت صنعت، معدن و تجارت	دکتری مهندسی فرآوری مواد معدنی
علیرضا غیاثوند	وزارت صنعت، معدن و تجارت	کارشناس ارشد زمین‌شناسی اقتصادی
حسن مدنی	دانشگاه صنعتی امیرکبیر	کارشناس ارشد مهندسی معدن

اعضای کارگروه فرآوری به ترتیب حروف الفبا

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

اعضای کارگروه تنظیم و تدوین به ترتیب حروف الفبا

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

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

omoorepeyman.ir

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فصل اول- کلیات

۱-۱- تعاریف و مفاهیم ۳
۱-۲- اهداف خردایش ۳
۱-۲-۱- اهداف خردایش در آزمایشگاه ۳
۱-۲-۲- اهداف خردایش در صنعت ۴
۱-۳- تقسیم‌بندی تجهیزات خردایش ۶
۱-۳-۱- بر اساس ابعاد بار ورودی و محصول ۶
۱-۳-۲- بر اساس مکانیزم‌های شکست و خردایش ۷
۱-۳-۳- بر اساس محیط خردایش ۷
۱-۳-۴- بر اساس کاربرد تجهیزات در مدار ۸

فصل دوم- تجهیزات خردایش

۲-۱- تجهیزات خردایش در مقیاس صنعتی ۱۱
۲-۱-۱- سنگ‌شکن‌های اولیه ۱۱
۲-۱-۲- سنگ‌شکن‌های مراحل دوم و سوم ۱۵
۲-۱-۳- آسیاها ۱۸
۲-۲- تجهیزات جانبی خردایش در مقیاس صنعتی ۲۳
۲-۲-۱- چکش مکانیکی ۲۳
۲-۳-۲- ذخیره‌سازی ۲۳
۲-۲-۳- نقاله‌ها و تغذیه‌کننده ۲۴
۲-۲-۴- شناساگر آهن و آهنرباهای مغناطیسی ۲۴
۲-۲-۵- ابزار دقیق ۲۴
۲-۳- تجهیزات خردایش در مقیاس آزمایشگاهی ۲۴
۲-۳-۱- آماده‌سازی نمونه ۲۴
۲-۳-۲- خردایش برای آماده‌سازی نمونه ۲۵
۲-۳-۳- خردایش به منظور طراحی و انتخاب مدار ۲۶

فصل سوم- انواع چیدمان در مدارهای خردایش رایج

۳-۱- چیدمان بر اساس نوع تجهیزات ۲۹
۳-۱-۱- سنگ‌شکنی ۲۹
۳-۱-۲- مدارهای آسیا کردن ۲۹
۳-۲- چیدمان بر اساس نوع ماده معدنی ۳۳
۳-۲-۱- کانی‌های فلزی ۳۳

۳-۲-۲- کانی‌های غیرفلزی ۳۵

فصل چهارم- معیارهای انتخاب مدار خردایش مواد معدنی

۴-۱- عوامل موثر بر انتخاب مدار ۳۹
۴-۲- عوامل موثر بر انتخاب سنگ‌شکن ۴۲
۴-۳- معیارهای انتخاب سنگ‌شکن اولیه ۴۴
۴-۳-۱- تاثیر نوع مواد ۴۴
۴-۳-۲- ابعاد بار ورودی و ابعاد محصول ۴۵
۴-۳-۳- شاخص سایندگی ۴۵
۴-۳-۴- مقاومت در مقابل ضربه ۴۵
۴-۳-۵- انتخاب سریع سنگ‌شکن‌های اولیه ۴۶
۴-۴- معیارهای انتخاب سنگ‌شکن‌های مخروطی مرحله دوم و سوم ۴۸
۴-۴-۱- معیارهای انتخاب سنگ‌شکن‌های مخروطی ۴۹
۴-۴-۲- محدودیت‌های انتخاب سنگ‌شکن‌های مخروطی ۴۹
۴-۴-۳- ابعاد و محدوده ظرفیت سنگ‌شکن‌های مخروطی ۴۹
۴-۴-۴- انتخاب سنگ‌شکن مخروطی مرحله دوم ۵۰
۴-۴-۵- انتخاب سنگ‌شکن مخروطی مرحله سوم ۵۰
۴-۵- پارامترهای موثر در مدار سنگ‌شکنی ۵۰
۴-۶- پارامترهای طراحی ۵۱
۴-۶-۱- الزامات تولید ۵۱
۴-۶-۲- مشخصات کانسنگ ۵۱
۴-۶-۳- ایمنی و محیط زیست ۵۳
۴-۶-۴- مکان پروژه ۵۳
۴-۶-۵- عمر معدن و طرح توسعه ۵۳
۴-۶-۶- ملاحظات عملیاتی ۵۳
۴-۶-۷- تعمیر و نگهداری ۵۳
۴-۶-۸- شرایط آب و هوایی ۵۴

فصل ۱

کلیات

omoorepeyman.ir

omoorepeyman.ir

۱-۱- تعاریف و مفاهیم

در این فصل از تعریف‌ها و مفاهیمی استفاده شده است که در نشریه شماره ۴۴۱ با عنوان "واژه‌ها و اصطلاحات پایه فرآوری مواد معدنی" منتشر شده و برای تعریف دقیق واژگان به این نشریه مراجعه شود.

۱-۲- اهداف خردایش

عملیات خردایش در صنایع مختلف مثل صنایع معدنی، عمران، صنایع شیمیایی، مهندسی مواد، کشاورزی، صنایع غذایی و نظایر آن کاربرد فراوان دارد. اگر چه هدف از خردایش در این صنایع از جنبه‌های زیادی مشابه هم است ولی از خیلی از جنبه‌ها نیز متفاوت است. این تفاوت در آزمایشگاه و صنعت نیز وجود دارد. بنابراین در این فصل اهداف خردایش در صنایع مختلف، آزمایشگاه و صنعت به طور مجزا آورده شده است.

۱-۲-۱- اهداف خردایش در آزمایشگاه

مهم‌ترین اهداف خردایش در مطالعات آزمایشگاهی به شرح زیر است:

الف- تهیه نمونه معرف برای شناسایی نمونه

تعیین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی نمونه مانند رطوبت، ترکیب شیمیایی، کانی‌شناسی و نظایر آن برای ارزیابی کانسار، طراحی و ارزیابی مدارهای کانه‌آرایی و حتی فروش مواد معدنی اهمیت ویژه‌ای دارد. برای تجزیه شیمیایی نمونه از کانسار و یا محموله حدود چند صدگرم نمونه با ابعاد زیر ۶۰ میکرون تهیه می‌شود که از آن تنها حدود چند گرم برای تجزیه شیمیایی نمونه استفاده می‌شود. بنابراین نمونه باید طوری تهیه شود که در سطح اطمینان مهندسی، معرف کل کانسار یا محموله مورد نظر باشد. برای این منظور از روش خردایش، همگن‌سازی و تقسیم مرحله‌ای استفاده می‌شود. برای اطلاعات بیشتر به نشریه شماره ۶۶۰ با عنوان "دستورالعمل نمونه‌برداری در کانه‌آرایی" مراجعه شود.

ب- آماده‌سازی نمونه برای انجام آزمایش‌های کانه‌آرایی

نمونه مورد نیاز از مغزه‌ها، ترانشه، چاهک، رخنمون سطحی و سایر حفریات معدنی برداشت می‌شود که بسته به هدف نمونه‌برداری حجم و ابعاد آن‌ها متفاوت است. به علت محدودیت تجهیزات آزمایشگاهی معمولا ابعاد این نمونه‌ها باید حداکثر در حدود ۱۰ سانتی‌متر باشد. برای همگن‌سازی و تهیه نمونه برای آزمایش‌های کانه‌آرایی نمونه تحویلی به آزمایشگاه کانه‌آرایی طی چند مرحله خردایش و تقسیم می‌شود تا نمونه با وزن خاص برای آزمایش‌های مختلف حاصل شود. خردایش در آزمایشگاه در دو مرحله سنگ‌شکنی و آسیا کردن انجام می‌شود.

معمولا سنگ‌شکنی در چهار مرحله انجام می‌شود. در مرحله اول نمونه با سنگ‌شکن فکی تا زیر ۳۰ تا ۵۰ میلی‌متر، مرحله دوم با سنگ‌شکن فکی یا مخروطی ۱۰ تا ۲۰ میلی‌متر، مرحله سوم با سنگ‌شکن فکی، مخروطی یا غلتکی تا زیر ۵ تا ۱۰ و مرحله چهارم به وسیله سنگ‌شکن غلتکی تا زیر ۲ تا ۳ میلی‌متر خرد می‌شود. در هر مرحله محصول سنگ‌شکنی همگن‌سازی شده و به وسیله روش‌هایی مانند مخروط، چهار قسمتی و یا تقسیم‌کن شانه‌ای (ریفل) تقسیم شده و قسمتی از آن برای آرشیو و انجام آزمایش‌های مختلف با دانه‌بندی‌های گوناگون جدا و نگهداری می‌شود. محصول مرحله نهایی سنگ‌شکنی با توجه به وزن مورد نیاز هر آزمایش تقسیم و جدا می‌شود.

omoorepeyman.ir

میزان سنگ‌شکنی نهایی را درجه آزادی یا به بیان دقیق‌تر نیازمندی‌های فرآیند و محدودیت‌های تجهیزات مشخص می‌کند، بنابراین در صورتی که نیاز به سنگ‌شکنی بیشتر وجود داشته باشد از آسیاها استفاده می‌شود. آسیا کردن تا ۱۰۰ میکرون با استفاده از آسیای میله‌ای انجام می‌شود، زیرا محصول نهایی دارای نرمه کم، دانه‌بندی یکنواخت و مواد دانه درشت کم است و با دقت خوبی عملیات آسیا کردن در مدار بسته صنعتی را می‌توان شبیه‌سازی کرد. در دانه‌بندی ریزتر این آسیا کارآیی خود را از دست می‌دهد بنابراین از آسیای گلوله‌ای برای این منظور استفاده می‌شود.

پ- ارزیابی و طراحی مدار خردایش

به منظور طراحی مدار خردایش برای یک کانسنگ جدید یا ارزیابی مدار فرآوری موجود، آزمایش‌های استانداردی انجام می‌گیرد. این آزمایش‌ها با تجهیزات استاندارد، دانه‌بندی و وزن مشخص از مواد انجام می‌شود. در جدول ۱-۱ متداول‌ترین آزمایش‌های لازم برای طراحی و ارزیابی تجهیزات و مدارهای خردایش ارایه شده است.

جدول ۱-۱- شرایط نمونه برای آزمایش‌های قابلیت آسیا شدن

آزمایش	اندازه درشت‌ترین ذرات (میلی‌متر)	نمونه مورد نیاز (کیلوگرم)
آزمایش‌های پیشاهنگ	۱۵۰×۱۰۰	۱۰،۰۰۰ (برای هر آزمایش)
استعداد واسطه[1]	۱۶۵	۷۵۰
شاخص ضربه‌ای باند[2]	۷۵ (۲۰ ذره)	۵۰ تا ۷۵ میلی‌متر
شاخص خردایش پاندولی دوگانه[3]	۵۰×۲۰	۲۹۰-۱۱۵
وزنه افتان[4]	۶۴	۷۵
خودشکن مک‌فرسون[5]	۳۲	۱۳۵
شاخص توان آسیا کردن نیمه‌خودشکن	۲۵ (F_{80} =۱۳)	۱۰
شاخص میله‌ای باند	۱۳	۲۰
شاخص گلوله‌ای باند	۳٫۳	۱۰
شاخص ساینده‌گی	۴×۶٫۳	۰٫۵
شاخص هاردگرو	۱٫۱۸×۰٫۶	۰٫۰۵۰

۱-۲-۲- اهداف خردایش در صنعت

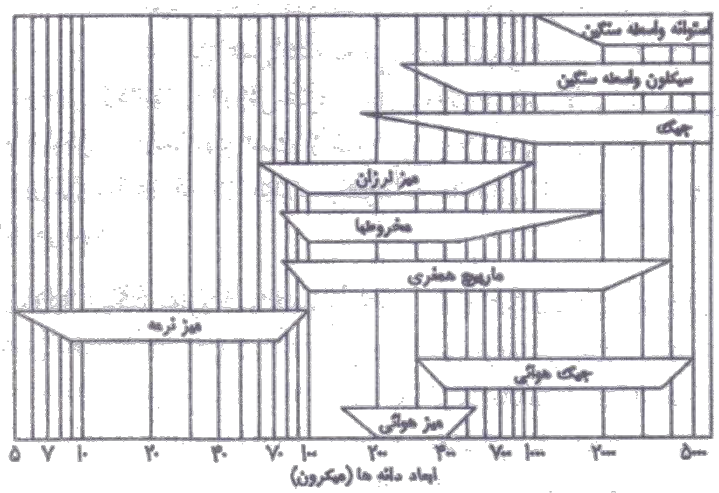
مهم‌ترین اهداف خردایش در صنعت به شرح زیر است:

الف- تولید مواد با اندازه و توزیع دانه‌بندی مشخص

در بسیاری از کارخانه‌های کانه‌آرایی مواد معدنی هدف از خردایش، تهیه و آماده‌کردن بار ورودی فرآیندهای پایین‌دستی در بخش جدایش کانی‌ها است. دستگاه‌های جدایش که برای جدایش جامد-جامد مورد استفاده قرار می‌گیرند در محدوده مشخصی از دانه‌بندی کارآیی مناسب دارند و بنابراین در مراحل مختلف خردایش باید بار ورودی با دانه‌بندی مناسب تهیه شود. شکل ۱-۱ محدوده تقریبی ابعاد مناسب بار ورودی برای واحدهای مختلف جدایش را نشان می‌دهد.

1- Media competency
2- Bond impact index
3- Twin pendulum crushability index
4- Drop weight
5- MacPherson autogenous

omoorepeyman.ir



شکل ۱-۱- اندازه مناسب بار ورودی برای دستگاه‌های مختلف جدایش

در صنایع مختلف کانی‌های صنعتی متنوعی برای اهداف متفاوتی استفاده می‌شوند. هر کاربردی نیاز به خصوصیات فیزیکی ویژه‌ای از جمله دانه‌بندی خاص دارد تا کارآیی لازم برای آن هدف را داشته باشد، وجود مواد دانه درشت و یا دانه ریز باعث کاهش کارآیی آن می‌شود. بنابراین یکی از اهداف خردایش تولید محصولی با دانه‌بندی مشخص و مناسب برای کاربردهای مختلف است.

ب- درجه آزادی[1]

کانسنگ استخراجی از معدن به ویژه کانسنگ‌های فلزی معمولا از کانی‌های مختلفی تشکیل یافته است، بنابراین برای کانه‌آرایی کانسنگ و جدا کردن کانی یا کانی‌های با ارزش با روش‌های مختلف جداسازی، خرد کردن کانسنگ برای آزادسازی کانی یا کانی‌های مورد نظر از کانی‌های باطله الزامی است. درجه آزادی کانی یا کانی‌های با ارزش در بار ورودی کارخانه فرآوری نقش کلیدی در بازیابی دارد. این عامل به ویژه در کانسنگ‌های فلزی مانند طلا، نیکل، مس و سرب و روی اهمیت زیادی دارد. بنابراین تهیه بار ورودی بهینه به صورتی که کانی یا کانی‌های با ارزش از سایر کانی‌های تشکیل دهنده کانسنگ آزاد شده باشند، از اهداف اولیه خردایش در معادن فلزی به شمار می‌رود. برای این منظور معمولا از مراحل مختلف آسیا کردن پیش از مراحل جدایش استفاده می‌شود. در عمل، کانسنگ تا یک اندازه مشخص که حد بهینه خردایش نامیده می‌شود، تحت فرآیند خردایش قرار می‌گیرد. این اندازه با انجام آزمایش‌های مختلف در آزمایشگاه یا واحدهای پیش‌آهنگ برای رسیدن به یک درجه آزادی بهینه تعیین می‌شود. در اندازه بهینه آسیا کردن مقداری از کانی‌های با ارزش کاملا آزاد شده و درصدی نیز همراه با کانی‌های گانگ درگیر است. جدایش معمولا در این اندازه بهینه انجام می‌شود زیرا خردایش بیشتر موجب افزایش نرمه و مصرف انرژی شده و کاهش بازیابی را به دنبال دارد. محصولات حاصل از اندازه خردایش بهینه اولیه بسته به نوع و میزان درگیری و سایر مشخصات کانی‌شناسی در مراحل مختلف، آسیای مجدد شده و دوباره تحت عمل جدایش قرار می‌گیرد.

پ- افزایش سطح ویژه[2]

خردایش به منظور افزایش سطح ویژه در دو حیطه فرآیندهای شیمیایی و کانی‌های صنعتی حایز اهمیت است. در کانه‌آرایی مواد معدنی به روش‌های فیزیکی و شیمی-فیزیکی، هدف اصلی خردایش رسیدن به درجه آزادی مناسب است. اما در روش‌های

1- Mineral liberation
2- Specific surface

omoorepeyman.ir

هیدرومتالورژی هدف افزایش سطح در معرض و یا به بیان دقیق‌تر افزایش سطح ویژه است. در این روش‌ها ممکن است خردایش تا ایجاد حداقل یک سطح برای دسترسی محلول و یا بیشتر از مقدار مورد نیاز برای آزادسازی کانی‌ها باشد. واکنش شیمیایی در مورد ذراتی که سطح ویژه بالایی دارند بسیار موثرتر و سریع‌تر است، بنابراین در این موارد آسیا کردن تا بیش از حد درجه آزادی متداول ممکن است ضرورت داشته باشد، زیرا افزایش مصرف انرژی با افزایش بازیابی و کاهش حجم راکتورها به علت سینتیک بالای واکنش جبران می‌شود.

در کانی‌های صنعتی نیز افزایش سطح ویژه باعث بهبود خواص فیزیکی (مانند جذب و تعلیق) و کارآیی بیشتر آن در کاربردهای ویژه می‌شود. به عنوان مثال افزایش سطح ویژه موجب افزایش جذب مواد و در نتیجه افزایش ظرفیت حمل در پرکننده‌ها و حامل‌ها می‌شود.

ت- شکل و دانه‌بندی محصولات خردایش

در بعضی از کاربردها علاوه بر دانه‌بندی، شکل ذرات نیز اهمیت دارد. به عنوان مثال برای کاربرد سرباره‌ها به عنوان سندبلاست استفاده از سنگ‌شکن مخروطی و یا غلتکی برای تولید دانه‌بندی ۰٫۵+۳- میلی‌متر محصولی صفحه‌ای ایجاد می‌کند که موجب کاهش کارآیی و در نتیجه افزایش مصرف سندبلاست به ازای واحد سطح می‌شود. مکانیزم‌های ضربه‌ای شبیه آنچه در سنگ‌شکن‌های ضربه‌ای قائم موجب شکست در مرز دانه‌ها شده و محصولی گوشه‌دار و هم‌بعد تولید می‌شود، که باعث افزایش کارآیی آن به عنوان سندبلاست می‌شود. از مثال‌های دیگر در این مورد اولیژیست یا اکسید آهن پولکی[1] است. مهم‌ترین خاصیت این کانی حالت صفحه‌ای آن است که موجب کاربرد آن به عنوان محافظ در برابر پرتوهایی مضر در رنگ‌ها می‌شود. استفاده از روش‌های ضربه‌ای، خشک و آسیاهای مرسوم موجب ایجاد انحنا و از بین رفتن حالت صفحه‌ای می‌شود. برای حفظ حالت صفحه‌ای استفاده از روش‌های تر و سایشی ارجحیت دارد.

۱-۳- تقسیم‌بندی تجهیزات خردایش

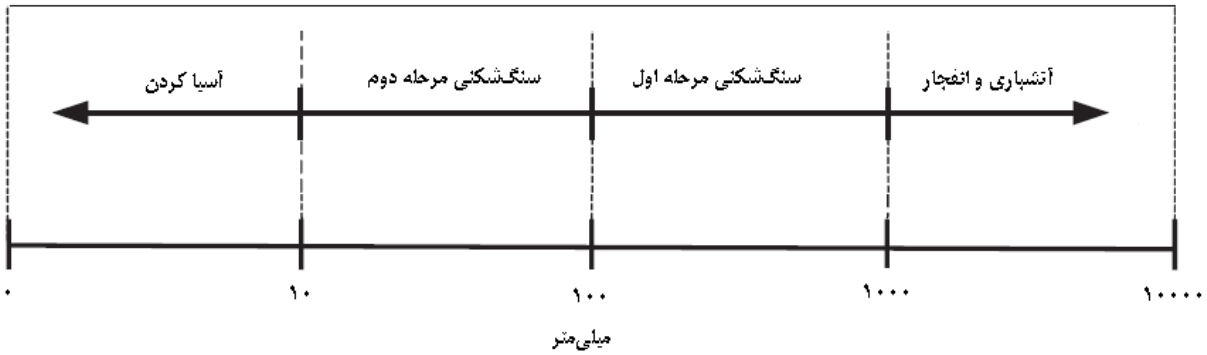
طیف وسیعی از تجهیزات خردایش در دنیا وجود دارد. علت اصلی فقدان استانداردسازی کاربرد این تجهیزات، گوناگونی مواد تحت خردایش، کیفیت محصول مورد نیاز، محدودیت تئوری خردایش و اطلاعات اقتصادی لازم برای هزینه‌های سرمایه‌گذاری و عملیاتی در صنایع مختلف است. اما برای سهولت انتخاب و به کارگیری این تجهیزات، طبقه‌بندی آن‌ها ضروری است. تجهیرات خردایش را می‌توان از جنبه‌های مختلف مثل اندازه بار ورودی، اندازه محصول، نحوه اعمال نیرو و مکانیزم شکست، محیط خردایش، کاربرد در مدار و نظایر آن طبقه‌بندی کرد.

۱-۳-۱- بر اساس ابعاد بار ورودی و محصول

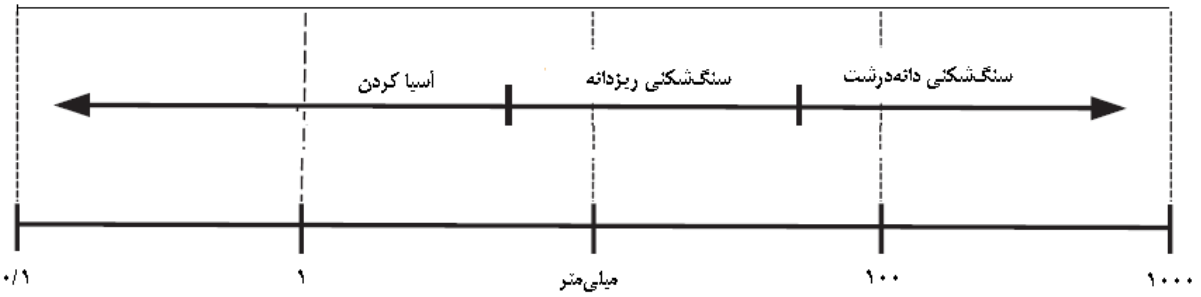
یکی از طبقه‌بندی‌های کلی و مفید تجهیزات و یا مراحل خردایش، تقسیم‌بندی بر اساس اندازه بار ورودی و محصول است. بر این اساس مراحل خردایش به دو مرحله سنگ‌شکنی و آسیا کردن تقسیم می‌شود. شکل ۱-۲ و ۱-۳ طبقه‌بندی مراحل خردایش را بر اساس ابعاد بار ورودی و محصول نشان می‌دهد.

1- Micaceous iron oxide

omoorepeyman.ir



شکل ۱-۲- تقسیم‌بندی بر اساس ابعاد بار ورودی (d_f)



شکل ۱-۳- تقسیم‌بندی بر اساس ابعاد محصول (d_p)

۱-۳-۲- بر اساس مکانیزم‌های شکست و خردایش

خردایش مواد معدنی در اثر سه مکانیزم فشار، ضربه، برش و سایش یا ترکیبی از آن‌ها انجام می‌گیرد. بر این اساس می‌توان تجهیزات مختلف را طبقه‌بندی کرد. در جدول ۱-۲ طبقه‌بندی تجهیزات خردایش بر اساس مکانیزم شکست ارایه شده است.

۱-۳-۳- بر اساس محیط خردایش

خردایش به صورت تر یا خشک انجام می‌شود. عموما سنگ‌شکنی به صورت خشک انجام می‌شود. تنها در مواقعی که ماده معدنی رس زیاد داشته باشد از سنگ‌شکن‌هایی با افشانه آب[1] استفاده می‌شود. آسیا کردن به صورت تر و خشک انجام می‌گیرد. بیشترین کاربرد آسیا به روش خشک، در مورد سنگ آهن، صنایع سیمان، زغال‌سنگ حرارتی و خرد کردن کانی‌های صنعتی مانند باریت، بنتونیت، فلدسپات، سیلیس، تالک و نظایر آن استفاده می‌شود. آسیا کردن کانی‌های فلزی به دلیل مراحل بعدی معمولا به صورت تر انجام می‌گیرد.

امور پیمان
omoorepeyman.ir

1-Water flash

۱-۳-٤- بر اساس کاربرد تجهیزات در مدار

بر اساس ابعاد بار اولیه و نسبت خردایش تجهیزات، خردایش در چند مرحله انجام می‌گیرد. این مراحل شامل سنگ‌شکنی اولین، دومین، سومین، آسیا کردن مرحله اول (درشت دانه)، دوم (متوسط) و آسیا کردن دانه ریز و میکرونیزه کردن است. بنابراین یکی از کاربردی‌ترین طبقه‌بندی تجهیزات خردایش بر اساس کاربرد آن‌ها در مدار خردایش است. جدول ۱-۳ طبقه‌بندی تجهیزات خردایش را بر اساس دانه‌بندی محصول و انرژی ویژه و همچنین تجهیزات مورد استفاده برای هر مرحله نشان می‌دهد.

جدول ۱-۲- طبقه‌بندی تجهیزات خردایش بر اساس مکانیزم خردایش

مرحله خردایش	مکانیزم شکست	تجهیزات
سنگ‌شکنی و آسیا کردن	فشار	سنگ‌شکن فکی، سنگ‌شکن ژیراتوری، سنگ‌شکن مخروطی، سنگ‌شکن غلتکی، سنگ‌شکن غلتکی با فشار بالا
	ضربه	سنگ‌شکن ضربه‌ای و سنگ‌شکن‌های قفسی
	برش و فشار	سنگ‌شکن سرعت پایین، سنگ‌شکن غلتکی دندانه‌دار
	ضربه و سایش	آسیاهای گردان، آسیاهای لرزان و آسیاهای جت میل (دمشی)
	ضربه و برش	آسیاهای چکشی
	فشار و برش	آسیاهای غلتکی
	سایش	آسیاهای مجدد و آسیای برجی

جدول ۱-۳- طبقه‌بندی خردایش بر اساس ابعاد محصول و انرژی ویژه

مرحله خردایش	نمونه تجهیزات مورد استفاده	اندازه محصول d_{80} (میکرون)	انرژی ویژه (kWh/t)	بازدهی مکانیکی (درصد)
سنگ‌شکنی اولیه	سنگ‌شکن فکی، ژیراتوری، ضربه‌ای و استوانه دندانه‌دار (تک و دو استوانه)	10^{5}–10^{6}	۰٫۱–۲	۸۰
سنگ‌شکنی دوم و سوم	مخروطی استاندارد، مخروطی سرکوتاه، غلتکی، چکشی، ضربه‌ای قائم و سنگ‌شکن غلتکی با فشار بالا	10^{4}–10^{5}		۳۰–۵۰
آسیا کردن درشت	آسیای میله‌ای و آسیای چکشی	10^{3}–10^{4}	۲–۴	۳–۱۵
آسیا کردن متوسط	آسیای خودشکن و نیمه‌خودشکن، آسیای گلوله‌ای، ارتعاشی و آسیاهای غلتکی	10^{2}–10^{3}	۵–۲۰	
آسیاکردن دانه ریز	آسیای گلوله‌ای و آسیای لوله‌ای	۱۰–10^{2}	۲۰–۱۰۰	
پودرکنی (میکرونایزر)	آسیای عمودی، آسیای همزن‌دار و آسیاهای جت	۱–۱۰	۱۰۰–۱۰۰۰	<۱

omoorepeyman.ir

فصل ۲

تجهیزات خردایش

omoorepeyman.ir

omoorepeyman.ir

۲-۱- تجهیزات خردایش در مقیاس صنعتی

سنگ‌شکن‌ها و آسیاهایی که در مقیاس صنعتی مورد استفاده قرار می‌گیرند در زیر ارایه می‌شوند.

۲-۱-۱- سنگ‌شکن‌های اولیه

اولین مرحله خردایش قطعات بزرگ و سخت کانسنگ خروجی از معدن، سنگ‌شکنی و کاهش ابعاد است. کانسنگ‌هایی نظیر پلاسرهای قلع و طلا و کانی‌های ماسه‌ای معمولا نیاز به سنگ‌شکن اولیه ندارند. عملیات سنگ‌شکنی در مقیاس صنعتی به وسیله سنگ‌شکن‌های فکی، ژیراتوری، ضربه‌ای، بار دهنده سرخود، غلتکی دندانه‌دار، دندانه‌دار کم سرعت و گردان زغال انجام می‌گیرد.

الف- سنگ‌شکن فکی

سنگ‌شکن‌های فکی دارای دو فک یکی ثابت و دیگری متحرک هستند که با زاویه‌ای خاص نسبت به هم قرار دارند. مواد ورودی به سنگ‌شکن به طور متناوب بین فک‌ها تحت فشار قرار می‌گیرد و خرد می‌شود. این سنگ‌شکن‌ها را بر اساس نحوه لولا شدن فک متحرک به سه گروه بلیک[1]، دوج[2] و یونیورسال[3] تقسیم می‌کنند. در نوع بلیک، دوج و یونیورسال لولا به ترتیب در بالا، پایین و وسط فک قرار دارد. از بین مدل‌های مختلف سنگ‌شکن فکی، نوع بلیک بیشترین کاربرد را دارد. نوع دوج تنها در آزمایشگاه برای تهیه محصول با دانه‌بندی یکنواخت استفاده می‌شود. فک‌ها از فولاد مقاوم در برابر سایش ساخته می‌شود. هر دو فک ممکن است مسطح یا فک ثابت مسطح و فک متحرک محدب باشد. سطح هر دو فک ممکن است صاف یا موجدار باشد. سنگ‌شکن بلیک در دو نوع بازوی ساده و مضاعف ساخته می‌شود. نوع بازوی مضاعف برای سنگ‌های سخت و نوع بازوی ساده برای سنگ‌های با سختی پایین استفاده می‌شود. این نوع سنگ‌شکن‌ها در کارخانه‌هایی که ظرفیت آن‌ها کمتر از ۱۰۰۰ تن در ساعت باشد به عنوان سنگ‌شکن اولیه استفاده می‌شود. مشخصات فنی، پارامترهای عملیاتی، کاربرد، مزایا و محدودیت‌های سنگ‌شکن فکی در جدول ۲-۱ ارایه شده است.

ب- سنگ‌شکن ژیراتوری

سنگ‌شکن ژیراتوری از یک بدنه ثابت مخروطی شکل (جام) و یک هسته میانی خردکننده که حرکت ژیراتوری دارد، تشکیل شده است. مواد مورد نظر در فاصله بین بدنه ثابت و هسته متحرک خرد می‌شوند. در مدت زمانی که در یک بخش از فضای داخل سنگ‌شکن هسته متحرک در حال نزدیک شدن به بدنه است، مواد در آن بخش خرد می‌شوند و در همین مدت زمان در قسمت مقابل، فاصله بین بدنه ثابت و هسته متحرک در حال زیاد شدن است و مواد در آن قسمت به تدریج به قسمت‌های پایین‌تر حرکت کرده، فضای موجود را پر می‌کنند. بدین ترتیب عمل سنگ‌شکنی به طور دایم انجام می‌گیرد و نیروی لازم برای آن یکنواخت است. این سنگ‌شکن بر خلاف فکی نیاز به تغذیه‌کننده ندارد و می‌توان آن را مستقیما به وسیله کامیون‌های بزرگ معدنی از چند جهت باردهی کرد. این سنگ‌شکن در سه مدل محور متکی، معلق و ثابت ساخته می‌شود. مشکلات فنی باعث محدودیت در ساخت مدل محور ثابت به ویژه در ابعاد بزرگ شده است به همین علت دو مدل اول بیشتر مرسوم است. ابعاد یا مدل این سنگ‌شکن با مشخصات جام و ابعاد دهانه و گلوگاه به شکل زیر بیان می‌شود:

1- Blake
2- Dodge
3- Universal

omoorepeyman.ir

- قطر جام در گلوگاه در دهانه ورودی
- قطر جام در دهانه در دهانه ورودی
- محیط جام در محل بار ورودی در دهانه ورودی
- بیشترین قطر در راس در دهانه ورودی

سایر مشخصات فنی، ساختمانی، پارامترهای عملیاتی، مزایا و محدودیت‌های این سنگ‌شکن در جدول ۲-۲ ارایه شده است.

جدول ۲-۱- مشخصات سنگ‌شکن‌های فکی متداول در صنعت

مشخصات ساختمانی			
مشخصات	مقدار	مشخصات	مقدار
ابعاد سنگ‌شکن	دهانه×عرض	ارتفاع قائم	دو برابر دهانه
بزرگترین اندازه سنگ‌شکن (mm)	۲۵۱۴×۱۶۰۰	عرض فک	۳-۱/۳ برابر دهانه
حداکثر توان (kw)	۴۰۰	دامنه نوسان فک	$0.05 \times (\text{دهانه ورودی})^{0.85}$
زاویه بین فک‌ها (درجه)	۲۵-۲۰	سرعت فک متحرک (rpm)	۳۵۰-۱۰۰
پارامترهای عملیاتی			
مشخصات	مقدار	مشخصات	مقدار
ابعاد بار ورودی	۰/۹-۰/۸ اندازه دهانه	نسبت خردایش	۹:۱ -۴:۱
ابعاد محصول (درصد کوچکتر از دهانه)	در حالت باز ۸۰ و بسته ۶۵	تابع توزیع دانه‌بندی	گادین با شیب منحنی α=۰/۸۸
کاربرد	سنگ‌شکنی اولیه با ظرفیت تولید متوسط، خردایش مواد سخت و نیمه‌سخت به صورت خشک و مدار باز		
مزایا	مناسب برای خردایش کانسنگ‌های با حداکثر ابعاد نسبی یک متر، استفاده در مدارهای که اهمیت اندازه بار ورودی بیشتر از ظرفیت است، دارای مزیت نسبی به ژیراتوری در خردایش مواد حاوی رس بالا، قابل نصب در زیر زمین و روی زمین و هزینه سرمایه‌گذاری و نگهداری کمتر نسبت به ژیراتوری، قابلیت ساخت به صورت چند تکه برای حمل و نصب آسان در مناطق دور دست یا به صورت زیرزمینی		
محدودیت‌ها	نیاز به فونداسیون قوی، ظرفیت کمتر نسبت به ژیراتوری در دهانه یکسان، فرسایش سطح فک‌ها، نیاز به سیلو و تغذیه‌کننده، هزینه نصب بیشتر نسبت به ژیراتوری		

جدول ۲-۲- مشخصات سنگ‌شکن ژیراتوری

مشخصات ساختمانی			
مشخصات	مقدار	مشخصات	مقدار
بزرگترین اندازه موجود دهانه (mm)	۱۸۳۰	نسبت قطر محور به دهانه ورودی	۱/۷-۱/۳
حداکثر توان (kw)	۱۰۰۰	محیط دهانه خروجی به دهانه ورودی (در اندازه کوچکتر از ۶۶ cm)	۱۰-۸
حداکثر ظرفیت (t/h)	۱۰۰۰۰	محیط دهانه خروجی به دهانه ورودی (در اندازه بزرگتر از ۶۶ cm)	۷/۵-۶/۵
زاویه بین جام و محور خردکننده (درجه)	۳۰-۲۲	سرعت (rpm)	۷۰۰-۱۷۵
پارامترهای عملیاتی			
مشخصات	مقدار	مشخصات	مقدار
اندازه بار ورودی	۰/۹ اندازه دهانه	نسبت خردایش	۱۰:۱ -۳:۱
تابع توزیع دانه‌بندی	گادین با شیب منحنی α=۰/۸۳	ابعاد محصول (درصد کوچکتر از دهانه در حالت باز)	۸۵ درصد
کاربرد	سنگ‌شکنی اولیه در مدار خردایش مواد سخت و نیمه‌سخت و ظرفیت تولید بالا به صورت خشک و مدار باز		

omoorepeyman.ir

ادامه جدول ۲-۲- مشخصات سنگ‌شکن ژیراتوری

پارامترهای عملیاتی	
مزایا	ظرفیت بالا نسبت به فکی در دهانه یکسان، استفاده در مدارهای که اهمیت ظرفیت بیشتر از اندازه بار ورودی است، هزینه نصب پایین نسبت به فکی، باردهی مستقیم با کامیون و عدم نیاز به سیلو و تغذیه‌کننده
محدودیت‌ها	هزینه سرمایه‌گذاری و نگهداری زیاد، عدم کارآیی لازم در مواد حاوی رس بالا

پ- سنگ‌شکن ضربه‌ای

سنگ‌شکن ضربه‌ای از یک روتور چرخان حاوی چکش‌های ثابت و محفظه حاوی سندان‌های ثابت تشکیل شده است. روتور در داخل محفظه به طور افقی با سرعتی مشخص گردش می‌کند. بار ورودی بر روی روتور سقوط کرده و در اثر ضربه چکش‌ها به طرف سندان پرتاب شده و خرد می‌شود. در این سنگ‌شکن فاصله بین چکش و سندان از بالا به پایین کاهش می‌یابد تا بدین ترتیب، علاوه بر کاهش مناسب دانه‌بندی محصول، کاهش ضربه وارده به سنگ‌شکن موجب تولید محصول گوشه‌دار و هم‌بعد می‌شود. سایر مشخصات این سنگ‌شکن در جدول ۲-۳ ارایه شده است.

جدول ۲-۳- مشخصات سنگ‌شکن ضربه‌ای

مشخصات ساختمانی و پارامترهای عملیاتی			
مشخصات	مقدار	مشخصات	مقدار
مدل	اندازه دهانه ورودی	حداکثر ظرفیت (t/h)	۳۰۰۰
حداکثر ابعاد بار ورودی (mm)	۱۵۰۰	سرعت دوران (rpm)	۲۵۰-۱۰۰۰
نسبت خردایش	۱۰:۱- ۴۰:۱	سرعت خطی پره‌ها (m/s)	۱۵-۵۰
کاربرد	این سنگ‌شکن‌ها زمانی که نیاز به نسبت خردایش بالا و تولید زیاد نرمه وجود داشته باشد و میزان سیلیس کمتر از ۱۵ درصد باشد به عنوان سنگ‌شکن اولیه در خردایش مواد ترد و با مقاومت کم مورد استفاده قرار می‌گیرد.		
مزایا	توانایی خردایش بار ورودی تا ۱٫۵ متر، نسبت خردایش بیش از ۴۰، هزینه سرمایه‌گذاری کمتر نسبت به فکی و ژیراتوری		
محدودیت‌ها	سایش بالا در خردایش مواد حاوی بیش از ۸ درصد سیلیس، میزان مصرف بالای انرژی در تولید مواد دانه ریز و نیاز به تغذیه‌کننده		

ت- سنگ‌شکن بار دهنده سرخود[1]

سنگ‌شکن بار دهنده سرخود از سه جز اصلی بار دهنده، خردکننده و ریل برای حرکت سنگ‌شکن تشکیل یافته است. مواد به وسیله قیفی به طور پیوسته از معدن به بار دهنده باردهی شده و به وسیله آن به خردکننده انتقال می‌یابد. مواد پس از خردایش به سیستم انتقال مواد هدایت می‌شوند. در این سنگ‌شکن به علت ساختمان ویژه خردکننده تنها مواد دانه درشت خرد شده و مواد دانه ریز از آن عبور می‌کند. بدین ترتیب علاوه بر کاهش مصرف انرژی، از تولید نرمه نیز جلوگیری می‌شود. بیشترین کاربرد این سنگ‌شکن در معادن زیرزمینی زغال‌سنگ است. سایر مشخصات این سنگ‌شکن در جدول ۲-۴ ارایه شده است.

ث- سنگ‌شکن خردکننده کم سرعت[2]

این سنگ‌شکن از دو استوانه با دندانه‌های بسیار بزرگ تشکیل شده است که در خلاف جهت هم با سرعت پایین گردش می‌کنند. مواد در اثر وزن خود به سمت پایین حرکت می‌کنند و در بین دندانه‌ها خرد می‌شوند. در این سنگ‌شکن همیشه مواد دانه

1- Feeder breaker
2- Low speed sizers

omoorepeyman.ir

درشت خرد می‌شود و مواد دانه‌ریز از آن عبور می‌کنند که باعث کاهش مصرف انرژی و کاهش تولید نرمه می‌شود. به دلیل نیاز به فضا و ارتفاع کم، این نوع سنگ‌شکن برای کاربردهای زیرزمینی به ویژه زغال‌سنگ بسیار مناسب است. رطوبت کانسنگ تاثیری در عملکرد این نوع سنگ‌شکن ندارد بنابراین می‌توان برای مواد رسی نیز از آن استفاده کرد. این سنگ‌شکن قابلیت خردایش قطعات بزرگ کانسنگ را دارد و تنها محدودیت آن، خردایش کانسنگ‌های با مقاومت فشاری کمتر از ۲۰۰ مگاپاسکال است (جدول ۲-۵).

جدول ۲-٤- مشخصات سنگ‌شکن باردهنده سرخود

مشخصات ساختمانی و پارامترهای عملیاتی			
مشخصات	مقدار	مشخصات	مقدار
مدل	قطر خردکننده	سرعت دوران (rpm)	۳۰
حداکثر ابعاد بار ورودی(mm)	۲۰۰۰	سرعت نوار (m/s)	۰/۴-۰/۵
حداکثر ظرفیت(t/h)	۶۰۰۰	حداکثر مقاومت فشارشی (MPa)	۲۰۰
کاربرد	این سنگ‌شکن برای خردایش مواد نیمه‌سخت در معادن روباره‌برداری و زیرزمینی کاربرد دارد.		
مزایا	هزینه کم آماده‌سازی جایگاه نصب و کارهای عمرانی، خردایش و انتقال هم‌زمان مواد، کاهش زمان، هزینه و افت تولید در نصب مجدد، خردایش راحت مواد مرطوب، نیاز به فضای بالاسری کم، کاهش ارتفاع تخلیه و نیاز به رمپ و هاپر بزرگ و جابه‌جایی با چرخ یا چرخ زنجیری		
محدودیت‌ها	نسبت خردایش کم و سایش بالا		

جدول ۲-۵- مشخصات سنگ‌شکن خردکننده کم سرعت

مشخصات ساختمانی و پارامترهای عملیاتی			
مشخصات	مقدار	مشخصات	مقدار
مدل	اندازه غلتک	حداکثر ظرفیت (t/h)	۱۰۰۰۰
حداکثر ابعاد بار ورودی (mm)	۱۵۰۰	سرعت خطی دوران (m/s)	۰/۸-۱/۸
حداکثر سختی مواد (MPa)	۲۰۰		
کاربرد	خردایش مواد سخت غیر ساینده چسبنده، مثل سنگ آهک، بوکسیت، کیمبرلیت، گچ، رس ،شیل و شست		
مزایا	هزینه کم نصب و نیاز به فضای بالاسری کم، ظرفیت بالا تا ۱۲۰۰۰ تن در ساعت، هزینه پایین در سنگ‌شکن‌های متحرک نسبت به همه سنگ‌شکن‌ها، تولید نرمه پایین، مصرف انرژی پایین، حذف مواد دانه درشت بدون افت تولید با استفاده از دریچه جانبی، عدم حساسیت به حضور مواد رسی و چسبنده		
محدودیت‌ها	نسبت خردایش کم، نیاز به سیستم تامین برق کارآمد، غیراقتصادی در ظرفیت‌های پایین به جز در خردایش موادی که مشکل حمل و نقل دارند.		

ج- سنگ‌شکن غلتکی دانداندار

این سنگ‌شکن در دو مدل تک و دوغلتکی ساخته می‌شود و برای خردایش خروجی از معادن زغال‌سنگ به عنوان سنگ‌شکن اولیه استفاده می‌شود. در نوع تک‌غلتکی[1] آن دو سری دندانه بر روی غلتک نصب شده است. یک سری دندانه‌های بلند که وظیفه خردایش قطعات بزرگ و انتقال بار ورودی به داخل محفظه خردایش را بر عهده دارند و در بین آن‌ها دندانه‌های کوچکتر نصب شده که کار آن‌ها کاهش اندازه بار ورودی تا ابعاد محصول است. بزرگترین ابعاد قابل پذیرش برای این سنگ‌شکن‌ها به طور نسبی یک متر است و خروجی آن تا ۴۰ میلی‌متر می‌رسد. سنگ‌شکن دوغلتکی دو غلتک دندانه‌دار دارد و نسبت به نمونه‌های تک‌غلتکی به

1- Single-roll crusher

omoorepeyman.ir

دلیل داشتن فاصله قابل تنظیم، انعطاف‌پذیری بیشتری دارد و نرمه کمتری تولید می‌کند. فاصله بین غلتک‌ها در حین کار قابل تنظیم است و به ۱۲۷ میلی‌متر نیز می‌رسد.

چ- سنگ‌شکن گردان زغال‌سنگ

این سنگ‌شکن شبیه سرند گردان بوده و شامل یک استوانه مشبک و یک پوسته بیرونی است. استوانه مشبک بالابر داشته و مواد به وسیله آن به سمت بالا حمل می‌شود و از آنجا در اثر وزن خود سقوط می‌کند و خرد می‌شود. مواد خرد شده از شبکه‌ها عبور می‌کند و از داخل سنگ‌شکن خارج می‌شود. قطر استوانه این سنگ‌شکن‌ها حدود ۱٫۸ تا ۳٫۶ متغیر و طول آن ۱٫۵ تا ۲٫۵ برابر قطر آن است. سرعت گردش آن ۱۲ تا ۱۸ دور در دقیقه است. قطر شبکه‌ها بر مبنای ابعاد محصول انتخاب می‌کنند. ظرفیت این سنگ‌شکن‌ها برای زغال‌سنگ حدود ۱۵۰۰ تن در ساعت است و برای خردایش انتخابی زغال‌سنگ استفاده می‌شود. زغال‌سنگ یک ماده سست است و در اثر سقوط به راحتی خرد می‌شود، در حالی که مواد ناخالصی مانند ماسه‌سنگ، سیلت و شیل مقاوم‌تراند و دیرتر خرد می‌شود. این ناخالصی‌های دانه درشت به بیرون سنگ‌شکن منتقل می‌شوند، بنابراین یک مرحله پیش‌تغلیظ نیز محسوب می‌شود.

۲-۱-۲- سنگ‌شکن‌های مراحل دوم و سوم

الف- سنگ‌شکن‌های مخروطی

سنگ‌شکن‌های مخروطی در حقیقت نوعی از سنگ‌شکن‌های ژیراتوری هستند که در آن‌ها زاویه راس هسته مخروط تا حدود ۱۰۰ درجه افزایش یافته است و هم‌زمان با آن به منظور متناسب نگه داشتن فضای داخلی سنگ‌شکن، انحنای داخلی بدنه تغییر کرده و محفظه خرد کردن مسطح‌تر شده است. علاوه بر این سرعت دوران آن بیشتر از سنگ‌شکن ژیراتوری است. اندازه این سنگ‌شکن‌ها با قطر هسته میانی بیان می‌شود و از ۶۰۰ تا ۳۰۰۰ میلی‌متر تغییر می‌کند. این سنگ‌شکن در دو مدل استاندارد و سرکوتاه ساخته می‌شود. مدل استاندار برای خردایش مرحله دوم و مدل سرکوتاه برای مرحله سوم استفاده می‌شود. علاوه بر این، بسته به فاصله بین بدنه ثابت و هسته متحرک، برای بارهای ورودی خیلی درشت، درشت، متوسط و دانه ریز این سنگ‌شکن‌ها طراحی و ساخته می‌شوند.

برای تولید محصول ریزتر از ۶ میلی‌متر، از سنگ‌شکن‌های مخصوصی به نام ژیرادیسک[1]، استفاده می‌شود. عملکرد این نوع سنگ‌شکن شبیه سنگ‌شکن مخروطی استاندارد است با این تفاوت که خردایش در آن غالبا به جای ضربه در اثر سایش اتفاق می‌افتد. قطر هسته ژیرادیسک‌ها بین ۹۰۰ تا ۲۱۰۰ میلی‌متر است. این سنگ‌شکن‌ها معمولا در شرایط بیش‌باردهی[2] کار می‌کنند. به طور متداول در این نوع سنگ‌شکن‌ها ابعاد بار ورودی به طور نسبی کمتر از ۵۰ میلی‌متر است و ابعاد محصول خروجی کمتر از ۶ میلی‌متر است. نسبت خردایش در این سنگ‌شکن حدود ۸ است. نوعی دیگر از سنگ‌شکن مخروطی به نام واترفلش معروف است که به صورت تر کار می‌کند و معمولا در جایی که میزان رس بالا باشد مورد استفاده قرار می‌گیرد. سایر مشخصات سنگ‌شکن‌های مخروطی در جدول ۲-۶ ارایه شده است.

1- Gyradisc
2- Choke feed

omoorepeyman.ir

جدول ۲-٦- مشخصات سنگ‌شکن مخروطی

مشخصات ساختمانی			
مشخصات	مقدار	مشخصات	مقدار
بزرگترین اندازه موجود (دهانه)(mm)	۳۱۰۰	حداکثر توان (kw)	۷۵۰
حداکثر اندازه بار ورودی (دهانه)(mm)	۴۰۰	حداکثر ظرفیت (t/h)	۱۷۵۰
پارامترهای عملیاتی			
اندازه بار ورودی	۰/۹ اندازه دهانه	نسبت خردایش	۷:۱ -۳:۱
تابع توزیع دانه‌بندی	گادین با α=۰/۸۷	ابعاد محصول (درصد کوچکتر از دهانه در حالت باز و بسته)	۰/۶۷ تا ۰/۷۸ و ۰/۶ تا۰/۷
کاربرد	در سه نوع استاندارد، سرکوتاه و ژیرادیسک برای خردایش مرحله دوم، سوم و چهارم برای خردایش مواد سخت و نیمه‌سخت		
مزایا	قابلیت کنترل مناسب برای تولید محصول با دانه‌بندی یکنواخت‌تر و مصرف بهینه انرژی		
محدودیت‌ها	تولید محصول صفحه‌ای، نیاز به کنترل بالا، حساس به وجود نرمه و رس		

ب- سنگ‌شکن‌های غلتکی (استوانه‌ای)

سنگ‌شکن استوانه‌ای از دو استوانه سنگین با سطح صاف یا آجدار تشکلیل یافته است و به وسیله الکتروموتوری با سرعت‌های یکسان یا خیلی نزدیک به هم در جهت عکس یکدیگر حرکت می‌کنند. فنرهای قوی امکان افزایش فاصله دو استوانه در صورت ورود قطعات خیلی سخت به داخل سنگ‌شکن را فراهم می‌آورد. مواد ورودی در بین دو استوانه درگیر و تحت نیروی فشاری خرد می‌شوند. فاصله بین استوانه‌ها با توجه به دانه‌بندی مورد نیاز قابل تنظیم است. مهم‌ترین پارامتر طراحی در این سنگ‌شکن‌ها انتخاب قطر غلتک مناسب برای حداکثر ابعاد بار ورودی به آن است. سایر مشخصات این سنگ‌شکن‌ها در جدول ۲-۷ ارایه شده است.

جدول ۲-۷- مشخصات سنگ‌شکن استوانه‌ای

مشخصات ساختمانی			
مشخصات	مقدار	مشخصات	مقدار
قطر استوانه در نوع سطح صاف (mm)	۳۵۰-۲۱۰۰	سرعت خطی استوانه (m/s)	۱-۱۵
طول استوانه در نوع صاف (mm)	۷۵۰-۸۶۰	فشار واره بر مواد (MPa)	۱۰-۳۰
اصطکاک بین سطح استوانه و مواد	۰/۲-۰/۳	حداکثر زاویه درگیری (درجه)	۲۵
ابعاد محصول قابل تولید (mm)	۲-۲۰		
پارامترهای عملیاتی			
اندازه بار ورودی	رابطه (۲-۱)	نسبت خردایش	۴:۱>
کاربرد	سنگ‌شکنی مرحله دوم یا سوم برای خردایش مواد چسبنده، شکننده، مرطوب با سایندگی کم مانند آهک، زغال، تالک، گچ، فسفات، قابل استفاده به جای آسیای میله‌ای در محدوده دانه‌بندی ۵-۲ میلی‌متر		
مزایا	ظرفیت نسبتا بالا، مصرف کمتر انرژی، سهولت تنظیم گلوگاه، سهولت تعمیر و نگهداری، تولید نرمه کم، خردایش مواد مرطوب و چسبنده		
محدودیت‌ها	نسبت خردایش کم، سایش شدید غلتک‌ها، نیاز به جریان یکنواخت بار ورودی در عرض غلتک به منظور کاهش سایش غیریکنواخت، عدم کارآیی در مواد لایه‌ای و الیافی شکل		

پ- آسیاهای غلتکی فشار بالا[1]

در این آسیا مواد به صورت لایه‌ای ضخیم به فاصله بین دو استوانه منتقل می‌شوند و تحت فشار بیش از ۵۰ MPa ناشی از فشار هیدرولیکی پشت استوانه متحرک به صورت کیک متراکم در می‌آیند. در اثر اعمال چنین نیروی فشاری بالا میزان زیادی مواد دانه ریز به

1- High pressure grinding roll (HPGR)

omoorepeyman.ir

همراه مواد دانه درشت حاوی شکاف‌های مویین تولید می‌شود. به علت این شکاف‌های مویین میزان انرژی مورد نیاز برای آسیا کردن محصول این سنگ‌شکن بسیار کمتر از سنگ‌شکن‌های دیگر است. با توجه به مکانیزم و نسبت خردایش، آسیاهای غلتکی فشار بالا هم در مرحله سنگ‌شکنی و هم آسیا کردن قابل استفاده است. در یک مدار سنگ‌شکنی، این دستگاه را می‌توان به عنوان سنگ‌شکن‌های مرحله دوم یا مرحله سوم جایگزین کرد. سایر مشخصات این سنگ‌شکن در جدول ۲-۸ ارایه شده است.

جدول ۲-۸- مشخصات غلتک‌های آسیا کردن فشار بالا

مشخصات ساختمانی			
مشخصات	مقدار	مشخصات	مقدار
قطر استوانه (mm)	۷۰۰-۲۸۰۰	سرعت خطی استوانه (m/min)	۸۵-۱۰۵
نسبت طول به قطر	۰٫۲ تا ۰٫۶	سرعت خطی استوانه برای قطر بزرگتر از ۲ متر	کوچکتر از $1.35D^{0.5}$
حداکثر ظرفیت (t/h)	۳۰۰۰	سرعت خطی استوانه برای قطر کوچکتر از ۲ متر	کوچکتر از D
حداکثر توان (kW)	۶۰۰۰	فشار واره بر مواد (MPa)	۳۴۰-۵۰
پارامترهای عملیاتی			
اندازه بار ورودی برای مواد نرم	۱٫۵> برابر گلوگاه	اندازه بار ورودی برای مواد سخت	<گلوگاه
فشار واره بر مواد در مواد نرم (MPa)	۱۰۰ >	فشار وارده بر مواد در مواد نرم (MPa)	۲۵۰ <
کاربرد	قابل استفاده به عنوان سنگ‌شکن مرحله آخر و یا آسیاکنی در سیمان، کانسنگ آهن و الماس، خردایش مواد ۷۵- میلی‌متر		
مزایا	سروصدای کمتر، تولید نرمه زیاد، مصرف انرژی پایین، ظرفیت بالا در خردایش دانه ریز، نیاز به فضای کم، کاهش هزینه سرمایه‌گذاری و عملیاتی		
محدودیت‌ها	سایش بالای غلتک‌ها، کاهش زمان دسترسی به علت تعویض آسترها		

ت- سنگ‌شکن چکشی

سنگ‌شکن‌های چکشی از نظر ساختمانی مشابه سنگ‌شکن ضربه‌ای هستند. اما در این سنگ‌شکن‌ها چکش‌ها به روتور ثابت نیستند بلکه مفصل شده‌اند. علاوه بر این در قسمت زیرین آن صفحه‌ای مشبک تعبیه شده تا مواد بزرگتر از ابعاد سرند تحت خردایش مجدد قرار گیرند. سرعت گردش روتور نیز در این سنگ‌شکن‌ها بیشتر از سنگ‌شکن ضربه‌ای است. در سنگ‌شکن‌های چکشی دانه‌های بار ورودی پس از برخورد با چکش‌ها به طرف جدار داخلی پرتاب می‌شوند. خرد شدن دانه‌ها در اثر برخورد آن‌ها با چکش‌ها و سایش و فشار وارده بر آن‌ها در فاصله بین چکش‌ها و بدنه مشبک سنگ‌شکن انجام می‌شود (جدول ۲-۹).

جدول ۲-۹- مشخصات سنگ‌شکن آسیای چکشی

مشخصات ساختمانی			
مشخصات	مقدار	مشخصات	مقدار
مدل	قطر×طول روتور	سرعت دوران (rpm)	۳۰۰۰-۵۰۰
وزن چکش (kg)	در حدود ۱۰۰	سرعت خطی چکش‌ها (m/s)	۶۰-۲۰
پارامترهای عملیاتی			
حداکثر ابعاد بار ورودی (mm)	۲۰۰	نسبت خردایش	۳۰:۱- ۲۰:۱
کاربرد	این سنگ‌شکن‌ها زمانی که نیاز به نسبت خردایش بالا و تولید زیاد نرمه وجود داشته باشد و میزان سیلیس کمتر از ۱۵ درصد باشد به عنوان سنگ‌شکن مرحله دوم، سوم و یا جایگزین آسیای میله‌ای در خردایش مواد ترد و مقاومت کمتر مورد استفاده قرار می‌گیرد. علاوه بر این آسیای چکشی در صنایع مصالح ساختمانی به علت شکل محصول بهتر ، اغلب مورد استفاده قرار می‌گیرند.			
مزایا	نسبت خردایش بیش از ۲۰، محصول با ابعاد تقریبا یکسان			
محدودیت‌ها	سایش بالا در خردایش مواد حاوی بیش از ۸ درصد سیلیس، میزان مصرف بالای انرژی در تولید نرمه زیاد، قطعات آهنی موجب صدمه به سنگ‌شکن می‌شود، نیاز به تغذیه‌کننده			

omoorepeyman.ir

ث- سنگ‌شکن‌های ضربه‌ای عمودی[1]

سنگ‌شکن‌های ضربه‌ای از یک رتور و یک محفظه حاوی سندان تشکیل یافته است. در این سنگ‌شکن‌ها مواد به‌وسیله لوله‌ای به روتور خوراک‌دهی می‌شود. سرعتی خطی روتور در حدود ۹۰ متر بر ثانیه است. در اثر نیروی گریز از مرکز حاصل از سرعت گردش بالای روتور مواد به طرف دیواره سنگ‌شکن که حاوی سندان‌های ضد سایش است پرتاب می‌شود. مواد پس از برخورد به سندان برگشته و با مواد خروجی از روتور دوباره برخورد می‌کنند. بدین طریق مواد هم در اثر برخورد به سندان و هم برخورد به یکدیگر خرد می‌شوند. این سنگ‌شکن به علت نسبت خردایش بالا به عنوان سنگ‌شکن‌های مرحله سوم، چهارم و در مواردی مرحله آسیا کردن مورد استفاده قرار می‌گیرد و محصولاتی در محدوده اندازه ۰٫۰۶ تا ۱۲ میلی‌متر تولید می‌کند (جدول ۲-۱۰).

جدول ۲-۱۰- مشخصات سنگ‌شکن چکشی

مشخصات ساختمانی			
مشخصات	مقدار	مشخصات	مقدار
مدل دستگاه	قطر روتور	سرعت دوران (rpm)	۱۰۰۰-۵۳۰۰
حداکثر ظرفیت (t/h)	۲۰۰۰		
پارامترهای عملیاتی			
حداکثر ابعاد بار ورودی (mm)	۵۰	ابعاد محصول (mm)	۰٫۰۶-۱۲
کاربرد	به عنوان سنگ‌شکن مرحله سوم، چهارم و یا جایگزین آسیای میله‌ای در خردایش طیف وسیعی از مواد مورد استفاده قرار می‌گیرد. علاوه بر این سنگ‌شکن ضربه‌ای عمودی در صنایع مصالح ساختمانی به علت شکل محصول بهتر، اغلب مورد استفاده قرار می‌گیرند.		
مزایا	سادگی عملیات، محصول مکعبی، خردایش سنگ روی سنگ و کاهش سایش نسبت به آسیای چکشی، خردایش در مرز درز و شکاف و دانه‌ها		
محدودیت‌ها	نیاز به تغذیه‌کننده، نیاز به سیستم دقیق روغن‌کاری ظرفیت محدود، سایش زیاد در مواد با ساینده‌گی بالا		

۲-۱-۳- آسیاها

الف- آسیاهای خودشکن و نیمه‌خودشکن

آسیاهای خودشکن و نیمه‌خودشکن جزو آسیاهای گردان هستند. در این آسیاها خردایش مواد به وسیله قطعات بزرگی از خود کانسنگ انجام می‌شود. آسیایی که در آن بدون استفاده از بار خردکننده، عمل آسیا کردن انجام می‌گیرد، با عنوان آسیای خودشکن[2] یا تمام‌خودشکن[3] شناخته می‌شود. در این آسیاها از قطعات بزرگ کانسنگ برای بار خردکننده استفاده می‌شود. آسیاهایی که در آن‌ها از کانسنگ‌هایی با ابعاد متوسط و یا قلوه‌سنگ به عنوان واسطه خردایش استفاده می‌شود، جزو آسیاهای خودشکن هستند اما به آسیاهای قلوه‌سنگی معروفند. آسیاهایی که در آن‌ها از درصد کمی از گلوله‌های فولادی برای کمک به خردایش استفاده می‌کنند به آسیاهای نیمه‌خودشکن[4] معروف‌اند (جدول ۲-۱۱).

1 -Vertical spindle impactor(VSI)
2- Autogenous grinding (AG)
3- Fully autogenous grinding (FAG)
4- Semi-autogenous grinding (SAG)

omoorepeyman.ir

جدول ۲-۱۱- مشخصات آسیاهای خودشکن و نیمه‌خودشکن

مشخصات ساختمانی			
اندازه آسیا	طول×قطر	باردهی	شوت و ناودانی
نسبت طول به قطر	۰/۳۳-۳	نوع تخلیه	شبکه با بالابر
درصد درجه انباشتگی	۲۵-۳۰	قطر گلوله در نیمه‌خودشکن (mm)	۱۰۰-۱۵۰
درصد سرعت دوران	۶۰-۸۵	درصد گلوله در نیمه‌خودشکن	۵-۱۰ درصد
پارامترهای عملیاتی			
اندازه بار ورودی	۲۵ درصد بزرگتر از ۱۵۰ تا ۲۰۰ میلی‌متر	نسبت خردایش	بیش از ۱۰۰۰
ابعاد بحرانی (mm)	۱۹-۵۰	درصد جامد پالپ	۶۰-۸۰
اندازه محصول (میکرون)	تا ۲۰۰- میکرون		
کاربرد	خردایش کانسنگ‌هایی با ذخیره زیاد و توان تولید بالا، کاربرد در مدار بسته به صورت تر یا خشک (خردایش تالک، آزبست و میکا به صورت خشک انجام می‌شود.)		
مزایا	هزینه سرمایه‌گذاری کمتر، قابل استفاده برای محدوده وسیعی از کانی‌ها از قبیل بار ورودی چسبنده و رسی، فلوشیت نسبتا ساده، نیاز کمتر به نیروی انسانی، کاهش هزینه واسطه خردایش، فراهم کردن درجه آزادی بیشتر در آسیای خودشکن، تولید ذرات با سطوح صاف (مناسب برای فلوتاسیون)		
محدودیت‌ها	تاثیر شکل و هندسه بالابرها بر عملکرد آسیا، امکان ایجاد استخر در داخل آسیا در اثر عملکرد نامناسب شبکه تخلیه، کاهش کارآیی آسیا در اثر افزایش ذرات با ابعاد بحرانی، مشکلات زیست‌محیطی فراوان در آسیا کردن خشک، کنترل مشکل فرآیند در آسیا کردن خشک، عدم کارآیی مناسب فرآیند خشک در خردایش کانسنگ رسی، تاثیر اندازه و سختی بار ورودی بر عملکرد آسیا، تاثیر منفی ابعاد بزرگ کانسنگ بر خردایش در آسیای نیمه‌خودشکن، نیاز به آزمایشات گسترده برای انتخاب نوع و اندازه آسیا، نیاز به انجام آزمایشات پرهزینه پایلوت برای تعیین انرژی مورد نیاز، فلوشیت و اندازه محصول		

ب- آسیاهای میله‌ای

آسیاهای میله‌ای جزو آسیاهای گردان هستند که بار خردکننده در آن‌ها میله است. آسیاهای میله‌ای برای نرم کردن مواد معدنی در مدارهای مرسوم استفاده می‌شوند. میله‌ها به صورت موازی قرار می‌گیرند و طول آن‌ها حدود ۱۵۰ میلی‌متر کمتر از طول داخلی آسیاست. مکانیزم شکست در این آسیاها در مقایسه با حالت آبشار بزرگ[1] غالبا در اثر آبشار کوچک[2] اتفاق می‌افتد. میله‌ها از ارتفاعی سقوط می‌کنند و درون آسیا به سمت پایین می‌غلتند و بر روی ذرات ضربه همراه با سایش اعمال می‌کنند. محصول آسیای میله‌ای نسبت به آسیای گلوله‌ای یکنواخت‌تر است ولی ابعاد محصول درشت‌تر است بنابراین در صورت نیاز به مواد دانه ریز آن را قبل از آسیای گلوله‌ای قرار می‌دهند.

جدول ۲-۱۲- مشخصات آسیاهای میله‌ای

مشخصات ساختمانی			
اندازه آسیا	طول×قطر	باردهی	دو ملاقه‌ای، ناودانی، ملاقه‌ای، استوانه‌ای
نسبت طول به قطر	۱/۴-۲/۵	نوع تخلیه	سریز، محیطی مرکزی، محیطی انتهایی
حداکثر اندازه	۴/۵۷×۶/۴	قطر میله‌ها (mm)	۱۵۰-۲۵
حداکثر توان (kW)	۱۶۴۰	درصد سرعت بحرانی	۷۶-۶۴

1- Cateracting
2- Cascading

omoorepeyman.ir

ادامه جدول ۲-۱۲- مشخصات آسیاهای میله‌ای

پارامترهای عملیاتی			
اندازه بار ورودی	۵۰-۴ میلی‌متر	نسبت خردایش	۲۵-۱۰
درصد درجه انباشتگی	۴۰-۳۵	درصد جامدپالپ	۸۰-۶۰
اندازه محصول (میکرون)	تا ۳۰۰- میکرون		
کاربرد	دریافت بار ورودی تا ابعاد حداکثر ۵۰ میلی‌متر و تولید محصولی با ابعاد ۳۰۰ میکرون، تهیه بار ورودی جداکننده‌های ثقلی، فلوتاسیون، جداکننده‌های مغناطیسی و آسیای گلوله ای، نسبت خردایش ۱۵:۱ تا ۲۰:۱، استفاده به جای سنگ‌شکن سوم هنگامی که کانسنگ رسی یا نمدار است و منجر به مسدود شدن سنگ‌شکن می‌شود. کاربرد نوع محیطی انتهایی حتما به صورت خشک، نوع سرریز حتما به صورت تر و نوع تخلیه محیطی مرکزی به صورت تر یا خشک، جانمایی در مدار باز		
مزایا	تولید محصول دانه درشت تر و نرمه کمتر در آسیا با تخلیه محیطی مرکزی، آسیا کردن انتخابی، تولید محصولی با توزیع دانه‌بندی یکنواخت		
محدودیت‌ها	محدود بودن نسبت خردایش در نوع تخلیه محیطی مرکزی، لزوم خارج کردن میله‌های ساییده شده با قطر ۲۵ میلی‌متر و کمتر، محدودیت در طول و قطر آسیا (به دلیل در هم تنیدگی و شکستن میله‌ها)، مصرف زیاد انرژی، تغییر ماهیت فلوته‌شوندگی کانی‌ها به دلیل حضور آهن در پالپ، سایش زیاد آستر در ورودی بار		

پ- آسیاهای گلوله‌ای

آسیاهای گلوله‌ای از نوع آسیای گردان هستند و بار خردکنندهآن‌ها گلوله است. شکل این آسیاها استوانه‌ای و یا استوانه-مخروطی است. این آسیاها برای آسیا کردن اولیه و ثانویه استفاده می‌شوند. نسبت قطر به طول در این آسیاها یک تا سه است. در صورتی که این نسبت بیش از ۳ باشد به آن‌ها آسیاهای لوله‌ای گفته می‌شود. آسیاهای لوله‌ای ممکن است دارای دو بخش جداگانه بوده و حاوی بار خردکننده میله و یا گلوله باشند. در صنایع سیمان نیز از این آسیاها استفاده می‌شود و به صورت خشک کار می‌کنند (جدول ۲-۱۳).

جدول ۲-۱۳- مشخصات آسیاهای گلوله‌ای

مشخصات ساختمانی			
اندازه آسیا	طول×قطر	باردهی	دو ملاقه‌ای، ناودانی، ملاقه‌ای، استوآن‌های
نسبت طول به قطر	۳-۱	نوع تخلیه	سریز، نیمه‌شبکه‌ای و تمام شبکه‌ای
حداکثر اندازه ساخته شده	قطر ۷٫۳ متر با توان ۱۱ MW	قطر گلوله (mm)	۱۰۰-۲۰
سرعت دوران (٪)	۸۰-۷۰		
پارامترهای عملیاتی			
اندازه بار ورودی	کمتر از ۲۵ میلیمتر	نسبت خردایش	۳۰۰-۱۰۰
درصد درجه انباشتگی	۵۰-۲۰	درصد جامدپالپ	۸۰-۶۰
اندازه محصول (میکرون)	تا ۷۵- میکرون		
کاربرد	آخرین مرحله آسیاکنی، خردایش به صورت تر در مدار بسته، مناسب برای تمامی انواع کانسنگ‌ها، خردایش مواد دانه ریز و خردایش مجدد		
مزایا	سطح ویژه بیشتر گلوله نسبت به میله، تولید محصول دانه ریزتر نسبت به آسیای میله‌ای، قابلیت کار کردن در سرعت های بالا بدون ایجاد گریز از مرکز در آسیا، سرعت بیشتر نسبت به آسیای میله‌ای		
محدودیت‌ها	مصرف زیاد انرژی، فرسایش گلوله و آستر، تاثیر رئولوژی پالپ بر خردایش، تغییر ماهیت فلوته شوندگی کانسنگ در اثر حضور آهن در پالپ		

omoorepeyman.ir

ت- آسیاهای ارتعاشی

آسیاهای ارتعاشی یک یا تعدادی بدنه استوانه‌ای یا نیمه‌استوانه دارند و بر روی پایه‌های قابل ارتجاعی نصب می‌شوند. بار خردکننده در این آسیاها شامل میله یا گلوله فولادی است. حرکت آسیا به وسیله یک سیستم خروج از مرکز و یا یک مدار الکترومغناطیسی ایجاد می‌شود که در طی آن مواد در اثر ضربه و سایش خرد می‌شوند (جدول ۲-۱۴).

جدول ۲-۱۴- مشخصات آسیاهای ارتعاشی

مشخصات ساختمانی			
اندازه آسیا	طول×قطر	قطر گلوله یا میله (mm)	۵۰-۱۰(۱۰۰- ۱۰ برابر ابعاد بار ورودی)
قطر استوانه (mm)	۶۰۰-۱۰۰۰	فرکانس (بار در دقیقه)	۱۰۰۰-۲۵۰۰
حداکثر اندازه ساخته شده	قطر ۷٫۳ متر با توان ۱۱ MW	دامنه نوسان (mm)	۸-۷ (بیش از ۲ برابر اندازه دانه‌ها)
حداکثر ظرفیت (t/h)	۱۵		
پارامترهای عملیاتی			
اندازه بار ورودی	کمتر از ۳۰ میلی‌متر	درصد درجه انباشتگی	۹۰-۶۰
اندازه محصول (میکرون)	تا زیر ۱۰ میکرون		
کاربرد	تولید محصول نهایی بسیار ریز به صورت تر یا خشک در مدار آسیا کردن بسیاری از مواد		
مزایا	ساختمان ساده و نیاز به سرمایه‌گذاری کم، تولید محصول ریزتر و نسبت خردایش زیاد، مصرف کم انرژی، اندازه کوچک و نیاز به فضای کم، قابلیت تطابق با بسیاری از شرایط، هزینه تعمیر و نگهداری کم		
محدودیت‌ها	محدودیت اندازه و ظرفیت، حساس بودن اندازه محصول به تغییرات موجود در اندازه بار ورودی، ایجاد ارتعاش در پایه و پی آسیا، ایجاد سر و صدا به ویژه در روش خشک		

ث- آسیاهای قائم

این آسیاها از استوانه‌ای با محور قائم تشکیل شده‌اند که در داخل آن با خردکننده‌ای متشکل از گلوله فولادی، سرامیکی یا از جنس اپال قرار دارد. بار اولیه همراه با آب از قسمت بالای استوانه به داخل آن ریخته می‌شود. در کنار آسیا پمپی تعبیه شده است که جریانی از آب رو به بالا با سرعت ثابت در داخل آسیا برقرار می‌کند. بدین ترتیب مواد قبل از خرد شدن طبقه‌بندی شده و از خردایش بیش از حد آن جلوگیری می‌شود و بازدهی آسیا افزایش می‌یابد. خردایش در این آسیاها به صورت سایش است (جدول ۲-۱۵).

جدول ۲-۱۵- مشخصات آسیاهای قائم

مشخصات ساختمانی			
اندازه آسیا	ارتفاع×قطر	سرعت دوران پره (rpm)	۳۰-۲۵
حداکثر ظرفیت (t/h)	۱۰۰	قطر گلوله (mm)	۳٫۸-
پارامترهای عملیاتی			
اندازه بار ورودی	کمتر از ۶ میلی‌متر	درصد درجه انباشتگی	۴۰
اندازه محصول (میکرون)	۱۰۰-۱		
کاربرد	خردایش مواد تا ابعاد ریز و بسیار ریز به صورت تر، آسیای مجدد در مدارهای پرعیارسازی		
مزایا	سطح کم برای نصب آسیا، سروصدای کم، هزینه سرمایه گذاری و عملیاتی کم، کاهش بیش آسیاکنی، استفاده بهینه از انرژی		
محدودیت‌ها	محدودیت اندازه و ظرفیت، محدویت ابعاد بار ورودی		

omoorepeyman.ir

ج- آسیاهای همزن‌دار[1]

با کاهش اندازه محصول مورد نیاز، ابعاد گلوله‌های بهینه برای خردایش کاهش می‌یابد. با کاهش ابعاد گلوله، نیروی ضربه‌ای کافی برای شکست مواد فراهم نمی‌شود. به همین دلیل در خردایش‌های بسیار دانه ریز برای افزایش نیروی ضربه از آسیاهای همزن‌دار استفاده می‌کنند. از این آسیاها برای خردایش در بخش دانه درشت (به دلیل استفاده از بار خردکننده درشت حدود ۶ میلی‌متر) با سرعت نسبتا کم، استفاده می‌شود. خردایش دانه ریزتر معمولا با استفاده از آسیاهای همزنی انجام می‌شود. در این آسیاها از همزن‌هایی که شامل محوری با تعدادی پین یا دیسک است، استفاده می‌شود. آسیاهای همزنی بر اساس جهت محور آن به آسیاهای قائم مانند آسیای همزنی سالا[2] یا افقی مانند آیزامیل[3] تقسیم می‌شوند که از نظر مصرف انرژی نیز با هم متفاوتند (۲۰ تا ۱۰۰۰ کیلووات ساعت بر متر مکعب). سایر مشخصات این آسیاها در جدول ۲-۱۶ ارایه شده است.

جدول ۲-۱۶- مشخصات آسیاهای همزن‌دار

مشخصات ساختمانی			
اندازه آسیا	ارتفاع×قطر (قائم) یا طول×قطر (افقی)	سرعت دوران پره (rpm)	۲۰-۲۰۰۰
انرژی ویژه (kW/m^3)	قائم ۱۰۰-۵۰، افقی ۱۰۰۰-۳۰۰		
پارامترهای عملیاتی			
اندازه بار ورودی	کمتر از ۱۵۰ میکرون	درصد جامد	۲۰-۶۰
اندازه محصول (میکرون)	تا زیر ۱۰ میکرون		
کاربرد	خردایش مواد تا ابعاد ریز و بسیار ریز به صورت تر، آسیای مجدد در مدارهای پرعیارسازی		
مزایا	سطح کم برای نصب آسیا، سر و صدای کم، هزینه سرمایه‌گذاری و عملیاتی کم، استفاده بهینه از انرژی، انرژی ویژه بالا		
محدودیت‌ها	محدودیت اندازه و ظرفیت، محدویت ابعاد بار ورودی		

چ- آسیاهای غلتکی

این آسیاها از یک بدنه استوانه‌ای شکل تشکیل شده‌اند که در داخل آن تعدادی غلتک وجود دارد. بار ورودی بین بدنه آسیا و غلتک‌ها خرد می‌شود. این آسیا در دو نوع کف گرد و آونگی (ریموند) ساخته می‌شود. در نوع اول قسمت تحتانی استوانه به صورت مستقل از بدنه به وسیله یک الکتروموتور و جعبه دنده‌ای که در زیر آن قرار دارد، حول محور مرکزی دوران می‌کند. غلتک‌ها که تعداد آن‌ها ۲ تا ۳ عدد است به وسیله فنرهای قوی بر روی بخش دوار تحتانی فشار وارد می‌کنند و مواد ورودی بین بخش تحتانی و غلتک‌ها خرد می‌شوند. در نوع دوم، بخش تحتانی ثابت و تعداد ۳ تا ۵ غلتک به وسیله بازویی بر روی محور آویخته شده است. با دوران محور، غلتک‌ها تحت تاثیر نیروی گریز از مرکز با بدنه تماس می‌گیرند و مواد را خرد می‌کنند. مواد خرد شده در هر دو مدل به وسیله کلاسیفایر هوایی که در بالای آسیا قرار دارد، دانه‌بندی می‌شود. این آسیاها غالبا برای آسیا کردن مواد نسبتا نرم به روش خشک استفاده می‌شود. استفاده از این آسیا برای کانسنگ‌هایی با سختی بیشتر، منجر به افزایش سایش غلتک‌ها می‌شود. (جدول ۲-۱۷).

1- Agitated or srirred mill
2- Sala agitated mill (SAM)
3- Isa mill

omoorepeyman.ir

جدول ۲-۱۷- مشخصات آسیاهای غلتکی

مشخصات ساختمانی			
اندازه آسیا	قطر استوانه مرکزی	تعداد غلتک‌ها در کف گرد (عدد)	۳-۲
تعداد غلتک‌ها در ریموند (عدد)	۵-۳		
پارامترهای عملیاتی			
اندازه بار ورودی	کمتر از ۳۰ میلی‌متر	اندازه محصول (میکرون)	تا زیر ۱۰ میکرون
کاربرد	برای آسیا کردن مواد نیمه سخت و غیر ساینده با سختی کمتر از ۴ در مقیاس موس به صورت خشک (مثل گوگرد، زغال‌سنگ، بنتونیت، کائولن، باریت، بوکسیت، کلسیت، دولومیت، فسفات، پتاس، تالک، گرافیت و نظایر آن)		
مزایا	نیاز به فضای کم، خردایش و طبقه‌بندی هم‌زمان، کاهش گرد و غبار، قابل استفاده برای خردایش در محیط خنثی		
محدودیت‌ها	عدم کارآیی در آسیا کردن مواد سخت و ساینده		

۲-۲- تجهیزات جانبی خردایش در مقیاس صنعتی

۲-۲-۱- چکش مکانیکی

معمولا به علت طراحی نامناسب سیستم آتشباری، قطعات درشتی تولید می‌شود که از دهانه سنگ‌شکن اولیه بزرگتر است. برای خردایش این قطعات از چکش‌های بادی (هوای فشرده) استفاده می‌شود.

۲-۲-۲- ذخیره‌سازی

در عملیات فرآوری، در بعضی موارد باید مواد را ذخیره‌سازی کرد به ویژه در مواقعی که زمان‌بندی تحویل بار ورودی یا حمل محصول مشکل باشد. در داخل کارخانه، نیز در نقاطی که واحدهای مختلف، ظرفیت متفاوتی دارند نیاز به ظرفیت ذخیره‌سازی دارند. در موارد توقف کوتاه به منظور تعمیر و نگهداری زمان‌بندی شده و یا شرایط اضطراری به سه تا چهار ساعت ظرفیت مورد نیاز است. موقعی که ظرفیت ذخیره مورد نیاز بسیار بزرگ باشد، انباشتگاه‌های روی زمین از نظر اقتصادی مزیت ویژه دارند.

- اهداف ذخیره‌سازی

ذخیره‌سازی به منظور تامین مواد ورودی، ذخیره بار ورودی برای دستگاه‌هایی با آهنگ تولید متفاوت، تامین بار ورودی مناسب در جایی که تاخیرات حمل و نقل، آب و هوا و نظایر آن وجود دارد، اختلاط کانسنگ‌های مختلف با مشخصات مختلف و ذخیره‌سازی محصول نهایی با توجه به نیاز بازار انجام می‌شود.

- انواع ذخیره‌سازی

انباشتگاه‌ها و سیلوها از انواع تاسیسات مرسوم ذخیره‌سازی در کانه‌آرایی هستند. انباشتگاه‌ها روباز، پوشیده و یا محصور هستند. در مواقعی که ظرفیت زیاد مورد نظر باشد این نوع ذخیره‌سازی بسیار اقتصادی است. انباشتگاه‌ها از نظر شکل و ابعاد و روش‌های انباشت و برداشت متفاوت‌اند. ابعاد سیلوها از بزرگ (برای مواد خام) تا کوچک (برای مواد میانی مدار) متغیر است. طراحی سیلوها بسته به تجهیزات مدار متفاوت است و از جنس آجر و گچ، بتن، چوب، یا فولاد ساخته می‌شوند. اغلب برای سهولت برداشت یا تخلیه مواد از انباشتگاه‌ها و سیلوها، در زیر آن‌ها قیف (هاپر) نصب می‌شود. اولین گام در طراحی تسهیلات ذخیره‌سازی، تعریف اهداف، ظرفیت مورد نیاز و آهنگ جریان انباشت و برداشت است.

omoorepeyman.ir

۲-۲-۳- نقاله‌ها و تغذیه‌کننده

کارخانه‌های کانه‌آرایی برای کار با ظرفیت کامل برای تولید اقتصادی نیاز به انتقال پیوسته مواد دارند. نقاله‌ها شامل همه تجهیزاتی است که در آن هدف اولیه انتقال مواد در مسافت‌های افقی و قائم است. نقاله‌ها شامل طیف وسیعی از تجهیزات با کارکرد پیوسته تا ناپیوسته‌اند. نقاله‌های پیوسته شامل نوار نقاله‌ها، بالابرهای جام‌دار، ریزشگاه (شوت) و نقاله‌های ناپیوسته شامل لودرها، کامیون‌ها، پمپ‌ها، تجهیزات ریلی و شناورها است. نقاله‌های پیوسته معمولا نیاز به تغذیه‌کننده دارند. هدف اصلی استفاده از تغذیه‌کننده‌ها، اندازه‌گیری و کنترل آهنگ باردهی با مقدار از پیش تعیین شده است. انواع تغذیه‌کننده‌های مورد استفاده در کارخانه‌های کانه‌آرایی شامل نواری، مارپیچ، آپرون، شیرهای دوار، لرزان و گریزلی لرزان است. برای اطلاعات بیشتر در مورد مشخصات، خصوصیات و نحوه انتخاب نقاله و تغذیه‌کننده‌ها به نشریه شماره ۵۶۴ با عنوان"ضوابط حمل و نقل مواد معدنی در مدارهای فرآوری" مراجعه شود.

۲-۲-٤- شناساگر آهن و آهنرباهای مغناطیسی

برای تشخیص قطعات آهنی که از مرحله استخراج و یا سنگ‌شکنی به مدار فرآوری وارد می‌شود، از شناساگرهای آهنی استفاده می‌شود. برای حذف این مواد نیز آهنرباهای الکتریکی یا دایم به صورت معلق و یا در غلتک انتهای نوار نقاله به کار می‌رود.

۲-۲-۵- ابزار دقیق

ابزار دقیق‌ها شامل نشان‌گرها و کنترل‌کننده‌ها هستند و در مدارهای خردایش از ترازوهای زیر نوار نقاله، نشانگرهای جریان روغن، توان مصرفی، حرکت، درصد پالپ و کنترل سطح آن، اسکنر فشار روغن یاتاقان‌ها، کنترل میزان آب و سرعت تغذیه‌کننده‌ها است.

۲-۳- تجهیزات خردایش در مقیاس آزمایشگاهی

۲-۳-۱- آماده‌سازی نمونه

نمونه‌های ترکیبی برداشت شده از پشته کانسنگ یا جریان‌های مختلف در یک کارخانه فرآوری، برای بررسی و کاهش تغییرپذیری، بیش از مقدار مورد نیاز برای تعیین دانه‌بندی یا تجزیه شیمیایی است. برای دانه‌بندی باید وزن نمونه کاهش داده شود. جدول ۲-۱۸ روش‌های آماده‌سازی نمونه و کاهش میزان آن بر اساس ابعاد درشت‌ترین ذرات در نمونه و حداقل جرم نمونه برای تجزیه پس از آماده‌سازی نمونه را نشان می‌دهد.

omoorepeyman.ir

جدول ۲-۱۸- نحوه آماده‌سازی نمونه و کاهش وزن بر مبنای درشت‌ترین ابعاد ذرات

اندازه درشت‌ترین ذرات در نمونه اولیه	روش تقسیم کردن	وزن نسبی نمونه
بزرگتر از ۱۰۰ میلی‌متر	-	تمامی نمونه
۱۲ میلی‌متر تا ۱۰۰ میلی‌متر	- روش چهار قسمتی	۵۰ کیلوگرم
۴۲۰ میکرون تا ۱۲ میلی‌متر	تقسیم‌کننده شانه‌ای	۵ تا ۱۰ کیلوگرم
۱۵۰ میکرون تا ۴۲۰ میکرون	تقسیم‌کننده دوار یا شانه‌ای	۱ کیلوگرم
کوچکتر از ۱۵۰ میکرون	تقسیم‌کننده دوار یا شانه‌ای	۰/۵کیلوگرم

۲-۳-۲- خردایش برای آماده‌سازی نمونه

در آماده‌سازی نمونه برای شناسایی و همچنین انجام آزمایش‌های فرآوری از تجهیزات خردایش در مقیاس کوچک استفاده می‌شود. این تجهیزات شامل سنگ‌شکن‌های فکی، مخروطی، غلتکی، آسیای گلوله‌ای، آسیای میله‌ای یا میله‌ای-گلوله‌ای و یا سرامیکی و پودر کردن است. این تجهیزات در ابعاد مختلف ساخته می‌شوند (جدول ۲-۱۹).

جدول ۲-۱۹- تجهیزات متداول در خردایش برای آماده‌سازی نمونه

تجهیزات	ابعاد دستگاه (سانتی‌متر)	ظرفیت (کیلوگرم در ساعت)	کاربرد	ابعاد بار ورودی (میلی‌متر)	ابعاد محصول (میلی‌متر)
سنگ‌شکن فکی بزرگ	(دهانه×عرض) ۱۳ × ۱۵/۵	۲۵۰-۱۰۰۰	خردایش اولیه	-۱۰۰	۱۵-۵۰
سنگ‌شکن فکی کوچک	(دهانه×عرض) ۶ × ۹	۲۵-۷۵	خردایش اولیه و مرحله دوم	-۵۰	۵-۱۰
سنگ‌شکن مخروطی	قطر هسته: ۳۰		خردایش مرحله دوم یا سوم نمونه	-۱۰	۳-۵
سنگ‌شکن غلتکی	(قطر × طول) ۱۵/۵×۲۵/۵	۲۰۰۰	خردایش مرحله سوم و نهایی	-۱۰	۰/۷۱-۵
آسیای میله‌ای	(قطر × طول) ۲۰× ۳۶	۲-۴ (در هر بار خردایش)	آماده‌سازی نمونه برای آزمایش‌های کانه‌آرایی	-۳	متغیر (بستگی به زمان آسیا)
آسیای گلوله‌ای	(قطر × طول) ۱۳ ×۳۰/۵	۲-۴ (در هر بار خردایش)	آماده‌سازی نمونه برای آزمایش‌های کانه‌آرایی	-۳	متغیر (بستگی به زمان آسیا)
آسیای سرامیکی	در ابعاد مختلف	۰/۵-۴	آماده‌سازی نمونه با محدودیت آلایندگی آهن برای آزمایش‌های کانه‌آرایی	-۳	متغیر (بستگی به زمان آسیا)
آسیای دیسکی	قطر دیسک ۲۲	۱۰۰۰-۲۰۰	آسیای نمونه‌های ترد و غیرساینده	-۵	بستگی به اندازه سرند
پودر کردن	(قطر هاون) ۲۵-۱۵	۰/۲ (در هر بار خردایش)	پودر کردن نمونه برای تجزیه شیمیایی	-۳	-۰/۷۵

omoorepeyman.ir

۲-۳-۳- خردایش به منظور طراحی و انتخاب مدار

برای طراحی، تعیین ابعاد، تعیین توان مصرفی و میزان سایش واسطه‌ها در اغلب تجهیزات مختلف خردایش در مقیاس پیشاهنگ (نیمه‌صنعتی) از تجهیزات آزمایشگاهی استاندارد استفاده می‌شود (جدول ۲-۲۰).

الف- خردایش برای طراحی و انتخاب مدار در مقیاس پیش‌آهنگ

تجهیزات خردایش در مقیاس‌های پیشاهنگ نیز تولید می‌شوند. این تجهیزات برای به دست آوردن معیارهای طراحی، به ویژه در مورد آسیاهای خودشکن و نیمه‌خودشکن استفاده می‌شوند.

جدول ۲-۲۰- تجهیزات مورد استفاده برای طراحی مدار خردایش درآزمایشگاه

آزمایش	ابعاد تجهیزات (میلی‌متر)	کاربرد	ابعاد درشت‌ترین ذرات (میلی‌متر)	ابعاد نمونه پس از خردایش (میلی‌متر)	نمونه مورد نیاز (کیلوگرم)
شاخص ضربه‌ای باند	دو آونگ هر کدام به وزن ۱۳٫۶۲ کیلوگرم	تعیین توان مورد نیاز سنگ‌شکن اولیه	۵۰–۷۵	–	۲۰ برای ذرات ۵۰ تا ۷۵ میلی‌متر
آزمایش سقوط وزنه JKTec	وزنه با وزن ۵۰–۲۰ کیلوگرم از ارتفاع ۱–۰٫۵ متر	تعیین توان مورد نیاز سنگ‌شکن و آسیای AG و SAG	۱۰–۵۰	–	۵۰–۱۰۰
استعداد واسطه	آسیا با (قطر × طول) ۱۸۳۰×۳۰۵	طراحی آسیای خودشکن و نیمه‌خودشکن	۱۶۵	–	۴۰۰
شاخص میله‌ای باند	آسیا با (قطر × طول) ۳۰۵×۵۵۹	تعیین اندازه و توان آسیای میله‌ای	۱۳	۲٫۱	۲۰
شاخص گلوله‌ای باند	آسیا با (قطر × طول) ۳۰۵×۳۰۵	تعیین اندازه و توان آسیای گلوله‌ای	۳٫۳	۱۴۹	۱۰
شاخص ساینده‌گی باند	استوانه: (قطر × طول) ۱۱۴٫۳×۳۰۵٫۴ روتور: با قطر۱۱۴٫۳ صفحه استیل با سختی برینل ۵۰۰ با اندازه ۲۵٫۴×۲۵٫۴	تعیین میزان سایش آستر و گلوله	۱۹–۱۲٫۷	–	۰٫۴
شاخص ساینده‌گیJKMRC	آسیا با (قطر × طول) ۳۰۰× ۳۰۰ با بالابر ۲۵٫۴	تعیین میزان سایش مواد برای شبیه‌سازی آسیای خودشکن و نیمه‌خودشکن	۳۵–۵۵	–	۳
خودشکن مک‌فرسون	آسیا با (قطر × طول) ۴۵۰×۴۵۰	طراحی آسیای خودشکن و نیمه‌خودشکن	۳۲	۱٫۲	۱۳۵
شاخص توان آسیا نیمه‌خودشکن(SPI)	آسیا با (قطر × طول) ۱۰۲×۳۰۵	طراحی آسیای نیمه‌خودشکن	۱۹ d_{80}=۱۳	d_{80}=۱٫۷	۱۰
آزمایش خردایش آسیای نیمه‌خودشکن، SMC	مشابه سقوط وزنه JKTec	تعیین توان مورد نیاز سنگ‌شکن و آسیای SAG	۱۹–۲۲	–	۵
غلتک‌های فشار قوی	قطر استوانه ۲۵۰	طراحی HPGR	۱۲۵	–	۲۵

omoorepeyman.ir

فصل ۳

انواع چیدمان در مدارهای خردایش رایج

omoorepeyman.ir

omoorepeyman.ir

۳-۱- چیدمان بر اساس نوع تجهیزات

۳-۱-۱- سنگ‌شکنی

اولین مرحله در مدارهای خردایش مواد معدنی، مرحله سنگ‌شکنی است. این مرحله بسته به نوع ماده معدنی، ظرفیت، ابعاد بار ورودی و ابعاد محصول با تجهیزات مختلفی انجام می‌شود. مدارهای خردایش را می‌توان به دو گروه سنتی و مدرن طبقه‌بندی کرد. در مدارهای مرسوم خردایش طی یک، دو، سه و حتی چهار مرحله به صورت خشک (به جز سنگ‌شکن واترفلش) در مدار باز یا بسته انجام می‌شود. از مهم‌ترین عوامل تعیین‌کننده تعداد مراحل سنگ‌شکنی و نوع آن ظرفیت کارخانه است. تعداد مراحل خردایش و نوع آن بر اساس ظرفیت کارخانه در جدول ۳-۱ ارایه شده است.

جدول ۳-۱- تعداد مراحل و نوع آن بر اساس ظرفیت

ظرفیت(تن در روز)	کمتر از ۲۵۰	۲۵۰-۲۰۰۰	۲۰۰۰-۴۰۰۰	بیشتر از ۴۰۰۰
تعداد مراحل	یک تا ۲	۲	۲ تا ۳	۳
نوع مدار	باز	مرحله دو در مدار بسته	مرحله دوم و سوم در مدار بسته	مرحله دوم و سوم در مدار بسته

در مدارهای نوین خردایش تنها در یک مرحله با استفاده از سنگ‌شکن ژیراتوری به همراه آسیاهای خودشکن و نیمه‌خودشکن انجام می‌شود. در بعضی از مدارها که امکان تشکیل ابعاد بحرانی وجود دارد این مواد با ابعاد ۵۰-۱۹ میلی‌متر با استفاده از سنگ‌شکن مخروطی و یا آسیای غلتکی فشار بالا خرد می‌شوند.

۳-۱-۲- مدارهای آسیا کردن

مدارهای آسیا کردن را می‌توان به دو دسته مدارهای مرسوم و نوین تقسیم‌بندی کرد. در مدارهای مرسوم از آسیاهای میله‌ای و گلوله‌ای به همراه کلاسیفایرهای مختلف به صورت تر یا خشک استفاده می‌شود، اما در مدارهای نوین از آسیاهای خودشکن و نیمه‌خودشکن استفاده می‌شود. این دو مدار به طور جداگانه بررسی می‌شود. انتخاب روش تر یا خشک به نوع ماده و نوع روش به کار گرفته شده در مراحل پرعیارسازی بستگی دارد.

الف- مدارهای آسیا کردن مرسوم به روش تر

مدارهای خردایش بسته به تعداد مراحل، نوع و قرارگیری تجهیزات جانبی، میزان نرمه و نحوه نرمه‌گیری طراحی می‌شوند. در شکل ۳-۱ مدارهای رایج خردایش به روش تر به عنوان مثل ارایه شده است. این مدارها عبارتند از:

- فلوشیت ۱: عمدتا یک مدار اسکراب یا سایش است و برای مثال با بار خردکننده کم (میله‌ای) در آماده‌سازی سنگ فسفات‌های گراولی کاربرد دارد. ته‌ریز کلاسیفایر بعد از حذف نرمه به مدار پرعیارسازی فرستاده می‌شود.

- فلوشیت ۲: یک مدار یک مرحله‌ای معمول بدون حذف مواد نرمه از مدار است.

- فلوشیت ۳: مشابه فلوشیت ۲ بوده به استثنا این که بار ورودی آسیا ابتدا به وسیله کلاسیفایر طبقه‌بندی می‌شود.

- فلوشیت ۳a: این مدار به عنوان یک گزینه در معدنی برای خردایش یک مرحله‌ای بار ورودی ۹ میلی‌متری تا ۸۰ درصد کوچکتر از ۳۲۵ مش (۴۵ میکرون) استفاده شده است.

omoorepeyman.ir

- فلوشیت ٤: شامل یک آسیای اولیه با مدار باز و یک آسیای ثانویه در مدار بسته با کلاسیفایر نوع پارویی است که سرریز آن به همراه سرریز کلاسیفایر مدار اول محصول را تشکیل می‌دهند. این فلوشیت در مدارهای فلوتاسیون معمول است که مواد پس از سنگ‌شکنی مرحله دوم وارد آسیای میله‌ای می‌شوند.

- فلوشیت ٥: این فلوشیت آسیای دو مرحله‌ای است که برای فلوتاسیون استفاده می‌شود. این فلوشیت برای کانسنگ‌های تمیز و دانه‌بندی محصول بزرگتر از ٦٥ به صورت رضایت‌بخشی کار می‌کند.

- فلوشیت ٦: نوع دیگری از فلوشیت ٥ است و زمانی استفاده می‌شود که بار ورودی نرمه اولیه زیادی داشته که عملکرد کلاسیفایر را با مشکل مواجه می‌کند. اما این نرمه برای فلوتاسیون مضر نیست. اینگونه حذف نرمه با هدف خردایش انتخابی سولفیدها در مدار ثانویه انجام می‌شود. بعضی از محققان اعتقاد دارند نرمه‌گیری اولیه در نوادا باعث ١٦ درصد افزایش در تولید مواد کوچکتر از ٤٨ مش (محصول آسیای اولیه) و ٤٢ درصد افزایش در تولید مواد کوچکتر از ۲۰۰ مش (محصول آسیای ثانویه) و همچنین ۲۸ درصد صرفه‌جویی انرژی در هر تن بار ورودی جدید و ۳۰ درصد صرفه‌جویی در مصرف انرژی برای هر تن مواد تولیدی کوچکتر از ۲۰۰ مش شده است.

- فلوشیت ۷: نوع دیگری از فلوشیت ٥ است و زمانی استفاده می‌شود که که ابعاد محصول کوچکتر از ٦٥ مش باشد.

- فلوشیت ۸: نوع دیگری از فلوشیت ٥ است و زمانی استفاده می‌شود که جداسازی اولیه نرمه برای فلوتاسیون مناسب است. ممکن است این نرمه به همراه مواد خروجی از مدار دوم برای فلوتاسیون استفاده شود. همچنین کلاسیفایر میانی باعث پایدار شدن وضعیت در مدار بعدی می‌شود. استفاده از آن در نوادا باعث افزایش ظرفیت اما افت بازیابی متالوژیکی شده است.

- فلوشیت ۹: مدار ۳ مرحله‌ای معمول برای تولید محصول کوچکتر از ۱۰۰ مش است.

- فلوشیت ۱۰: برای مدار برای خردایش دانه‌ریز استفاده می‌شود. در این مدار نرمه بار ورودی در ابتدا حذف می‌شود و زمانی که وجود نرمه برای کلاسیفایرهای بعدی ایجاد اشکال کند، مفید است. علاوه بر این در این مدار میزان ته‌ریز و در نتیجه بار ورودی به کلاسیفایر جامی نهایی کاهش می‌یابد. اشکال این فلوشیت‌ها در این است که تنها از یک آسیای اولیه در آن استفاده شده است و در صورت خاموش شدن کل مدار از کار می‌افتد.

ب- فلوشیت‌های رایج در آسیا کردن سنتی خشک

مدارهای رایج آسیا کردن متداول به روش خشک در شکل ۳-۲ آمده است. ویژگی‌های این مدارها در زیر توصیف شده است.

- فلوشیت ۱: سیستم ناپیوسته مقدار مشخص از مواد به داخل آسیا ریخته می‌شود و آسیا در زمان از پیش تعیین شده کار می‌کند و سپس حرکت آسیا متوقف و مواد تخلیه می‌شوند. در این سیستم بیشتر از آسیاهای گردان استفاده می‌شود.

- فلوشیت ۲: مدار به صورت سیستم باز بوده و مواد به صورت پیوسته باردهی و تخلیه می‌شوند. تمام انواع آسیاها به استثنا آسیاهای گردان ناپیوسته می‌تواند در این مدار استفاده شوند.

- فلوشیت ۳: آسیاهای چند بخشی گردان که در آن بار خردکننده از هر بخش به بخش بعدی کوچکتر می‌شود و برای بار ورودی نسبتا درشت و نسبت‌های خردایش زیاد مناسب هستند.

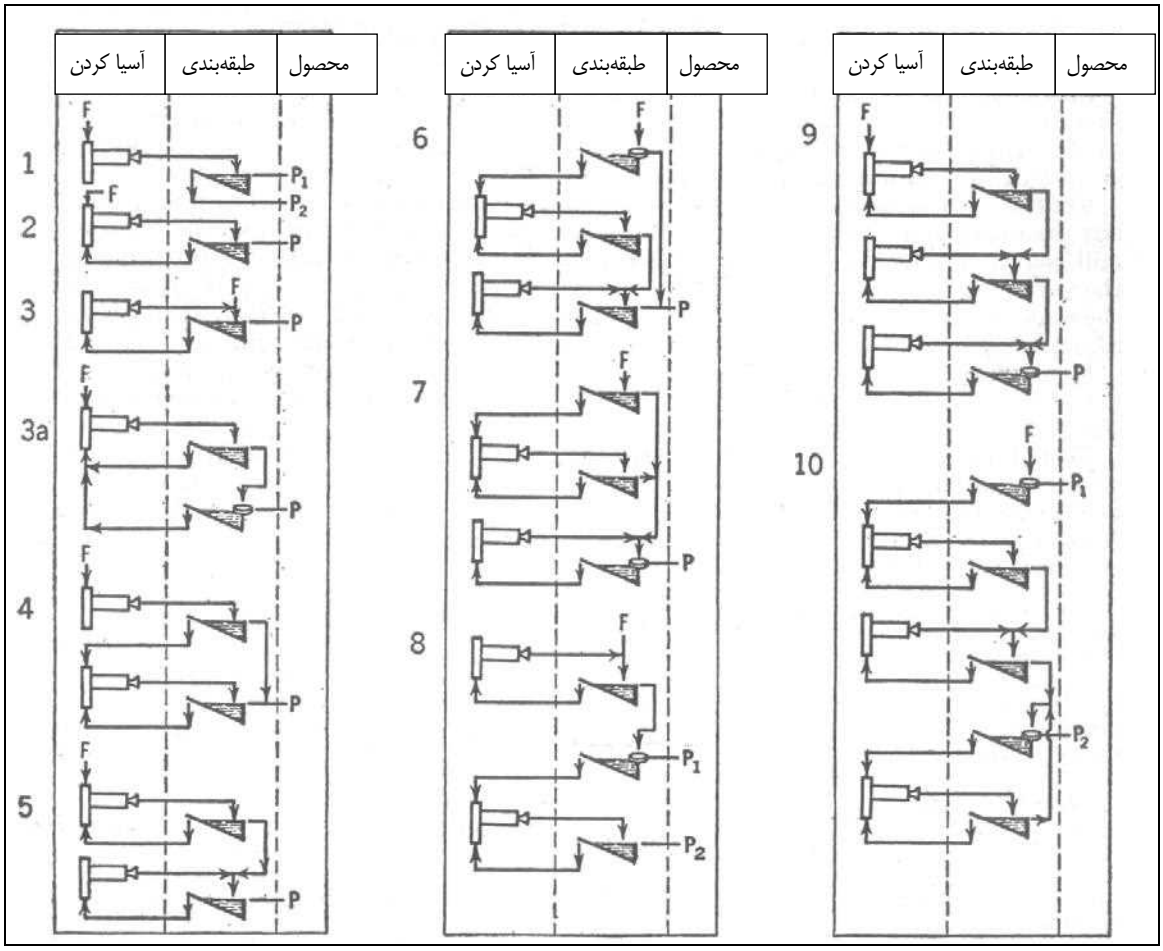
- فلوشیت ٤: آسیاهای چند بخشی با سرند در جلوی هر بخش که ابعاد درشت را به داخل محفظه خردایش برمی‌گرداند. کارآیی این فلوشیت از فلوشیت ۳ بیشتر است.

- فلوشیت ٥: در این مدار هوا به درون محفظه خردایش دمیده می‌شود. بسته به چیدمان داخلی آسیا جدایش و گردش مجدد مواد تغییر می‌کند. این آرایش در آسیاهای چکشی، آسیاهای غلتکی و آسیاهای گردان استفاده می‌شود و بیشترین کاربرد آن در واحدهای پودرسازی سوخت‌ها برای کوره‌ها، دیگ‌های بخار و شبیه آن است.

- فلوشیت ٦: سیستم‌های مدار بسته معمول با به کارگیری آسیاهای غلتکی، چکشی و نظایر آن است. جدایش با دمیده شدن هوا به داخل آسیا انجام می‌شود دریچه خروجی a برای خارج شدن رطوبت در زمان استفاده از گاز داغ است.

- فلوشیت ۷: مداری با کاربرد عمومی با اغلب انواع آسیاهاست. محصول آسیا با تاثیر نیروی ثقل بر روی بالابر ریخته و بر روی سرند منتقل می‌شود و بخش درشت‌دانه آن به داخل آسیا برمی‌گردد. در تولید مواد دانه‌ریز از کلاسیفایر هوایی به جای سرند استفاده می‌شود.

omoorepeyman.ir



شکل ۳-۱- فلوشیت‌های رایج آسیا کردن تر به روش متداول

- فلوشیت ۸: (جریان معکوس) طبقه‌بندی اولیه در داخل آسیا انجام می‌شود. جریان هوا، مواد (خرد شده داخل آسیا) را به کلاسیفایر بیرونی منتقل می‌کند و مواد درشت به داخل آسیا برگشت داده می‌شود.

- فلوشیت ۹: آسیای چند خانه‌ای که بخش اول در مدار بسته با یک سرند خارجی است. بخش دانه‌درشت به جریان ورودی آسیا برگردانده می‌شود و بخش دانه‌ریز توسط ملاقه به بخش دوم باردهی می‌شود. این فلوشیت برای خردایش خیلی زیاد مناسب است. در صورت نیاز می‌توان بخش‌ها را افزایش داد.

- فلوشیت ۱۰: آسیای چند خانه‌ای که بخش ثانویه آن در مدار بسته همراه با یک بالابر و یک کلاسیفایر هوایی کار می‌کند. محصول این فلوشیت از نظر دانه‌بندی از محصول فلوشیت ۹ یک‌دست‌تر هستند.

- فلوشیت ۱۱: ترکیبی از فلوشیت ۹ و ۱۰ برای فراهم‌سازی باری با دامنه دانه‌بندی کوچکتر برای بخش ثانویه است که موجب افزایش کارآیی خردایش و مانع تجمع دانه‌درشت‌ها می‌شود.

- فلوشیت ۱۲: آسیای چند خانه‌ای با سرند داخلی که از خروج مواد درشت از بخش اول جلوگیری می‌کند. محصول بخش دوم به یک کلاسیفایر خارجی منتقل شده و بخش دانه‌درشت را به ابتدای بخش اول باز می‌گردد.

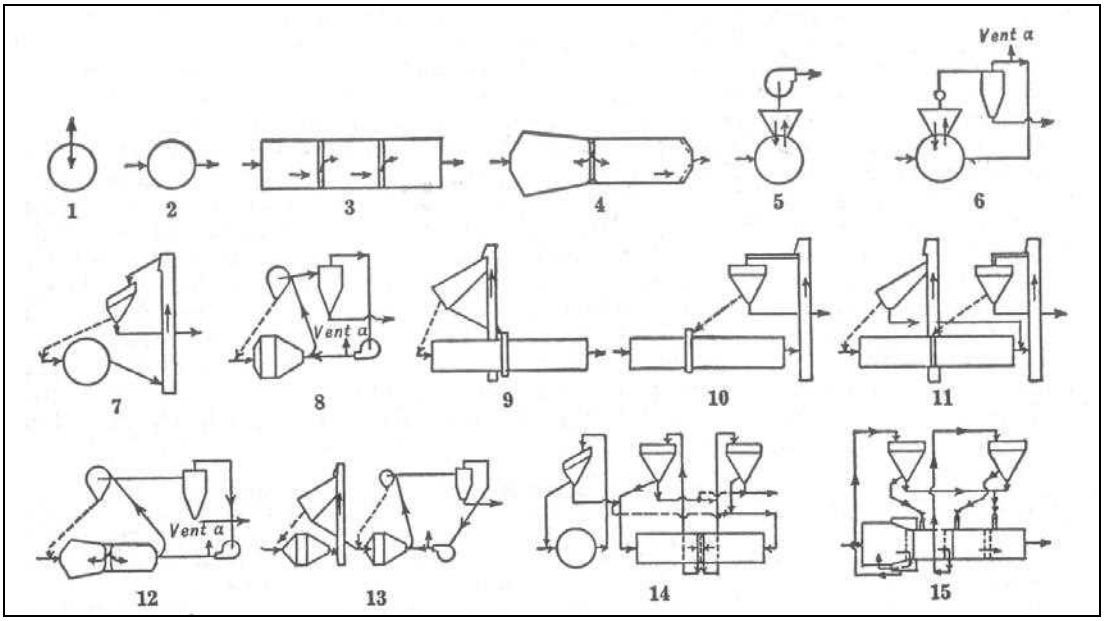
- فلوشیت ۱۳: خردایش دو مرحله‌ای در مدارهای جداگانه انجام می‌شود. مدار اول به وسیله یک بالابر و یک سرند بسته می‌شود و مدار دوم دارای طبقه‌بندی داخل آسیا توسط هوا و کلاسیفایر خارجی است.

- فلوشیت ١٤: شامل سه مرحله خردایش و طبقه‌بندی اولیه در واحدهای جداگانه خارجی است. مدار اولیه با یک سرند بسته می‌شود و بخش زیر سرند به بخش اول آسیای گلوله‌ای تغذیه از دو طرف که از وسط به دو بخش تقسیم شده و تخلیه آن نیز از قسمت وسط انجام می‌شود، فرستاده می‌شود گلوله‌ها بخش اول بزرگتر از بخش دوم‌اند. مدار با یک بالابر و یک کلاسیفایر هوایی بسته شده و بخش دانه‌درشت آن به کلاسیفایر دومی فرستاده

omoorepeyman.ir

می‌شود که با بخش دوم آسیا به همراه بالابر دوم مدار بسته را تشکیل می‌دهند و محصول نهایی مدار را تولید می‌کند. گزینه دیگر مدار (مدار خط‌چین) هر دو کلاسیفایر محصول خروجی را تولید می‌کنند. بخشی از محصول آسیای اولیه برای موازنه مدارها به محصول نهایی فرستاده می‌شود.

- فلوشیت ۱۵: آسیای چهار بخشی. مدار بخش اول با سرند محیطی بسته می‌شود و بخش زیر سرند به کلاسیفایر هوایی فرستاده می‌شود که بخش دانه‌درشت آن به بخش دوم آسیا فرستاده می‌شود. محصول بخش دوم آسیا به کلاسیفایر دوم و بخش دانه‌درشت آن به بخش سوم آسیا فرستاده شده و محصول بخش سوم وارد بخش چهارم آسیا شده و محصول بخش چهارم به همراه بخش دانه‌ریز دو کلاسیفایر محصول نهایی را تشکیل می‌دهند.



شکل ۳-۲- فلوشیت‌های رایج آسیا کردن خشک به روش متداول

پ- چیدمان مدارهای مدرن- آسیاهای خودشکن و نیمه‌خودشکن

مدارهای آسیاهای خودشکن و نیمه‌خودشکن در شکل ۳-۳ نشان داده شده است. توصیف این مدارهای در زیر ارایه شده است.

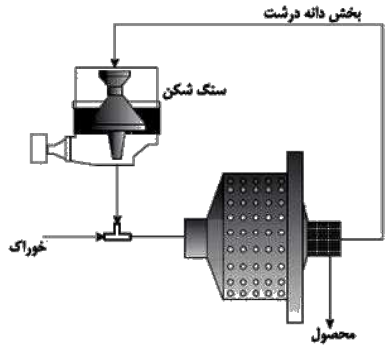
- الف: مدار اول که به مداریک مرحله‌اینیز معروف است در مدار باز کار می‌کند و اغلب زمانی که اندازه محصول درشت دانه بوده و مشکل ابعاد بحرانی وجود داشته باشد مورد استفاده قرار می‌گیرد.

- ب: این مدار نیز مدار یک مرحله‌ای در مدار بسته با سرند گردان یا سرند قوسی است. در صورتی که مشکل ابعاد بحرانی وجود نداشته باشد و دانه‌بندی متوسط مورد نظر باشد از این فلوشیت استفاده می‌شود.

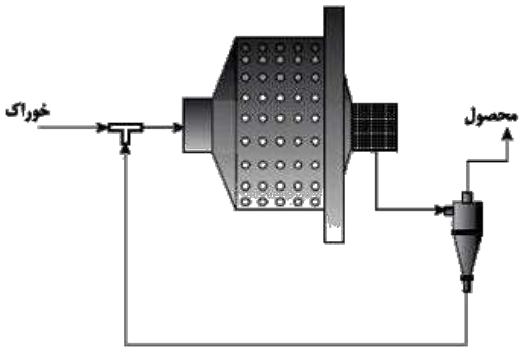
- پ: برای محصول ریزتر و یکنواخت، آسیای خودشکن یا نیمه خود شکن به همراه آسیای گلوله‌ای در مدار بسته با یک هیدروسیکلون به کار گرفته می‌شود.

- ت : این مدار یک مدار دو مرحله‌ای است. زمانی که نیاز به محصول ریز دانه باشد و همچنین مشکل ابعاد بحرانی وجود داشته باشد از این مدار می‌توان استفاده کرد. علاوه بر این ادعا شده است که محصول نهایی این مدار برای مدارهای فلوتاسیون و لیچینگ که گاهی در ادامه مسیر عملیات قرار دارند، بسیار مناسب است.

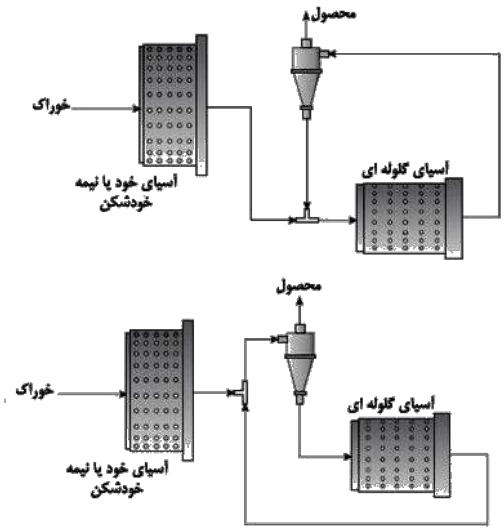
omoorepeyman.ir



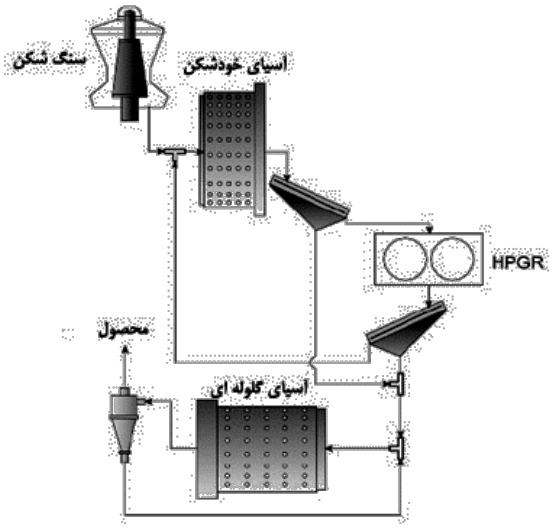
الف: مدار آسیای نیمه‌خودشکن با تجهیزاتی برای چرخه ذرات دانه‌درشت



ب: آسیای نیمه‌خودشکن در مدار بسته



پ: مدارهای دو مرحله‌ای آسیای گلوله‌ای-خودشکن



ت: مدار خردایشی شامل آسیای خودشکن، غلتک‌های آسیا کردن فشاربالا و آسیای گلوله‌ای

شکل ۳-۳- مدارهای آسیاهای خودشکن و نیمه‌خودشکن

۳-۲- چیدمان بر اساس نوع ماده معدنی

۳-۲-۱- کانی‌های فلزی

الف- اورانیم

خردایش در معدنکاری اورانیم آمریکای شمالی به علت توسعه لیچینگ برجا در آمریکا تنها به کشور کانادا محدود شده است. مدار خردایش رایج در این کارخانه‌ها سنگ‌شکنی و آسیا در چند مرحله بود. کنگلومراهای موجود قابلیت تولید قلوه‌سنگ را داشتند به همین علت ترکیبی از آسیای نیمه‌خودشکن و آسیای قلوه‌سنگی موثرترین روش برای خردایش این کانسنگ‌ها بوده‌اند. در این مدار تمام مواد تا درجه آزادی کانی‌های اورانیم (۵۰ درصد کوچکتر از ۲۰۰ مش (۷۵ میکرون)) خرد می‌شوند. در سالیان اخیر خردایش کانه‌های اورانیم به سمت آسیاهای نیمه‌خودشکن خشک هدایت شده است تا انتشار گاز رادون به محیط در طی فرآیند خردایش

omoorepeyman.ir

کاهش یابد. خردایش در محیط تر باعث حل شدن رادون در آب می‌شود. بیورلوج[1] پیشگام این توسعه در ۱۹۶۴ شد. الزامات دولت‌ها و صنایع و مسایل محیط زیست در طراحی مدارهای خردایش اورانیم تاثیرگذار است.

ب- آهن

شیوه خردایش در صنایع آهن خیلی متنوع است. کانه‌های آهن می‌توانند در گستره‌ای از مشخصات از منیتیت‌های بلوکی شبیه تاکونیت‌های مینسوتا[2] ، هماتیت‌های اسپکولار شبیه کانه‌های لابرادور[3] و کبک[4] و کانه‌های هوازده گوتیت یا لیمونیت که لاتریت‌ها هستند و رفتار فیزیکی آن‌ها شبیه کانه‌های ونزوئلا یا غرب استرالیا است. انتخاب فلوشیت برای کانسنگ‌های آهن بستگی به کانی‌شناسی آن دارد. در بیشتر معادن آهن بزرگ‌مقیاس از مدارهای مدرن یعنی آسیای خودشکن و نیمه‌خودشکن به تنهایی و به به همراه آسیای گلوله‌ای استفاده می‌شود. به طور مثال در معدن مینسوتای مدار خردایش شامل یک مرحله آسیای خودشکن در مدار بسته با سیکلون‌ها بود. در معدن امپایر[5] و تیلدن[6] از مدارهای دو مرحله‌ای شامل آسیای خودشکن و آسیای قلوه‌سنگی استفاده می‌کنند. معدن امپایر برای خردایش بهتر قلوه‌سنگ‌های خروجی از آسیای خودشکن (ابعاد بحرانی) و برگشت آن به آسیا از سنگ‌شکن غلتکی فشاربالا استفاده می‌کند. در تیلدن یک آسیای گلوله‌ای برای خردایش قلوه‌سنگ‌ها استفاده می‌شود.

پ- مس، نیکل و مولیبدنیم

شیوه‌های خردایش در فرآوری کانه‌های مس، نیکل و مولیبدنیم به وسیله نوع کانه، منطقه، میزان تولید، مشخصه کانسنگ، تکنولوژی و هزینه انرژی مشخص می‌شود. تا سال ۱۹۶۷ مدارهای خردایش مرسوم برای خردایش کانه‌های پورفیری و ماسیوسولفید استفاده می‌شد. با ظهور مدارهای خردایش خودشکن و نیمه‌خودشکن در آمریکای شمالی در ۱۹۶۷ به کارگیری این مدارها در تمامی‌کارخانه‌های سراسر دنیا آغاز شد.

ت- سرب و روی

شیوه‌های مدرن خردایش کانه‌های سرب-روی و سرب-روی-مس با تغییراتی روی مدارهای متداول ایجاد شده است. مهم‌ترین عملیات اخیر در آنتامینای[7] پرو دارای ظرفیت ۸۰,۰۰۰ تن در روز دارای یک آسیای خودشکن با قطر ۱۱٫۶ متر و سه آسیای گلوله‌ای با قطر ۷٫۳ متر است. فلوشیت معدن برونسویک[8] برای کاهش هزینه‌ها به آسیای خودشکن تبدیل شد. کانی‌شناسی و اندازه دانه‌ها نقش بزرگی را در توسعه فلوشیته ویژه در کانه‌های پیچیده بازی می‌کند. فلوتاسیون رایج‌ترین روش تغلیظ کانه‌های سرب و روی است. اغلب سعی می‌شود برای جلوگیری از تولید نرمه، روی در اندازه‌های درشت از بار ورودی جدا شود. بنابراین لازم است که فلوتاسیون اولیه سرب و روی انجام و باطله برای فلوتاسیون اسکونجر دوباره خردایش شود.

1- Beaver lodge
2- Minnesota
3- Labrador
4- Quebec
5- Empire
6- Tilden
7- Antamina
8- Brunswick

omoorepeyman.ir

ث- تنگستن، قلع، کروم، تانتالیم و نیوبیم

کانی‌های ولفرامیت، شئلیت، کاسیتریت، کرومیت، تانتالیت و پیروکلر ترد و شکننده و چگال‌تر از کوارتز هستند. دامنه چگالی از حداکثر ۷/۹ برای ولفرامیت تا ۴/۲ برای پیروکلر است. خاصیت تردی و چگالی طراحی مدارهای خردایش و طبقه‌بندی را برای فرآیندهای تغلیظ پایین‌دستی تحت تاثیر قرار می‌دهد. هدف اصلی در فرآوری این کانه‌ها حذف نرمه تولید شده غیر از آنچه که در اثر طبیعت سست کانه ایجاد می‌شود، است. حذف سریع کانی‌های آزاد شده در درجه اهمیت اول است. به دلیل وزن مخصوص بالا استفاده از کلاسیفایرهای هیدرولیکی باعث بازگشت کانی‌های آزاد شده به مدار خردایش می‌شود. بنابراین اغلب از سرندها در مدارهای خردایش استفاده می‌شود. به طور مثال به معدن تنگستن کانادا در شمال غرب تریتوری[1] اشاره می‌شود که در سال ۲۰۰۲ بعد از ۴ سال تعطیلی توسط شرکت تنگستن آمریکای شمالی احیا شده است. مدار خردایش این معدن شامل سه مرحله سنگ‌شکنی با سنگ‌شکن فکی، مخروطی استاندارد و مخروطی سرکوتاه با سرندهای اولیه و ثانویه، تشکیل شده است. مدار آسیا نیز دو مرحله آسیای میله‌ای با سیکلون‌ها و سرندها که در دو مرحله بسته شده است. آسیای مرحله اول در مدار باز و آسیای مرحله دوم در مدار بسته است.

۳-۲-۲- کانی‌های غیرفلزی

فرآیند آسیا کردن این مواد به روش تر و خشک انجام می‌شود. خردایش خشک به این دلیل که محصول خشک بوده و نیاز به مرحله خشک کردن ندارد کم هزینه‌تر است. خردایش خشک به وسیله آسیای گلوله‌ای، غلطکی، چکشی و قلوه‌سنگی در مدار بسته با کلاسیفایر هوایی انجام می‌شود و می‌توان محصولی تا ۹۹/۸ درصد کوچکتر از ۳۲۵ مش (۴۴ میکرون) تولید کرد. آسیای دمشی می‌تواند محصولی با دانه‌بندی ۱۵-۵ میکرون را با هزینه بالاتری، تولید کند.خردایش تر با استفاده از آسیاهای گلوله‌ای و قلوه‌سنگی، آسیاهای لرزشی و همزنی به صورت پیوسته انجام می‌شود. خردایش تر دارای مزیت دانه‌بندی کارآتر در محیط آبی به وسیله کلاسیفایرها، سیکلون‌ها، هیدروسیکلون‌ها، فیلترهای خلا، سانتریفیوژهای پیوسته است. بعد از خشک کردن کیک می‌تواند به وسیله پودرکننده‌ها از هم باز شود. انتخاب تجهیزات معمولا وابسته به سختی و ناخالصی‌هاست. ظرفیت سیستم‌ها با افزایش نرمه‌ها به سرعت کاهش پیدا می‌کند.

الف-کودها و فسفات‌ها

بسیاری از موادی که در صنعت ساخت کودها استفاده می‌شوند مانند کلسیم، فسفر، پتاسیم و نیتروژن، عموما در سنگ آهک، شیل، مارن و ژیپس هستند. سنگ آهک معمولا به وسیله آسیای چکشی، غلطکی حلقه‌ای و گلوله‌ای خرد می‌شود.

سنگ فسفات‌ها عموما برای دو هدف، برای کاربرد مستقیم برای کشاورزی یا برای ساخت اسید فسفریک و ساخت کودهای فسفاته، خرد می‌شوند. برای آهنگ تولیدات بیشتر از ۱۰۰ تن در ساعت از سیستم خردایش آسیای گلوله‌ای استفاده می‌شود. آسیای غلتکی حلقه‌ای برای کاربردهای محدودتر به کار می‌رود. سنگ برای کاربرد مستقیم معمولا باید از ۴۰ درصد کوچکتر از ۷۵ میکرون تا ۷۰ درصد کوچکتر از ۷۵ میکرون خرد شود. برای تولید کنسانتره و ساخت سوپرفسفات‌ها سنگ باید از ۶۵ درصد کوچکتر از ۷۵ میکرون تا ۸۵ درصد کوچکتر از ۷۵ میکرون خرد شود.

1- Territory

omoorepeyman.ir

ب- الماس

سنگ‌شکن مخروطی فشاربالا به شکل وسیعی در خردایش کیمبرلیت‌های پیش‌فرآوری شده استفاده می‌شود. در کانادا، غرب استرالیا و آفریقای جنوبی، سنگ‌شکن مخروطی فشاربالا برای خردایش مرحله اول و مرحله دوم در استخراج الماس استفاده شده است. در یک پروژه در سیبری روسیه در شرایط یخی آسیای خودشکن با قطر ۹٫۷۵ متر استفاده شده است.

پ- تالک و سنگ صابون

اغلب تالک‌های صنعتی به روش خشک آسیا می‌شوند. خشک کردن معمولا قبل از آسیا انجام می‌شود زیرا مواد مرطوب ظرفیت آسیا را تا بیش از ۳۰ درصد کاهش می‌دهند. معمولا در آسیا کردن تالک سنگ معدن در سنگ‌شکنی مرحله اول و دوم تا حداقل ۱٫۲۵ سانتی‌متر خرد می‌شود. آسیای غلتکی حلقه‌ای با جداکننده هوایی خارجی به صورت گسترده‌ای در آسیا کردن ظرفیت‌های زیاد تالک‌های نرم استفاده می‌شود. آسیای چکشی سرعت بالا با جداکننده هوایی خارجی در خردایش زیاد تالک‌های نرم با خلوص بالا با موفقیت استفاده شده است. مدار خردایش تالک‌های نرم در غرب ایالات متحده دارای فلوشیت ساده‌ای با یک مرحله سنگ‌شکنی و سپس تالک فقط در آسیای غلتکی ریموند در مدار بسته با جداکننده هوایی خرد می‌شود.

ت- سیلیکات و فلدسپات

سیلیکات‌ها ابتدا در آسیای ضربه‌ای چرخشی و سپس در آسیای گلوله‌ای خرد می‌شوند. فلدسپات‌ها برای استفاده در صنعت سرامیک و صنایع شیمیایی باید بیشتر از مقداری که در صنعت شیشه خرد می‌شوند، خردایش شوند. در خردایش آن‌ها آسیاهای قلوه‌سنگی با کلاسیفایر هوایی استفاده می‌شود.

ث- آزبست و میکا

خردایش و تبدیل میکا به پودر مشکل است. در خردایش خشک آسیای چکشی با انتقال‌دهنده هوایی استفاده می‌شود. تبدیل میکا به پودر میکرونیزه به وسیله جت‌های بخار با فشار بالا انجام می‌گیرد. همچنین خردایش میکا و کائولن به وسیله آسیای همزنی انجام شده است.

omoorepeyman.ir

فصل ۴

معیارهای انتخاب مدار خردایش مواد معدنی

omoorepeyman.ir

omoorepeyman.ir

٤-١- عوامل موثر بر انتخاب مدار

یکی از پرهزینه‌ترین بخش‌های مدار فرآوری، خردایش است و در صورت انتخاب نامناسب ممکن است اقتصاد کلی پروژه تحت تاثیر قرار گیرد. بنابراین در مدارهای فرآوری کم هزینه‌ترین و کارآمدترین مدار خردایش با توجه به نوع ماده معدنی انتخاب شود. اگر هدف طراحی یک واحد جدید باشد باید کلیه پارامترهای تاثیرگذار شناسایی شود. اما در پروژه‌های توسعه‌ای، بهینه‌سازی مدارهای موجود یا بازیافت از سدهای باطله تنها عوامل موثر بر محدودیت‌های طراحی مدار موجود بررسی می‌شود. مدارهای خردایش طیف وسیعی دارند که در این فصل تنها به مدارهای رایج (سنگ‌شکنی و آسیاهای گردان) پرداخته شده و مزایا و محدودیت‌های آن‌ها بررسی می‌شود. این مدارها شامل موارد زیر است:

- سنگ‌شکنی، آسیای میله‌ای، آسیای گلوله‌ای
- سنگ‌شکنی، آسیای گلوله‌ای تک مرحله‌ای
- آسیای خودشکن یک مرحله‌ای
- آسیای خودشکن، آسیای قلوه‌سنگی
- آسیای نیمه‌خودشکن یک مرحله‌ای
- آسیای نیمه‌خودشکن، آسیای گلوله‌ای، سنگ‌شکنی
- سنگ‌شکنی، آسیای میله‌ای، آسیای قلوه‌سنگی
- سنگ‌شکنی، آسیای گلوله‌ای چند مرحله‌ای
- آسیای خودشکن، آسیای گلوله‌ای، سنگ‌شکنی
- آسیای خودشکن، آسیای قلوه‌سنگی، سنگ‌شکنی
- آسیای نیمه‌خودشکن، آسیای گلوله‌ای
- سنگ‌شکنی اولیه، آسیای نیمه‌خودشکن، آسیای گلوله‌ای، سنگ‌شکنی ثانویه

با انجام آزمایش‌های نسبتا ساده اولیه مانند مستعد بودن بار خردکننده، شاخص ضربه‌ای باند، شاخص باند میله‌ای و گلوله‌ای بسیاری از این گزینه‌ها حذف شد که موجب کاهش زمان و هزینه مورد نیاز برای انتخاب مدار خردایش می‌شود.

در سال‌های اخیر در بسیاری از پروژه‌ها از نوع آسیای خودشکن استفاده شده است. اما تیم طراحی باید به دقت دلایل اصلی برای قبول یا رد گزینه‌های مختلف مانند سنگ‌شکنی چند مرحله‌ای-آسیای گلوله‌ای یک مرحله‌ای یا آسیای میله‌ای-گلوله‌ای، استفاده از آسیاهای غلتکی فشار بالا، آسیا کردن خشک و یا ترکیبی از حالت‌های ویژه و ترکیب شستشو-سایش اولیه و آسیا کردن را ارزیابی کنند. عواملی که در طی انتخاب مدار خردایش ارزیابی می‌شوند شامل مشخصات سنگ‌شناسی، دگرسانی‌ها، کانی‌شناسی، پارامترهای ژئوتکنیکی، سختی کانسنگ، پارامترهای خردایش استاندارد، نتایج آزمایش‌های پیشاهنگ، ظرفیت معدنکاری و زمان‌بندی تولید انواع کانسنگ و نظایر آن است.

مهم‌ترین مرحله در طراحی، درک درست از کیفیت و مشخصه‌های کانسنگ است. خصوصیات کانی‌شناسی مانند سختی کانی، مقاومت آن‌ها در مقابل ضربه و سایش، تردی، میزان رطوبت، درجه بلوری شدن، درجه آزادی، مشخصه‌های شیمیایی و دیگر خصوصیات باید مورد بررسی قرار گیرد. در مرحله بعد باید مقیاس کارخانه، ظرفیت، مکان، آب و هوا، دسترسی و وضعیت آب در

omoorepeyman.ir

منطقه بررسی شود. انتخاب نمونه‌ها برای آزمون خردایش در مقیاس آزمایشگاهی و یا پیشاهنگ مهم است و در تضمین موفقیت پروژه موثر است. اگر چه فلوشیت متالورژیکی تعیین‌کننده معیار آزادسازی کانی‌ها است، اما در بسیاری از موارد کارشناس خبره باید مشخص کند که از چند مرحله آسیا کردن باید استفاده شود. مزایا و محدودیت‌های مدارهای مختلف خردایش زیاد است، اما تحلیل نهایی شامل ملاحظات عملیاتی مانند قابلیت دسترسی به بار خردکننده با کیفیت مناسب، نیروی انسانی آموزش دیده برای کار با کارخانه‌های پیچیده و مسایل اقتصادی نیز است. در نهایت داشتن اطلاعات و درک صحیح از عملیات کارخانه‌های مشابه، استفاده از تجربه‌هایی که کسب کرده‌اند ضروری است. خلاصه‌ای از این عوامل، اطلاعات قابل حصول و همچنین تاثیر این عوامل بر انتخاب مدار در جدول ۴-۱ ارایه شده است.

توسعه مراحل مختلف پروژه نیز تاثیر بسزایی در انتخاب عوامل موثر در طراحی مدار خردایش دارد. به همین علت از ابتدای پروژه همکاری کارشناس خبره با گروه طراح متالورژیکی ضروری است. جمع‌آوری و ارزیابی داده‌های معیارهای طراحی به تنهایی توسط خود گروه یا با کمک شرکت‌های مشاور مستقل، قابل انجام است، اما در هر صورت نقطه شروع باید گزارش‌های زمین‌شناسی باشد. این داده‌های زمین‌شناسی و اکتشافی، ویژگی‌های ماده معدنی را تعیین کرده و مبنای برداشت نمونه معرف است. مراحل اولیه مطالعات محدود آزمایشگاهی به صورت ناپیوسته برای تعیین پارامترهای شاخص کانسنگ انجام می‌گیرد. بر اساس نتایج مطالعات فرآوری در مقیاس آزمایشگاهی فلوشیت ارایه و سپس بهینه‌سازی می‌شود. در پایان این مرحله مطالعات پیش‌امکان‌سنجی با در نظر گرفتن پارامترهای وابسته نظیر مکان کارخانه، نوع کانسنگ، تناژ تولیدی، کیفیت محصول و نظایر آن باید انجام گیرد. بر اساس این اطلاعات متخصص کانه‌آرایی باید آزمایش‌های مقیاس پایه را طراحی کند. برای مطالعات اولیه و یا پیش‌امکان‌سنجی معمولا یک مدار مرسوم (سنگ‌شکنی-نیمه‌خودشکن-آسیای گلوله‌ای) در نظر گرفته می‌شود. نمونه‌ها باید به یک آزمایشگاه معتبر برای انجام آزمایش‌های مستعد بودن بار خردکننده خودشکنی، شاخص باند و شاخص سایندگی ارسال شوند. در صورتی که نتایج پیش‌امکان‌سنجی مطلوب باشد، این داده‌ها نقطه شروع مطالعات امکان‌سنجی کامل برای دستیابی به جزییات بیشتر است.

جدول ٤-١- چکیده عوامل مورد نظر، اطلاعات حاصل و تاثیر آن بر انتخاب مدار

عوامل مورد نظر	اطلاعات قابل حصول	تاثیر بر انتخاب مدار
تفسیر زمین‌شناسی از مغزه‌های حفاری و نمونه‌های تکنولوژیک	– شناسایی و فراوانی نسبی کانی‌های سازنده – درجه پراکندگی – انواع سنگ‌شناسی – انواع دگرسانی – درجه اکسیداسیون – قابلیت و استعداد ژئوتکنیکی – سختی	– دستیابی به اطلاعاتی در مورد نوع مدارهای مورد نیاز و انواع نمونه‌های مورد نیاز بر اساس سوابق کانه – تعیین ضرورت ساخت کارخانه‌های جداگانه برای فرآوری کانه‌های سولفیدی و اکسیدی – دستیابی به اطلاعاتی برای انتخاب خردایش خودشکنی
آنالیزهای کانی‌شناسی	– شناسایی کانه و کانی‌های گانگ و کانی‌های میانی – آنالیزهای کیفی و درجه آزادی – آنالیزهای QemSCAN	– تعیین نسبت‌های خردایش (کاهش ابعاد)، آنالیز ابعادی بار ورودی و محصول در مدارهای اولیه، ثانویه و خردایش مجدد
آنالیزهای شیمیایی	– شناسایی اجزای سازنده (فلزی، غیرفلزی و تولیدکننده زهاب‌های اسیدی)	– تعیین الزامات پیش‌شستشوی کانه
ویژگی‌های فیزیکی	– سختی، کلوخه‌شوندگی، تردی، میزان نرمه اولیه و رس موجود – وزن مخصوص کانی‌های سازنده	– دستیابی به اطلاعاتی در مورد پتانسیل‌های ایجاد اشکال در سنگ‌شکنی، سرند کردن و آسیای کانه با توجه به انتخاب مدارهای مرسوم، خودشکن یا نیمه‌خودشکن، خردایش خیلی زیاد و اجتناب از تولید نرمه در خردایش کانی‌های نرمتر مانند Sn, W, Ta, Nb, Pb, Cr

omoorepeyman.ir

ادامه جدول ٤-١- چکیده عوامل مورد نظر، اطلاعات حاصل و تاثیر آن بر انتخاب مدار

عوامل مورد نظر	اطلاعات قابل حصول	تاثیر بر انتخاب مدار
پارامترهای بار ورودی مدار	– پارامترهای بزرگترین اندازه بار استخراجی از معدن آنالیز ابعادی محصول خروجی از سنگ‌شکن اولیه الزامات تولید و زمان‌بندی برنامه‌های معدنکاری، برنامه زمان‌بندی، روش‌ها و اندازه تجهیزات	– تعیین سنگ‌شکن‌های اولیه و الزامات قبل از سنگ‌شکنی با تعیین ابعاد محصول در آهنگ ظرفیت مورد نیاز که می‌تواند در انتخاب سنگ‌شکن اولیه تاثیرگذار باشد.
الزامات نمونه‌برداری	– مغزه‌های حفاری اولیه برای تعریف ذخیره و دو نیم‌کردن مغزه برای شاخص‌های کار باند (شاخص کار آسیای گلوله‌ای(Wi_{BM})، شاخص کارآسیای میله‌ای(Wi_{RM})) و نمونه‌های دوقلو برای شاخصSPI (آسیای نیمه‌خودشکن) – استفاده از تمام مغزه برای تست استعداد واسطه، شاخص‌های کار ضربه‌ای (Wi_C)، شاخص کار آسیای گلوله‌ای باند، شاخص کار آسیای میله‌ای باند، شاخص سایش (Ai)، PLI، فشار تک محوره (UCS)، شاخص کیفیت سنگ (RQD)، فرکانس شکست. – نمونه‌های تکنولوژیکی، مغزه‌های با قطر زیاد (۲۰-۱۵ سانتی‌متر)، روباز یا زیرزمینی برای تست‌های پیشاهنگ	– ارزیابی اولیه الزامات خردایش و تغییرپذیری کانه – انتخاب سایز آسیا با استفاده از روش‌هایی که بر پایه انرژی بنا نهاده شده، استفاده از نتایج شاخص ضربه‌ای باند و شاخص‌های کار خردایش و تفسیر شاخص صلاحیت محیط خودشکنی، SPI، شاخص سایش باند و پارامترهای ژئوتکنیکی، تشخیص خودشکن یا نیمه‌خودشکن و کمک در تعریف برنامه‌های تست پیشاهنگ و ویژگی‌های تغییرپذیری کانه
خصوصیات ذاتی	– تشخیص ویژگی‌های دستگاه‌ها	– تعیین کاربردپذیری تجهیزات با در نظرگرفتن رفتار عملیاتی ذاتی آن‌ها. به عنوان مثال خردایش آسیای خودشکن تا سایز طبیعی دانه‌ها، خردایش آسیای نیمه‌خودشکن از وسط مرز دانه‌ها و حداقل تولید نرمه در آسیای میله‌ای
مشخصات فنی بار ورودی و محصول	– تشخیص الزامات در هر مرحله خردایش	– تاثیر بهینه‌سازی معدن تا آسیا و باردهی تا مرز خفگی به سنگ‌شکن اولیه بر روی آسیای خودشکن یا نیمه‌خودشکن و سنگ‌شکن قلوه‌سنگی، عملکرد مدار خردایش ثانویه (کارآیی انرژی، ظرفیت، افزایش ابعاد بحرانی، بار درگردش و نظایر آن) – بزرگترین ابعاد بار ورودی مرتبط با نسبت قطر به طول آسیاها
شاخص کار باند، شاخص سایش، مصرف انرژی ویژه	– محاسبه انرژی ویژه خردایش در هر مرحله خردایش برای انواع کانه‌های مختلف و ترکیبات، هم از شاخص‌های کار باند یا تست‌های پیشاهنگ یا هر دو – ارزیابی تغییرپذیری کانه (در طی انجام SPI) – چک کردن روی داده‌های تست پیشاهنگ – ارزیابی ریسک یا شرایط پیش‌بینی نشده در استفاده از SPI و نتایج شاخص‌های کار باند بر اساس نمونه‌های انتخاب شده بر طبق طرح معدن	– تعیین انرژی ویژه مصرفی و محدوده تغییرات برای معیارهای طراحی مدار – تخمین میزان فرسایش بار خردکننده و آستر و بررسی پتانسیل آزمایش خردایش در مقیاس نیمه‌صنعتی خودشکن در مقابل نیمه‌خودشکن – تخمین الزامات توان آسیا و توضیع انرژی بین مراحل سنگ‌شکنی و آسیا کردن با در نظر گرفتن تغییر شرایط عملیاتی، ابعاد بار بین مراحل و اهداف تولید
انتخاب مدار	– ارزیابی الزامات انرژی کلی و راندمان انرژی برای مدارهای مختلف – ارزیابی قابلیت دسترسی کلی برای مدراهای مختلف – تعین هزینه انرژی واحد (تورم پیش‌بینی شده برای آن) و مورد نیاز برای مدارهای مختلف	تعیین اقتصادی‌ترین گزینه بر اساس ارزش خالص فعلی (NPV) هزینه‌های عملیاتی و سرمایه‌گذاری (نه ضرورتا بر اساس کارآمدترین مدار بر اساس انرژی) و قابلیت دسترسی مدار برای آهنگ بازگشت سرمایه ثابت. راندمان انرژی ممکن است در طراحی برای هر گزینه مورد نظر کاهش یابد (به عنوان مثال مدار سنگ‌شکنی قلوه سنگی باشد یا نباشد).
راندمان متالورژیکی	– تعیین ترکیب بهینه مدار – تعیین تغییرات آهنگ بار – انتخاب بار خردکننده یا واسطه	تعیین ضرورت آسیا کردن و پرعیارسازی مرحله‌ای برای بهینه‌سازی آزادسازی کانی و بازیابی، استفاده از آسیای خودشکن برای آزادسازی در مرز دانه تعیین تاثیر تغییرات آهنگ بار ورودی در آسیای خودشکن و نیمه‌خودشکن بر روی راندمان متالورژیکی فرآیندهای پایین دستی شناسایی پتانسیل سودمندی خردایش خودشکن در مقابل آسیاهای با بار خردکننده فولادی بر روی عیار و بازیابی کنسانتره برای کانسنگ‌های سولفیدی پیچیده استفاده از آسیای میله‌ای برای کاهش تولید نرمه

omoorepeyman.ir

ادامه جدول ٤-١- چکیده عوامل مورد نظر، اطلاعات حاصل و تاثیر آن بر انتخاب مدار

عوامل مورد نظر	اطلاعات قابل حصول	تاثیر بر انتخاب مدار
ملاحظات هزینه	– تعیین بزرگترین اندازه تجهیزات و طرح آن – تعیین تفاوت بین گزینه‌های مختف خردایش	موثر بر راندمان تجهیزات سنگ‌شکنی و آسیا کردن به عنوان مثال باردهی تا حد خفگی و چیدمان باردهی، جداسازی قسمت سرندها از قسمت سنگ‌شکنی اجتناب از مدار کوتاه در آسیاهای با قطر بزرگ و آسیاهای خودشکن و نیمه‌خودشکن مزیت‌های آسیاهای با دهانه تخلیه بزرگ باز در مقایسه با محدویت‌های آسیاهای یاتاقان‌دار هزینه عملیاتی پایین آسیاهای قلوه‌سنگی در مقابل آسیاهای گلوله‌ای باید در مقابل اندازه بزرگتر آسیای قلوه سنگی نسبت به آسیای گلوله‌ای برای یک انرژی مشخص مزایای آسیاهایی با سرعت متغییر برای انطباق با تغییرات آهنگ بار ورودی و سختی کانسنگ و تاثیر آن‌ها بر اندازه تجهیزات فرآیندهای پایین دستی
تامین آب	– تعیین گزینه‌های مختلف فرآیند	تعیین محل کارخانه در مقابل محل معدن. قابلیت کاربرد آسیا کردن خشک، پرعیارسازی اولیه، و استفاده از آب دریا
آسیا کردن ریز دانه	– تعیین الزامات آزمایش‌ها، آزمایش‌های ناپیوسته و یا آزمایش‌های نیمه‌صنعتی	تعیین محل‌های بهینه کاربرد آسیا کردن ریزدانه در داخل مدار و تشخیص انواع ماشین‌های مورد استفاده
جانمایی کارخانه	– تعیین محل جغرافیایی، شرایط آب و هوایی و راه‌های دسترسی – تعیین محل کارخانه نسبت به معدن – تعیین زمان‌بندی عملیات و الزامات نیروی انسانی – تعیین پتانسیل توسعه	تعیین فرآیندهای خشک و تر تعیین اندازه فیزیکی تجهیزات و محدوده کارخانه، تعداد ساختمان‌ها (واحد در صورت سرباز بودن) و مکان آن‌ها تعیین تمهیدات لازم برای توسعه آتی کارخانه در مورد کارخانه‌های کوچک و ملاحظات مکان ساخت در مورد کارخانه‌های بزرگ به عنوان مثال جانمایی انباشت کانسنگ

٤-٢- عوامل موثر بر انتخاب سنگ‌شکن

انتخاب تجهیزات سنگ‌شکنی با توجه به کاربردهای آن به عوامل زیادی نظیر روش استخراج و الگوی انفجار و نظایر آن‌ها و نوع فرآیند مورد استفاده در فرآوری با در نظر گرفتن عواملی نظیر مدار خردایش آسیا، فروشویی توده‌ای و نظایر آن تحت تاثیر قرار می‌گیرد. برای بیشتر کاربردها یک فلوشیت مرسوم وجود دارد که باید با توجه به نیازهای پروژه اصلاح شود. عوامل زیر در انتخاب نهایی مدار سنگ‌شکنی موثر است:

– ابعاد بار ورودی
– ظرفیت کارخانه
– ابعاد محصول مدار سنگ‌شکنی برای فرآیندهای بعدی
– مشخصات و سختی کانسنگ و تغییرات بار ورودی در طول زمان
– شرایط آب و هوایی
– فرآیند پایین‌دستی

omoorepeyman.ir

بسته به روش استخراج و نوع کانسنگ‌ها، ابعاد بار ورودی سنگ‌شکنی متفاوت است. ابعاد سنگ‌شکن انتخاب شده باید برای ظرفیت تولید و همچنین بزرگترین قطعات سنگ بار ورودی، مناسب باشد. در مدارهای سنگ‌شکنی چند مرحله‌ای، محصول مرحله قبل، عامل تعیین‌کننده در انتخاب نوع و چیدمان مدار سنگ‌شکنی است.

بر مبنای توان عملیاتی یا ظرفیت کارخانه و برنامه زمانی تحویل کانسنگ به فرآیند پایین‌دستی، مسیر اصلی طراحی فلوشیت خردایش و انتخاب تجهیزات انجام می‌گیرد. بر اساس این اطلاعات، ابعاد، نوع، تعداد مراحل و تعداد واحدهای سنگ‌شکنی مورد نیاز در هر مرحله، تعیین می‌شود. برای استخراج زیرزمینی به علت ظرفیت پایین، اندازه بار ورودی کوچکتر، نیاز به فضای کمتر سنگ‌شکن فکی مناسب‌تر است. اما در استخراج روباز با توجه به ظرفیت بالا معمولا یک یا چند واحد سنگ‌شکنی ژیراتوری به عنوان سنگ‌شکن اولیه مورد نیاز است و محصول آن معمولا قبل از باردهی به آسیا در انباشتگاه ذخیره می‌شود. در ظرفیت‌های بالا، حداقل سه مرحله سنگ‌شکنی نیاز است. در این شرایط به دلیل محدودیت‌های ظرفیت سنگ‌شکن‌های مرحله دوم و سوم، برای پاسخ‌گویی به نیازمندی‌های فرآیند به تعداد زیادی سنگ‌شکن برای هر مرحله نیاز است. به همین علت این دو مرحله تاثیر زیادی بر هزینه‌های سرمایه‌گذاری و عملیاتی دارند. فرآیندها به طور معمول برای تناژ اسمی طراحی می‌شود. اما تجهیزات خردایش به علت وقفه‌های برنامه‌ریزی شده و یا خارج از برنامه در تمام مدت یک شیفت یا روز کار نمی‌کنند. به مدت زمانی که یک دستگاه در مدت زمان برنامه‌ریزی شده آماده به کار است قابلیت دسترسی دستگاه گفته می‌شود. قابلیت دسترسی مدار سنگ‌شکنی به طور معمول ۷۵ تا ۸۵ درصد و مدار آسیا کردن با آسیای میله‌ای-گلوله‌ای ۹۸ درصد و آسیای خودشکن و نیمه‌خودشکن ۹۴ درصد است. در نظرگرفتن انبارهای ذخیره بین واحدهای عملیاتی، موجب می‌شود فرآیندهای پایین‌دست یا بالادست به صورت پیوسته کار کنند. برای یک مدار با سه مرحله سنگ‌شکنی، اگر واحد ذخیره برای هر بخش در نظر گرفته نشود تاخیراتی که به دلیل سرویس و نگهداری و یا خرابی به مدار تحمیل می‌شود، ممکن است کل خط تولید را دچار وقفه کند و قابلیت دسترسی کلی تا ۶۵ درصد کاهش دهد. در این صورت برای دستیابی به ظرفیت اسمی کارخانه کانه‌آرایی باید از واحد سنگ‌شکنی و تجهیزات کمکی بزرگتر استفاده شود که موجب افزایش هزینه سرمایه‌گذاری خواهد شد. انبارهای ذخیره نیز نیاز به نیروی انسانی برای تعمیر و نگهداری دارد در ارزیابی احداث آنها هزینه سرمایه‌گذاری و عملیاتی آن باید در مقابل انتخاب یک واحد سنگ‌شکنی بزرگتر باید بررسی شود.

ابعاد محصول نهایی مدار سنگ‌شکنی تعیین‌کننده تعداد مراحل سنگ‌شکنی و نوع سنگ‌شکن‌ها است. مدار خردایش آسیای نیمه‌خودشکن به ابعاد درشت در بار اولیه (ریزتر از ۱۵سانتی‌متر) نیاز دارد که از سنگ‌شکن اولیه تامین می‌شود. برای تناژ پایین از آسیای میله‌ای-گلوله‌ای یا یک مرحله آسیای گلوله‌ای استفاده می‌شود و بار ورودی با ابعاد ریزتر از ۱۵ میلی‌متر از دو مرحله مدار سنگ‌شکنی با استفاده از سنگ‌شکن فکی اولیه و سنگ‌شکن مخروطی ثانویه در یک مدار بسته با یک سرند لرزان آماده می‌شود. برای تناژهای بالاتر، سه مرحله مدار سنگ‌شکنی لازم است که در سومین مرحله از سنگ‌شکن مخروطی سرکوتاه برای تولید محصول ریزتر از ۱۵ میلی‌متر استفاده می‌شود. برای خردایش‌های بیشتر در مدار سنگ‌شکنی (کاربردهای ویژه)، سنگ‌شکن مخروطی و یا واترفلاش به کار می‌رود که محصول آن به عنوان بار ورودی به مدار آسیا انتقال می‌یابد. در سنگ‌شکن واترفلاش به بار ورودی آب اضافه می‌شود تا ذرات ریزتر را در درون محفظه سنگ‌شکن شسته شوند و از گرفتگی سنگ‌شکن جلوگیری کند. برای تولید ذرات ریز به روش خشک، از سنگ‌شکن ضربه‌ای قائم در مدار بسته با سرند لرزان استفاده می‌شود.

در تعیین ابعاد تجهیزات و انتخاب ان برای مدار سنگ‌شکنی باید ویژگی‌های مواد معدنی مانند سختی، سفتی، ساینده‌گی، میزان رطوبت و کیفیت تبلور را نیز باید در نظر گرفت. در این راستا باید با مطالعات زمین‌شناسی و کانی‌شناسی انواع مختلف کانسنگ‌ها در

omoorepeyman.ir

معدن شناسایی شود و به دنبال آن زمان‌بندی استخراج مشخص شود تا بتوان بر اساس کانسنگ استخراجی از معدن مدار خردایش مناسب را انتخاب کرد.

شرایط آب و هوایی نیز در انتخاب تجهیزات سنگ‌شکنی موثر است. اگر پروژه در یک ناحیه با آب و هوای گرم و خشک واقع شده باشد، واحد سنگ‌شکنی در یک سوله صنعتی نصب می‌شود. بسته به نوع کانسنگ، آب و هوای مرطوب ممکن است مشکلات خردایش و همچنین انتقال کانسنگ را به وجود آورد. در صورتی‌که به محیط بسته نیاز باشد، نصب تجهیزات تهویه و غبارگیری نیز باید انجام گیرد که باعث افزایش هزینه‌های سرمایه‌ای و جاری خواهد شد. در چنین شرایط آب و هوایی، توصیه می‌شود از آسیای نیمه‌خودشکن استفاده شود.

٤-۳- معیارهای انتخاب سنگ‌شکن اولیه

این نوع سنگ‌شکن‌ها در اولین مرحله کاهش ابعاد خردایش استفاده می‌شوند. بار اولیه این سنگ‌شکن‌ها تابع وضعیت آتشباری است که معمولا ابعادی ریزتر از ۱/۵ متر دارند و محصول ریزتر از ۳۰ سانتی‌متر تولید می‌کنند. نوع سنگ‌شکن بر اساس کانسنگ و ابعاد آن بر اساس ظرفیت کارخانه تعیین می‌شود. به طور معمول از سنگ‌شکن‌های ژیراتوری، فکی، غلتکی دندانه‌دار، گردان کم سرعت، ضربه‌ای، چکشی و باردهنده سرخود به عنوان سنگ‌شکن‌های اولیه استفاده می‌شود. برای انتخاب نوع سنگ‌شکن اولیه معیارهای زیر باید مورد توجه قرار گیرد:

- ابعاد محصول مورد نظر با توجه به ظرفیت
- بزرگترین ابعاد بار ورودی
- ظرفیت در زمان بیشینه تولید
- در نظر گرفتن امکان مسدود یا خفه شدن سنگ‌شکن
- حذف مواد متفرقه از جمله سرمته
- نظارت
- توان مورد نیاز
- مقاومت
- شرایط تعمیر و نگهداری
- زمان و هزینه بخش‌های قابل تعویض سنگ‌شکن
- سهولت دسترسی به بخش‌های خارجی سنگ‌شکن برای تعمیرات
- میزان سرمایه‌گذاری اولیه و هزینه‌های عملیاتی

٤-۳-۱- تاثیر نوع مواد

سنگ‌شکن‌های اولیه با توجه به سازگاری آن‌ها با نوع کانسنگ به سه گروه تقسیم می‌شوند:

- سنگ‌شکن‌های ژیراتوری و فکی با بازوی مضاعف برای مواد سخت و ساینده و غیرچسبنده
- سنگ‌شکن‌های فکی با بازوی ساده و برای مواد با سختی متوسط، غیرساینده و چسبنده

omoorepeyman.ir

- سنگ‌شکن‌های ضربه‌ای، غلتکی، باردهنده سرخود و چکشی برای مواد ترد و شکننده نرم و غیرساینده

٤-۳-۲- ابعاد بار ورودی و ابعاد محصول

دهانه سنگ‌شکن اولیه به نحوی انتخاب می‌شود که بار ورودی حداکثر ۸۰ درصد آن باشد. ابعاد محصول تابع نسبت خردایش سنگ‌شکن و بار ورودی مرحله بعدی است که بر مبنای d_{80} محاسبه می‌شود.

٤-۳-۳- شاخص ساینده‌گی

شاخص سایش (پنسیلوانیا) برای انتخاب بهینه سنگ‌شکن مورد استفاده قرار می‌گیرد. شاخص سایش کانسنگ‌های مختلف در جدول ۴-۲ و معیار انتخاب سنگ‌شکن بر اساس این شاخص در جدول ۴-۳ ارایه شده است.

جدول ٤-۱- شاخص سایشی معمول برای مواد مختلف

مواد	شاخص سایشی معمول
اکسید آلومینیم	۱۴۰۰۰
ماسه‌سنگ	۱۳۰۰۰
کوارتز	۱۱۰۰۰
کانسنگ طلا	۸۰۰۰
گرانیت	۷۰۰۰
سنگ‌آهک میکرایتی	۵۰۰۰
کانسنگ تنگستن	۳۰۰۰
کانسنگ آهن (هماتیتی)	۶۰۰
سنگ‌آهک	۵۰۰
رس	۲۵

جدول ٤-۲- انتخاب سنگ‌شکن بر اساس شاخص سایشی

شاخص سایشی کمتر از	سنگ‌شکن
۳۵۰۰۰	ژیراتوری-فکی با بازوی مضاعف
۶۰۰۰	ژیراتوری-فکی با بازوی مضاعف، فکی با بازوی ساده-خردکننده سرعت پایین
۲۰۰۰	ژیراتوری-فکی با بازوی مضاعف، فکی با بازوی ساده-خردکننده سرعت پایین
۱۰۰۰	ژیراتوری-فکی با بازوی مضاعف، فکی با بازوی ساده-خردکننده سرعت پایین، خردکننده سرعت بالا، سنگ‌شکن ضربه‌ای، چکشی، بار دهنده خردکننده

٤-۳-٤- مقاومت در مقابل ضربه

مقاومت مواد در مقابل خرد شدن در اثر ضربه را مقاومت ضربه‌ای گویند. سنگ‌شکن‌ها را می‌توان بر اساس مقاومت در برابر خردایش به گروه‌های مختلفی مطابق جدول ۴-۳ و ۴-۵ تقسیم‌بندی کرد. علاوه بر موارد یاد شده میزان رس موجود در کانسنگ، سرویس‌های زیرزمینی و سیار یا ثابت بودن تجهیزات و بسیاری دیگر در طراحی سنگ‌شکن‌ها موثر است.

omoorepeyman.ir

جدول ٤-۳- تقسیم‌بندی سنگ‌ها بر اساس مقاومت در مقابل خردایش

دسته	نوع کانسنگ	مقاومت ضربه‌ای (فوت-پوند برایتچ)	معادل فشاری (PSI)	معادل فشاری (مگاپاسکال)
۱	به شدت سخت	≤۲۴	≤۳۳,۰۰۰	+۲۵۰
۲	خیلی سخت	۲۰-۲۴	۳۳,۰۰۰	۲۳۰
۳	سخت	۱۶-۲۰	۲۷,۰۰۰	۱۹۰
۴	متوسط	۱۲-۱۶	۲۲,۰۰۰	۱۵۰
۵	نرم	۸-۱۲	۱۶,۵۰۰	۱۱۵
۶	خیلی نرم	≥۸	۱۰,۰۰۰	۷۰

جدول ٤-٤- انتخاب سنگ‌شکن بر اساس مقاومت ضربه‌ای

مقاومت ضربه‌ای	سنگ‌شکن
≤۲۴	ژیراتوری-فکی با بازوی مضاعف
۲۰-۲۴	ژیراتوری-فکی با بازوی مضاعف
۱۶-۲۰	ژیراتوری-فکی با بازوی مضاعف، فکی با بازوی ساده، خردکننده سرعت پایین
۱۲-۱۶	ژیراتوری-فکی با بازوی مضاعف، فکی با بازوی ساده، خردکننده سرعت پایین، سنگ‌شکن‌های غلتکی دندانه‌دار، باردهنده خردکننده
۸-۱۲	ژیراتوری-فکی با بازوی مضاعف، فکی با بازوی ساده-خردکننده سرعت پایین، سنگ‌شکن‌های غلتکی دندانه‌دار، سنگ‌شکن ضربه‌ای-آسیا چکشی، باردهنده سرخود
کمتر از ۸	ژیراتوری-فکی با بازوی مضاعف، فکی با بازوی ساده-خردکننده سرعت پایین، سنگ‌شکن‌های غلتکی دندانه‌دار، سنگ‌شکن ضربه‌ای-آسیا چکشی، بار دهنده سرخود

٤-۳-۵- انتخاب سریع سنگ‌شکن‌های اولیه

جدول ٤-۵- انتخاب سنگ‌شکن بر اساس ظرفیت

ظرفیت (تن در ساعت)	۱۵۰۰	۳۰۰۰	۶۰۰۰	۹۰۰۰	۱۲۰۰۰
ژیراتوری	■	■	■	■	
فکی با بازوی مضاعف	■				
فکی با بازوی ساده	■				
غلتکی دندانه‌دار	■	■			
خردکننده سرعت پایین	■	■	■	■	
ضربه‌ای	■	■			
سنگ‌شکن چکشی	■	■			
باردهنده سرخود	■	■			

omoorepeyman.ir

جدول ٤-٦- انتخاب سنگ‌شکن اولیه بر اساس ابعاد بار ورودی معدن (ROM)

ابعاد بار ورودی (میلی‌متر)	۵۰۰	۱۰۰۰	۱۵۰۰	۲۰۰۰	۲۵۰۰
ژیراتوری					
فکی با بازوی مضاعف					
فکی با بازوی ساده					
غلتکی دندانه‌دار					
خردکننده سرعت پایین					
ضربه‌ای					
سنگ‌شکن چکشی					
باردهنده سرخود					

جدول ٤-٧- انتخاب سنگ‌شکن اولیه بر اساس ابعاد محصول

ابعاد محصول (میلی‌متر)	۱۰۰	۲۰۰	۳۰۰	۴۰۰	۵۰۰
ژیراتوری					
فکی با بازوی مضاعف					
فکی با بازوی ساده					
غلتکی دندانه‌دار					
خردکننده سرعت پایین					
ضربه‌ای					
سنگ‌شکن چکشی					
باردهنده سرخود					

جدول ٤-٨- انتخاب سنگ‌شکن اولیه بر اساس مقاومت فشاری

مقاومت فشاری (مگاپاسکال)	۰	۱۰۰	۲۰۰	۳۰۰	۴۰۰	۵۰۰	۶۰۰
ژیراتوری							
فکی با بازوی مضاعف							
فکی با بازوی ساده							
غلتکی دندانه‌دار							
خردکننده سرعت پایین							
ضربه‌ای							
سنگ‌شکن چکشی							
باردهنده سرخود							

جدول ٤-٩- انتخاب سنگ‌شکن اولیه بر اساس شاخص سایش

شاخص سایش	۰	۸۰۰	۱۶۰۰۰	۲۴۰۰۰	۳۲۰۰۰
ژیراتوری					
فکی با بازوی مضاعف					
فکی با بازوی ساده					
غلتکی دندانه‌دار					
خردکننده سرعت پایین					
ضربه‌ای					
سنگ‌شکن چکشی					
باردهنده سرخود					

omoorepeyman.ir

جدول ٤-١٠- کاربرد سنگ‌شکن اولیه بر اساس میزان مواد رسی در کانسنگ

میزان مواد رسی	خیلی کم	کم	متوسط	زیاد	خیلی زیاد
ژیراتوری	■				
فکی با بازوی مضاعف	■				
فکی با بازوی ساده		■			
غلتکی دندانه‌دار	■				
خردکننده سرعت پایین					■
ضربه‌ای					
سنگ‌شکن چکشی					
بار دهنده سرخود		■			

جدول ٤-١١- کاربرد سنگ‌شکن اولیه برای استفاده در معادن زیرزمینی

امکان استفاده در معادن زیرزمینی	خیلی کم	کم	متوسط	زیاد	خیلی زیاد
ژیراتوری			■	■	
فکی با بازوی مضاعف			■	■	
فکی با بازوی ساده			■	■	
غلتکی دندانه‌دار		■			
خردکننده سرعت پایین					■
ضربه‌ای					
سنگ‌شکن چکشی					
باردهنده سرخود					■

جدول ٤-١٢- کاربرد سنگ‌شکن اولیه برای کارخانه‌های سیار

میزان تحرک	خیلی کم	کم	متوسط	زیاد	خیلی زیاد
ژیراتوری				■	
فکی با بازوی مضاعف		■			
فکی با بازوی ساده				■	
غلتکی دندانه‌دار		■			
خردکننده سرعت پایین					■
ضربه‌ای			■		
سنگ‌شکن چکشی			■		
بار دهنده سرخود					■

٤-٤- معیارهای انتخاب سنگ‌شکن‌های مخروطی مرحله دوم و سوم

از آنجا که برای سنگ‌شکنی مراحل دوم و سوم عمدتا از سنگ‌شکن‌های مخروطی استفاده می‌شود بنابراین در ادامه معیارهای انتخاب این سنگ‌شکن‌ها مورد بحث قرار می‌گیرد. در مواردی خاص برای این مراحل از سنگ‌شکن‌های استوانه، چکشی و ضربه‌ای نیز استفاده می‌شود. راه‌اندازی راحت، نگهداری ساده، تولید یکدست در طی عمر آسترها و دسترسی بالا از مزایای این نوع سنگ‌شکن‌ها است. با توسعه فن‌آوری این سنگ‌شکن‌ها مجهز به کنترل‌کننده‌های خودکار شده‌اند. توان مصرفی، فضای مناسب ورودی، سیستم روغن‌کاری، دما، فشار و فیلتر به صورت خودکار اندازه‌گیری و به کامپیوتر کنترل‌کننده فرستاده می‌شود و بر اساس آن آهنگ بار ورودی و تنظیمات سنگ‌شکن برای عملکرد بهینه تعیین می‌شود.

omoorepeyman.ir

٤-٤-١- معیارهای انتخاب سنگ‌شکن‌های مخروطی

جمع‌آوری اطلاعات کاربردی صحیح، لازمه انتخاب مناسب سنگ‌شکن‌های مخروطی برای کاربرد خاص است. اطلاعات مورد نیاز شامل ظرفیت مورد نیاز، دانه‌بندی بار ورودی، ابعاد محصول و ویژگی‌های مواد خرد شونده است. مشخصات مواد شامل جرم مخصوص، شاخص کار ضربه‌ای، شاخص سایش و میزان رطوبت است. داده‌های واقعی از عملیات مشابه اگر موجود باشد، کمک ارزشمندی در انتخاب تجهیزات خردایش مرحله دوم و سوم می‌کند.

٤-٤-٢- محدودیت‌های انتخاب سنگ‌شکن‌های مخروطی

در انتخاب این نوع سنگ‌شکن‌ها سه عامل محدودکننده شامل حجم، توان و نیرو باید در نظر گرفته شود. محدودیت حجمی یک سنگ‌شکن مخروطی، بیشینه بار ورودی است که سنگ‌شکن می‌تواند بدون سرریز شدن کار کند. محدودیت حجم تابعی از سرعت سنگ‌شکن مخروطی، اندازه گلوگاه در حالت بسته، زاویه راس و جرم مخصوص مواد است. گاهی توان مورد نیاز سنگ‌شکن مخروطی برای خردایش کانه در شرایط خاص از توان موتور نصب شده روی سنگ‌شکن بیشتر است. این شرایط در خردایش کانه‌های باشاخص کار بالا یا مقاوم در مقابل شکست به وجود می‌آید. همچنین اگر سنگ‌شکن برای دستیابی به نسبت خردایش بالا تنظیمات شود ممکن است سنگ‌شکن نتواند توان لازم برای خردایش را تامین کند. در صورتی که نیروهای به کار رفته در طی خردایش از نیروی قابل اعمال به وسیله فنرها یا سیستم هیدرولیکی نگهدارنده دستگاه در اندازه دهانه در حال کار بیشتر شود، گلوگاه سنگ‌شکن باز می‌شود تا نیروی اعمالی به حد مجاز برسد. رخداد بیشتر این عمل موجب افت کارآیی و خرابی سنگ‌شکن می‌شود.

٤-٤-٣- ابعاد و محدوده ظرفیت سنگ‌شکن‌های مخروطی

داده‌های مربوط به ابعاد و ظرفیت سنگ‌شکن‌های مخروطی یکی از سازندگان معتبر برای دو گلوگاه مختلف از سنگ‌شکن در جدول ۴-۱۳ ارایه شده است. برای دستیابی به نسبت خردایش بالا یا کار با موادی که شاخص کار ضربه‌ای خیلی بالا دارند، باید ظرفیت سنگ‌شکن تنظیم شود.

جدول ٤-١٣- اندازه سنگ‌شکن‌های مخروطی یکی از سازندگان معتبر برای دو ابعاد دهانه

مدل	قطر دهانه (میلی‌متر)	توان (کیلووات)	حداکثر ابعاد بار ورودی (میلی‌متر)	ظرفیت (تن در ساعت)	ظرفیت (تن در ساعت)
				گلوگاه در حالت بسته۱۲ میلی‌متر	گلوگاه در حالت بسته۳۲ میلی‌متر
HP 100	۷۰۰	۷۵	۱۴۱	۶۰–۸۰	۱۰۰–۱۴۰
HP 200	۹۰۰	۱۵۰	۱۸۳	۱۲۰–۱۵۰	۱۹۰–۲۳۵
HP 300	۱۱۰۰	۲۲۵	۲۱۰	۱۱۵–۱۴۰	۲۵۰–۳۲۰
HP 400	۱۳۰۰	۳۰۰	۳۰۱	۱۴۰–۱۷۵	۳۲۵–۴۳۰
HP 500	۱۵۰۰	۳۷۵	۳۵۰	۱۷۵–۲۲۰	۴۰۵–۵۳۵
HP 800	۱۸۰۰	۶۰۰	۳۵۳	۲۶۰–۳۳۵	۵۴۵–۸۰۰
MP 800	۲۱۰۰	۶۰۰	۳۷۸	۴۹۵–۵۸۵	۹۳۲–۱۱۴۵
MP 1000	۲۴۰۰	۷۵۰	۳۷۸	۶۱۵–۷۳۰	۱۱۶۰–۱۵۰۰

omoorepeyman.ir

٤-٤-٤- انتخاب سنگ‌شکن مخروطی مرحله دوم

انتخاب سنگ‌شکن مخروطی برای کاربرد خاص با در نظر گرفتن محدودیت‌های طراحی آن به همراه داده‌های مربوط به ابعاد و ظرفیت سنگ‌شکن‌های مخروطی انجام می‌شود. بار ورودی سنگ‌شکن مرحله دوم، در صورتی که میزان محصول مورد نظر در آن بیش از ۱۰ تا ۱۵ درصد باشد، قبل از بادهی به سنگ‌شکن سرند می‌شود. سنگ‌شکن مخروطی مرحله دوم معمولا در مدار باز کار می‌کند. محصول این سنگ‌شکن به روی سرند سنگ‌شکن مرحله سوم انتقال می‌یابد. برای انتخاب صحیح سنگ‌شکن مخروطی مرحله دوم نکات زیر باید مورد توجه قرار گیرد:

- ابعاد بار ورودی و توزیع دانه‌بندی
- ابعاد سنگ‌شکن
- دهانه و گلوگاه سنگ‌شکن
- نسبت خردایش
- ظرفیت
- سختی و ساینده‌گی مواد
- نوع محفظه
- میزان مواد ریزتر از ابعاد گلوگاه در بار ورودی

٤-٤-٥- انتخاب سنگ‌شکن مخروطی مرحله سوم

سنگ‌شکنی مرحله سوم در اکثر موارد آخرین مرحله سنگ‌شکنی است. ابعاد بار ورودی سنگ‌شکن مخروطی مرحله سوم (غالبا مخروطی سرکوتاه) بین۱۵۰-۲۵ میلی‌متر است. همچنین داشتن شکل صحیح محفظه مطابق با تغییرات بار ورودی موجب افزایش کارآیی و کاهش مصرف آستر می‌شود. با انتخاب تجهیزات مناسب برای کاربرد خاص می‌توان نسبت خردایش را در سنگ‌شکن‌های مرحله سوم بین ۶-۴ کنترل کرد. بار ورودی سنگ‌شکن‌های مرحله سوم سرند شده و بخشی از آن که مطابق با دانه‌بندی محصول است از بار ورودی حذف شود. این کار موجب کاهش بار ورودی به سنگ‌شکن و ایجاد ظرفیت بیشتر در محفظه برای خردایش ذرات بزرگتر می‌شود. در این سنگ‌شکن‌ها زمانی که سنگ‌شکن به شکل پیوسته با ظرفیتی نزدیک به توان اسمی کار می‌کند تولید بیشینه است.

٤-٥- پارامترهای موثر در مدار سنگ‌شکنی

چیدمان مدار خردایش و تجهیزات کمکی، فاکتور تعیین‌کننده‌ای در رسیدن به نیازهای تولید و کاهش هزینه‌های سرمایه‌ای و عملیاتی است. پارامترهای مهم طراحی باید با در نظر گرفتن خصوصیات کانسنگ، موقعیت جغرافیایی، شرایط آب و هوایی، عمر مورد انتظار پروژه، پتانسیل توسعه، ایمنی، محیط زیست و تعمیر و نگهداری بررسی شود. هدف اصلی طراحی مدار خردایش، نصب تجهیزاتی است که محصول مورد نیاز را با هزینه قابل قبول (ساختمان، تجهیزات و انرژی) مطابق با قوانین سخت‌گیرانه زیست‌محیطی فراهم سازد. طراحی یک مدار خردایش بهینه شامل سه مرحله طراحی فرآیند، انتخاب تجهیزات و جانمایی است.

omoorepeyman.ir

٤-٦- پارامترهای طراحی

پارامترهای اصلی طراحی و آرایش مدار خردایش شامل موارد زیر است:

- الزامات تولید
- مشخصات کانسنگ
- مکان پروژه
- ملاحظات عملیاتی
- شرایط آب و هوایی
- هزینه سرمایه‌ای
- ایمنی و زیست‌محیطی
- عمر معدن و طرح‌های توسعه
- تعمیر و نگهداری

٤-٦-١- الزامات تولید

معیارهای طراحی فرآیند، نیازهای تولید پروژه را مشخص می‌کند. فلوشیت، ظرفیت اسمی و بیشترین آهنگ تولید، ابعاد تجهیزات برای دستیابی به این ظرفیت را تعیین می‌کند. اما همانطور که قبلا اشاره شد تجهیزات خردایش به علت وقفه‌های برنامه‌ریزی شده و خارج از برنامه نمی‌تواند در مدت زمان پیش‌بینی شده به صورت پیوسته کار کند. برای تعیین ظرفیت اسمی مدار خردایش باید این موارد در نظر گرفته شود. نمونه‌ای از این محاسبات در جدول ۴-۱۴ ارایه شده است.

الف- هزینه سرمایه‌ای

- هزینه‌های مستقیم شامل هزینه‌های خرید و نصب تجهیزات کارخانه سنگ‌شکنی و هزینه پیمانکاران غیرمستقیم نظیر آماده‌سازی زمین، بتن‌ریزی، اسکلت فلزی، تجهیزات مکانیکی، الکتریکی و نظایر آن است.

- هزینه‌های غیرمستقیم که معمولا در حدود ۶۰-۴۰ درصد هزینه‌های مستقیم، شامل ساختمان‌های جانبی، قطعات یدکی، راه‌اندازی و بهره‌برداری، مالیات و حقوق، تجهیزات ساخت، مهندسی، تهیه و تحویل و مدیریت ساخت، حمل و انتقال مواد و هزینه‌های مالک (جابه‌جایی، استخدام، آموزش پرسنل، مجوزها و حق بهره‌برداری) است.

علاوه بر موارد یاد شده احتمال وقوع هزینه‌های پیش‌بینی نشده به میزان ۱۰ تا ۲۰ درصد از مجموع هزینه‌های مستقیم و غیرمستقیم را تشکیل می‌دهد.

٤-٦-٢- مشخصات کانسنگ

مشخصات کانسنگ عامل مهمی در انتخاب سنگ‌شکن و طراحی کارخانه است و در مورد کانسنگ‌های خشک باید از نظر تولید گرد و غبار تدبیر اتخاذ شود، ولی در مورد کانسنگ‌های مرطوب و چسبنده که باعث گرفتگی سنگ‌شکن، کاهش ظرفیت قیف و سیلوها می‌شوند نیز باید تجهیزات خاصی در نظر گرفته شود.

omoorepeyman.ir

جدول ٤-١٤- الزامات تولید- نمونه بارز

ردیف	پارامترهای تولید	مقدار	توضیحات
۱	**زمان‌بندی تولید**		
۲	تعداد شیفت در روز		
۳	تعداد ساعت در شیفت		
۴	روز در سال		
۵	تناژ در سال		
۶	تن متریک در روز		
۷	**زمان کل (ساعت در سال)**		=۲×۳×۴
۸	**زمان وقفه‌های برنامه‌ریزی شده**		
۹	صنعتی		
۱۰	الکتریکی		
۱۱	آب و هوا (جوی)		طبق شرایط جوی منطقه
۱۲	تعطیلات		طبق تقویم
۱۳	برنامه اصلی تعمیر و نگهداری		۸ ساعت در هفته
۱۴	تعمیر و نگهداری سنگ‌شکن		تقریباً هر دو ماه ۱۲ ساعت
۱۵	تغییر شیفت		۱۰ دقیقه در هر شیفت
۱۶	**کل زمان تلف شده (ساعت در سال)**		=۹+۱۰+۱۱+۱۲+۱۳+۱۴+۱۵
۱۷	**زمان تولید (ساعت در سال)**		=۷-۱۶
۱۸	**زمان وقفه‌های خارج از برنامه**		
۱۹	نبودن کانسنگ		۵٪ از زمان تولید(۱۷)
۲۰	گرفتگی شوت‌ها		۲٪ از زمان تولید(۱۷)
۲۱	خفه شدن سنگ‌شکن		۲٫۵٪ از زمان تولید(۱۷)
۲۲	پر شدن انبار ذخیره		۱٪ از زمان تولید (۱۷)
۲۳	کلید ایمنی		۲٫۵٪ از زمان تولید (۱۷)
۲۴	فلز روی نوار نقاله		۱ ساعت در هفته
۲۵	تعمیر نوار نقاله		۲٫۵٪ از زمان تولید (۱۷)
۲۶	الکتریکی		۲٫۵٪ از زمان تولید (۱۷)
۲۷	**مجموع ساعت توقف‌های خارج از برنامه**		=۱۹+۲۰+۲۱+۲۲+۲۳+۲۴+۲۵+۲۶
۲۸	**زمان کل در حال کار**		=۱۷-۲۷
۲۹	کل زمان وقفه‌های تولید		=۱۶+۲۷
۳۰	درصد استفاده از سیستم		$= \frac{۲۸}{۱۶} \times ۱۰۰$
۳۱	متوسط ساعت در شیفت		$= \frac{۳۰ \times ۳}{۱۰۰}$
۳۲	بهره‌وری در ۲۴ ساعت		=۲×۳۱
۳۳	درصد قابلیت دسترسی		$= \frac{۲۸}{۷} \times ۱۰۰$
۳۴	**آهنگ عملیاتی اسمی (تن در ساعت)**		$= \frac{۵}{۷ \times ۳۰} \times ۱۰۰$
۳۴	**ظرفیت نوار نقاله (تن در ساعت)**		=۱٫۲×۳۴ (۲۰ درصد بیشتر از ظرفیت اسمی)

omoorepeyman.ir

٤-٦-٣- ایمنی و محیط زیست

ایمنی در تمام مراحل عملیات معدنی باید در نظر گرفته شود و آموزش ایمنی مداوم کارکنان نیز از دیگر موارد ضروری است. انتشار گرد و غبار باید محدود و در چهارچوب تعیین شده باشد. طراحان باید پیش‌بینی‌های لازم را برای نصب کاهنده‌های گرد و غبار و تجهیزات جمع‌کننده انجام دهند. ریزش مواد از نوار نقاله و تغذیه‌کننده‌ها باید حداقل و تجهیزات لازم باید برای کاهش سر و صدا در نظر گرفته شوند.

٤-٦-٤- مکان پروژه

موقعیت جغرافیایی، توپوگرافی، شرایط ژئوتکنیکی و آب و هوا می‌تواند روی طراحی کارخانه سنگ‌شکنی تاثیرگذار باشد. معمولا هزینه‌های ساخت در ارتفاعات، مناطق سرد و دور افتاده بیشتر است. برای کاهش هزینه‌ها معمولا در این مناطق از ساختارهای پیش‌ساخته استفاده می‌شود.

٤-٦-٥- عمر معدن و طرح توسعه

عمر معدن، یکی از عوامل تعیین‌کننده در طراحی مدار خردایش است. معادنی با عمر کوتاه به دقت خاص در طراحی، چیدمان و ساختمان نیاز دارند. اسکلت و ساختمان واحد خردایش مرحله اول مهم‌ترین عامل در کاهش هزینه خردایش مرحله اول است و طراحی آن باید متناسب با عمر معدن باشد. معمولا ساختمان‌های با اسکلت فلزی و یا طراحی پیش‌ساخته برای معادن با عمر کوتاه بهترین گزینه است. در حالی که برای معادن با عمر طولانی سازه‌های بتنی بزرگ خیلی اقتصادی‌تر است. در معادن با دوره بهره‌برداری کوتاه مدت، هدف کاهش هزینه‌های سرمایه‌ای است، در حالی که در معادن با دوره بهره‌برداری طولانی مدت طراحی نصب تجهیزات باید به نحوی باشد که باعث کاهش هزینه‌های عملیاتی و تعمیر و نگهداری در طی دوره بهره‌برداری باشد.

٤-٦-٦- ملاحظات عملیاتی

طراحان واحدهای جدید باید به روش‌های ساخت واحد با عملکرد ساده، موثر و اقتصادی آشنا باشند. در طراحی‌های جدید پایش پیوسته مدارها انجام می‌گیرد و اپراتور تمامی بخش‌های قطعات سنگ‌شکن را به صورت مستقیم و پیوسته کنترل و پایش می‌کند. چیدمان اتاق‌ها، تهویه و دسترسی به آب در بخش‌های مختلف باید به صورت ویژه طراحی شود.

٤-٦-٧- تعمیر و نگهداری

کارخانه‌ها باید به روشی طراحی شوند تا دسترسی به بخش‌های مختلف و تعمیرات ماشین‌آلات به سادگی انجام گیرد. در تعمیر و نگهداری مدون واحدهای سنگ‌شکنی باید عوامل زیر در نظر گرفته شود:

- تعمیر بخش‌های فرسوده سنگ‌شکن
- تعمیر بخش‌های فرسوده تغذیه‌کننده‌ها
- روغن‌کاری مداوم اجزای متحرک
- بازرسی‌های پیوسته

omoorepeyman.ir

- تعمیر میزهای سرند
- تعویض نوار نقاله
- تعویض تسمه نوار نقاله
- تنظیمات مکانیکی و الکتریکی

معمولا باید یک جرثقیل سقفی در واحد سنگ‌شکن نصب شود تا امکان تعویض قطعات فرسوده، شفت اصلی و نوار نقاله‌ها در زمان کوتاه انجام گیرد.

٤-٦-٨- شرایط آب و هوایی

طراحی کارخانه در شرایط آب و هوایی سرد و یا در نقاط کم آب با چالش‌های زیادی روبه‌رو است. تغییرات فصول می‌تواند میزان رطوبت کانسنگ را تغییر دهد به این ترتیب کارخانه سنگ‌شکنی باید با تغییرات در نوسانات بار ورودی هماهنگ باشد.

omoorepeyman.ir

خواننده گرامی

امور نظام فنی و اجرایی سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، با گذشت بیش از چهل سال فعالیت تحقیقاتی و مطالعاتی خود، افزون بر ششصد عنوان ضابطه تخصصی- فنی، در قالب آیین‌نامه، معیار، دستورالعمل، مشخصات فنی عمومی، نشریه و مقاله، به صورت تالیف و ترجمه، تهیه و ابلاغ کرده است. ضابطه حاضر در راستای موارد یاد شده تهیه شده، تا در راه نیل به توسعه و گسترش علوم در کشور و بهبود فعالیت‌های عمرانی به کار برده شود. فهرست ضوابط منتشر شده در پایگاه اطلاع‌رسانی**nezamfanni.ir** قابل دستیابی می‌باشد.

امور نظام فنی و اجرایی

Islamic Republic of Iran
Management and Planning Organization

Guideline for Comminution Circuits Selection in Mineral Processing Plants

No. 670

Office of Deputy for Strategic Supervision
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

2015

omoorepeyman.ir

این نشریه

به نحوه انتخاب تجهیزات خردایش که شامل مدارهای سنگ‌شکنی و آسیا کردن است می‌پردازد.

omoorepeyman.ir