جمهوری اسلامی ایران

معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رییس جمهور

ضوابط و معیارهای فنی انتخاب آسیاهای خودشکن و نیمه خودشکن

نشریه شماره ۵۸۰

معاونت نظارت راهبردی

امور نظام فنی

وزارت صنعت، معدن و تجارت

معاونت امور معادن و صنایع معدنی

Nezamfanni.ir

http://www.mim.gov.ir

۱۳۹۱

بسمه‌تعالی

ریاست جمهوری
معاون برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رئیس‌جمهور

بخشنامه به دستگاه‌های اجرایی، مهندسان مشاور و پیمانکاران	شماره: ۱۰۰/۹۸۲۸۱
	تاریخ: ۱۳۹۱/۱۱/۲۳
موضوع : ضوابط و معیارهای فنی انتخاب آسیاهای خودشکن و نیمه خودشکن	

به استناد ماده (۲۳) قانون برنامه و بودجه و ماده (٦) آیین‌نامه استانداردهای اجرایی طرح‌های عمرانی- مصوب سال ۱۳۵۲ و در چارچوب نظام فنی و اجرایی کشور (موضوع تصویبنامه شماره ٤۲۳۳۹/ت۳۳٤۹۷هـ مورخ ۱۳۸۵/٤/۲۰ هیأت محترم وزیران)، به پیوست نشریه شماره ۵۸۰ امور نظام فنی، با عنوان «**ضوابط و معیارهای فنی انتخاب آسیاهای خودشکن و نیمه خودشکن**» از نوع گروه سوم ابلاغ می‌شود.

رعایت مفاد این ضابطه برای دستگاه‌های اجرایی، مشاوران، پیمانکاران و سایر عوامل ذی‌نفع نظام فنی و اجرایی، در صورت نداشتن ضوابط معتبر بهتر، از تاریخ ۱۳۹۲/۲/۱ اجباری است.

پیروز مرادی

۸۷۵۷۵۸

اصلاح مدارک فنی

خواننده گرامی:

امور نظام فنی معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رییس جمهور، 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.*

٤- *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، معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رییس جمهور، امور نظام فنی ، مرکز تلفن ۳۳۲۷۱

Email:info@nezamfanni.ir **web: http://nezamfanni.ir**

بسمه تعالی

پیشگفتار

نظام فنی و اجرایی کشور (مصوبه شماره۴۲۳۳۹/ ت ۳۳۴۹۷ ه‍ مورخ ۱۳۸۵/۴/۲۰ هیات وزیران) به کارگیری معیارها، استانداردها و ضوابط فنی در مراحل تهیه و اجرای طرح و نیز توجه لازم به هزینه‌های نگهداری و بهره‌برداری در قیمت تمام شده طرح‌ها را مورد تاکید جدی قرار داده است و این امور به استناد ماده ۲۳ قانون برنامه و بودجه و نظام فنی اجرایی کشور وظیفه تهیه و تدوین ضوابط و معیارهای فنی طرحهای توسعه‌ای کشور را به عهده دارد. کاربرد آسیاهای بزرگ خودشکن و نیمه‌خودشکن در واحدهای کانه‌آرایی و فرآوری کشور به دلیل مزایای فراوان عملیاتی و اقتصادی این نوع تجهیزات رو به افزایش است. تهیه و تدوین معیارهای فنی انتخاب این گروه از آسیاها از جمله برنامه‌های اساسی و راهبردی در توسعه صنعت و اقتصاد معدنی کشور به شمار می‌آید. نکته قابل توجه آن است که در ارایه اطلاعات مورد نیاز برای انتخاب آسیاهای خودشکن و نیمه‌خودشکن، مسایل و جنبه‌های مربوط به بررسی و تعیین پارامترهای مختلف عملیاتی و طراحی تا حد لزوم مطرح شده است.

این نشریه با عنوان «**ضوابط و معیارهای فنی انتخاب آسیاهای خودشکن و نیمه‌خودشکن**» به ارایه مفاهیم اساسی در خصوص آسیاهای خودشکن و نیمه‌خودشکن پرداخته است و مشخصات نمونه و بار خردکننده را به طور جداگانه مورد بررسی و ارزیابی قرار داده است. مزایا و معایب استفاده از این آسیاها، معیارها و پارامترهای انتخاب آن‌ها، آزمایش‌های استاندارد برای ارزیابی قابلیت خردایش کانسنگ به وسیله آسیاهای خودشکن و نیمه‌خودشکن و مدارهای این نوع آسیاها از جمله موارد دیگری است که در این نشریه به آن‌ها پرداخته شده است.

با همه‌ی تلاش انجام شده قطعا هنوز کاستی‌هایی در متن موجود است که إن‌شاءا... کاربرد عملی و در سطح وسیع این نشریه توسط مهندسان موجبات شناسایی و برطرف نمودن آن‌ها را فراهم خواهد نمود.

در پایان، از تلاش و جدیت جناب آقای مهندس غلامحسین حمزه مصطفوی و کارشناسان امور نظام فنی همچنین جناب آقای مهندس وجیها... جعفری مجری محترم طرح تهیه ضوابط و معیارهای فنی بخش معدن کشور در وزارت صنایع و معادن، کارشناسان دفتر نظارت و بهره‌برداری معادن و متخصصان همکار در امر تهیه و نهایی نمودن این نشریه، تشکر و قدردانی می‌نماید. امید است شاهد توفیق روزافزون همه‌ی این بزرگواران در خدمت به مردم شریف ایران اسلامی باشیم.

معاون نظارت راهبردی

بهمن ۱۳۹۱

مجری طرح

آقای وجیها... جعفری	معاون امور معادن و صنایع معدنی – وزارت صنایع و معادن

اعضای شورای عالی به ترتیب حروف الفبا

خانم فرزانه آقارمضانعلی	معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی ریاست جمهوری	کارشناس ارشد مهندسی صنایع
آقای بهروز برنا	سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور	کارشناس مهندسی معدن
آقای وجیه ا... جعفری	وزارت صنایع و معادن	کارشناس مهندسی معدن
آقای عبدالعلی حقیقی	معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی ریاست جمهوری	کارشناس ارشد زمین‌شناسی
آقای عبدالرسول زارعی	وزارت صنایع و معادن	کارشناس ارشد زمین‌شناسی
آقای ناصر عابدیان	سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور	کارشناس ارشد مهندسی معدن
آقای حسن مدنی	دانشگاه صنعتی امیرکبیر	کارشناس ارشد مهندسی معدن
آقای هرمز ناصرنیا	سازمان نظام مهندسی معدن	کارشناس ارشد مهندسی معدن

اعضای کارگروه فرآوری به ترتیب حروف الفبا

آقای احمد امینی	سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور	کارشناس ارشد مهندسی فرآوری مواد معدنی
آقای عبدالعلی حقیقی	معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی ریاست جمهوری	کارشناس ارشد زمین‌شناسی
آقای علیرضا ذاکری	دانشگاه علم و صنعت	دکترای مهندسی متالورژی
آقای بهرام رضایی	دانشگاه صنعتی امیرکبیر	دکترای مهندسی فرآوری مواد معدنی
سرکار خانم 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
آقای عبدالرسول زارعی	وزارت صنایع و معادن	کارشناس ارشد زمین‌شناسی
آقای مصطفی شریف‌زاده	دانشگاه صنعتی امیرکبیر	دکترای مهندسی مکانیک سنگ
آقای حسن مدنی	دانشگاه صنعتی امیرکبیر	کارشناس ارشد مهندسی معدن
آقای بهزاد مهرابی	دانشگاه تربیت معلم	دکترای زمین‌شناسی اقتصادی

اعضای گروه هدایت و راهبری پروژه

خانم فرزانه آقارمضانعلی	رئیس گروه امور نظام فنی
آقای علیرضا فلسفی	کارشناس عمران امور نظام فنی
آقای علیرضا غیاثوند	رئیس گروه ضوابط و معیارهای معاونت امور معادن و صنایع معدنی

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فصل اول- کلیات

۱-۱- آشنایی ۳

۱-۲- تعاریف ۳

۱-۳- کاربرد آسیاهای خودشکن و نیمه‌خودشکن ۴

۱-۴- معیارهای طراحی آسیاهای خودشکن و نیمه‌خودشکن ۴

فصل دوم- تعیین مشخصات خوراک و بار خردکننده

۲-۱- مشخصات خوراک ۹

۲-۲- مشخصات بار خردکننده ۱۰

فصل سوم- مزایا و معایب استفاده از آسیاهای خودشکن و نیمه‌خودشکن

۳-۱- آشنایی ۱۳

۳-۲- معیارهای انتخاب آسیاهای خودشکن و نیمه‌خودشکن ۱۴

۳-۳- مدت زمان دوره ساخت و اجرا ۱۵

فصل چهارم- آزمایش‌های استاندارد، انواع مدارها و محاسبات

۴-۱- آزمایش‌های استاندارد آسیاهای خودشکن و نیمه‌خودشکن ۱۹

۴-۲- آزمایش‌های پیشاهنگ ۲۳

۴-۳- انواع مدارهای آسیاهای خودشکن و نیمه‌خودشکن ۲۶

۴-۴- محاسبات و ارزیابی آسیاهای خودشکن و نیمه‌خودشکن ۳۶

فصل پنجم- کنترل داده‌ها و آزمایش‌ها

۵-۱- آشنایی ۴۱

۵-۲- اطلاعات زمین‌شناسی ۴۱

۵-۳- اطلاعات کانی‌شناسی و تجزیه شیمیایی ۴۱

۵-۴- مشخصات فیزیکی کانسنگ ۴۱

۵-۵- آزمایش‌های قابلیت خردایش و خودشکنی کانسنگ ۴۱

فصل ۱

کلیات

۱-۱- آشنایی

تعاریف و مفاهیم پایه در زمینه آسیاهای خودشکن و نیمه‌خودشکن و کاربرد آن‌ها در فرآوری و اهداف استفاده از این فناوری در صنایع معدنی به شرح زیر ارایه می‌شود.

۱-۲- تعاریف

۱-۲-۱-خردایش[1]

سنگ‌شکنی[2] و یا آسیا کردن[3] ماده معدنی بر اثر ضربه، سایش و یا فشارش که مورد اول معمولا در شرایط خشک و برای ابعاد درشت کانسنگ و مورد دوم معمولا در شرایط تر و برای ابعاد کوچک کانسنگ به کار می‌رود.

۱-۲-۲- خردایش اولیه[4]

اولین مرحله خرد کردن مواد معدنی که بسته به مورد ممکن است به وسیله سنگ‌شگن یا آسیا انجام گیرد.

۱-۲-۳- آسیای گردان[5]

آسیای خردکننده یا پودرکننده‌ای که پوسته استوانه‌ای دارد و حول محور افقی دوران می‌کند. مواد و بار خردکننده از یک طرف آسیا وارد می‌شود و محصول نیز از طرف دیگر (به صورت سرریز یا شبکه‌ای) تخلیه می‌شود. مکانیزم عمده در خردایش مواد در این آسیاها سایش[6] است.

۱-۲-٤- آسیای خودشکن

آسیای خودشکن (اتوژن)[7] به آسیای گردانی[8] اطلاق می‌شود که بار خردکننده[9] آن را، خود مواد معدنی تشکیل می‌دهند.

۱-۲-۵- آسیای نیمه‌خودشکن

نوعی آسیا که در آن علاوه بر مواد معدنی از مقداری بار خردکننده نیز برای خردایش استفاده می‌شود. بار خردکننده در اغلب موارد گلوله‌های فولادی است.

---

1 - Comminution
2 - Crushing
3 - Grinding
4 - Primary commination
5 - Tumbling Mill
6 -Attrition
7 - Autogenous Mill (AG mill)
8 - Tumbling Mill
9 - Grinding Media

۱-۲-٦- مدار خردایش[1]

در فرآوری مواد معدنی پس از مراحل سنگ‌شکنی شامل مراحل اول، دوم و سوم عموما از آسیای میله‌ای در مدار باز و آسیای گلوله‌ای در مدار بسته با یک وسیله طبقه‌بندی استفاده می‌شود. در صورت استفاده از آسیاهای خودشکن و نیمه خودشکن معمولا مراحل سنگ شکنی دوم یا سوم و گاه مراحل طبقه‌بندی حذف می‌شود.

۱-۳- کاربرد آسیاهای خودشکن و نیمه‌خودشکن

از آسیاهای خودشکن و نیمه‌خودشکن در خردایش ماده معدنی که مستقیما از معدن استخراج شده[2] و یا محصول خردایش سنگ‌شکن اولیه استفاده می‌شود. ابعاد خوراک معمولا محدود به ابعاد قابل حمل، کانسنگ و ابعاد دهانه ورودی آسیا است و ابعاد محصول نیز تابع ابعاد مورد نیاز برای مرحله بعدی فرآوری است.

اهداف عمده در استفاده از آسیاهای خودشکن و نیمه‌خودشکن در کاهش ابعاد ماده معدنی، انجام عملیات خردایش در سطح بهینه‌ای از بار کلی ماده معدنی و بار خردکننده برای حداکثر کردن تولید (tph)، حداقل کردن انرژی ویژه (KWh/t) و کاهش هزینه های عملیاتی ($/t) است.

۱-٤- معیارهای طراحی آسیاهای خودشکن و نیمه‌خودشکن

مهم‌ترین معیارهای طراحی آسیاهای خودشکن و نیمه‌خودشکن به شرح زیر است:

الف- توان مورد نیاز آسیا و تغییرات آن تحت شرایط عملیاتی مختلف

ب- ابعاد آسیای مورد نیاز و نسبت قطر به طول آن برای تامین شرایط مطلوب خوراک‌دهی

پ- تعیین انرژی مصرفی ویژه (انرژی مصرف شده به ازای واحد وزن خوراک ورودی به آسیا)

معیارهای محاسبات طراحی به شرح زیراند:

الف- لزوم خردایش بخشی از مواد یا تمام آن قبل از خوراک‌دهی به آسیا

ب- تعیین نوع بار خردکننده

پ- ضریب انباشتگی (حجم بار خردکننده به حجم کل آسیا و حداکثر ابعاد بار خردکننده)

ت- حجم کلی بار آسیا

ث- فضاهای خالی بین پالپ، کانسنگ و بار خردکننده

ج- چگالی پالپ

چ- نوع طبقه‌بندی محصول خردایش

1 - Conventional Grinding Circuit
2 - Run-of-mine Ore

ح- توزیع ابعادی بار آسیا

خ- میزان بار در گردش

د- طراحی (آسترها)

ذ- مقدار سطح مشبک مورد نیاز در شبکه تخلیه

ر- نوع تخلیه‌کننده پالپ

موارد یاد شده بر اساس بررسی‌های فنی و مهندسی مطالعه می‌شود تا طراحی آسیا به بهترین نحو انجام گیرد.

فصل ۲

تعیین مشخصات خوراک و بار خردکننده

۲-۱- مشخصات خوراک

در آسیای خودشکن، خود کانسنگ فاکتور مهمی در انجام موفق عملیات خردایش به حساب می‌آید و مساله مهم وجود مستمر قطعات درشت و سخت سنگ به عنوان بار خردکننده است، در حالی که در آسیای نیمه‌خودشکن، که خردایش بر مبنای مقدار گلوله های فولادی استوار است، حضور یا نبود سنگ‌های طبیعی مقاوم و دارای قابلیت خردکنندگی در کانسنگ تاثیر زیادی بر کارایی عملیات دارد. بنابراین تعیین دانه‌بندی، وزن‌مخصوص و اندیس‌های خردایش محصول واحد سنگ‌شکنی برای تمام انواع تفکیک شده کانسنگ در ذخیره به عنوان حداقل شرایط ارزیابی خوراک آسیا در نظر گرفته می‌شود. سایر مشخصات نظیر درصد رطوبت، درجه هوازدگی، و اثرات ناشی از روش استخراج به علاوه ویژگی‌های خود سنگ‌شکن، تنظیمات آن، میزان سایش قطعات، آهنگ خردایش و نحوه خوراک‌دهی به سنگ‌شکن، همگی در تعیین مشخصات خوراک ورودی به آسیا نقش دارند. لذا تمام این جوانب باید در برنامه آماده‌سازی خوراک در نظر گرفته شوند. مشخصه‌های لازم برای خوراک آسیای خودشکن و نیمه‌خودشکن در جداول ۲-۱ ارایه شده است.

جدول ۲-۱- مشخصات خوراک آسیاهای خودشکن و نیمه‌خودشکن و روش تعیین آن

مشخصه	محدوده مقدار	توضیحات
حداکثر ابعاد ذرات جامد	متغیر، ۱۵ تا ۲۰ سانتی‌متر	به ابعاد خوراک گلوگاه سنگ‌شکن اولیه یا تجهیزات استخراجی بستگی دارد. ظرفیت و دهانه ورودی آسیا نیز مهم است
دانه‌بندی (d_{80})	بستگی به منبع تامین خوراک آسیا دارد، به عنوان یک معیار می‌توان ۱۰ سانتی‌متر را در نظر گرفت.	درجه آزادی باید نزدیک به ابعاد ذرات کانی با ارزش باشد.
نسبت مواد دانه‌درشت به دانه‌ریز	مواد دانه‌درشت تقریبا یک‌چهارم حجم کل مواد ورودی به آسیا را شامل می‌شود. توصیه می‌شود برای آسیای خودشکن حداقل ۳۰ تا ۴۰ درصد ابعاد ذرات کانسنگ بیشتر از ۱۰ سانتی‌متر باشند.	نسبت مواد درشت‌تر به مواد ریزتر از ۲۵ (محدوده تقریبی میلی‌متر به عنوان محدوده ابعاد بحرانی شناخته می‌شود). برای کنترل این محدوده و حمل و نقل ضروری است.
سختی و مقاومت کانسنگ	نسبت مواد سخت به مواد نرم باید در محدوده معینی باشد. در صورت بالا بودن امکان تجمع بار مرده (بحرانی) یا فرسایش قطعات افزایش می‌یابد.	تعیین اندیس سایش و قابلیت خودشکنی در آزمایش‌های اولیه ضروری است.
وزن‌مخصوص ماده معدنی	هر چه بیشتر باشد بهتر است.	وزن‌مخصوص مواد دانه‌درشت نباید کمتر از وزن‌مخصوص مواد دانه‌ریز باشد.
عیار ماده معدنی	متغیر	تا حد امکان عیار کانی با ارزش بیشتر باشد
شکل و بافت ماده معدنی	بسیار متغیر	تاثیر زیادی بر قابلیت خردایش و در نتیجه ظرفیت آسیا دارد. باید در آزمون‌های اولیه مشخص شود.
درصد جامد پالپ	مانند سایر مدارهای آسیا بین ۶۰ تا ۷۰ درصد وزنی	بر ظرفیت آسیا تاثیر دارد.
چگالی پالپ	به نوع و مشخصات ماده معدنی بستگی دارد.	بر ظرفیت و میزان فرسایش در آسیا تاثیر دارد.

۲-۲- مشخصات بار خردکننده

آسیای خودشکن معمولا با ظرفیت بالا محصول دانه‌ریزتری تولید می‌کند، ولی آسیای نیمه‌خودشکن بالاتر، محصول دانه درشت‌تری را تولید می‌کند. انتخاب ابعاد گلوله تا حد زیادی به درجه سختی کانسنگ و دانه‌بندی بستگی دارد. گلوله‌های کوچکتر برای کانسنگ نرم‌تر و ریزتر و گلوله‌های بزرگتر برای کانسنگ سخت‌تر و دانه‌درشت‌تر استفاده می‌شوند. در آسیای خودشکن مقدار و کیفیت شکست قطعاتی از کانسنگ که به عنوان بار خردکننده به کار می‌روند تعیین‌کننده ظرفیت آسیا است. این آسیاها گاهی بیشترین ظرفیت خردایش را در مورد سنگ‌های سخت دارند، زیرا این سنگ‌ها حاوی مناسب‌ترین قطعات خردکننده کانسنگ هستند. در جدول ۲-۲ مشخصات بار خردکننده مناسب برای هر یک از انواع آسیاهای خودشکن و نیمه‌خودشکن ارایه شده است.

جدول ۲-۲- مشخصات بار خردکننده در آسیاهای (خودشکن و نیمه‌خودشکن)

مشخصه	توضیحات
حداکثر ابعاد و محدوده ابعادی	بار خردکننده آسیای خودشکن متغیر است و حداکثر ابعاد به ظرفیت و دهانه ورودی آسیا، ابعاد سنگ‌شکن اولیه و تجهیزات استخراجی بستگی دارد. در آسیاهای نیمه‌خودشکن ابعاد گلوله‌های فولادی در سختی کانسنگ و دانه‌بندی ماده معدنی موثر است. برای قطعات درشت‌تر، گلوله‌های درشت‌تر مورد نیاز است و به طور کلی در حجمی معین تعداد گلوله‌های درشت از گلوله‌های کوچک کمتر است.
وزن یا نسبت بار خردکننده	سطح یا میزان بار خردکننده به طبیعت کانسنگ و قابلیت خردایش آن بستگی دارد و در آزمایش پیشاهنگ تعیین می‌شود. ابعاد و توان آسیا نیز پارامترهای تعیین‌کننده هستند، در مورد آسیای خودشکن به جدول ۲-۱ مراجعه شود. برای آسیای نیمه‌خودشکن میزان بهینه بار گلوله ۵ تا ۱۰ درصد حجمی در نظر گرفته می‌شود.
سایر مشخصات	در مورد کانسنگ (برای آسیای خودشکن) به جدول ۲-۱ مراجعه شود. در مورد نوع گلوله فولادی برای آسیای نیمه‌خودشکن مشخصات آلیاژی و متالورژیکی در نظر گرفته می شود.

فصل ۳

مزایا و معایب استفاده از آسیاهای خودشکن و نیمه‌خودشکن

۳-۱- آشنایی

مدار آسیاهای خودشکن و نیمه‌خودشکن با مدار آسیاهای متداول از جنبه‌های مختلف متفاوت است. در جدول ۳-۱ این تفاوت‌ها به همراه مزایا و معایب آسیاهای یاد شده ارایه شده است.

جدول ۳-۱- مزایا و معایب آسیاهای خودشکن و نیمه‌خودشکن و تفاوت آن با مدارهای مرسوم

جنبه مورد بررسی	مزایای مدار AG/SAG	معایب مدار AG/SAG	تفاوت با مدار مرسوم
مصرف انرژی	-	مصرف بالای انرژی	مصرف انرژی بیشتر از مدارهای مرسوم
ظرفیت خردایش	ظرفیت بالا	ظرفیت کمتر در مورد آسیای خودشکن	ظرفیت بیشتر از آسیاهای گلوله‌ای و میله‌ای
مصرف فلز و هزینه‌های عملیاتی	کاهش مصرف فلز (بار خردکننده) و کاهش سایش (آسترها)	-	به طور کلی هزینه‌های نصب و هزینه عملیاتی کمتر از مدار مرسوم است.
هزینه‌های سرمایه‌ای	کم	-	هزینه‌های سرمایه‌ای کمتر از مدار مرسوم است.
مدار خردایش	ساده‌تر	-	کاهش تعداد مراحل خردایش در مدار خردایش و در نتیجه ساده‌تر شدن و کاهش تعداد تجهیزات
مشخصات محصول	-	معمولا عدم امکان دستیابی به ابعاد نهایی و مطلوب در یک مرحله آسیا	محصول دانه‌درشت‌تر از مدارهای مرسوم
تنوع کانسنگ	تنوع نسبتا زیاد به ویژه در آسیای نیمه‌خودشکن به دلیل استفاده از گلوله فولادی سنگ‌های سخت‌تر و اکسیدهای سیلیس‌دار آهن قابل خردایش هستند.	محدودیت در مورد آسیای خودشکن از نظر قابلیت خودشکنی ماده معدنی و مشخصات فیزیکی آن بیشتر است.	خردایش موثر کانسنگ‌های مرطوب و چسبنده در شرایط آسیاهای خودشکن و نیمه خودشکن

مهم‌ترین مزیت استفاده از آسیاهای خودشکن و نیمه‌خودشکن قابلیت جایگزینی آن‌ها در مدار خردایش ۲ یا ۳ مرحله‌ای به وسیله سنگ‌شکن‌ها و آسیاهای معمول است که در این حالت دستیابی به همان ابعاد مورد انتظار از ماده معدنی در خردایش توسط آسیاهای معمول را ممکن می‌سازند. به دلیل محدوده وسیع ابعادی آسیاها، آسیاهای خودشکن و نیمه‌خودشکن می‌توانند تعداد خطوط کانه‌آرایی را نسبت به شرایط استفاده از آسیاهای متداول (گلوله‌ای، میله‌ای و غیره) کاهش دهند. در نتیجه به طور کلی استفاده از این آسیاها در فرآوری مواد معدنی موجب کاهش هزینه‌های سرمایه‌ای و نگهداری می‌شود.

از دیگر مزایای استفاده از آسیاهای خودشکن و نیمه‌خودشکن، حذف مرحله سنگ‌شکنی و طبقه‌بندی مواد معدنی به وسیله سرندها به ویژه در مورد مواد دارای درصدی از رطوبت و یا مواد چسبنده رسی است، که اغلب با مشکل همراه است.

نبود بار خردکننده در آسیای خودشکن به معنای کاهش سایش در این آسیاها و به طور کلی کاهش هزینه‌های سرمایه‌ای و عملیاتی است. در آسیاهای گردان با ظرفیت بالا که کانسنگ خروجی معدن یا محصول سنگ‌شکن اولیه خوراک آن‌ها را تشکیل

می‌دهد، هزینه‌های نصب و عملیاتی پایین است و به طور کلی مزایای کاربرد آسیاهای با قطر بزرگ و طول کوچک در کانه‌آرایی عبارت است از:

- ظرفیت خردایش به علت افزایش ابعاد (قطر) واحد خردایش نسبت به طول آن افزایش می‌یابد.
- حد بهینه بارگذاری پالپ و مواد خردکننده افزایش می‌یابد.
- هزینه‌های تقسیم‌بندی پوسته آسیا در واحد ظرفیت بهبود می‌یابد.
- هزینه‌های نصب و فضای مورد نیاز واحد خردایش کاهش می‌یابد.
- مساحت مورد استفاده بخش آسیا در واحد ظرفیت کارخانه کمتر خواهد بود.

در کنار مزایای متعدد اشاره شده برای استفاده از آسیاهای خودشکن و نیمه‌خودشکن، کاربرد این آسیاها دارای محدودیت‌ها و معایبی نیز است. مدار آسیاهای خودشکن و نیمه‌خودشکن برای خردایش کانسنگ‌های مشخصی مفید واقع می‌شوند و از این رو کاربرد چنین تجهیزاتی را در تمام کارخانجات و معادن با محدودیت مواجه می‌سازد. نکته دیگر آن است که حضور قطعات درشت و با مقاومت نسبی بیشتر در برابر شکستن در شرایط خودشکن ضروری است. هر نمونه متوسط یک کانسنگ نمی‌تواند معرف قابلیت خودشکنی باشد و درجه بالایی از یکنواختی ماده معدنی نیاز است. به طور کلی این معایب عبارتند از :

- مصرف بیشتر انرژی
- مدار باید حتما باردهی کامل شود.
- نیاز به ظرفیت بسیار بالایی در بخش خروجی مواد
- نیاز به گلوله‌ها و لاینر با کیفیت و مقاومت بالا
- تعیین اندازه دقیق آسیا سخت‌تر است.

۳-۲- معیارهای انتخاب آسیاهای خودشکن و نیمه‌خودشکن

به طور کلی چهار عامل اساسی در انتخاب آسیاهای خودشکن و نیمه‌خودشکن و بهینه‌سازی عملیات آن‌ها به شرح زیر مطرح است:

- خوراک: شامل تناژ کاری یا ظرفیت آسیا
- انرژی یا توان مصرفی آسیا
- ابعاد آسیا
- سرعت چرخش آسیا

عوامل موثر در انتخاب آسیاهای خودشکن و نیمه‌خودشکن را می‌توان در دو دسته عمده به صورت زیر رده‌بندی کرد.

۳-۲-۱- عوامل فنی (عوامل مربوط به ماده معدنی)

الف- دانه‌بندی خوراک

ب- دانه‌بندی مطلوب برای محصول

پ- مقدار یا تناژ خوراک ورودی به آسیا

ت- وزن‌مخصوص و سختی ماده معدنی

ث- تنوع کانی‌های موجود در کانسنگ

ج- قابلیت خردایش

۳-۲-۲- پارامترهای اقتصادی (عوامل بیرونی)

الف- قابلیت دسترسی به آب کافی

ب- برق مورد نیاز

پ- امکان دسترسی به مواد مصرفی و قطعات یدکی

ت- امکانات ساخت تجهیزات در داخل کشور

۳-۳- مدت زمان دوره ساخت و اجرا

مجموعه پارامترهای عملیاتی به همراه عوامل طراحی مشخصات آستر و موتور آسیا در جدول ۳-۲ مورد بحث قرار گرفته است. در این جدول نقش هر عامل در انتخاب نوع آسیا (خودشکن یا نیمه‌خودشکن) برای یک مدار فرضی ارایه شده است. در جدول ۳-۳ نیز روش‌های کنترل و بهینه‌سازی پارامترهای اصلی مدار آسیاهای خودشکن و نیمه‌خودشکن معرفی شده است.

جدول ۳-۲- عوامل فنی در انتخاب آسیاهای خودشکن و نیمه‌خودشکن و نقش و اهمیت آن‌ها

عامل	شرح	نقش و اهمیت عامل در انتخاب آسیا	تاثیر در تعیین نوع آسیا (خودشکن یا نیمه‌خودشکن)
دانه‌بندی و d_{80} خوراک	بزرگترین اندازه ذرات و اندازه‌ای که ۸۰ درصد ذرات خوراک از آن کوچکتر است.	در تعیین ظرفیت و ابعاد آسیا نقش دارد، در مقدار و مشخصات بار خردکننده مورد نیاز نقش دارد. همچنین تغییرات این پارامتر موجب تغییرات ظرفیت، کارایی آسیا و انرژی ویژه خردایش می‌شود، اما به طور کلی در آسیاهای خودشکن و نیمه خودشکن برخلاف سایر آسیاهای معمول فرآوری ، d_{80} نقش کمتری ایفا می‌نماید.	به طور کلی در آسیاهای نیمه‌خودشکن ابعاد درشت‌تری قابل خردایش هستند.
دانه‌بندی و d_{80} محصول	محدوده ابعادی بهینه ذرات محصول و اندازه‌ای که ۸۰ درصد ذرات محصول از آن کوچکتر است.	در بهینه سازی مدار آسیا برای به دست آوردن نتیجه مطلوب در مدار پایین دست (خردایش یا فرآوری) حایز اهمیت است.	محصول هر نوع آسیا به فرآیند طبقه‌بندی و مدار خردایش بستگی دارد، محصولات آسیای نیمه‌خودشکن را می‌توان در مواردی محصول نهایی تلقی کرد.

ادامه جدول ۳-۲- عوامل فنی در انتخاب آسیاهای خودشکن و نیمه‌خودشکن و نقش و اهمیت آن‌ها

عامل	شرح	نقش و اهمیت عامل در انتخاب آسیا	تاثیر در تعیین نوع آسیا (خودشکن یا نیمه‌خودشکن)
وزن‌مخصوص کانسنگ	وزن واحد حجم ماده نسبت به وزن آب هم‌حجم آن در دمای 4^oC	بر انتخاب شرایط خودشکن یا نیمه‌خودشکن و همچنین مشخصات و مقدار بار خردکننده تاثیر دارد.	تاثیر چندانی ندارد.
قابلیت خردایش (اندیس کار)، ساخت و بافت و سختی کانسنگ	مشخصات فیزیکی کانسنگ طبق تعاریف کانی‌شناسی و فراوری	بر انتخاب شرایط خودشکن یا نیمه خودشکن و همچنین مشخصات و مقدار بار خردکننده، ظرفیت آسیا و توان مورد نیاز خردایش تاثیر دارد. طراحی آسترها و بالابرها به این عوامل نیز بستگی دارد.	در آسیاهای نیمه‌خودشکن به دلیل کاربرد گلوله فولادی، مواد سخت‌تر و مقاوم‌تر قابل خردایش هستند.
تنوع کانسنگ	تنوع کانی‌های موجود در بخش‌های مختلف هر کانسار	این پارامتر بر انتخاب شرایط خودشکن یا نیمه خودشکن و تغییرات احتمالی نوع و کیفیت ماده‌معدنی در طول برنامه استخراجی بر قابلیت خردایش، ظرفیت خردایش، فرسایش قطعات و کیفیت محصول تاثیر دارد.	تنوع در آسیای نیمه‌خودشکن بیشتر است.
مقدار آب و درصد جامد پالپ	رقت (نسبت وزن آب به وزن جامد) و درصد وزنی برای خردایش تر که با استفاده از محاسبات موازنه جرم تعیین می‌شود.	در تعیین ظرفیت آسیا و نسبت بار خردکننده تاثیر دارد. بر عوامل فرسایشی قطعات آسیا نیز موثر است.	این عوامل در شرایط استفاده از گلوله فولادی حساسیت بیشتری دارند.
چگالی پالپ	وزن واحد حجم پالپ	در تعیین ظرفیت آسیا و نسبت بار خردکننده تاثیر دارد.	تاثیر چندانی ندارد.

جدول ۳-۳- عوامل مؤثر در بهینه‌سازی پارامترهای عملیاتی در مدار آسیاهای خودشکن و نیمه خودشکن

مورد بهینه‌سازی	عوامل موثر	نحوه بررسی و کنترل
تناژ خوراک	توان در دسترس آسیا، حجم آسیا، سرعت چرخش آسیا	اندازه‌گیری میزان یا سطح بار آسیا، اندازه‌گیری توان آسیا (انرژی خردایش)، استفاده از مدل‌های توان
بار خردکننده	وزن و ابعاد بار (گلوله)	کنترل ابعاد محصول و مطالعات فرسایش بار خردکننده
ابعاد محصول	مشخصات کانسنگ	تغییر ابعاد چشمه‌های سرند کنترل کننده، تغییر مقدار یا ابعاد بار گلوله، تغییر سرعت آسیا، تنظیم ابعاد محصول در مرحله آسیای گلوله‌ای، تغییر ابعاد جدایش در سیکلون در مورد مدار خردایش بسته
مصرف انرژی	مشخصات کانسنگ، ابعاد خوراک، بار گلوله، مقدار بار آسیا، سرعت آسیا، شکل و ابعاد آستر و بالابرها	تنظیم و برقراری موازنه بین میزان بار آسیا و سرعت دوران آن، استفاده از مدل‌های انرژی و تحلیل حرکت بار درون آسیا
مصرف فولاد	مشخصات کانسنگ، جنس آستر و گلوله‌ها، مقدار بار آسیا، مقدار بار گلوله، سرعت آسیا	کنترل سطح (میزان) بار آسیا، استفاده از حداقل ممکن بار گلوله، کنترل سرعت آسیا به ویژه در شرایط سرعت متغیر

فصل ۴

آزمایش‌های استاندارد، انواع مدارها و محاسبات

٤-۱- آزمایش‌های استاندارد آسیاهای خودشکن و نیمه‌خودشکن

به طور کلی، آزمایش‌های استاندارد خردایش می‌توانند به دو گروه عمده طبقه‌بندی شوند:

۱. آن‌هایی که مقدار کل انرژی ورودی به آسیا، نرخ خوراک‌دهی و توزیع ابعادی محصول را محاسبه می‌کنند (روش اندیس کار).
۲. آن‌هایی که بر اساس مقادیر مشخصی از انرژی و جرم ذرات، شکست حاصل را اندازه‌گیری می‌کنند (آزمایش‌های شکست تک ذره).

هدف عمده از انجام این آزمایش‌ها، تعیین مشخصات کانسنگ و برخی از پارامترهای دستگاهی است. این آزمایش‌ها می‌توانند به صورت ناپیوسته[1]، چرخه بسته[2] و در برخی موارد به صورت کاملا پیوسته انجام گیرند. در زیر انواع آزمایش‌های استاندارد در تعیین شرایط خردایش آسیاهای خود شکن و نیمه‌خودشکن به طور مختصر معرفی شده‌اند.

٤-۱-۱- آزمایش تعیین قابلیت خودشکنی کانسنگ[3] (AMCT)

آزمایش AMCT یکی از آزمایش‌های اصلی برای بررسی قابلیت خودشکنی کانسنگ در مورد آسیاهای خودشکن و نیمه‌خودشکن است. این آزمایش بر اساس آزمایش‌های تعیین اندیس کار بوده و روند انجام آن به شرح زیر است:

الف- انجام آزمایش استاندارد باند در تعیین قابلیت خردایش کانسنگ به صورت زیر:

طبقه‌بندی ابعادی یک نمونه ۲۰۰ کیلویی از کانسنگ در چهار گروه دانه‌بندی (۱۵۲mm×۱۴۰mm، ۱۴۰mm×۱۲۷mm، ۱۲۷mm×۱۱۴mm، ۱۱۴mm×۱۰۲mm)، درصد وزنی و تعداد ذرات در هر گروه دانه‌بندی ثبت می‌شود. نمونه در آسیای خودشکن خرد می‌شود و پس از محاسبه انرژی ویژه، محصول آسیا طبقه‌بندی ابعادی (۱۰۲mm تا ۷۵μm) می‌شود. مقدار ذرات بین ابعاد ۱۵۲mm تا ۱۹mm در هر فراکسیون به عنوان بخشی از کانسنگ مناسب برای شرایط خردایش آسیاهای خودشکن و نیمه‌خودشکن در نظر گرفته می‌شود.

ب- انجام آزمایش خردایش کم‌انرژی باند به صورت زیر:

تعداد ۲۰ قطعه کانسنگ در ابعاد ۱۰۲mm تا ۱۹mm در هر فراکسیون ابعادی تحت آزمایش خردایش کم‌انرژی باند برای تعیین اندیس مربوط (WiC) قرار می‌گیرند تا با نتایج آزمایش مشابه در مورد کانسنگ اولیه مقایسه شوند. تفاوت حاصل دلالت بر قابلیت خردایش خودشکن بخش دانه‌درشت‌تر (یا با ابعاد بحرانی) نسبت به شرایط آزمایش‌های استاندارد باند در مورد آسیاهای میله‌ای و گلوله‌ای دارد.

پ- انجام آزمایش‌های استاندارد قابلیت خردایش باند برای خردایش در آسیای میله‌ای و خردایش در آسیای گلوله‌ای و برای ابعاد مشخصی از بار خرد شده و اولیه کانسنگ (به صورت مخلوط) و تعیین نسبت دو اندیس کار برای ارزیابی کارایی توان خردایش آسیاهای خودشکن و نیمه‌خودشکن

---

1 - Batch
2 - Locked Cycle
3 - **A**dvanced **M**edia **C**ompetency **T**est

ت- انجام آزمایش استاندارد سایش باند

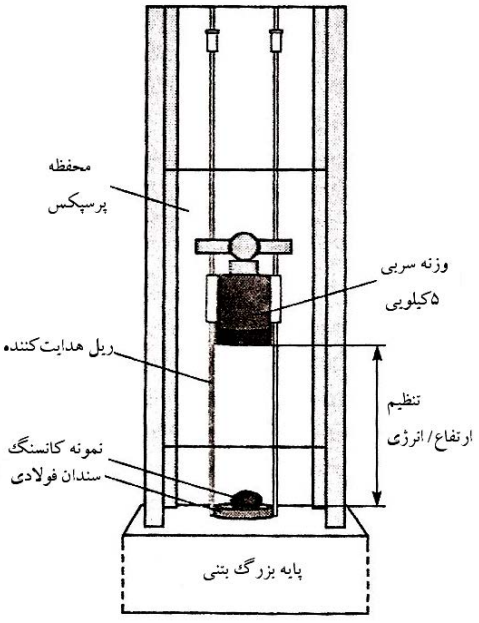
ث- انجام آزمایش مقاومت فشاری بدون قید (UCS) و آزمایش اندیس بار نقطه‌ای (PLI) و مقایسه با آزمایش‌های PLI انجام شده بر روی مغزه‌های حفاری در سر زمین. این آزمایش‌ها نیز می‌تواند به طور مقایسه‌ای بر روی نمونه‌های درشت باقیمانده از تست خودشکنی و نمونه‌های کانسنگ تازه انجام گیرد.

٤-١-٢- آزمایش سقوط وزنه

آزمایش سقوط وزنه دارای سه بخش زیر است:

۱. آزمایش‌های شکست تک‌ذره
۲. آزمایش ناپیوسته سایش بر روی مجموعه یکنواختی[1] از ذرات در ابعاد ۵۳×۳۷/۵mm
۳. آزمایش وزن‌مخصوص برای ذرات درشت به ابعاد ۲۴/۴×۱۹mm

در آزمایش استاندارد سقوط وزنه از جرم ۲۰ کیلوگرمی (گاهی تا ۵۰ کیلوگرم) استفاده می‌شود. انرژی سقوط این جرم از ۰/۰۱ تا ۵۰ کیلووات‌ساعت بر تن متغیر است. این وزنه‌ها برای آزمایش سنگ‌های سخت با وزن‌مخصوص ۲/۸ تا بیش از ۴ گرم بر سانتی‌متر مکعب به کار می‌روند. در مورد زغال‌سنگ، انرژی شکست بسیار کمتر است، تجهیزات ویژه‌ای (وزنه ۲ کیلویی) در آزمایش استفاده می‌شود و انرژی پایه تا ۰/۰۰۱ kWh/t (معادل سقوط آزاد ناشی از گرانش از فاصله ۰/۳۵ متر) کاهش می‌یابد. در شکل ۴-۱ نمایی از تجهیزات آزمایش سقوط وزنه مشاهده می‌شود.



شکل ٤-١- تجهیزات آزمایش سقوط وزنه

[1] - Unimodal

روش معمول آن است که بین ۲۰ تا ۵۰ نمونه (ذره) در هر ترکیب ابعادی/ انرژی و در مجموع ۵۰۰–۱۳۰۰ ذره به وزن کلی ۵۰–۱۰۰ کیلوگرم مورد آزمایش قرار می‌گیرد. پس از آماده‌سازی (طبقه‌بندی ابعادی) نمونه‌ها، جرم متوسط($\overline{m}$) هر مجموعه اندازه‌گیری می‌شود و بر اساس انرژی مورد نیاز در هر آزمایش، ارتفاع سقوط وزنه طبق رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$h = \frac{\overline{m}\, Eis}{0.0272\, M} \qquad (۱-۴)$$

در این رابطه، h ارتفاع اولیه سقوط وزنه (بر حسب سانتی‌متر) و M جرم وزنه (بر حسب کیلوگرم) است. انرژی ویژه خردایش (Ecs) تا زمانی که وزنه بر اثر برخورد با نمونه برگشت نیابد با انرژی ویژه ورودی (اولیه، Eis) برابر است. گاهی در مورد کاربرد انرژی بیشتر از ۳ kWh/t و مواد الاستیک، برگشت یا پرتاب وزنه رو به بالا پس از برخورد امکان‌پذیر است که البته این انرژی در مقایسه با انرژی برخورد ناچیز فرض می‌شود.

آزمایش‌های شکست تک‌ذره، بر روی مجموعه ذراتی در پنج گروه ابعادی بین ۱۲ و ۶۴ میلی‌متر برای دستیابی به پارامترهای آسیای نیمه‌خودشکن و تابع ظاهری سنگ‌شکن[1] انجام می‌شود.

آزمایش سایش تحت شرایط خودشکن به طور ناپیوسته انجام می‌گیرد. ابعاد محصول آزمایش برای محاسبه پارامتر "t_a" به کار می‌رود که مقادیر کوچکتر این پارامتر، مقاومت بالاتر در برابر شکست بر اثر سایش[2] را نشان می‌دهد.

آزمایش سقوط وزنه، پاسخگویی کانسنگ به اثرات شکست ناشی از ضربه و سایش را توامان ارزیابی می‌کند. شکست ناشی از ضربه در این آزمایش برای قطعات سنگ به هر اندازه (که در سایر آزمایش‌ها به جز پیشاهنگ استفاده می‌شود) انجام می‌گیرد. البته مقدار انرژی مصرفی در این آزمایش بیشترین مقدار نسبت به سایر آزمایش‌ها است. آزمایش سایش نیز دارای محدودیت‌هایی از جمله وابستگی شدید آن به ناصافی‌های سطح ذرات و عدم برقراری شرایط پایدار در آزمایش ناپیوسته است. علیرغم فراهم کردن داده‌های مناسب برای شبیه‌سازی به وسیله نتایج آزمایش‌های سقوط وزنه، این آزمایش‌ها هیچ گونه معیار مستقیمی برای مقدار انرژی مورد نیاز در خردایش ارایه نمی‌کنند.

٤-۱-۳- آزمایش تعیین اندیس کار آسیای خودشکن، مک‌فرسون

در این آزمایش از یک آسیای خودشکن به قطر ۴۵۰mm با بار گلوله ۸٪ و تحت شرایط خشک و دمش هوا (آسیای Aerofall) استفاده می‌شود. این آزمایش تحت شرایط کاملا پیوسته و در مدار بسته (با سرندهای ۱۴ مش و کلاسیفایر هوایی) انجام می‌گیرد. مقدار نمونه مورد نیاز برای انجام آزمایش شامل ۲۲۷ kg (۲۲۵–۲۵۰ kg) نمونه نماینده مستقیما استخراجی، محصول سنگ‌شکنی اولیه و یا مخزه حفاری و به ابعاد ۱۰۰٪ کوچکتر از ۳۲ mm است. بار آسیا به وسیله سیستم کامپیوتری به میزان ۲۸٪ بار کل کنترل می‌شود. آزمایش تا به دست آوردن شرایط پایدار ادامه می‌یابد و سپس آزمایش مقیاس پایه در مدت زمان یک تا دو ساعت دنبال می‌شود و در این مدت نمونه‌گیری برای انجام طبقه‌بندی ابعادی صورت می‌گیرد. پس از تکمیل آزمایش، جرم، چگالی و توزیع

1 - Crusher Appearance Function
2 - Abrasion

ابعادی بار آسیا اندازه‌گیری شده و با خوراک مقایسه می‌شود. بر اساس توزیع ابعادی ذرات خوراک و محصول و مقدار معلوم توان آسیا، اندیس کار آسیای خودشکن محاسبه می‌شود. در انتهای آزمایش، طبقه‌بندی کانسنگ بر حسب قابلیت خردایش خودشکن یا نیمه‌خودشکن انجام می‌گیرد.

به دلیل نبود پدیده ضربات پرانرژی در آسیای مقیاس پایه، اندیس کار در این مقیاس برای انواع سخت‌تر کانسنگ بر مبنای ارتباط همبستگی (کرلاسیون) تحت شرایط عملیات بهینه کارخانه (مقیاس صنعتی) تصحیح می‌شود.

به دلیل انجام متوالی آزمایش‌ها در این روش، تفاوت بین نیاز انرژی برای خردایش ذرات با ابعاد متفاوت قابل تشخیص است. ارتباط بین اندیس‌های کار علاوه بر توزیع ابعادی و مقدار نمونه‌های خوراک، شرایط تغییر مدار و تقسیم انرژی را برای دستیابی به حداکثر کارایی خردایش بیان می‌کند. به علاوه، ارزیابی شرایط پایدار خوراک‌دهی از لحاظ دانه‌بندی، چگالی کل و ترکیب کانسنگ/کانی نیز ممکن است.

یکی از نواقص آزمایش مک‌فرسون (و آزمایش‌های JKMRC) خردایش ذرات تا ابعاد کوچکتر از ۳۲ میلی‌متر است که دلایل آن مقدار قابل قبول نمونه هم از لحاظ میزان انرژی ضربه و هم از لحاظ حداکثر ابعاد نمونه ورودی به آسیا است. این موضوع سبب می‌شود تا نتیجه لازم در مورد موادی که شرایط بهتری را در قابلیت خردایش ذرات درشت‌تر ارایه می‌دهند، حاصل نشود. همچنین، هیچ گونه نمودار یا ارتباط انرژی با شکست برای شبیه‌سازی در این آزمایش اصل نمی‌شود. به همین دلیل برخی از متخصصین معتقدند که آزمایش مک‌فرسون صرفا برای مطالعات پیش‌امکان‌سنجی مناسب است. در مجموع توصیه می‌شود این آزمایش در کنار آزمایش‌های اندیس کار باند برای سنگ‌شکنی کم‌انرژی، آسیای میله‌ای و گلوله‌ای و آزمایش اندیس سایش باند به کار رود.

٤-١-٤- آزمایش اندیس توان آسیای نیمه‌خودشکن (آزمایش SPI)

آزمایش اندیس توان آسیای SAG، آزمایش ناپیوسته‌ای است که در یک آسیای ۳۰۵ میلی‌متری و در شرایط خشک انجام می‌گیرد. درصد بار گلوله ۱۵٪ و شامل گلوله‌های ۲۵ میلی‌متری است. بار کل آسیا ۲۴٪ است. مقدار نمونه مورد نیاز ۲ kg قطعات درشت مغزه حفاری یا بُرش‌های RVC است. خوراک آسیا دارای F80 برابر با ۱۲/۵ میلی‌متر (۰/۵ in) بوده و آزمایش تا تولید محصولی با P80 برابر با ۱/۷mm (۱۰ مش) ادامه می‌یابد. سپس زمان مورد نیاز برای تولید چنین محصولی پس از تبدیلات خاصی به اندیس توان تبدیل می‌شود. در برخی موارد تا چند صد نمونه آزمایش می‌شود و سپس با استفاده از یک مدل بلوکی داده‌ها برای پیش‌بینی مقدار تناژ مورد نیاز آسیا به کار می‌روند.

آزمایش SPI در میان تمام آزمایش‌ها کمترین انرژی پیک اسمی را داشته و همچنین کمترین سطح انرژی را بر حسب ژول بر کیلوگرم برای بزرگترین ذرات درون آسیا دارد. به این ترتیب آزمایش مذکور اساسا برای بررسی شکست ماده معدنی بر اثر سایش به کار می‌رود و همانند سایر آزمایش‌ها هرگز تحت شرایط پایدار خردایش مواد در آسیا عمل نمی‌کند.

در این آزمایش، مقدار مصرف ویژه انرژی بر حسب KWh/t برای تولید محصولی با دانه‌بندی ۸۰٪ کوچکتر از ۱۰ مش (۱,۶۸۰ میکرون) بیان می‌شود. بدین ترتیب تناژ خوراک‌دهی آسیا می‌تواند بر اساس توان مصرفی آسیا با در نظر گرفتن تمام مدار یا صرفا خود آسیا محاسبه شود.

٤-١-٥- آزمایش تعیین وزن‌مخصوص کانسنگ

انرژی منتقل شده به بار آسیا در حجم معین مستقیما با وزن‌مخصوص سنگ در ارتباط است، بنابراین در شرایط ثابت بودن سایر پارامترها، ماده معدنی با وزن‌مخصوص بالاتر قابلیت بیشتری در خردایش خودشکنی دارد.

به عنوان بخشی از آزمایش‌های قابلیت خرد شدن ماده معدنی (مانند سقوط وزنه) وزن‌مخصوص نمونه‌های کانسنگ (در حدود ۱۰۰ نمونه در ابعاد تقریبی ۲۵mm) توسط پیکنومتر گاز هلیوم اندازه‌گیری می‌شود. برای فراکسیون ۶/۷mm- نیز به طور جداگانه وزن‌مخصوص تعیین می‌شود تا تغییر درجه آزادی در ابعاد درشت بررسی شود.

٤-١-٦- آزمایش تعیین ساینده‌گی کانسنگ

این آزمایش در یک آسیای گردان به ابعاد ۳۰۰×۳۰۰mm دارای چهار بالابر یا لیفتر ۱۰ میلی‌متری انجام می‌گیرد. در آزمایش استاندارد ارایه شده به وسیله JKMRC نمونه‌ای به وزن ۳kg از کانسنگ با ابعاد ۵۵+۳۸mm- به مدت ده دقیقه در سرعت ۷۰٪ بحرانی (۵۳ rpm) خرد می‌شود. این نمونه پس از تقسیم نمونه اولیه در جداکننده‌های شانه‌ای یا ریفل‌ها و با برداشت انتخابی تهیه می‌شود. پس از انجام هر آزمایش، محتوای درون آسیا برای تجزیه سرندی آزمایش می‌شود. مقادیر واقعی RPM و جرم بار آسیا نیز در هر آزمایش ثبت می‌شود. پس از سرند محصول آسیا در حالت خشک تا ابعاد ۳۸µ- و بر اساس داده‌های خام دانه‌بندی، مقادیر t_{10} به کمک برنامه ویژه‌ای محاسبه و تعیین می‌شود. لازم به ذکر است که پارامتر سایش کانسنگ (t_a) مورد استفاده در مدل AG/SAG یک‌دهم مقدار t_{10} در نظر گرفته می‌شود. مقدار اندیس سایش (AI) بین صفر و یک تعیین می‌شود، که در مورد کانسنگ سرب و روی، طلا و بوکسیت به ترتیب مقادیر ۰/۲۱، ۰/۴۸ و ۰/۰۲ را می‌توان به عنوان نمونه ذکر کرد.

٤-١-٧- آزمایش‌های مکانیک سنگ

این آزمایش‌ها برای تعیین خواص مقاومتی کانسنگ به کار می‌روند و شامل اندازه‌گیری‌های متعددی از جمله آزمایش مقاومت فشاری بدون قید (UCS)، مقاومت بار نقطه‌ای (PLS) و آزمایش‌های تعیین مستقیم تنش است. کاربرد آزمایش‌های مکانیک سنگ به عنوان معیاری در طراحی مدارهای خردایش بسیار محدود است و صرفا نتایج آن را برای دسته‌بندی کلی کانسنگ و ترکیب مسیر کانه‌آرایی مورد استفاده قرار می‌دهند.

٤-٢- آزمایش‌های پیشاهنگ

یک برنامه آزمایش مقیاس پایلوت در کانه‌آرایی و فرآوری مواد معدنی با دو پارامتر شناخته می‌شود: یکی انجام عملیات کاملا پیوسته[1] و دیگری انجام عملیات کانه‌آرایی تحت شرایط (عموما) مشابه با عملیات و چیدمان واحدها در مقیاس واقعی (صنعتی) کارخانه. مقدار نمونه مورد نیاز تابعی از حداکثر ابعاد نمونه تحت آزمایش و مقدار یا تناژ تجهیزات کارخانه پایلوت است. اما یک مقدار

1 - Fully-Continuous

توجیه‌پذیر برای آزمایش‌های پیشاهنگ آسیاهای خودشکن و نیمه‌خودشکن، ۵–۱۰ تن برای هر آزمایش اعلام شده است. برای مدارهای خردایش خودشکن/نیمه‌خودشکن تناژ خوراک از ۱۰–۳۰ kg/h تا ۵۰۰–۵۰۰۰ kg/h در نظر گرفته می‌شود.

اهداف آزمایش‌های پیشاهنگ در مورد آسیاهای خودشکن/ نیمه‌خودشکن به شرح زیر است:

– ارزیابی قابلیت انواع کانسنگ برای خردایش خودشکن یا نیمه‌خودشکن

– حذف خطر بروز مشکلات پیش‌بینی نشده بر اثر آزمایش‌های کوتاه مدت

– بررسی بیشتر و مفصل‌تر شرایط ایجاد اندازه بحرانی ماده معدنی در آسیا و طرح‌ریزی برای از بین بردن این بار اضافی

– تامین نمونه‌های مناسب برای بسیاری از آزمون‌های آزمایشگاهی نظیر اندیس کار، فلوتاسیون، اندیس بلین[1] یا جداسازی مغناطیسی

– توسعه فلوشیتی که انعطاف‌پذیری لازم را برای تغییر نوع کانسنگ و برنامه کارخانه دارا باشد.

– ایجاد داده‌های ضروری برای برآورد هزینه‌ها تا جایی که عملی باشد.

– ایجاد داده‌های کافی و مورد اعتماد که پارامترهای طراحی نظیر تناژ، دبی جریان، مصرف انرژی، محصولات، حجم مورد نیاز آسیا و فاکتورهای ایمنی را در برگیرد.

معمول‌ترین پارامترهای مورد بررسی در آزمایش‌های پیشاهنگ آسیاهای نیمه‌خودشکن به شرح زیر است:

– مقدار بار گلوله

– سرعت آسیا

– نیاز به خردایش قلوه‌سنگی

– ابعاد حداکثر در مدار آسیای خودشکن

– تقسیم انرژی (توان) بین بخش‌های مختلف آسیا (با فرض انجام خردایش ثانوی در آسیای دیگر)

– بررسی تاثیر ابعاد خوراک

سایر پارامترهایی که در آزمایش‌های پیشاهنگ تا حدی قابل بررسی و تعیین بوده ولی ارزیابی دقیق آن‌ها برای بزرگ‌نمایی بسیار مشکل است به شرح زیراند:

– اندازه سوراخ‌های شبکه

– طراحی لاینر/ لیفترها

– الگوی نصب لیفتر پالپ

معمولا آزمایش‌های پیشاهنگ بر تعیین شرایط عملیاتی که خردایش مطلوب را با حداقل توان مصرفی حاصل کند، تکیه دارد. آزمایش پیشاهنگ تنها آزمایشی است که نیاز به آزمایش‌های تغییرپذیری[2]، تعیین تفصیلی مشخصات کانسنگ در مقیاس پایه

1 - Blaine Index
2 - Variability Testing

(آزمایشگاه) و کارهای شبیه‌سازی قبل از طراحی نهایی مدار دارد.

٤-۲-۱- انواع مدارها در آزمایش‌های پیشاهنگ آسیاهای خودشکن و نیمه‌خودشکن

انواع مدارهای ممکن در آزمایش‌های پیشاهنگ به شرح زیر است:

- مدار تک‌مرحله‌ای یا دومرحله‌ای تا دانه‌بندی نهایی محصول
- آسیای خودشکن با یا بدون سنگ‌شکن قلوه‌سنگی[1]
- آسیای نیمه‌خودشکن با یا بدون سنگ‌شکن قلوه‌سنگی
- سنگ‌شکنی اولیه خوراک آسیا برای سنگ‌های سخت در مورد آسیاهای با محدودیت ابعاد خوراک یا محدودیت ساخت و یا اندازه آسیا
- بازیابی۱۰۰٪ قلوه سنگ‌ها در سنگ‌شکنی در خوراک آسیا یا استفاده از مرحله خردایش ثانویه در آسیاهای غلطکی تحت فشار[2]
- خردایش ثانوی در آسیای قلوه‌سنگی ترجیحا در مدار بسته با یک سیکلون
- خردایش ثانوی در آسیای گلوله‌ای (در صورت نیاز به تعیین ابعاد آسیای گلوله‌ای)، که در این حالت آسیای گلوله‌ای در مدار بسته با یک سیکلون قرار می‌گیرد.

٤-۲-۲- شرایط انجام موفق آزمایش‌های پیشاهنگ آسیاهای خودشکن و نیمه‌خودشکن

در برنامه‌ریزی برای انجام آزمایش‌های پیشاهنگ در نظر داشتن موارد زیر ضروری است:

الف- انتخاب نمونه

به دلیل حجم زیاد نمونه مصرفی در آزمایش‌های پیشاهنگ، در نظر داشتن نمونه نماینده و ارتباط آن با بخش‌های مختلف کانسنگ ضروری است.

ب- اثرات مقیاس

برخی متغیرها به آسانی قابل بزرگ‌نمایی از مقیاس پایلوت به مقیاس صنعتی نیستند و یا آن که به طور موثر قابل آزمایش در مقیاس پایلوت نیستند به عنوان نمونه می‌توان به حداکثر ابعاد خوراک ورودی اشاره کرد.

پ- آماده‌سازی خوراک

تعیین توزیع دقیق دانه‌بندی خوراک آسیا صرفا با یک عدد (F80) کار مشکلی است. توزیع دانه‌بندی خوراک آسیا باید در تمام محدوده ابعادی و نه صرفا در مورد F80 به مقادیر طراحی نزدیک باشد.

---

1 - Pebble Crushing
2 - High Pressure Grinding Rolls (HPGR)

ت- تعیین مشخصات خوراک

نمونه‌های مورد استفاده در آزمایش‌های پیشاهنگ باید به دقت در مقیاس پایه مطالعه شده باشند تا شرایط این آزمایش‌ها، ارزیابی آن‌ها و رفع مشکلات احتمالی بهتر قابل انجام باشد.

ث- کارایی کلاسیفایر

اغلب آهنگ واقعی جریان در کلاسیفایرها در آزمایش‌های پیشاهنگ با مقادیر پیش‌بینی شده در طراحی هماهنگ نبوده و لذا به دلیل اثر کارایی کلاسیفایر بر کارایی کل مدار کانه‌آرایی، کنترل این پارامتر بسیار ضروری است.

پس از انتخاب تجهیزات پایلوت، انجام عملیات باید با توجه به نمونه‌گیری دقیق، سهولت تمیز کردن ابزارها بین فواصل نمونه‌گیری، سهولت رفع گرفتگی لوله‌ها و پمپ‌ها و اندازه‌گیری دقیق و ساده داده‌های عملیاتی صورت گیرد. برای جمع‌آوری اطلاعات دقیق و مناسب در آزمایش پیشاهنگ، مهندس مسوول باید دانش کاملی از شرایط عملیاتی در فرآیند مورد نظر (در اینجا خردایش) داشته باشد. ترجیحا از سیستم خودکار ثبت داده‌ها (شامل سرعت آسیا، بار آسیا، فشار روی یاتاقان، سر و صدای آسیا، نیروی موتور وغیره) استفاده شود. در صورت ارتباط واحد خردایش با سایر فرآیندهای کانه‌آرایی و متالورژیکی، کاربرد تجزیه‌کننده‌های در خط ضروری است.

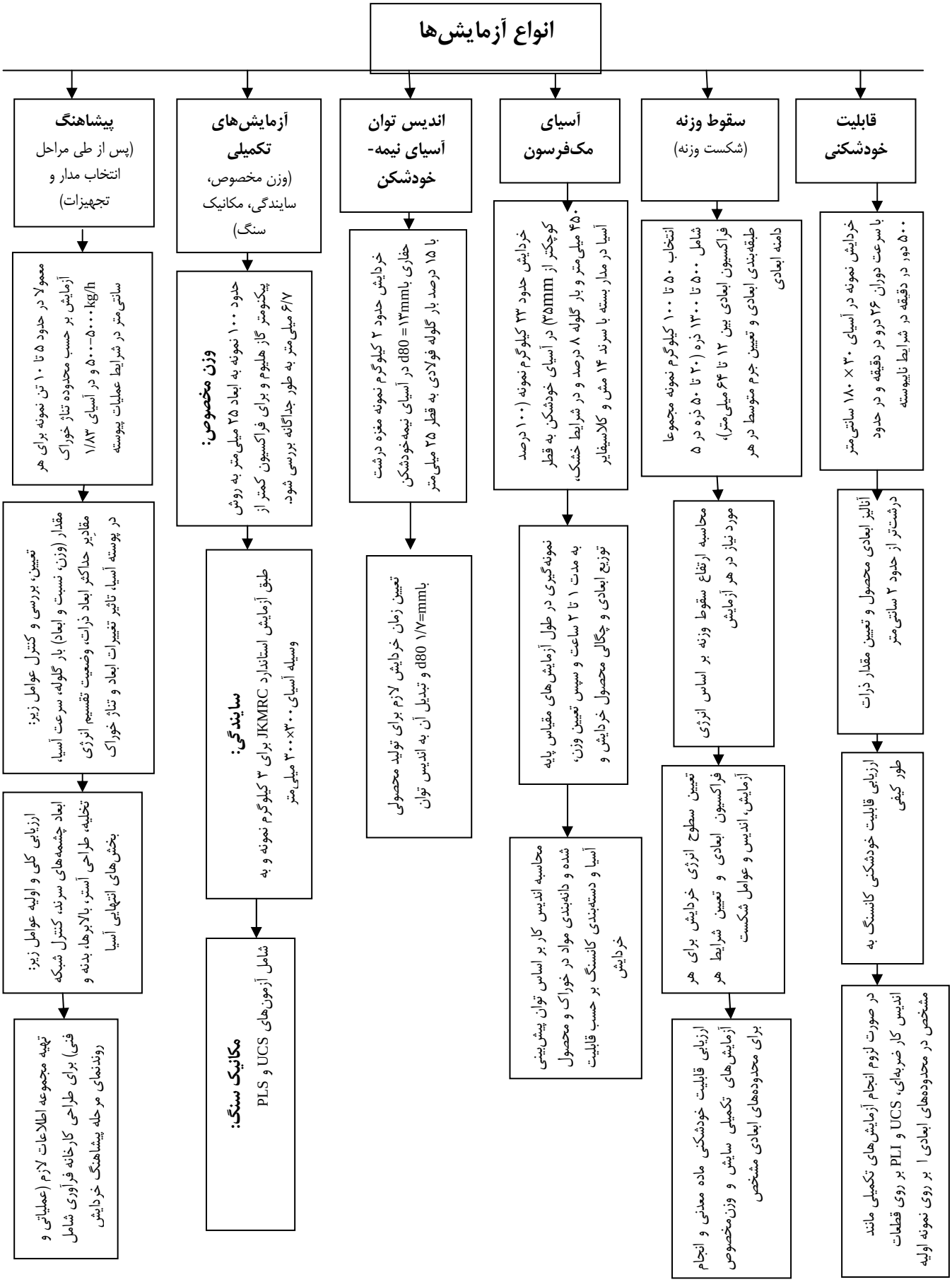
علیرغم ارایه بهترین مجموعه داده‌های کلی درباره فرآیند به وسیله آزمایش‌های پیشاهنگ، ارتباط شکست با سطوح انرژی خردایش در این آزمایش‌ها به خوبی قابل تبیین نیست و صرفا امکان برون‌یابی در نقاط آزمایش نشده وجود دارد. با فرض انجام یک طراحی دقیق از آزمایش‌های پیشاهنگ، نتایج این آزمایش‌ها عمدتا برای انجام مدل‌سازی کامپیوتری و شبیه‌سازی مقیاس صنعتی قابل استفاده خواهد بود.

در جدول ۴-۱ به طور خلاصه ضمن معرفی و طبقه‌بندی آزمایش‌های استاندارد مورد استفاده برای آسیاهای خودشکن و نیمه‌خودشکن، شرایط انجام آن‌ها نیز ارایه شده است. باید توجه داشت که به دلیل امکان تغییر مکانیزم خردایش در طول فرآیند آسیا کردن و تاثیرپذیری آن از خواص ذرات جدید تولید شده در این آسیاها، روش‌های خردایش ناپیوسته برای آسیاهای بزرگ خودشکن و نیمه‌خودشکن صرفا تخمینی از شرایط واقعی است. در نمودار ۴-۱ نحوه انجام آزمایش‌ها به طور خلاصه ارایه شده است.

٤-۳- انواع مدارهای آسیاهای خودشکن و نیمه‌خودشکن

٤-۳-۱- تعداد مراحل خردایش در آسیا و باز یا بسته بودن مدار

در عملیات آسیاهای مرسوم، کاهش ابعاد ماده معدنی و حصول درجه آزادی مطلوب کانی‌های با ارزش معمولا با استفاده از فلوشیت‌هایی که شامل دو تا چهار مرحله سنگ‌شکنی است انجام می‌شود و به دنبال آن یک تا سه مرحله آسیا و طبقه‌بندی با استفاده از ترکیب‌های مختلفی از آسیاهای قلوه‌سنگی، میله‌ای و گلوله‌ای ادامه می‌یابد. اما در مدار آسیاهای خودشکن و نیمه‌خودشکن، عملیات خردایش با استفاده از این آسیاها در مرحله اصلی فرآیند خردایش انجام می‌شود.



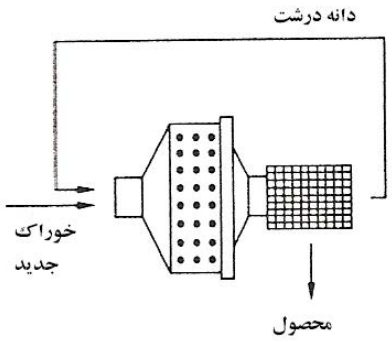
نمودار ٤-١- نحوه انجام آزمایش‌های استاندارد آسیاهای خودشکن و نیمه‌خودشکن

جدول ٤-١- انواع آزمایش‌های تعیین قابلیت خردایش با استفاده از آسیاهای خودشکن و نیمه‌خودشکن

آزمایش	حداکثر ابعاد (mm)	حداقل ابعاد[1] (mm)	مقدار نمونه مورد نیاز (kg)	نوع آزمایش	حداکثر انرژی* (J)	حداکثر انرژی (J/kg)	قطر آسیا (cm)
قابلیت خودشکنی سنگ[2] یا آزمایش $AMCT$	حدود ۱۷۰	-	۷۵۰	ناپیوسته[3]	۱۰۰	۱۸	۱۸۵
سقوط وزنه[4]	حدود ۶۵	-	۷۵	تک‌ذره و ناپیوسته	۴۵۰	۱۴۰۰	–
مک فِرسون (آسیای خودشکن)[5]	حدود ۳۵	حدود ۱/۵	۱۳۵	پیوسته	۳/۳	۷۰	۴۵
اندیس توان آسیای نیمه‌خودشکن (SPI)	حدود ۲۵ F_{80}=۱۳	–	۱۰	ناپیوسته	۰/۲	۸	۳۰
آزمایش پیشاهنگ	حدود ۱۵۰	متغیر	۱۰۰۰	پیوسته	۱۵۰	۵۰	۱۸۵

*- در جرم واحد بر حسب ذرات موجود در بزرگترین فراکسیون ابعادی

خروجی سنگ‌شکن اولیه (معمولا از نوع فکی) و گاهی ثانویه و یا در بعضی مواقع ماده معدنکاری شده مستقیما به مدار خردایش آسیاهای خودشکن و نیمه‌خودشکن خوراک‌دهی می‌شود و در مدارهای یک مرحله‌ای، دانه‌بندی مطلوب محصول نهایی می‌تواند صرفا طی یک مرحله ساده خردایش حاصل شود. این مدار ساده‌ترین شکل از خردایش خودشکن/نیمه‌خودشکن است که تحت عنوان مدار باز در شکل ۴-۲ ارایه شده است. البته حتی در این شرایط نیز یک وسیله طبقه‌بندی دانه‌درشت مانند سرند ترومل متصل به آسیا و یا سرند لرزان استفاده می‌شود. مواد دانه‌درشت یا به طور پیوسته توسط نوار نقاله و یا به طور ناپیوسته پس از انباشت به وسیله لودر به آسیا تغذیه می‌شوند.



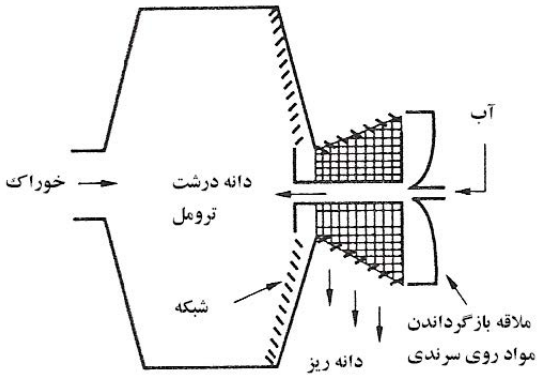
شکل ٤-٢- طرح مدار باز آسیای خودشکن و نیمه‌خودشکن (برگشت خارجی مواد دانه‌درشت) در یک مرحله خردایش

طرح معادل مدار باز در آسیاهای خودشکن و نیمه‌خودشکن با استفاده از سرند ترومل دارای سیستم برگشت داخلی مواد دانه‌درشت به وسیله یک مارپیچ معکوس یا جت آب به درون آسیا است، که در شکل ۴-۳ مشاهده می‌شود.

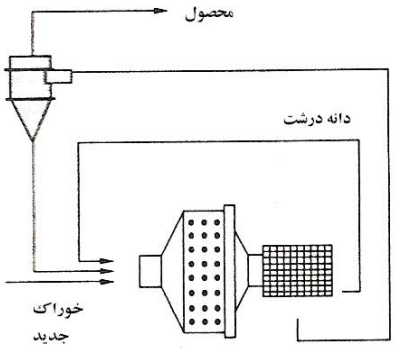
---

1 - Closing Size
2 - Media Competency
3 - Batch
4 - Drop Weight
5 - MacPherson Autogenous

عملیات آسیا کردن تک‌مرحله‌ای در مسیر بسته به وسیله یک کلاسیفایر و یا سنگ‌شکن قلوه‌سنگی قابل انجام است. در این حالت آسیای خودشکن یا نیمه‌خودشکن در مدار بسته با یک کلایسفایر دانه‌ریز، سرند ارتعاشی، سرند DSM یا سیکلون قرار می‌گیرد و معمولا ظرفیت کمتری نسبت به همان آسیا در مدار باز با کانسنگ مشابه دارد. در شکل ۴-۴ نمونه‌ای از این مدار مشاهده می‌شود. آسیا در مدار بسته، محصول دانه‌ریزتری تولید می‌کند و مواردی مشاهده شده است که محصول با ابعاد مطلوب به وسیله کلاسیفایر قابل دستیابی نبوده و به دلیل ضرورت بازیابی و برگشت محصول دانه‌درشت (شامل بار با ابعاد بحرانی) به آسیا ظرفیت خردایش کاهش یافته است.



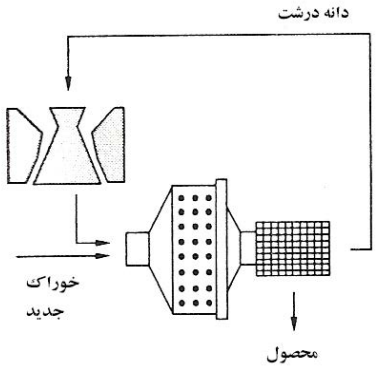
شکل ٤-۳- طرح مدار باز آسیای خودشکن و نیمه‌خودشکن (برگشت داخلی مواد دانه‌درشت) در یک مرحله خردایش



شکل ٤-٤- طرح مدار بسته آسیای خودشکن و نیمه‌خودشکن در یک مرحله خردایش

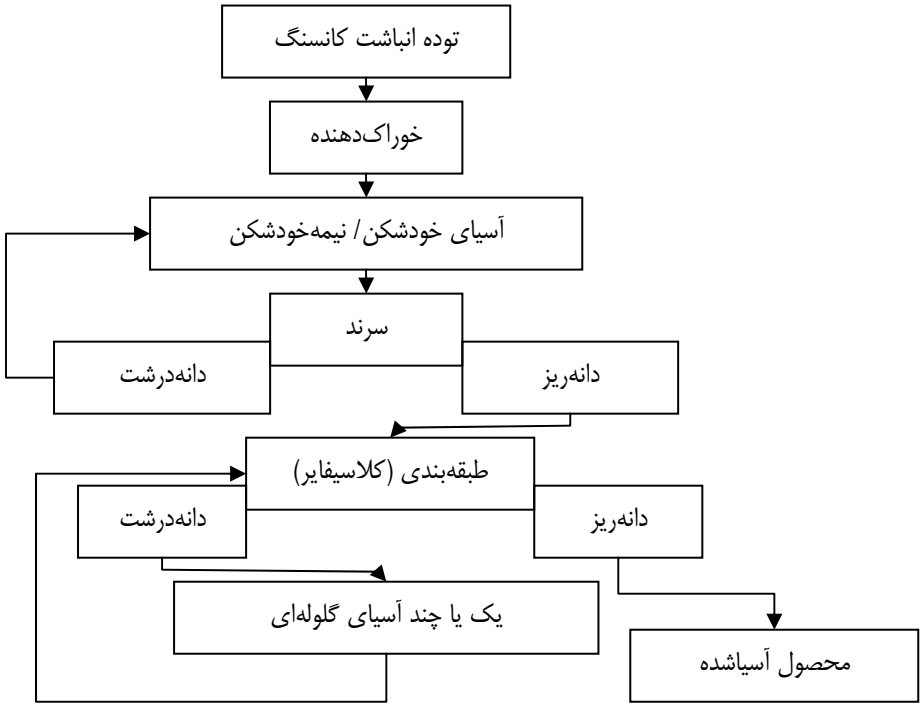
برای افزایش تناژ در مدار خردایش آسیا طرح دیگری با استفاده از سنگ‌شکن قلوه‌سنگی ارایه شده است که البته محصول نسبتا دانه‌درشت‌تری تولید می‌کند. در این شرایط، سنگ‌شکن ابعاد درشت (۵۰ تا ۱۰۰ میلی‌متر) کانسنگ خروجی از آسیا را به اندازه کوچکتر از روزنه‌های سرند ترومل متصل به آسیا می‌رساند. همچنین خردایش مواد با ابعاد ۲۵ تا ۵۰ میلی‌متر (ابعاد بحرانی) نیز بر اثر سنگ‌شکنی، در افزایش تناژ ورودی آسیا موثر است. نمونه این مدار در شکل ۴-۵ ارایه شده است. یک نکته مهم در بستن مدار تک‌مرحله‌ای آسیای نیمه‌خودشکن با سنگ‌شکن آن است که به دلیل خروج گلوله‌های فولادی به همراه قطعات درشت از روزنه‌های ویژه تعبیه شده در شبکه آسیا، قبل از باردهی این مواد به سنگ‌شکن باید تجهیزات جداکننده گلوله مانند الکترومغناطیس در مسیر بار برگشتی قرار گیرد.

مواد دانه‌درشت در مرحله اول می‌تواند به آسیا برگشت داده شود تا خرد شده و به ابعاد زیرسرندی رسانده شود و یا در مرحله دیگر، قلوه‌سنگ‌های مورد نیاز برای مدار آسیای قلوه‌سنگی ثانویه را تامین کرده و یا به آسیاهای ثانویه گلوله‌ای در مسیر بسته با پمپ و تجهیزات طبقه‌بندی (هیدروسیکلون و کلاسیفایرها) فرستاده می‌شود. محصول یا مواد دانه‌ریز زیرسرندی از طریق پمپ یا نیروی گرانش به تجهیزات طبقه‌بندی و احتمالا برای خردایش ثانویه فرستاده می‌شوند و یا مستقیما به مرحله فرآوری منتقل می‌شوند.



شکل ٤-٥- طرح مدار بسته آسیای خودشکن و نیمه‌خودشکن با سنگ‌شکن قلوه‌سنگی

مدار آسیای اولیه شامل آسیای گلوله‌ای و یکی از انواع آسیاهای خودشکن یا نیمه‌خودشکن یکی از پرکاربردترین مدارهای خردایش کانسنگ در کانه‌آرایی است که نیاز به خردایش در آسیاهای میله‌ای را تقریبا برطرف کرده است. در این مدارها معمولا آسیای اولیه (خودشکن و نیمه‌خودشکن) در مدار بسته یا باز کار می‌کند و در صورت بسته بودن مدار، بار در گردش آسیا دانه‌درشت خواهد بود. آسیای گلوله‌ای (آسیای ثانویه) معمولا در مدار بسته با کلاسیفایر کار می‌کند. نمونه چنین مداری در شکل ۴-۶ ارایه شده است.



شکل ٤-٦- نمونه مدار آسیای خودشکن و نیمه‌خودشکن- گلوله‌ای

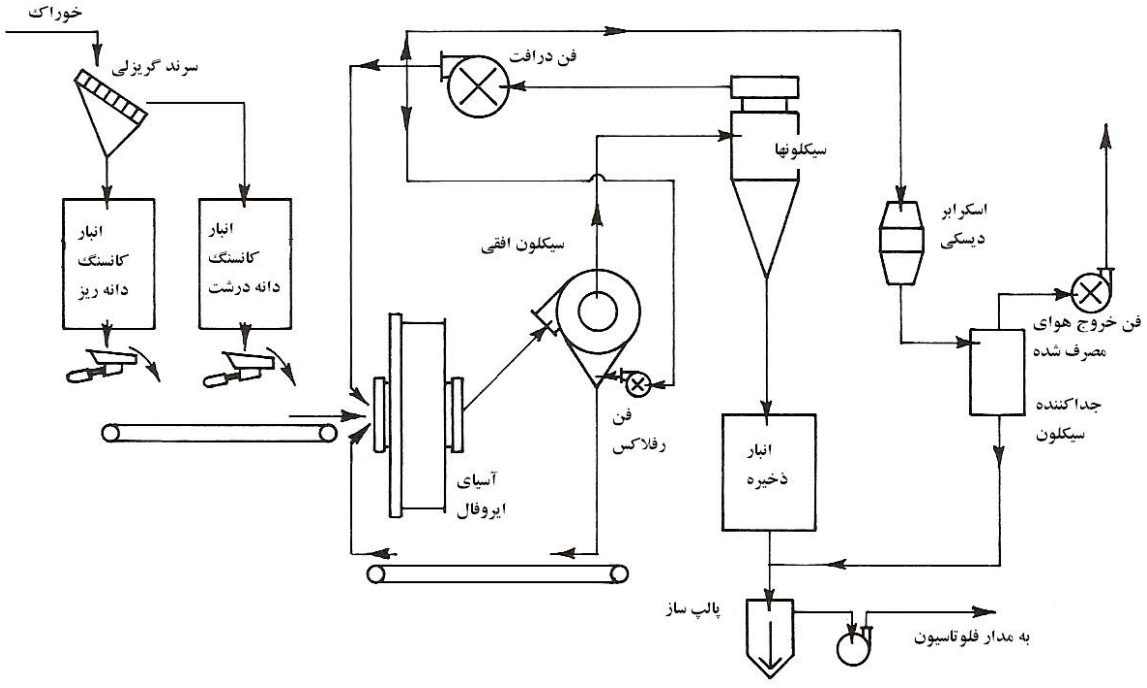
٤-۳-۲- مدارهای خشک و تر

آسیاهای خودشکن و نیمه‌خودشکن هم در فرآیندهای خشک و هم تر به کار برده می‌شوند. نوع روش انتخابی بستگی به خصوصیات ماده و برخی پارامترهای فرآیند فرآوری دارد.

آسیاهای خودشکن/نیمه‌خودشکن در شرایط خردایش خشک تحت عنوان کلی آسیای ایروفال[1] شناخته می‌شوند، که مهم‌ترین ویژگی‌های آن، نسبت بالای قطر به طول و استفاده از آسترهای منحرف‌کننده گوه‌ای شکل در دیواره‌های انتهایی آسیا است. البته همین آسیاها در مواردی تحت شرایط تر نیز به کار می‌روند. نمونه‌های مدار این نوع آسیاها در شکل‌های ۴-۷ تا ۴-۹ ارایه شده است.

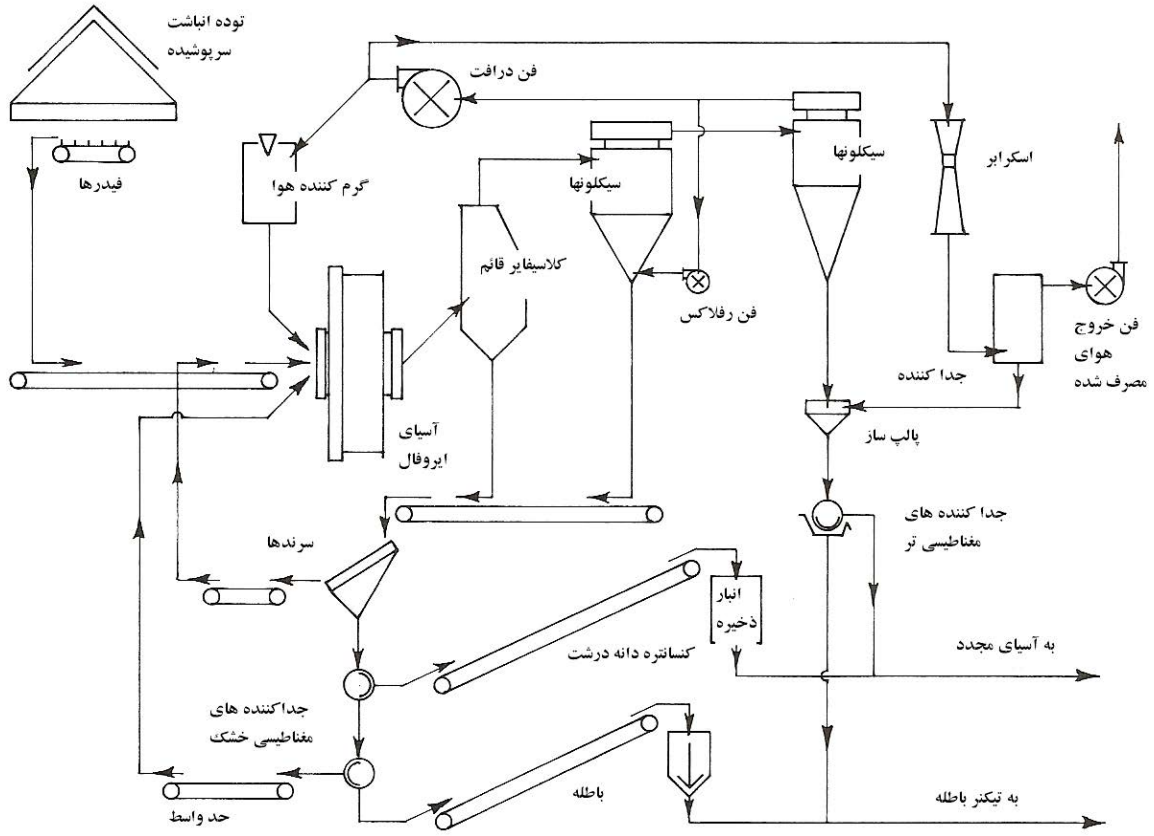
خردایش ثانویه معمولا با استفاده از آسیاهای گلوله‌ای و در مسیر بسته با استفاده از پمپ و تجهیزات طبقه‌بندی تر انجام می‌شود. البته خردایش به صورت خشک (با شرط درصد رطوبت کمتر از ۱٪ وزنی) در آسیاهای ثانویه گلوله‌ای نیز امکان‌پذیر است، اما این شرایط در مورد کاربردهای خاصی چون تهیه خوراک برای آگلومراسیون یا فرآیندهای متالورژی و همچنین پودر دانه‌ریز کانی‌های صنعتی محدود می‌شود.

هزینه‌های سرمایه‌ای و عملیاتی مدار خردایش خشک (به جز در مواردی خاص) اغلب (تا ۳۰٪) بیشتر از هزینه‌های مدار خردایش تر در شرایط مشابه است. همچنین مصرف بار خردکننده (گلوله فولادی) و فرسایش آسترهای آسیا نیز ۱۰ الی ۲۰ درصد بیشتر از شرایط تر (پالپ) است. علیرغم برخی مزایای فرآیند آسیای خشک، روش تر ترجیح داده می‌شود و امروزه بیشتر مدارهای خردایش خودشکن و نیمه‌خودشکن نیز در شرایط تر کار می‌کنند.

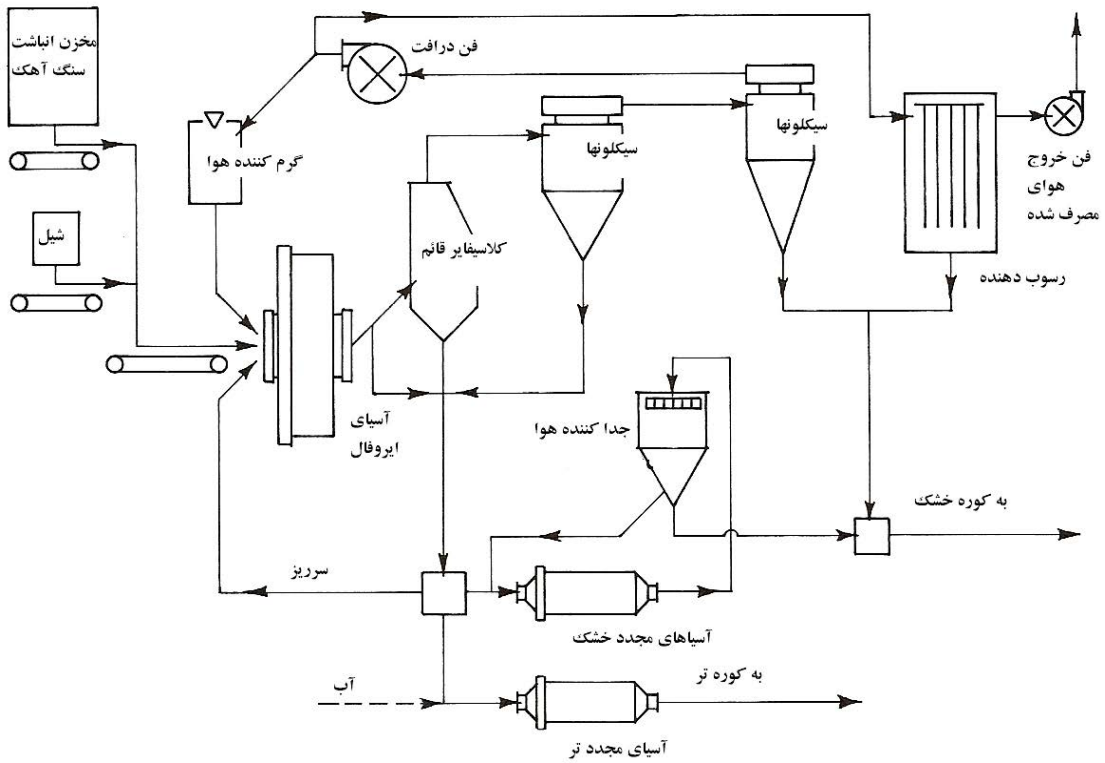


شکل ٤-۷- فلوشیت مدار آسیای ایروفال در مدار بسته

[1] - Aerofall

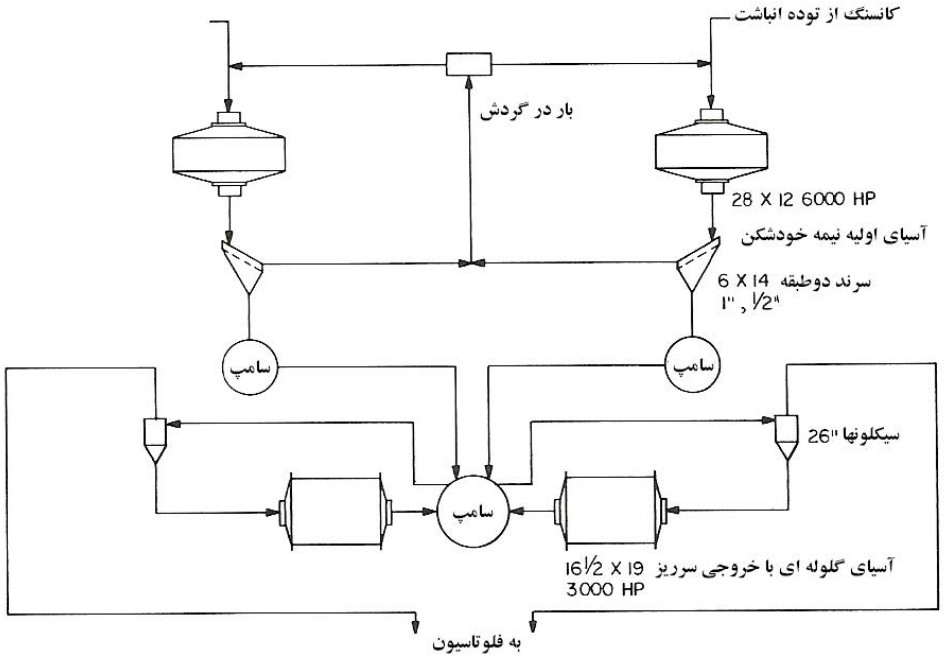


شکل ٤-٨- نمونه‌ای از مدار آسیای نیمه‌خودشکن در خردایش تر و در مقیاس پایلوت

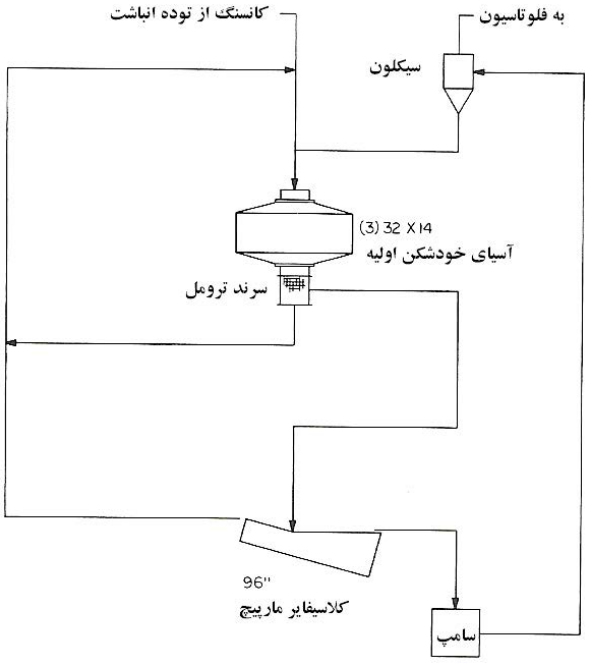


شکل ٤-٩- نمونه‌ای از مدار آسیای نیمه‌خودشکن در خردایش تر و در مقیاس پایلوت

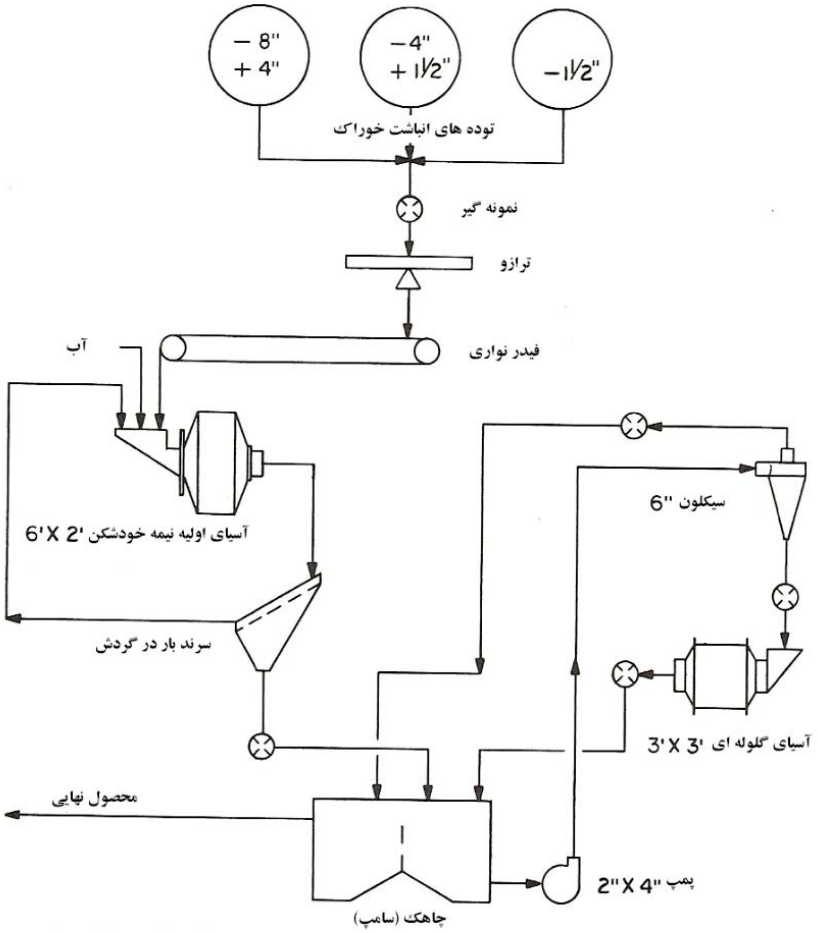
سیستم خوراک‌دهی آسیا و تجهیزات مورد نیاز برای مدار خردایش خودشکن یا نیمه‌خودشکن تر مانند شرایط خشک است. محصول آسیا معمولا به صورت پالپ همراه آب از دریچه تخلیه (که به صورت فیلترهای شبکه‌ای در لاینرهای آسیا قرار دارند) خارج می‌شود. محصول آسیا معمولا به وسیله سرندهای ترومل با یک یا دو بخش سرندی دانه‌بندی می‌شود. در شکل‌های ۴-۱۰ تا ۴-۱۲، چند نمونه واقعی از مدارهای خردایش تر توسط آسیاهای خودشکن و نیمه خودشکن ارایه شده است.



شکل ٤-۱۰- نمونه مدار آسیای نیمه‌خودشکن در شرایط تر و در دو خط موازی کانه‌آرایی



شکل ٤-۱۱- آسیای یک‌مرحله‌ای خودشکن در شرایط تر و در مدار بسته با کلاسیفایر



شکل ٤-۱۲- نمونه‌ای از مدار آسیای نیمه‌خودشکن در خردایش تر و در مقیاس پایلوت

به طور کلی مدارهای آسیای خودشکن و نیمه‌خودشکن را به شرح زیر طبقه‌بندی می‌کنند:

الف- مدار آسیای یک‌مرحله‌ای و چندمرحله‌ای

ب- مدار بسته و مدار باز

پ- مدار خشک و مدار تر

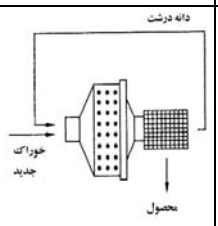
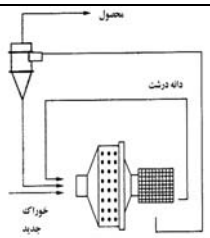
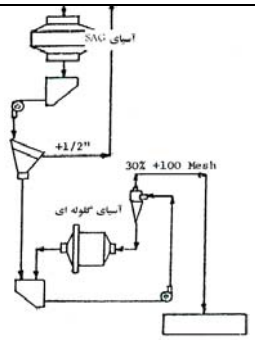
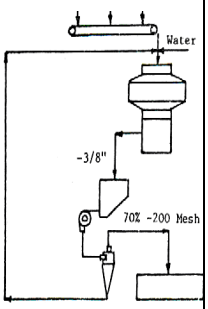
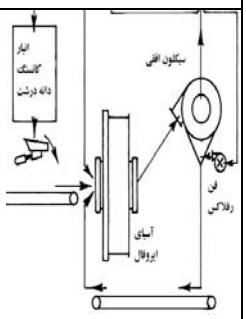
در جدول ۴-۲ تفاوت‌ها و ویژگی‌های مهم‌ترین مدارهای آسیای خودشکن و نیمه‌خودشکن از جنبه‌های یاد شده ارایه شده است.

فهرست کامل تمام حالات ممکن در انتخاب مدارهای این آسیاها به شرح زیر است:

- آسیای خودشکن تک‌مرحله‌ای
- آسیای خودشکن + آسیای گلوله‌ای
- آسیای خودشکن + آسیای گلوله‌ای + سنگ‌شکن
- آسیای خودشکن + آسیای قلوه‌سنگی
- آسیای خودشکن + آسیای گلوله‌ای + سنگ‌شکن
- آسیای نیمه‌خودشکن تک‌مرحله‌ای

- آسیای نیمه‌خودشکن + آسیای گلوله‌ای
- آسیای نیمه‌خودشکن + آسیای گلوله‌ای+ سنگ‌شکن
- خردایش اولیه+ آسیای نیمه‌خودشکن + آسیای گلوله‌ای+ سنگ‌شکن

جدول ٤-۲- انواع مدارهای آسیاهای خودشکن و نیمه خودشکن

نوع مدار	تک‌مرحله‌ای- باز	تک‌مرحله‌ای-بسته	چندمرحله‌ای-باز و بسته	تر	خشک
شرح	ساده‌ترین مدار است که در آن معمولا یک سرند ترومل متصل به آسیا و یا سرند لرزان به کار می‌رود.	آسیا در مدار بسته با یک کلاسیفایر دانه‌ریز، سرند ارتعاشی، سرند DSM یا سیکلون کار می‌کند که معمولا ظرفیت کمتری نسبت به همان آسیا در مدار باز با کانسنگ مشابه داشته و محصول دانه‌ریزتری تولید می‌شود.	محصول آسیای اولیه وارد آسیای ثانویه گلوله‌ای، قلوه‌سنگی یا میله‌ای می‌شود، آسیای اولیه در مدار باز یا بسته و آسیای ثانویه در مدار بسته با کلاسیفایر عمل می‌کند. مدار آسیای خودشکن و نیمه‌خودشکن به همراه آسیای گلوله‌ای متداول‌ترین مدارهای خردایش در کاربرد آسیاهای خودشکن و نیمه‌خودشکن است.	مدارهای آسیای خودشکن و نیمه‌خودشکن و آسیای ثانویه تماما در شرایط تر (افزودن آب به خوراک جامد) کار می‌کنند.	مدار آسیای اولیه (عموما آسیای ایروفال) به صورت خشک و مدار آسیای ثانویه عموما به صورت تر کار می‌کند. هزینه‌های عملیاتی در شرایط خشک به طور نسبی بالا است.
کاربرد	وقتی خردایش در یک مرحله محصول نهایی یا مناسب برای مرحله بعدی فرآوری را تامین می‌کند.	وقتی خردایش در یک مرحله ولی با کنترل ابعادی، محصول نهایی یا مناسب برای مرحله بعدی فرآوری را تامین می‌کند.	وقتی که خردایش خودشکن و نیمه‌خودشکن در یک مرحله محصولی با ابعاد مناسب برای مرحله بعدی فرآوری را تامین نکند مدار آسیای اولیه به ندرت باز است و در شرایط بسته بار در گردش دانه‌درشتی دریافت می‌کند.	روش متداول و معمول در کانه‌آرایی اغلب کانسنگ-ها است.	در موارد خاص مانند برخی کانی‌های صنعتی و یا تهیه خوراک فرآیندهای آگلومراسیون و متالورژی انجام می‌شود.
روند نما					

٤-٤- محاسبات و ارزیابی آسیاهای خودشکن و نیمه‌خودشکن

محاسبات مربوط به آسیاهای خودشکن و نیمه‌خودشکن شامل محاسبات عوامل طراحی- عملیاتی آسیا به شرح زیر است:

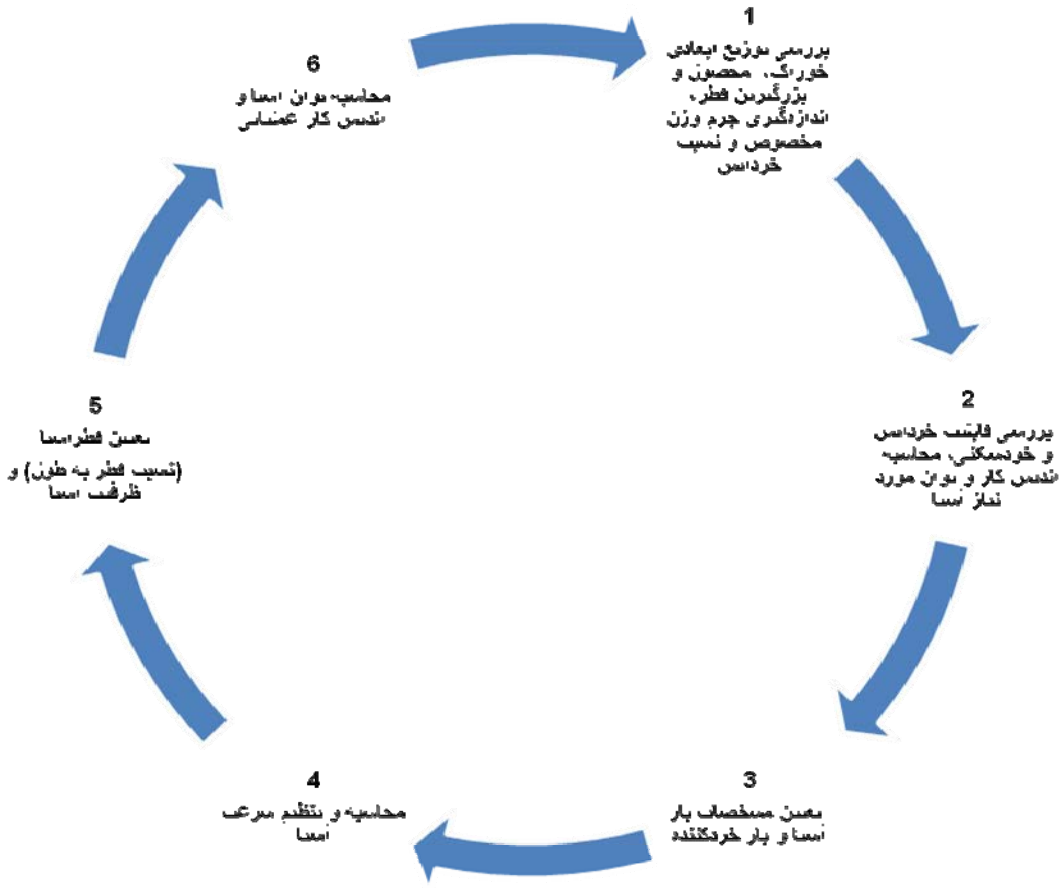
الف- ظرفیت یا ابعاد آسیا

ب- توان آسیا

پ- سرعت دوران آسیا

در شکل ۴-۱۳ روند انجام مراحل مختلف تعیین مقدار عوامل عملیاتی آسیاها ارایه شده است. در این شکل دو مرحله اول مربوط به تعیین مشخصات ماده معدنی (خوراک آسیا) است. در این بخش محاسبات مربوط به سایر مراحل (مراحل ۳ تا ۶ در شکل ۴-۲) که معمولا در مرحله پیشاهنگ دنبال می‌شوند، ارایه شده است. توالی انجام مراحل در شکل ۴-۲ الزامی نیست و برخی مراحل به صورت رفت و برگشت (مانند مراحل ۳ و ۴) انجام می‌شود و برخی دیگر بسته به شرایط و نتایج آزمایش‌ها از بعضی مراحل صرف‌نظر می‌شود. (مانند مرحله ۶ به ۳ به طور مستقیم شکل ۴-۱۳).

جدول ۴-۳ نکات و معادلات مورد استفاده در محاسبه بار آسیا (شامل بار خردکننده) را ارایه می‌دهد.



شکل ٤-۱۳- روند انجام محاسبات تعیین عوامل عملیاتی آسیاها

جدول ٤-۳- محاسبه بار آسیا و بار خردکننده

فرآیند	تعیین ابعاد بار خردکننده*	محاسبه درصد حجمی بار**	کنترل	بهینه‌سازی و ارزیابی
محاسبات	$B=\left(\frac{F}{K}\right)^{\frac{1}{2}}\left(\frac{Sg\,Wi}{100C_S\sqrt{D}}\right)^{\frac{1}{3}}$	V_p=1.13-1.26(H/D)	برآورد نیازهای مربوط به تامین بارخردکننده کافی و مناسب حین عملیات	بررسی اثر بار خردکننده بر مکانیزم خردایش و همچنین فرسایش قطعات
توضیحات	تعیین محدوده ابعادی و حداکثر ابعاد بار خردکننده (گلوله فولادی برای آسیای نیمه‌خودشکن و کانسنگ یا قلوه‌سنگ برای آسیای خودشکن) بر اساس دانه‌بندی و حداکثر ابعاد خوراک و قابلیت خردایش کانسنگ	استفاده از نمودار و جداول حاوی مقادیر توان آسیا، وزن بار یا درصد بار خردکننده یا روش‌های تجربی- عملیاتی	استفاده از تجربیات عملیاتی در مورد کانسنگ‌ها و کارخانه‌های مشابه و یا استفاده از نمودارها	استفاده از مدل‌ها و شبیه‌سازی

* B: قطر گلوله‌های فولادی (بار خردکننده) ، F: اندازه‌ای که ۸۰٪ ذرات خوراک جدید از آن کوچکتر است، Wi: اندیس کار، Cs: کسری از سرعت بحرانی آسیا، Sg: وزن مخصوص کانسنگ، D: قطر درون آستر آسیا، K: ثابت تجربی

** Vp: فاصله ازسقف آسیاها، H: فاصله از سقف آسیا تا سطح بار خردکننده، D: قطر درون آستر آسیا

رابطه توان، ابعاد و چگالی بار آسیا (با در نظر گرفتن اثرات سرعت، اصطکاک و دانه‌بندی) به شرح زیر است:

$$kW\ (net) = P_N .\rho_c .DK^{2.5}.L \qquad (۱-۴)$$

که در آن:

$kW\ (net)$: توان موثر آسیا بر حسب کیلووات

ρ_C: چگالی بار آسیا بر حسب تن بر متر مکعب

P_N: عدد توان حاصل از اندازه‌گیری

L: طول موثر آسیا بر حسب متر

D: قطر موثر آسیا بر حسب متر

رابطه سرعت بحرانی با سرعت و قطر آسیا به شرح زیر است:

$$Cs = 0.0236 \times N \times \sqrt{D} \qquad (۲-۴)$$

که در آن:

D: قطر آسیا بر حسب متر

Cs: سرعت بحرانی

N: سرعت دورانی آسیا بر حسب (rpm)

رابطه توان با سرعت آسیا و وزن بار به شرح زیر است:

$$kW = \frac{2\pi.N.W.rc.\sin\theta}{3403.5} \qquad (۳-۴)$$

که در آن:

KW= توان آسیا بر حسب کیلووات

N: سرعت دورانی آسیا برحسب rpm

W: وزن بار درون آسیا بر حسب متر

r_c: فاصله شعاعی تا مرکز ثقل بار درون آسیا بر حسب متر

Q: زاویه r_c نسبت به قائم

رابطه انرژی ورودی آسیا (خروجی موتور) با دانه‌بندی و قابلیت خردایش ماده معدنی به شرح زیر است:

$$W = \frac{10Wi}{\sqrt{P}} - \frac{10Wi}{\sqrt{F}} \qquad (۳-۴)$$

که در آن:

W= انرژی ورودی به آسیا

P: ابعاد محصول

F: ابعاد خوراک

Wi= اندیس کار

فصل ۵

کنترل داده‌ها و آزمایش‌ها

٥-١- آشنایی

در طراحی یا کنترل عملیات واحدهای کانه‌آرایی و فرآوری مواد معدنی، نیاز به داده‌ها و شناسایی عوامل موثر در آزمایش‌ها و تحقیقات است. کارشناس امر باید دسترسی سریع به فهرست عوامل تحت بررسی را داشته باشد، در این بخش با هدف تامین چنین اطلاعاتی، مجموعه داده‌ها و متغیرهای مورد استفاده و ضروری در مراحل مختلف طراحی و عملیات آسیاهای خودشکن و نیمه‌خودشکن در قالب فرم کنترلی (چک‌لیست) ارایه شده است.

٥-٢- اطلاعات زمین‌شناسی

الف- مشخص کردن انواع کانی‌ها

ب- فراوانی نسبی کانی‌ها و نحوه توزیع آن‌ها

پ- تعداد زون‌های قابل تشخیص کانی‌سازی و ویژگی‌های اصلی هر کدام

٥-٣- اطلاعات کانی‌شناسی و تجزیه شیمیایی

- نام کانی‌ها
- خواص ظاهری، بافت و ساخت کانی‌ها
- انواع تبلور و ادخال‌ها
- مشخصات میکروسکوپی نوری
- محدوده ابعادی کانی‌ها
- درجه آزادی و نحوه درگیری با باطله
- نتایج مطالعات میکروپروب و میکروسکوپ الکترونی
- تجزیه کامل شیمیایی
- شناسایی ترکیب‌ها و عناصر خاص از نظر میکروسکوپ الکترونی
- اهمیت در کانه آرایی

٥-٤- مشخصات فیزیکی کانسنگ

- سختی (مقیاس موس)
- میزان فشردگی یا بلوکی بودن
- شکنندگی یا تردی
- درصد اولیه مواد دانه ریز (مواد رسی)
- جرم مخصوص کانسنگ
- جرم مخصوص کانی (های) با ارزش و باطله

٥-٥- آزمایش‌های قابلیت خردایش و خودشکنی کانسنگ

٥-٥-١- مطالعات آزمایشگاهی و مقیاس پایه

الف- مقدار نمونه مورد نیاز و نحوه تهیه و آماده‌سازی آن برای هر آزمایش

ب- دانه‌بندی نمونه (خوراک) و درصد فراکسیون دانه‌درشت (بارخردکننده در شرایط خودشکنی)

پ- مشخصات عملیاتی هر آزمایش شامل:

- ابعاد آسیا
- سرعت آسیا
- (نسبت) بار خردکننده
- توزیع ابعادی بار خردکننده
- نمونه مورد نیاز در هر آزمون
- شرایط انجام آزمایش (ناپیوسته، نیمه‌پیوسته، تک‌ذره)
- انرژی مصرفی آسیا (KWh/t)
- مقدار سایر پارامترهای عملیاتی (خاص هر آزمایش)
- دانه‌بندی محصول
- دانه‌بندی ابعاد انتخابی برای آزمایش تک‌ذره
- اندیس کار باند (در صورت محاسبه)
- اندیس آسیای نیمه‌خودشکن (SPI)

ت- گزارش نتایج:

- منحنی‌های ارتباط متغیرها
- اندیس‌های سایش و کار
- مقاومت فشاری و سایر خواص مکانیک سنگی (در صورت انجام)
- ارزیابی کیفی از مقاومت کانسنگ و قابلیت خودشکنی آن
- ارایه مقادیر پارامترهای مختلف عملیاتی و نتایج (نمودارها و جداول)
- فرضیات و نتایج هرگونه مطالعات با استفاده از مدل‌های خردایش و شکست تک‌ذره
- ارایه گزارش مطالعات پایه به همراه فلوشیت اولیه مدار خردایش

۵-۵-۲- مطالعات واحد پیشاهنگ

الف- مقدار نمونه و نحوه تهیه آن

ب- دانه‌بندی خوراک و حداکثر ابعاد

پ- عوامل عملیاتی:

- مقدار و ابعاد بار خردکننده
- تناژ خوراک خشک و نحوه خوراک‌دهی
- ابعاد آسیا و نسبت قطر به طول
- درصد حجمی بار آسیا (نسبت پرشدگی)
- سرعت آسیا
- توان خالص
- اندیس کار عملیاتی
- مشخصات پالپ (دبی، چگالی، درصد جامد)
- مشخصات هندسی آستر، بالابر پوسته و بخش خروجی آسیا

- نوع و کارایی سرند متصل به آسیا
- درصد بار در گردش و دانه‌بندی آن
- مشخصات فنی و عملیاتی هر نوع وسیله طبقه‌بندی در مدار آسیا (مانند سیکلون)
- مشخصات فنی و عملیاتی آسیای مرحله ثانویه (در صورت استفاده)

۵-۵-۳- گزارش نتایج و تحلیل‌ها:

- منحنی‌ها و جداول مربوط به تجزیه ابعادی و موازنه جرم در مدار
- ارزیابی‌های مشاهده‌ای و کیفی از شرایط خردایش و محصول آسیا و همچنین کارایی تجهیزات
- مقادیر بهینه پارامترهای عملیاتی آسیا شامل توان، سرعت، بار خردکننده و نظایر آن‌ها
- مقادیر بهینه پارامترهای مربوط به تجهیزات طبقه‌بندی و خردایش ثانویه
- مقادیر بهینه ابعاد آسیا و سایر تجهیزات در مدار خردایش
- نحوه چیدمان تجهیزات با ارایه روند نمای پایلوت
- معرفی و ارایه نتایج هرگونه مطالعات مدل‌سازی و شبیه‌سازی (در صورت انجام)
- ارایه نتایج هر گونه مطالعات جنبی مانند متالورژی آلیاژها یا مکانیک سنگ
- ارایه راهکارهای مناسب برای تهیه خوراک کافی از منابع کانسنگ و نحوه آماده‌سازی آن
- پیشنهادهای ممکن درباره پارامترهای فنی و طراحی ساختمان آسیا و نیروی محرک آن
- معرفی شرایط و تمهیدات ایمنی و بهداشت (مانند شرایط ویژه در مدار خردایش خشک یا کنترل آلاینده‌ها)
- گزارش مرحله واحد پیشاهنگ

خواننده گرامی

امور نظام فنی معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی ریـیس جمهـور، بـا گذشـت بـیش از سـی سـال فعالیـت تحقیقاتی و مطالعاتی خود، افزون بر پانصد عنوان نشریه تخصصی- فنی، در قالب آیـین‌نامـه، ضـابطه، معیـار، دستورالعمل، مشخصات فنی عمومی و مقاله، به صورت تالیف و ترجمه، تهیه و ابلاغ کرده است. نشریه حاضـر در راستای موارد یاد شده تهیه شده، تا در راه نیل به توسعه و گسترش علوم در کـشور و بهبـود فعالیـت‌هـای عمرانی به کار برده شود. فهرست نشریات منتشر شده در پایگاه اطلاع‌رسانی **nezamfanni.ir** قابل دسـتیابی می‌باشد.

امور نظام فنی

Islamic Republic of Iran
Vice Presidency for Strategic Planning and Supervision

Technical Criteria for Selection of Autogenouse and Semi- Autogenouse Mills

No.580

Office of Deputy for Strategic Supervision

Department of Technical Affairs

nezamfanni.ir

Ministry of Industry, Mine and Trade

Deputy office of Mining Affairs and Mineral Industries

http://www.mim.gov.ir

2013

این نشریه:

با هدف ارایه اطلاعات مورد نیاز برای انتخاب آسیاهای خودشکن و نیمه‌خودشکن تهیه شده است. در این مطالعات به بررسی مشخصات نمونه و بار خردکننده، ضوابط و معیارهای طراحی، معایب و مزایای این نوع آسیاها، انواع مدارها و سایر عوامل موثر بر انتخاب نوع آسیا پرداخته شده است.