

جمهوری اسلامی ایران  
سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور

# راهنمای افزایش مقیاس در واحدهای کانه آرایی

ضابطه شماره ۶۷۲

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

[www.mimt.gov.ir](http://www.mimt.gov.ir)

سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور

امور نظام فنی و اجرایی

[nezamfanni.ir](http://nezamfanni.ir)



[omoorepeyman.ir](http://omoorepeyman.ir)



شماره:	۹۴/۳۰۴۸۰۸	بخشنامه به دستگاه‌های اجرایی، مهندسان مشاور و پیمانکاران
تاریخ:	۱۳۹۴/۱۰/۱۵	

موضوع: راهنمای افزایش مقیاس در واحدهای کانه‌آرایی

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/ت/۳۳۴۹۷هـ- مورخ ۱۳۸۵/۴/۲۰ هیأت محترم وزیران)، به پیوست ضابطه شماره ۶۷۲ امور نظام فنی و اجرایی، با عنوان «**راهنمای افزایش مقیاس در واحدهای کانه‌آرایی**» 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



## 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، ابهام 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 صفی‌علیشاه، سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور،

امور نظام فنی و اجرایی، مرکز تلفن ۳۳۲۷۱

Email: info@nezamfanni.ir

nezamfanni.ir





## باسمه تعالی

### پیشگفتار

نظام فنی و اجرایی کشور (مصوبه شماره ۴۲۳۳۹/ت ۳۳۴۹۷ هـ مورخ ۱۳۸۵/۴/۲۰ هیات وزیران) به کارگیری معیارها، استانداردها و ضوابط فنی در مراحل تهیه و اجرای طرح و نیز توجه لازم به هزینه‌های نگهداری و بهره‌برداری در قیمت تمام شده طرح‌ها را مورد تاکید جدی قرار داده است و این امور به استناد ماده ۲۳ قانون برنامه و بودجه و نظام فنی و اجرایی کشور وظیفه تهیه و تدوین ضوابط و معیارهای فنی طرحهای توسعه‌ای کشور را به عهده دارد.

تاسیس واحد فرآوری، مستلزم طراحی مناسب است زیرا تاثیر مهمی در هزینه‌های سرمایه‌ای و عملیاتی دارد. افزایش مقیاس یکی از پارامترهای تاثیرگذار در طراحی سیستم‌های کانه‌آرایی بوده و اهمیت ویژه‌ای دارد. یافتن مدلی از یک فرآیند برای متغیرهای ابعادی برای افزایش ظرفیت از اهداف اصلی این موضوع است. برای دستیابی به این مدل، در ابتدا مطالعات در مقیاس کوچکتری مانند آزمایشگاهی، پایه و پیشاهنگ انجام می‌گیرد و پس از ایجاد مدل، از آن در مقیاس صنعتی استفاده می‌شود. در کانه‌آرایی بسته به فرآیند و متغیرهای تاثیرگذار، روش‌های مختلفی برای افزایش مقیاس وجود دارد و استفاده از گراف‌ها، جدول‌ها، ضرایب افزایش مقیاس، فرمول‌ها و مدل‌ها از جمله این روش‌هاست. بعضی از تجهیزات، افزایش مقیاس نمی‌شوند و با توجه به ماهیت ماده معدنی، ظرفیت مورد نظر، مدت کارکرد و دیگر پارامترها، با استفاده از گراف‌ها، جدول‌ها، روابط و کاتالوگ‌های سازندگان انتخاب می‌شوند.

در این گزارش به دلیل زیاد بودن فرمول‌ها و حفظ نمادها و با توجه به نرم‌افزارهای موجود و زیرلایه‌های ساختاری آن‌ها از نمادهای تکراری استفاده شده است و علاوه بر اطلاعات موجود در گزارش بهتر است به نشریه‌های "راهنمای محاسبه تعیین ظرفیت ماشین‌آلات و تجهیزات واحدهای کانه‌آرایی"، "ضوابط انجام آزمایش‌های کانه‌آرایی در مقیاس آزمایشگاهی، پایه و پیشاهنگ"، "فهرست خدمات طراحی پایه واحدهای کانه‌آرایی و فرآوری مواد معدنی"، "ضوابط و معیارهای فنی انتخاب آسیاهای خودشکن و نیمه خودشکن" و "فهرست خدمات مهندسی تفصیلی کانه‌آرایی" نیز مراجعه شود. بر این اساس ضابطه "راهنمای افزایش مقیاس در واحدهای کانه‌آرایی" با هدف ارایه شیوه یکسان برای انجام افزایش مقیاس در واحدهای کانه‌آرایی و در چارچوب برنامه تهیه ضوابط و معیارهای معدن تهیه شده است.

با همه‌ی تلاش انجام شده قطعا هنوز کاستی‌هایی در متن موجود است که این‌شاء... کاربرد عملی و در سطح وسیع این ضابطه 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 و اجرایی همچنین جناب آقای دکتر جعفر سرقینی 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.

غلامرضا شافعی

معاون فنی و توسعه امور زیربنایی

دی ۱۳۹۴



## 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 ... 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
محمد رضا 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 آقارضانعلی	رئیس گروه امور نظام فنی و اجرایی
آقای علیرضا غیاثوند	رئیس گروه ضوابط و معیارهای معاونت امور معادن و صنایع معدنی
آقای اسحق صفرزاده	کارشناس معدن امور نظام فنی و اجرایی

پیش‌نویس این گزارش توسط آقای دکتر نوع‌پرست تهیه و پس از بررسی و تایید توسط کارگروه فرآوری، به تصویب شورای عالی برنامه

رسیده است



# فهرست مطالب

## عنوان

## صفحه

### فصل اول - تعاریف و مفاهیم

۳	۱-۱- آشنایی.....
۳	۲-۱- افزایش مقیاس در سایر صنایع.....
۳	۳-۱- افزایش مقیاس در کانه‌آرایی.....
۴	۱-۳-۱- افزایش مقیاس از آزمایشگاهی و پایه به پیشاهنگ.....
۴	۲-۳-۱- افزایش مقیاس از واحد پیشاهنگ به واحد صنعتی.....
۴	۴-۱- مفاهیم و اصطلاحات.....

### فصل دوم - افزایش مقیاس

۱۱	۱-۲- آشنایی.....
۱۱	۲-۲- داده‌ها، مدارک و اسناد فنی مورد نیاز.....
۱۱	۱-۲-۲- اطلاعات عمومی مورد نیاز برای افزایش مقیاس و انتخاب ماشین‌آلات.....
۱۲	۳-۲- اطلاعات مورد نیاز برای افزایش مقیاس ماشین‌آلات در مدارهای فرآوری.....
۱۲	۱-۳-۲- مدار خردایش.....
۱۳	۲-۳-۲- سلول‌های فلوتاسیون.....
۱۳	۳-۳-۲- جداکننده‌های فیزیکی.....
۱۴	۴-۳-۲- دستگاه‌های مربوط به آگیری مواد (تیکنر، فیلتر و خشک‌کن).....
۱۴	۴-۲- معیارهای اساسی و موثر در افزایش مقیاس‌ها.....
۱۵	۵-۲- تجهیزات، مواد و نهاده‌های مصرفی.....
۱۵	۱-۵-۲- کلیات.....
۱۶	۲-۵-۲- مدار خردایش.....
۱۷	۳-۵-۲- هیدروسیکلون.....
۱۷	۴-۵-۲- مدارهای فلوتاسیون.....
۱۸	۵-۵-۲- جداکننده‌ها.....
۱۸	۶-۵-۲- عملیات واحدهای آگیری.....

### فصل سوم - محاسبات و عملیات ویژه

۲۱	۱-۳- آشنایی.....
۲۱	۲-۳- مدار خردایش.....
۲۱	۱-۲-۳- سنگ‌شکن.....
۲۲	۲-۲-۳- آسیاها.....
۳۵	۳-۲-۳- تجهیزات طبقه‌بندی.....
۳۸	۴-۲-۳- مراحل و محاسبات افزایش مقیاس جداکننده‌ها.....





۴۳ ..... ۳-۲-۵- مراحل و محاسبات افزایش مقیاس سلول‌های فلوتاسیون

۵۱ ..... ۳-۲-۶- مراحل و محاسبات افزایش مقیاس تیکنر

۵۳ ..... ۳-۲-۷- مراحل و محاسبات افزایش مقیاس فیلترها





# فصل ۱

---

---

## تعاریف و مفاهیم





## ۱-۱- آشنایی

افزایش مقیاس، یافتن مدلی از یک فرآیند برای متغیرهای ابعادی به منظور افزایش ظرفیت است. برای دستیابی به این مدل معمولاً در ابتدا مطالعات در مقیاس کوچک (مقیاس‌های آزمایشگاهی، پایه و یا پیشاهنگ) انجام می‌گیرد و مدلی برای آن ایجاد می‌شود و از این مدل در مقیاس صنعتی استفاده می‌شود. علاوه بر افزایش مقیاس واژه دیگری با عنوان کاهش مقیاس وجود دارد، بدین معنی که از داده‌های موجود در مقیاس صنعتی برای ایجاد مدل استفاده شود تا با استفاده از آن به پیش‌بینی و تخمین نتایج آزمایشگاهی پرداخته شود. این مدل‌ها اطلاعات زیادی در مورد متغیرهای مورد نیاز برای مطالعات آزمایشگاهی را فراهم می‌کنند، بنابراین از آن‌ها می‌توان برای افزایش مقیاس فرآیندهای مشابه نیز استفاده کرد.

## ۱-۲- افزایش مقیاس در سایر صنایع

در صنایع دیگر شامل صنایع متالورژی و شیمیایی سه کمیت مومنتوم، انرژی و جرم بعد از افزایش مقیاس باید مورد موازنه قرار گیرند. در این صنایع معمولاً از متغیرها و اعداد بی‌بعد به منظور ایجاد مدل‌های فیزیکی و فرمول‌ها استفاده می‌شود. در بعضی موارد یافتن این مدل‌ها و یا فرمول‌ها بسیار مشکل است و باید از روش‌های سعی و خطا برای تعیین آن‌ها استفاده کرد. در نهایت اعداد مختلفی مانند اعداد وبر، رینولدز، مورتون، مارانگونی، لاپلاس و موارد مشابه به دست می‌آید که بسته به نوع متغیرهایی که باید مورد افزایش مقیاس قرار گیرند می‌توان از هر یک از این اعداد استفاده کرد.

## ۱-۳- افزایش مقیاس در کانه‌آرایی

در کانه‌آرایی بسته به فرآیند و متغیرهای تاثیرگذار، روش‌های مختلفی برای افزایش مقیاس وجود دارد. این روش‌ها می‌توانند شامل استفاده از گراف‌ها، جدول‌ها، ضرایب افزایش مقیاس، فرمول‌ها و مدل‌ها باشند که نحوه استفاده از آن‌ها در ادامه شرح داده می‌شود. بعضی از تجهیزات کانه‌آرایی افزایش مقیاس نمی‌شوند و فقط با توجه به نوع ماده معدنی، ظرفیت مورد نظر، مدت کارکرد و وجود ماشین‌آلات و تجهیزات در سری ساخت سازندگان (بازار فروش ماشین‌آلات) انتخاب می‌شوند. مطالعات آزمایشگاهی بر روی متغیرهای موثر در هر فرآیند منجر به ایجاد مدل‌هایی برای افزایش مقیاس و طراحی فرآیندها می‌شود که بهتر است نتایج حاصل از این مدل‌ها با کارخانجات مشابه موجود مقایسه تا مدل اعتبارسنجی شود.

## ۱-۳-۱- افزایش مقیاس از آزمایشگاهی و پایه به پیشاهنگ

در این مقیاس در ابتدا به شناسایی ماده معدنی پرداخته و آزمایش‌ها به صورت ناپیوسته انجام می‌شود. متغیرهای اصلی فرآیند مانند سینتیک، زمان لازم برای واکنش، شاخص‌های خردایش و سایر موارد که نقش کلیدی در طراحی فرآیندها بر عهده دارند در

این مقیاس به دست می‌آیند و با توجه به نوع فرآیند و استفاده از یک سری فرمول‌ها، گراف‌ها و جدول‌ها، این متغیرها افزایش مقیاس می‌شوند. باید توجه داشت که مهم‌ترین تفاوت میان یک فرآیند آزمایشگاهی ناپیوسته و فرآیند پیشاهنگ یا صنعتی پیوسته مربوط به زمان اقامت مواد در داخل سیستم است. در سیستم ناپیوسته همه مواد به یک مدت داخل سیستم باقی می‌مانند و زمان مساوی برای واکنش‌های شیمیایی یا فیزیکی دارند، در حالی که در یک سیستم پیوسته، بسته به نوع سیستم اختلاط و انتقال مواد، اغلب توزیعی از زمان‌های اقامت مواد در داخل سیستم وجود دارد و برخی از مواد بیشتر و برخی کمتر از دیگران در داخل سیستم می‌مانند و اصطلاحاً "توزیع زمان ماند" وجود دارد. نکته بسیار اساسی در افزایش مقیاس از سیستم آزمایشگاهی به سیستم پیوسته پیشاهنگ یا صنعتی این است که "مدت زمان واکنش" در فرآیند ناپیوسته، به هیچ وجه نمی‌تواند برابر "میانگین زمان ماند" در یک سیستم پیوسته در نظر گرفته شود (به غیر از سیستم‌های پیوسته با الگوی زمان ماند جریان پیستونی).

### ۱-۳-۲- افزایش مقیاس از واحد پیشاهنگ به واحد صنعتی

شرایط عملیاتی تجهیزاتی که در این مقیاس مورد استفاده قرار می‌گیرد مشابه فرآیند تولید است. به ویژه اینکه هر دو مقیاس رژیم عملیاتی پیوسته دارند و مشکلات مربوط به تبدیل زمان ماند مواد که پیشتر به آن اشاره شد در این افزایش مقیاس وجود ندارد. بنابراین استفاده از این مقیاس باعث می‌شود تا علاوه بر درک بهتر فرآیند، بعضی از متغیرها مانند بار در گردش که امکان دستیابی به آن در مقیاس آزمایشگاهی وجود ندارد نیز بررسی و یا متغیرهای به دست آمده در مقیاس آزمایشگاهی اعتبارسنجی شود و به علاوه آزمایش‌هایی در شرایط عملیاتی نزدیک به مقیاس صنعتی انجام داد.

### ۱-۴- مفاهیم و اصطلاحات

بیشتر واژه‌های به کار برده شده در این گزارش از نشریه شماره ۴۴۱ با عنوان "تعاریف و مفاهیم در فعالیت‌های کانه‌آرایی" استفاده شده است.

- **ظرفیت مخصوص سرند کردن:** میزان ظرفیت سرند به ازای مترمربع سطح آن را ظرفیت مخصوص سرند گویند.
- **حد جدایش:** مقدار قطر متوسط هندسی ذرات که ضریب توزیع در آن معادل ۵۰ درصد باشد را حد جدایش گویند. این ذرات، برای ورود به بخش سرریز و ته‌ریز را در تجهیزات طبقه‌بندی از جمله هیدروسیکلون احتمال یکسانی دارند.
- **شاخص کار خردایش:** شاخصی که قابلیت خردایش مواد معدنی مختلف را به صورت رابطه‌ای بین انرژی لازم برای خرد کردن و ابعاد خردایش بیان می‌کند.

- **تابع طبقه‌بندی میانگین:** این تابع از منحنی‌های دانه‌بندی حاصل می‌شود و تعیین‌کننده دانه‌بندی محصول آسیا و کیفیت مدار آسیا کردن است. از توزیع ابعادی مواد خروجی از آسیا و میانگین توزیع ابعادی مواد موجود در آسیا به منظور محاسبه این تابع استفاده می‌شود.



- **تابع انتقال جرم:** این تابع به بیان چگونگی خروج مواد از آسیا می‌پردازد که تابعی از آهنگ حجمی پالپ خروجی و طبقه‌بندی مواد است.
- **شکست ضربه‌ای:** شکستی که ناشی از ضربه بار خردکننده در آسیا باشد را شکست ضربه‌ای گویند که به وزن بار خردکننده و مساحت سطح بار خردکننده بستگی دارد.
- **انرژی مخصوص خردایش:** مقدار انرژی مورد نیاز برای خردایش یک تن ماده معدنی است. مقدار این انرژی به ابعاد و جنس ماده معدنی بستگی دارد و واحد آن کیلووات ساعت بر تن است.
- **تابع آشکار:** این تابع در طراحی آسیاهای گلوله‌ای کاربرد دارد و برای ارتباط بین توزیع ابعادی ذرات محصول با ارایه انرژی شکست و ابعاد بار ورودی را نشان می‌دهد و از آزمایش سقوط آزاد برای محاسبه آن استفاده می‌شود و به ماهیت مواد، ابعاد ذرات و انرژی مخصوص خردایش بستگی دارد.
- **تابع توزیع آهنگ شکست:** این تابع می‌تواند به صورت تعداد برخورد گلوله بر ذره در آسیای گلوله‌ای که منجر به شکست می‌شود، بر واحد زمان تعریف شود. این تابع به مساحت سطح گلوله‌ها در آسیا، سرعت آسیا و توزیع ابعادی ذرات بستگی دارد.
- **سرعت بحرانی آسیا:** اگر سرعت گردش آسیا در حدی باشد که در تمامی طول مسیر، نیروی گریز از مرکز از نیروی وزن بار خردکننده بیشتر باشد، گلوله به جداره داخلی آسیا می‌چسبد و رها نمی‌شود، به این سرعت، سرعت بحرانی گویند.
- **زمان ماند:** مدت زمانی که یک ذره در داخل یک سیستم می‌ماند را زمان ماند آن ذره گویند. برای ذرات مختلف زمان‌های ماند مختلفی وجود دارد که به صورت یک توزیع بیان می‌شود و در مقیاس صنعتی با استفاده از ردیاب‌ها قابل اندازه‌گیری است. میانگین این توزیع، میانگین زمان ماند نامیده می‌شود و از متغیرهای اساسی در طراحی و تعیین اندازه تجهیزات است.
- **اندازه بحرانی ذرات در خودشکنی:** ذرات با ابعاد بحرانی در آسیای خودشکن و نیمه‌خودشکن، ذراتی هستند که از لحاظ ابعادی نمی‌توانند نقش بار خردکننده را به طور موثری داشته باشند و از طرفی آنقدر بزرگ هستند که قطعات بزرگتر توانایی خردایش آن‌ها را ندارند.
- **ظرفیت مخصوص غلتک:** ظرفیت مخصوص یکی از متغیرهای اساسی در افزایش مقیاس غلتک‌ها و تعیین ابعاد آن‌ها است. مقدار آن به قطر، طول، سرعت محیطی غلتک‌ها و چگالی کیک و موارد دیگر بستگی دارد و از تقسیم ظرفیت بر حاصل ضرب قطر، طول و سرعت غلتک‌ها به دست می‌آید.
- **فاصله بحرانی:** حد فاصل بین منطقه فشار و منطقه پیش خردایش در آسیای غلتکی فشاربالا را فاصله بحرانی گویند.
- **فاصله عملیاتی در آسیای غلتکی:** حد فاصل بین غلتک‌ها در آسیای غلتکی فشاربالا که حدود ۲ تا ۲/۵ درصد قطر



غلتک است و به ابعاد بار ورودی، نوع پوشش غلتک، فشار عملیاتی و قطر غلتک بستگی دارد.

– **ضخامت کیک در آسیای غلتکی:** ضخامت مواد خروجی از آسیای غلتکی فشاربالا که به صورت کیک و یا ذرات ورقه‌ای کوچک است که تابعی از فاصله عملیاتی این آسیا است.

– **فشار عملیاتی در آسیای غلتکی:** مقدار فشاری که در بخش خروجی لبه غلتک آسیای غلتکی فشار بالا اعمال می‌شود و بخش اصلی خردایش در این ناحیه رخ می‌دهد که ناشی از نیروهای اعمالی غلتک‌ها و نیروی وزن بار ورودی است.

– **سینتیک فلوتاسیون در مقیاس آزمایشگاهی:** سرعت شناورسازی ذرات در سلول‌های فلوتاسیون آزمایشگاهی که با ثابت سینتیک تعیین می‌شود.

– **ماندگی گاز:** حجمی از پالپ موجود در سلول که توسط هوا اشغال می‌شود و حدود ۱۰ تا ۲۵ درصد حجم سلول است.

– **رنولوزی:** گرانروی پالپ در دستگاه‌های فرآوری که تابع درصد جامد و میزان کانی‌های رسی است.

– **آشفتگی در سلول:** میزان پراکندگی و تفرق ذرات از هم در سلول فلوتاسیون تا رسیدن به پالپی همگن که به کارایی همزن بستگی دارد.

– **عدد تفرق:** عددی بی‌بعد که تعیین‌کننده آشفتگی در سلول فلوتاسیون است و بر اساس مدل تفرق محوری بیان می‌شود و با فرمول‌های تجربی قابل محاسبه است.

– **عدد پکلپت<sup>۱</sup>:** عددی بی‌بعد که تعیین‌کننده میزان آشفتگی در سلول فلوتاسیون است و بر اساس مدل تفرق محوری بیان می‌شود. این عدد به متغیرهای هندسی سلول مانند ارتفاع و قطر و آهنگ‌های جریان و ماندگی گاز بستگی دارد.

– **ظرفیت حمل حباب:** میزان وزن ذرات حمل شده به ازای واحد سطح حباب

– **بازیابی در زمان بی‌نهایت:** مقدار بازیابی در زمانی از فرآیند فلوتاسیون که از آن پس تغییری در بازیابی ایجاد نمی‌شود.

– **زمان بهینه فلوتاسیون:** زمان مورد نیاز برای دستیابی به حد جدایش بهینه مانند عیار و بازیابی

– **سرعت نهایی ذره در فلوتاسیون ستونی:** حداکثر سرعت بالا آمدن ذره به وسیله حباب

– **فیلتر آزاد:** این فیلترها بر اساس اختلاف فشار دو طرف فیلتر که ناشی از وزن پالپ موجود بر روی سطح آن است عمل آبدگیری را انجام می‌دهد.





- **فیلترهای فشاری:** این فیلترها از یک سری قاب‌های موازی که با پارچه فیلتر پوشیده شده‌اند تشکیل می‌شود و با پمپ کردن پالپ به درون این محفظه‌ها و اعمال فشار از دو طرف این قاب‌ها عمل آبدگیری انجام می‌شود.
- **فیلتر استوانه‌ای:** نوعی فیلتر گردان است که داخل مخزنی می‌چرخد و با تماس با پالپ آب موجود در آن از مجرای داخلی عبور می‌کند و کیک بر روی پارچه فیلتر باقی می‌ماند که با شستشو از آن خارج می‌شود.
- **فیلتر دیسکی:** این فیلترها از یک سری دیسک‌های موازی هم تشکیل شده‌اند که سطح خارجی آن‌ها را پارچه فیلتر پوشانده است. اصول کار این فیلترها مشابه فیلترهای استوانه‌ای است.
- **فیلتر نواری:** از نوار پلاستیکی بی‌انتهایی که بر روی آن پارچه فیلتر قرار گرفته است و حول محورهایی حرکت می‌کند تشکیل شده است. پالپ تحت نیروی ثقل روی نوار ریخته می‌شود و از همان ابتدا عمل آبدگیری انجام می‌گیرد که بخشی از آن تحت نیروی ثقل و بخشی دیگر تحت نیروی خلا ایجاد شده در درون جعبه‌های در تماس با سطح زیرین نوار است.





# فصل ۲

---

---

## افزایش مقیاس





## ۲-۱- آشنایی

در این فصل اطلاعات و اسناد مورد نیاز برای افزایش مقیاس ارائه شده و سپس معیارهای اساسی و موثر در افزایش مقیاس مورد بررسی قرار می‌گیرد. از آنجایی که در افزایش مقیاس نیاز به یک سری ابزار و لوازم است بنابراین در این فصل شرایط، ابزار، تجهیزات و نهادهای مصرفی نیز ارائه می‌شود.

## ۲-۲- داده‌ها، مدارک و اسناد فنی مورد نیاز

در افزایش مقیاس با در نظر گرفتن نوع مدار و فرآیند، نیاز به یک سری داده‌ها و اطلاعات است که این داده‌ها بسته به نوع تجهیز، مرحله افزایش مقیاس و سایر موارد متفاوت است. داده‌های مورد نیاز برای افزایش مقیاس از مطالعات مرحله آزمایشگاهی و پایه با در نظر گرفتن امکانات محیطی و بررسی آب منطقه از نظر کمی و کیفی و ظرفیت‌های اقتصادی قابل دستیابی است.

### ۲-۲-۱- اطلاعات عمومی مورد نیاز برای افزایش مقیاس و انتخاب ماشین‌آلات

اسناد فنی و مدارک مورد نیاز به شرح زیر است.

#### الف- مدارک، اسناد و اطلاعات لازم برای افزایش مقیاس از آزمایشگاهی و پایه به پیشاهنگ

- آخرین فناوری تکنولوژی فرآوری ماده معدنی و امکان انجام آزمایش‌ها
- گزارش کانی‌شناسی شامل مهم‌ترین کانی‌ها و اجزای تشکیل دهنده و مقدار آن‌ها، وضعیت درگیری کانی‌ها، تعیین کانی‌های با ارزش و اقتصادی مورد نظر برای فرآوری، تعیین و شناسایی ناخالصی‌های موجود (باطله) در مجاورت کانی‌های با ارزش و بررسی امکان و روش حذف آن‌ها در فرآوری، درجه آزادی کانی‌های با ارزش، مشخص کردن تغییرات ماده معدنی در محدوده کانسار
- سوابق مطالعات اکتشافی و فرآوری کانسار مورد نظر
- اطلاعات مربوط به روش‌های کانه‌آرایی در کانسنگ‌های مشابه و روندنمای عملیات موجود در کارخانه‌های مشابه
- گزارش امکان‌سنجی و ارزیابی اثرات زیست‌محیطی
- نتایج تفصیلی آزمایش‌های مقیاس آزمایشگاهی و پایه شامل امکان‌سنجی فرآوری، حداکثر عیار و بازیابی قابل حصول، عیار عناصر مزاحم در کنسانتره، مصرف مواد شیمیایی، سینتیک و سرعت واکنش
- روندنمای پیشنهادی مقیاس پیشاهنگ با تعیین ظرفیت ماشین‌آلات، زمان ماند مواد و پیش‌بینی عیار و بازیابی در مقیاس پیشاهنگ با محاسبات دستی یا شبیه‌سازی مدار پیشنهادی

#### ب- مدارک، اسناد و اطلاعات لازم برای افزایش مقیاس از پیشاهنگ به واحد صنعتی

- نتایج مطالعات در مقیاس آزمایشگاهی، پایه و پیشاهنگ

- خلاصه نتایج مطالعات کانی‌شناسی

- روندنمای کامل عملیات فرآوری در مقیاس پیشاهنگ

- نتایج بررسی‌های امکان‌سنجی



- اطلاعات و مدارک روندنمای عملیات فرآوری در مقیاس پیشاهنگ
- مقدار نمونه‌ها و نحوه دریافت محصولات
- گزارش مشخصات و مواد مصرفی شامل مشخصات مواد شیمیایی، میزان آب در آزمایش‌های قبلی، انرژی و بار خردکننده
- شبیه‌سازی کارخانه در مقیاس صنعتی بر اساس شاخص‌های به دست آمده در مقیاس‌های پایین‌تر و پیش‌بینی عیار و بازیابی قابل حصول، گلوگاه‌ها، تفاوت‌های احتمالی لازم مدار صنعتی با مدار پیشاهنگ
- تامین تجهیزات، سیستم کنترل فرآیند و جانمایی
- داده‌های زیربنایی مرتبط با محل احداث و جانمایی نهایی کارخانه
- اطلاعات مربوط به گزارش امکان‌سنجی و ارزیابی اثرات زیست‌محیطی
- تقاضای محصول در بازار

## ۲-۳- اطلاعات مورد نیاز برای افزایش مقیاس ماشین‌آلات در مدارهای فرآوری

اطلاعات مورد نیاز برای افزایش مقیاس ماشین‌آلات به تفکیک در مدارهای متداول در فرآوری به شرح زیر است.

### ۲-۳-۱- مدار خردایش

اطلاعات مورد نیاز برای افزایش مقیاس ماشین‌آلات در مدار خردایش به شرح زیر است. برای اطلاعات بیشتر به نشریه شماره ۵۴۵ با عنوان "راهنمای محاسبه دقیق ظرفیت ماشین‌آلات و تجهیزات واحدهای کانه‌آرایی" مراجعه شود.

**الف- سنگ‌شکن‌ها:** شامل سنگ‌شکن‌های نوع ژیراتوری، فکی، مخروطی، استوانه‌ای، ضربه‌ای و چکشی است. در مقیاس آزمایشگاهی و پایه به پیشاهنگ از ویژگی‌های ماده معدنی (مانند سختی، تردی و سایندگی)، توزیع ابعادی بار ورودی و محصول انرژی مورد نیاز خردایش استفاده می‌شود.

**ب- آسیابها (میل‌های و گلوله‌ای):** در مقیاس آزمایشگاهی و پایه از پارامترهایی مانند انرژی، کمیت و کیفیت آب، ظرفیت و پارامترهای وابسته به مواد معدنی استفاده می‌شود. در مقیاس پیشاهنگ به واحد صنعتی نیز از ظرفیت، نسبت خردایش و توزیع ابعادی بار ورودی و محصول و انرژی مورد نیاز خردایش استفاده می‌شود.

**پ- آسیابهای خودشکن و نیمه‌خودشکن:** در مقیاس آزمایشگاهی و پایه از ویژگی‌های مواد معدنی، گلوله، ابعاد آسیاب، شاخص‌های موجود، ذرات بحرانی و بسیاری دیگر استفاده می‌شود. در مرحله پیشاهنگ به واحد صنعتی نیز از ظرفیت، توزیع بار ورودی و خروجی و ابعاد آسیاب استفاده می‌شود.

**ت- آسیاب غلتکی فشاربالا:** در مقیاس آزمایشگاهی و پایه به پیشاهنگ از دو داده ورودی و خروجی قابل اندازه‌گیری استفاده می‌شود. وزن ماده معدنی، قطر، عرض و سرعت غلتک، جرم مخصوص توده سنگ فشرده شده و توزیع ابعادی بار اولیه و محصول، داده‌های ورودی و فاصله عملیاتی، ضخامت کیک، جرم مخصوص کیک، توزیع ابعادی محصول، زمان فرآیند، فشار عملیاتی و توان و داده‌های خروجی را شامل می‌شوند. در مقیاس پیشاهنگ به واحد صنعتی نیز مشابه پارامترهای یاد شده استفاده می‌شود.



**ث- سرندها:** با توجه به پارامترهایی مانند ماهیت ماده معدنی، ابعاد بار ورودی، شکل ذرات، رطوبت، ابعاد محصول و نوع فرآیند خشک و یا تر می‌توان سرند صنعتی را مستقیماً انتخاب کرد.

**ج- هیدروسیکلون:** از پارامترهایی مانند توزیع بار ورودی و محصول، دبی و درصد جامد بار ورودی، جرم مخصوص ماده معدنی و وضعیت بار در گردش می‌توان افزایش مقیاس از مرحله آزمایشگاهی و پایه به پیشاهنگ را انجام داد. افزایش مقیاس به واحد صنعتی نیز با پارامترهایی مانند توزیع ابعادی بار اولیه و محصول، حد جدایش، بار در گردش، دبی و درصد جامد بار ورودی، سرریز و ته‌ریز انجام می‌گیرد.

## ۲-۳-۲- سلول‌های فلوتاسیون

### الف- فلوتاسیون مکانیکی

**ا- آزمایشگاهی و پایه به پیشاهنگ:** دانه‌بندی و عیار مربوط به بار ورودی، کنسانتره و باطله، درصد جامد بار ورودی، آهنگ باردهی، خواص شیمی فیزیکی، مواد شیمیایی مصرفی، سینتیک و زمان ماند

**ب- پیشاهنگ به واحد صنعتی:** ظرفیت، زمان ماند و سینتیک آزمایشگاهی، عوامل موثر در خواص هیدرودینامیکی (توان مصرفی، دور همزن، هوادهی و ابعاد بی‌بعد) و پارامترهای مربوط به عیار باردهی، بازیابی، شاخص انتخابی و نظایر آن

### ب- فلوتاسیون ستونی

**ا- آزمایشگاهی و پایه به پیشاهنگ:** درصد جامد، دانه‌بندی و عیار بار ورودی و کنسانتره، آهنگ باردهی، خواص شیمی فیزیکی، مواد شیمیایی مصرفی، ماندگی گاز، میزان آب شستشو و وضعیت حباب‌ساز

**ب- پیشاهنگ به واحد صنعتی:** آهنگ باردهی، زمان ماند، ثابت سینتیک کانی و ماندگی گاز

## ۲-۳-۳- جداکننده‌های فیزیکی

### الف- جداکننده‌های مغناطیسی

**ا- آزمایشگاهی و پایه به پیشاهنگ:** ظرفیت، دانه‌بندی بار ورودی، تر یا خشک بودن، شدت میدان مغناطیسی مورد نیاز، شناسایی کانی‌های غیرمغناطیسی و مغناطیسی (نفوذپذیری مغناطیسی) و خاصیت مغناطیسی آن‌ها

**ب- پیشاهنگ به واحد صنعتی:** ظرفیت، دانه‌بندی بار ورودی، تر یا خشک بودن، شدت میدان مغناطیسی مورد نیاز، شناسایی کانی‌های غیرمغناطیسی و مغناطیسی (نفوذپذیری مغناطیسی)، خاصیت مغناطیسی آن‌ها، ولتاژ و توان مورد نیاز و ظرفیت

### ب- جداکننده‌های الکتریکی و الکترواستاتیکی

**ا- آزمایشگاهی و پایه به پیشاهنگ:** ظرفیت، دانه‌بندی بار ورودی و خاصیت الکتریکی کانی‌ها، سرعت روتور و شناسایی کانی‌های رسانا، نیمه‌رسانا و عایق

**ب- پیشاهنگ به واحد صنعتی:** ظرفیت، دانه‌بندی بار ورودی و خاصیت الکتریکی کانی‌ها، سرعت روتور، شناسایی کانی‌های رسانا، نیمه‌رسانا و عایق، ولتاژ و توان مورد نیاز و ظرفیت

**پ- جداکننده‌های ثقلی**

- آزمایشگاهی و پایه به پیشاهنگ: دانه‌بندی بار اولیه، مشخصات ماده معدنی از نظر کانی‌های تشکیل دهنده، ظرفیت تولید، اختلاف جرم مخصوص کانی‌ها، عیار و بازیابی بار ورودی و محصول مورد نظر، میزان ذرات نزدیک به جرم مخصوص جدایش

- پیشاهنگ به واحد صنعتی: دانه‌بندی بار اولیه، مشخصات ماده معدنی از نظر کانی‌های تشکیل دهنده، ظرفیت تولید، اختلاف جرم مخصوص کانی‌ها، عیار بار ورودی و محصول و بازیابی مورد نظر، میزان ذرات نزدیک به جرم مخصوص جدایش، ظرفیت، دانه‌بندی بار اولیه و کارآیی دستگاه

**۲-۳-۴- دستگاه‌های مربوط به آگیری مواد (تیکنر، فیلتر و خشک‌کن)****الف- تیکنرها**

- آزمایشگاهی و پایه به پیشاهنگ: ظرفیت، درصد جامد، جرم مخصوص جامد و پالپ، دانه‌بندی بار ورودی، سرعت ته‌نشینی ذرات و مواد شیمیایی

- پیشاهنگ به واحد صنعتی: ظرفیت، درصد جامد، جرم مخصوص جامد و پالپ، دانه‌بندی بار ورودی، سرعت ته‌نشینی ذرات و مواد شیمیایی

**ب- فیلترها**

- آزمایشگاهی و پایه به پیشاهنگ: ظرفیت، درصد جامد، جرم مخصوص جامد و پالپ، دانه‌بندی، رطوبت کیک، نوع و جنس فیلتر و میزان ذرات نرمه، ضریب تراکم‌پذیری نمونه‌ها

- پیشاهنگ به واحد صنعتی: ظرفیت، درصد جامد، جرم مخصوص جامد و پالپ، دانه‌بندی، رطوبت کیک، نوع و جنس فیلتر و میزان ذرات نرمه

**پ- خشک‌کن‌ها**

- آزمایشگاهی و پایه به پیشاهنگ: ظرفیت، رطوبت بار ورودی و محصول، نوع خشک‌کن (هم‌جهت و غیرهم‌جهت بودن سیستم) و توان مصرفی

- پیشاهنگ به واحد صنعتی: ظرفیت، رطوبت بار ورودی و محصول، نوع خشک‌کن (هم‌جهت و غیرهم‌جهت بودن سیستم) و توان مصرفی

**۲-۴- معیارهای اساسی و موثر در افزایش مقیاس‌ها**

در افزایش مقیاس تجهیزات کانه‌آرایی، شناخت کامل ماده معدنی مانند عیار، نوع کانی‌های بارزش و باطله همراه، شکل، ابعاد، جرم مخصوص و وضعیت درجه آزادی، ترکیب شیمیایی، ماهیت ذرات حدواسط و درگیر و موارد مشابه از معیارهای اساسی هستند، که باید به نحو مطلوبی در مرحله طراحی، مورد مطالعه و بررسی قرار گیرند. از آنجا که بعضی از دستگاه‌های کانه‌آرایی افزایش



- مقیاس نمی‌شوند بنابراین معیارهای انتخاب آن‌ها نیز در نشریه شماره ۵۵۴ با عنوان "راهنمای محاسبه تعیین ظرفیت ماشین‌آلات و تجهیزات واحدهای کانه‌آرایی" ارائه شده است. مهم‌ترین معیارهای افزایش مقیاس به شرح زیر است:
- الف- مشخصات کانی‌شناسی، خواص فیزیکی، شیمی فیزیکی، شیمیایی و مکانیکی ماده معدنی
  - ب- نتایج گزارش‌های کانه‌آرایی در مقیاس‌های مختلف
  - پ- ظرفیت‌های مورد نظر (تامین از معدن مجاور یا از چندین معدن)
  - ت- استفاده از فن‌آوری‌های روز
  - ث- شرایط اقلیمی و وضعیت زیست‌محیطی منطقه
  - ج- کمیت کیفیت آب
  - چ- دسترسی به منابع انرژی
  - ح- دسترسی به مواد اولیه و مصرفی
  - خ- اقتصادی بودن پروژه

## ۲-۵- تجهیزات، مواد و نهادهای مصرفی

### ۲-۵-۱- کلیات

افزایش مقیاس مستلزم یک سری آزمایش‌ها برای تعیین متغیرهای مورد نیاز است، بنابراین استفاده از تجهیزات مناسب به منظور امکان انجام آزمایش‌ها برای هر مقیاس نسبت به مقیاس دیگر ضروری است که در ادامه تشریح شده است.

#### الف- آزمایشگاهی و پایه به پیشاهنگ

- امکان استفاده از واحد پیشاهنگ با تجهیزات متناسب با فرآیند مورد نظر
- تجهیزات فرآوری متناسب با مقیاس عملیات و ماهیت ماده معدنی
- وجود سیستم‌های کنترلی به منظور به دست آوردن داده‌های مهندسی مناسب
- در دسترس بودن امکانات تجزیه کانی‌شناسی و شیمیایی سریع به منظور اعمال تغییرات در واحد پیشاهنگ
- پیش‌بینی مواد و نهادهای مصرفی
- استفاده از کارشناسان با تجربه در انجام مطالعات پیشاهنگ

#### ب- پیشاهنگ به واحد صنعتی

- بر مبنای داده‌های پیشاهنگ به منظور طراحی واحد صنعتی موارد زیر در نظر گرفته می‌شود:
- پارامترهای فنی و متالورژیکی هر یک از تجهیزات مورد استفاده در مدار
- محاسبات مربوط به بار در گردش
- محاسبات مربوط به مواد، آب، پساب و مباحث زیست‌محیطی
- سینتیک و توزیع زمان ماند فرآیند



- ظرفیت کارخانه
- دستیابی به شرایط پایدار فرآیند
- ویژگی‌ها و محاسبات مربوط به جابه‌جایی و حمل و نقل مواد بین مدارها
- استفاده از ضرایب افزایش مقیاس با در نظر گرفتن ظرفیت واحد فرآوری

## ۲-۵-۲- مدار خردایش

در این بخش، شرایط، ابزار و لوازم، مواد و نهاده‌های مصرفی مورد نیاز برای افزایش مقیاس مدارهای سنگ‌شکنی و آسیابها آورده شده است. برای اطلاعات تکمیلی به نشریه شماره ۵۴۴ با عنوان " ضوابط انجام آزمایش‌های کانه‌آرایی در مقیاس آزمایشگاهی، پایه و پیشاهنگ " مراجعه شود.

### الف- مدار سنگ‌شکن

- **آزمایشگاهی و پایه به پیشاهنگ:** نتایج مطالعات در مقیاس پایه به دو روش استفاده از جدول‌ها، منحنی‌ها و یا مدلسازی و شبیه‌سازی با استفاده از معیارهای مدل افزایش مقیاس داده می‌شود سپس بر مبنای نتایج اجزای مدار نظیر بونکر، تغذیه‌کننده، سنگ‌شکن، سرنده، بار در گردش، نوار نقاله و سیستم غبارگیر طراحی و بر مبنای آن مطالعات در مقیاس پیشاهنگ انجام می‌شود.

- **پیشاهنگ به واحد صنعتی:** بر مبنای واحد نتایج واحد پیشاهنگ ظرفیت کارخانه فرآوری و پارامترهای فنی و متالورژیکی افزایش مقیاس انجام می‌گیرد.

### ب- مدار آسیابهای میله‌ای و گلوله‌ای

- **آزمایشگاهی و پایه به پیشاهنگ:** نتایج مطالعات در مقیاس پایه به دو روش استفاده از جدول‌ها، منحنی‌ها و یا مدلسازی و شبیه‌سازی با استفاده از معیارهای مدل افزایش مقیاس داده می‌شود سپس بر مبنای نتایج اجزای مدار نظیر تغذیه‌کننده، آسیاب، هیدروسیکلون، بار در گردش طراحی و بر مبنای آن مطالعات در مقیاس پیشاهنگ انجام می‌شود.

- **پیشاهنگ به واحد صنعتی:** بر مبنای واحد نتایج واحد پیشاهنگ ظرفیت کارخانه فرآوری و پارامترهای فنی و متالورژیکی مدار آسیابهای میله‌ای و گلوله‌ای افزایش مقیاس می‌شود.

### پ- مدار آسیابهای خودشکن و نیمه‌خودشکن

اطلاعات جامع در مورد مدارهای آسیابهای خودشکن و نیمه‌خودشکن در نشریه شماره ۵۸۰ با عنوان " ضوابط و معیارهای انتخاب آسیاب خودشکن و نیمه‌خودشکن " ارایه شده است.

- **آزمایشگاهی و پایه به پیشاهنگ:** برای افزایش مقیاس از پایه به پیشاهنگ معیارها و آزمون‌های زیر باید انجام گیرد که بر مبنای آن‌ها ابتدا مدلسازی و شبیه‌سازی انجام می‌گیرد و برای واحد پیشاهنگ افزایش مقیاس محاسبه می‌شود.

- شاخص آسیاب استاندارد باند (میله‌ای و گلوله‌ای)

- شاخص آزمایش ضربه‌ای باند

- آزمایش مستعد بودن بار ورودی

- شاخص توان



- شاخص مک فرسون

- شاخص هاپکینسون

- شاخص برزیلی

- **پیشاهنگ به واحد صنعتی:** بر مبنای مطالعات در مقیاس پیشاهنگ و مدلسازی و شبیه‌سازی با در نظر گرفتن ظرفیت کارخانه فرآوری، افزایش مقیاس انجام می‌گیرد.

### ت- مدار آسیای غلته‌ی فشاربالا

- **آزمایشگاهی و پایه به پیشاهنگ:** آزمون‌های لازم، جدول‌ها، منحنی‌ها و استفاده از مدلسازی و شبیه‌سازی. برای اطلاعات بیشتر به نشریه شماره ۵۴۵ با عنوان "راهنمای محاسبه تعیین ظرفیت ماشین‌آلات و تجهیزات واحدهای کانه‌آرایی" مراجعه شود.

- **پیشاهنگ به واحد صنعتی:** بر مبنای مطالعات در مقیاس پیشاهنگ و مدلسازی و شبیه‌سازی با در نظر گرفتن ظرفیت کارخانه فرآوری، افزایش مقیاس انجام می‌گیرد.

### ث- سرندها

- **آزمایشگاهی و پایه به پیشاهنگ:** نتایج مطالعات در مقیاس پایه بر اساس سرندهای استاندارد و ابعاد چشمه‌ها - **پیشاهنگ به واحد صنعتی:** با در نظر گرفتن ظرفیت کارخانه و نوع سرند مورد استفاده به کمک کاتالوگ‌ها، جدول‌ها و منحنی‌های متداول افزایش مقیاس می‌شود.

## ۲-۵-۳- هیدروسیکلون

**الف- از مقیاس آزمایشگاهی و پایه به پیشاهنگ:** با استفاده از نتایج مطالعات آزمایشگاهی و پایه به کمک مدلسازی و شبیه‌سازی افزایش مقیاس انجام می‌گیرد. برای اطلاعات بیشتر به نشریه شماره ۵۴۵ با عنوان "راهنمای محاسبه تعیین ظرفیت ماشین‌آلات و تجهیزات واحدهای کانه‌آرایی" مراجعه شود.

**ب- از مقیاس پیشاهنگ به واحد صنعتی:** بر مبنای مطالعات در مقیاس پیشاهنگ و مدلسازی و شبیه‌سازی با در نظر گرفتن ظرفیت کارخانه فرآوری، افزایش مقیاس انجام می‌گیرد.

## ۲-۵-۴- مدارهای فلوتاسیون

### الف- مدار فلوتاسیون مکانیکی

- **آزمایشگاهی و پایه به پیشاهنگ:** بر اساس نتایج مطالعات آزمایشگاهی و پایه و سیکل‌های بسته در مقیاس آزمایشگاهی و پایه و ویژگی‌های فیزیکی-شیمیایی نمونه معدنی، وظیفه هر یک از سلول‌ها در مدار (رافر، شستشو و رمق‌گیر) مشخص و در سلول‌های با ابعاد مناسب مشروط به پیوسته بودن مدار و شاخص‌های عملیاتی نظیر ساز و کار و مواد شیمیایی، میزان هوادهی و مواد معدنی مطالعات انجام می‌گیرد.

- **پیشاهنگ به واحد صنعتی:** بر اساس ظرفیت و پارامترهای متالورژیکی کارخانه، نتایج مطالعات در مقیاس پیشاهنگ، نمودارها، جدول‌ها و کاتالوگ سازندگان افزایش مقیاس انجام می‌گیرد.

#### ب- مدار فلوتاسیون ستونی

- **آزمایشگاهی و پایه به پیشاهنگ:** بر مبنای ویژگی‌های مواد معدنی مطالعات آزمایشگاهی و پایه، ابتدا مدار شبیه‌سازی و مدلسازی می‌شود و برای بهینه کردن آن مطالعات در مقیاس پیشاهنگ انجام می‌گیرد.

- **پیشاهنگ به واحد صنعتی:** با توجه به ظرفیت و پارامترهای متالورژیکی، جدول‌ها، نمودارها و کاتالوگ‌ها و به کمک روش‌های شبیه‌سازی و مدلسازی افزایش مقیاس انجام می‌گیرد.

#### ۲-۵-۵- جداکننده‌ها

برای اطلاعات بیشتر در مورد افزایش مقیاس سنگ‌جوری، جداکننده‌های مغناطیسی، الکتریکی و الکترواستاتیکی و ثقلی به نشریه شماره ۵۴۵ با عنوان "راهنمای محاسبه تعیین ظرفیت ماشین‌آلات و تجهیزات واحدهای کانه‌آرایی" مراجعه شود.

- **آزمایشگاهی و پایه به پیشاهنگ:** در کلیه روش‌ها با در نظر گرفتن ماهیت، ابعاد و دانه‌بندی مواد معدنی، پارامترهای متالورژیکی و عملیاتی با در نظر گرفتن شرایط اقلیمی افزایش مقیاس از پایه به پیشاهنگ انجام می‌گیرد.

- **پیشاهنگ به واحد صنعتی:** در کلیه روش‌ها با در نظر گرفتن ماهیت، ابعاد و دانه‌بندی مواد معدنی، پارامترهای متالورژیکی و عملیاتی با در نظر گرفتن شرایط اقلیمی به انضمام جدول‌ها، نمودارها و کاتالوگ‌ها افزایش مقیاس از پایه به پیشاهنگ انجام می‌گیرد.

#### ۲-۵-۶- عملیات واحدهای آبگیری

برای افزایش مقیاس عملیات واحدهای آبگیری بر اساس محاسبات ریاضی، جدول‌ها، نمودارها و ظرفیت واحد افزایش مقیاس انجام می‌گیرد.



# فصل ۳

---

---

## محاسبات و عملیات ویژه





## ۳-۱- آشنایی

در این فصل نحوه انجام محاسبات برای افزایش مقیاس و یا انتخاب تجهیزات در مقیاس‌های مختلف ارایه می‌شود. در ادامه برای هر یک از ماشین‌آلات و تجهیزات فرآیند، می‌توان طی مراحل ارایه شده، بسته به نوع تجهیزات و مقیاس مورد نظر افزایش مقیاس طراحی کرد.

## ۳-۲- مدار خردایش

## ۳-۲-۱- سنگ‌شکن

ویژگی‌های سنگ‌شکن‌های مختلف و کاربرد هر یک از آن‌ها در جدول ۳-۱ ارایه شده است که می‌توان بسته به ابعاد بار ورودی و ویژگی‌های ماده معدنی با روش گام به گام جدول ۳-۲، آن‌ها را انتخاب کرد. برای کسب اطلاعات بیشتر به نشریه شماره ۵۴۵ با عنوان "راهنمای محاسبه تعیین ظرفیت ماشین‌آلات و تجهیزات واحدهای کانه‌آرایی" مراجعه شود.

جدول ۳-۱- انواع سنگ‌شکن‌های صنعتی و مشخصات آن‌ها

نوع سنگ‌شکن	حداکثر ظرفیت‌های متداول (تن در ساعت)	قطر دهانه (سانتی متر)	قطر گلوگاه (سانتی متر)	حداکثر مقاومت فشاری (مگا پاسکال)	حداکثر شاخص ساینده‌گی (مگا پاسکال)
ژیراتورری	۱۲۰۰۰ تا ۱۸۰۰۰	۷۵ تا ۲۵۰	۳۰ تا ۵۰	۶۰۰	۳۲۰۰۰
فکی با دو بازو	۱۰۰۰ تا ۲۰۰۰	۲۵ تا ۱۷۵	۲۵ تا ۵۰	۶۰۰	۳۲۰۰۰
فکی با یک بازو	۱۵۰۰	۲۰ تا ۱۲۵	۲۷ تا ۵۰	۱۰۰	۸۰
مخروطی استاندارد	۱۰۰۰ تا ۱۵۰۰	۶ تا ۵۰	۰٫۶ تا ۰٫۶۵	۱۰۰	۸۰
مخروطی سرکوتاه	۱۰۰۰ تا ۱۵۰۰	۲ تا ۲۰	۰٫۳ تا ۲٫۵	۱۰۰	۸۰
استوانه‌ای	۲۰۰۰ تا ۳۰۰۰	۰٫۵ تا ۴٫۵	۰٫۵ تا ۴٫۵	۱۰۰	۸۰
ضربه‌ای	۲۰۰۰ تا ۳۰۰۰	۰٫۵ تا ۱٫۵	۰٫۰۵ تا ۰٫۱	۱۰۰	۸۰

جدول ۳-۲- مراحل و محاسبات برای افزایش مقیاس ماشین‌آلات سنگ‌شکن

مقیاس	نحوه محاسبه و توضیحات لازم
آزمایشگاهی و پایه به پیش‌ساز	مرحله اول- تعیین قطر دهانه سنگ‌شکن سنگ‌شکن باید به گونه‌ای انتخاب شود که دهانه آن حداقل ۱٫۲۵ برابر ابعاد بزرگترین قطعات سنگ ورودی به سنگ‌شکن باشد. بسته به میزان خردایش مورد نیاز، نسبت خردایش دستگاه، میزان بار ورودی و ابعاد محصول، تعداد مراحل سنگ‌شکنی به دست می‌آید.

## ادامه جدول ۳-۲- مراحل و محاسبات برای افزایش مقیاس ماشین‌آلات سنگ‌شکن

مقیاس	نحوه محاسبه و توضیحات لازم
آزمایشگاهی و پایه به پیشاهنگ	<p>مرحله دوم- تعیین قطر گلوگاه سنگ‌شکن قطر گلوگاه سنگ‌شکن بر حسب سانتی‌متر از رابطه زیر محاسبه می‌شود: (۱-۳)</p> $\text{قطر گلوگاه} = \frac{F_{80}}{R_r}$ <p>که در آن: F<sub>80</sub> دهانه سرندي که ۸۰ درصد بار ورودی از آن عبور می‌کند. R<sub>r</sub> نسبت خردایش</p>
	<p>مرحله سوم- تعیین حداکثر مقاومت فشاری کانسنگ با استفاده از یک قطعه معرف از کانسنگ به شکل استوانه‌ای به قطر و ارتفاع ۵۰ میلی‌متر آزمایش فشاری تک محوری انجام و از رابطه زیر به دست می‌آید: (۲-۳)</p> $C = \frac{W}{A}$ <p>که در آن: C مقاومت فشاری نمونه (مگاپاسکال) W نیروی وارد بر نمونه در لحظه متلاشی شدن (نیوتن) A سطح مقطع محل اعمال فشار (میلی‌متر مربع)</p>
	<p>مرحله چهارم- تعیین حداکثر شاخص سایندهی کانسنگ در این روش از شاخص سایندهی باند استفاده می‌شود. به این منظور ۴۰۰ گرم نمونه خشک با ابعاد ۱۲ تا ۱۹ میلی‌متر به درون استوانه ریخته می‌شود. سرعت چرخش استوانه ۷۰ دور در دقیقه، ابعاد پدال ۲،۵۴×۲،۵۴×۷،۶۲ سانتی‌متر و از جنس نیکل، کروم و مولیبدن است. آسیا به مدت ۱۵ دقیقه (۴ مرتبه تکرار، در مجموع ۱ ساعت) می‌چرخد. میزان اختلاف وزن پدال قبل و بعد از آزمایش، میزان سایش را نشان می‌دهد.</p>
	<p>مرحله پنجم- انتخاب سنگ‌شکن با توجه به کاربرد، شرایط اقلیمی، نتایج مطالعات امکان‌سنجی، نوع و ظرفیت تعیین و با استفاده از جدول‌ها و منحنی‌های شرکت‌های سازنده، سنگ‌شکن مناسب انتخاب می‌شود.</p>
واحد پیشاهنگ به صنعتی	<p>مرحله ششم- محاسبه انرژی مصرفی و تایید نهایی سنگ‌شکن انتخابی برای تعیین مناسب بودن سنگ‌شکن انتخابی، مقدار انرژی مورد نیاز برای خردایش یک تن سنگ از رابطه زیر محاسبه می‌شود: (۳-۳)</p> $w = 11wi \left( \frac{1}{\sqrt{p}} - \frac{1}{\sqrt{F}} \right)$ <p>که در آن: F و p به ترتیب دهانه سرندي با ابعاد ۸۰ درصد بار ورودی و خروجی سنگ‌شکن (میکرون) Wi شاخص کار باند W انرژی مورد نیاز برای خردایش (کیلو وات ساعت بر تن)</p> <p>این رابطه با تقریب همراه است، بنابراین باید ضرایب تصحیح اعمال شود. برای سنگ‌شکن فکی، ضریب ۲، ژیراتوری و ضربه‌ای ضریب ۱،۶، مخروطی و استوانه‌ای ضریب ۱،۳ است. در صورتی که توان به دست آمده از توان سنگ‌شکن انتخابی کمتر باشد، انتخاب صحیح و در غیر این صورت مراحل تا دستیابی به نتایج مطلوب تکرار می‌شود.</p>
	<p>مشابه مرحله قبل و با در نظر گرفتن ظرفیت کارخانه فرآوری و ساعت کاری سنگ‌شکن مناسب انتخاب می‌شود.</p>

## ۳-۲-۲- آسیاها

ویژگی‌های آسیاهای متداول و کاربرد هر یک از آنها در جدول ۳-۳-۳ ارائه شده است. برای کسب اطلاعات بیشتر به نشریه شماره ۵۴۴ با عنوان "راهنمای محاسبه تعیین ظرفیت ماشین‌آلات و تجهیزات واحدهای کانه‌آرایی" مراجعه شود.





جدول ۳-۳- انواع آسیا و مشخصات آن‌ها

نوع آسیا	توان (کیلووات)	سرعت گردش آسیا نسبت به سرعت بحرانی (درصد)	نسبت طول به قطر	نوع بار خردکننده	نسبت خردایش	ابعاد بار ورودی (میلی متر)	درصد انباشتگی
میله‌ای	۱۵۰۰۰ تا ۳	۶۵ تا ۵۰	۱٫۲۵ تا ۲٫۵	میله	۱۰ تا ۲۵	۵۰ تا ۴	۴۵
گلوله‌ای	۱۰۵۰۰ تا ۱٫۵	۸۰ تا ۷۰	۱ تا ۲٫۵	گلوله	۱۰۰ تا ۳۰۰	۷۵ تا ۱۰	۵۰ تا ۴۵
خودشکن	۱۳۰۰۰ تا ۱۵	۷۵	۰٫۲ تا ۰٫۵	ماده معدنی	بیش از ۱۰۰۰	تا ۳۰۰ تا ۴۰۰	۳۰ تا ۲۰
نیمه‌خودشکن	۲۰۰۰۰ تا ۱۵	۸۵	۰٫۲ تا ۰٫۵	ماده معدنی و گلوله	بیش از ۱۰۰۰	تا ۳۰۰ تا ۴۰۰	۵۰
قلوه‌سنگی	تا ۲۵۰۰	۷۵	۱٫۱ تا ۳	سرامیکی	۴۰۰	۴	۵۰ تا ۴۰

## الف- آسیای میله‌ای

این آسیاها از استوانه دواری تشکیل شده‌اند که بار خردکننده آن‌ها را میله‌های فولادی تشکیل می‌دهد و برای مرحله اول آسیا کردن به کار می‌روند و انتخابی عمل می‌کنند یعنی همیشه ذرات بزرگتر در حال نرم شدن هستند. این آسیاها معمولاً در مدار باز کار می‌کنند. برای کسب اطلاعات بیشتر می‌توان به نشریه شماره ۵۴۴ با عنوان "راهنمای محاسبه تعیین ظرفیت ماشین‌آلات و تجهیزات واحدهای کانه‌آرایی" مراجعه شود. نحوه افزایش مقیاس این آسیاها در جدول ۳-۴ ارایه شده است.

جدول ۳-۴- مراحل و محاسبات در افزایش مقیاس آسیای میله‌ای

مقیاس	نحوه محاسبه و توضیحات لازم
	مرحله اول- تعیین عوامل موثر در خرد شدن ماده معدنی عوامل موثر در خرد شدن ماده معدنی عبارت است از جرم مخصوص، میزان سختی، شاخص کار، روش خرد کردن، ابعاد بار اولیه و محصول
	مرحله دوم- تعیین توان توان مورد نیاز از رابطه ۳-۳ جدول ۳-۳ تعیین می‌شود.
	مرحله سوم- اصلاح توان محاسبه شده توان محاسبه شده در مرحله قبل، باید با ضرایب تصحیح به صورت زیر اصلاح شود: (۴-۳) $W(\text{تصحیح شده}) = W \times F_1 \times F_2 \times F_3 \times F_4 \times F_5 \times F_6 \times F_7 \times F_8 \times F_9 \times F_{10}$
آزمایشگاهی و پایه به پیشاهنگ	$F_1$ ضریب مربوط به نحوه آسیا کردن خشک ۱/۳ $F_2$ ضریب آسیا کردن در مدار باز: این ضریب فقط برای آسیای گلوله‌ای کاربرد دارد. مقدار این ضریب در جدول ۳-۵ ارایه شده است. $F_3$ ضریب تصحیح قطر آسیا که از رابطه زیر محاسبه می‌شود: (۵-۳) $F_3 = \left(\frac{2.44}{D}\right)^{0.2}$ که در آن: D قطر آسیا (متر) (۶-۳) $F_0 = 16000 \sqrt{\frac{13}{w_t}}$ $F_4$ ضریب تصحیح بار اولیه دانه درشت که از رابطه ۳-۷ به دست می‌آید: در صورتی که ابعاد بار اولیه درشت‌تر از ابعاد یاد شده باشد، این ضریب تصحیح اعمال می‌شود: (۷-۳) $F_4 = 1 + (w_i - 7) \left(\frac{F - F_0}{R_f - F_0}\right)$

## ادامه جدول ۳-۴- مراحل و محاسبات در افزایش مقیاس آسیای میله‌ای

مقیاس	نحوه محاسبه و توضیحات لازم	
آزمایشگاهی و پایه به پیشاهنگ	<p>که در آن <math>F_3</math> نسبت خردایش است و از رابطه زیر محاسبه می‌شود:</p> $R_r = \frac{F}{P} \quad (۸-۳)$ <p><math>F_5</math> ضریب تصحیح محصول دانه ریز که در مورد آسیای گلوله‌ای کاربرد دارد. چنانچه <math>d_{80}</math> محصول آسیای گلوله‌ای ریزتر از ۷۵ میکرون باشد، از این رابطه محاسبه می‌شود:</p> $F_5 = \frac{P + 10.3}{1.145P} \quad (۹-۳)$ <p><math>F_6</math> ضریب تصحیح نسبت خرد کردن که این در مورد آسیای میله‌ای کاربرد دارد. نسبت خرد کردن بهینه از رابطه زیر به دست می‌آید که در آن:</p> <p><math>L</math> و <math>D</math> به ترتیب طول و قطر آسیا</p> $R_{r0} = 8 + \frac{5 \times L}{D} \quad (۱۰-۳)$ <p>اگر نسبت خردایش به اندازه دو واحد با <math>R_{r0}</math> اختلاف داشته باشد، باید از این ضریب استفاده شود:</p> $F_6 = 1 + \frac{(R_r - R_{r0})^2}{150} \quad (۱۱-۳)$ <p><math>F_7</math> اگر نسبت خردایش آسیای گلوله‌ای کمتر از ۶ باشد، از این ضریب استفاده می‌شود:</p> $F_7 = \frac{2(R_r - 1.35) + 0.26}{2(R_r - 1.35)} \quad (۱۲-۳)$ <p><math>F_8</math> ضریب تصحیح آسیا کردن به روش میله‌ای: اگر بار اولیه از مدار سنگ‌شکنی باز تهیه شده باشد، باید ضریب ۱/۴ و اگر از مدار بسته باشد، باید ضریب ۱/۲ برای توان در نظر گرفته شود.</p> <p><math>F_9</math> ضریب تصحیح بار در گردش: این ضریب تصحیح برای آسیای گلوله‌ای کاربرد دارد که از رابطه زیر محاسبه می‌شود:</p> $F_9 = \left(\frac{250}{C}\right)^{0.1} \quad (۱۳-۳)$ <p><math>F_{10}</math> ضریب اتلاف انرژی: از آنجا که انرژی به دست آمده بدون در نظر گرفتن اتلاف انرژی است، ضریب ۱/۸ تا ۱/۲ برای توان آسیا در نظر گرفته می‌شود.</p>	
	مرحله چهارم- انتخاب آسیا	
	توان محاسبه شده در مرحله قبل برای یک تن کانسنگ است بنابراین با ضرب کردن آن در ظرفیت مورد نظر در مقیاس پیشاهنگ، توان مورد نیاز برای آسیا به دست می‌آید که با مراجعه به جدول‌ها و منحنی‌ها، آسیای مورد نظر انتخاب می‌شود.	
	پیشاهنگ به صنعتی	با ضرب کردن ظرفیت کارخانه در توان محاسبه شده برای یک تن کانسنگ در مقیاس آزمایشگاهی، مقدار توان مورد نیاز برای آسیای صنعتی نیز به دست می‌آید ولی برای افزایش ضریب ایمنی، انتخاب آسیا بعد از آزمایش‌های پیشاهنگ انجام می‌گیرد.
		انرژی مصرفی این آسیا در مقیاس پیشاهنگ مورد ارزیابی قرار می‌گیرد و در صورتی که میزان اتلاف انرژی در حد انتظار باشد می‌توان افزایش مقیاس را از آزمایشگاهی به صنعتی انجام داد و در صورتی که میزان اتلاف انرژی بیش از حد انتظار باشد، باید ضریب $F_{10}$ بزرگتری را در محاسبات در نظر گرفت و یا با مشخص کردن توان مورد نیاز برای یک تن کانسنگ در مقیاس پیشاهنگ و ضرب کردن آن در ظرفیت کارخانه، توان مورد نیاز برای آسیای صنعتی را تعیین کرد.

جدول ۳-۵- ضریب  $F_2$  برای آسیای گلوله‌ای در مدار باز

ضریب $F_2$	درصد مواد عبور کرده از سرنده کنترل
۱,۰۳۶	۵۰
۱,۰۵	۶۰
۱,۰۱	۷۰
۱,۲	۸۰
۱,۴	۹۰
۱,۴۶	۹۲
۱,۵۷	۹۵
۱,۷	۹۸

## ب- آسیای گلوله‌ای

این آسیاها از استوانه دواری تشکیل شده‌اند که بار خردکننده آن‌ها را گلوله‌های فولادی تشکیل می‌دهد و برای خرد کردن مواد سخت و ساییده استفاده می‌شود. برای کسب اطلاعات بیشتر به نشریه شماره ۵۴۴ با عنوان "راهنمای محاسبه تعیین ظرفیت ماشین‌آلات و تجهیزات واحدهای کانه‌آرایی" مراجعه شود. افزایش مقیاس این آسیاها به دو روش یکی بر اساس توان و دیگری بر اساس جدول سازندگان است که در زیر به آن‌ها اشاره می‌شود.

## - افزایش مقیاس بر اساس توان

روش توان مشابه روش افزایش مقیاس آسیای میله‌ای است فقط به جای رابطه ۳-۵ در جدول ۳-۴ باید از رابطه زیر استفاده کرد:

$$F_0 = 4000 \sqrt{\frac{13}{w_i}} \quad (۱۴-۳)$$

که در آن  $w_i$  شاخص کار آسیای گلوله‌ای است.

## - افزایش بر اساس جدول سازندگان

از توابع آشکارساز، آهنگ شکست و طبقه‌بندی برای افزایش مقیاس آسیای گلوله‌ای استفاده می‌شود که در جدول ۳-۶ تشریح می‌شود.

جدول ۳-۶- مراحل و محاسبات افزایش مقیاس آسیای گلوله‌ای (مدل مورل<sup>۱</sup>)

مقیاس	نحوه محاسبه و توضیحات لازم
آزمایشگاهی و پایه به پیشاهنگ	مرحله اول- محاسبه توان مصرفی توان مصرفی در بدنه آسیا از رابطه زیر به دست می‌آید و در مرحله بعد توان‌های مورد نیاز برای موتور، گیربکس و یاتاقان‌ها به طور جداگانه محاسبه شده و به آن اضافه می‌شود. $P_{gross} = P_{no\ load} + K \cdot D^{2.5} \cdot L_e \cdot \rho_c \cdot \alpha \cdot \delta$ (۱۵-۳) $P_{no\ load} = 2.474(D^{2.5} L_e N_c)^{0.861}$ (۱۶-۳) که در آن: $D$ و $L_e$ به ترتیب قطر موثر آسیا (درون لاینر) و طول موثر آسیا (متر) $\rho_c$ جرم مخصوص بار داخل آسیا (تن بر مترمکعب) $\alpha$ و $\delta$ ضرایب غیرخطی پرشوندگی و سرعت آسیا $K$ ثابت اتلاف انرژی حین جابه‌جایی بار در آسیا $N_c$ سرعت نسبی نسبت به سرعت بحرانی (درصد)
	مرحله دوم- محاسبه قطر گلوله در صورتی که تعداد گلوله‌ها مشخص باشد، قطر متوسط گلوله از رابطه زیر به دست می‌آید: $D_c = \left[ \frac{6r_m^2 L J_t (1 - \mu)}{n} \right]^{1/3}$ (۱۷-۳) که در آن: $D_c$ قطر متوسط گلوله (متر) $J_t$ پرشوندگی $L$ فاصله بین لاینرهای داخلی (متر) $n$ تعداد گلوله‌ها و $\mu$ درصد فضای خالی بین گلوله‌ها $r_m$ شعاع لاینرها (متر)

1- Morrel



## ادامه جدول ۳-۶- مراحل و محاسبات افزایش مقیاس آسیای گلوله‌ای (مدل مورل)

نحوه محاسبه و توضیحات لازم	مقیاس
<p>مرحله سوم- محاسبه زمان حرکت گلوله در ابتدا باید کاهش آهنگ چرخش میانگین بر لایه شعاعی به دست آید: (۱۸-۳)</p> $\Delta N = \frac{N_r z \gamma}{1 - z \left( \frac{r_i}{r} \right)}$ <p>که در آن:  <math>\Delta N</math> کاهش آهنگ چرخش میانگین بر لایه شعاعی (دور بر ثانیه)  <math>N_r</math> نرخ چرخش در موقعیت <math>r</math> (دور بر ثانیه)  <math>r_i</math> شعاع سطح داخلی بار (متر) (شکل ۳-۱)  <math>r_m</math> شعاع لاینرهای داخلی آسیا (متر)  <math>\gamma</math> موقعیت شعاعی (متر)  <math>J_{tr}</math> میزان پرشوندگی آسیا در شعاع آسیا <math>r</math>  <math>\gamma = \frac{D_c}{r_m}</math> متغیر شیب  <math>Z = (1 - J_{tr})</math></p> <p>سپس میانگین کاهش شیب سرعت بر حسب لایه شعاعی (بر حسب متر بر ثانیه) به صورت زیر به دست می‌آید: (۱۹-۳)</p> $\Delta V = \Delta N C_r$ <p>که در آن:  <math>C_r</math> محیط دایره با شعاع <math>r_m</math> (متر)</p> <p>حال زمان حرکت گلوله از یک محل شکست به محل بعدی یعنی زمان انتقال در فاصله <math>D_c</math> به صورت زیر به دست می‌آید: (۲۰-۳)</p> $t = \frac{D_c}{\Delta V}$	<p>آزمایشگاهی و پایه به پیشاهنگ</p>
<p>مرحله چهارم- محاسبه انرژی مخصوص خردایش (ECS) داده‌های ورودی برای تعیین انرژی مخصوص خردایش شامل ابعاد آسیا، شرایط عملیاتی، قطر و زمان آسیای آزمایشگاهی است و در محدوده ابعادی <math>i</math> به دست می‌آید و واحد آن کیلووات ساعت بر تن است. (۲۱-۳)</p> $E_{cs,i} = \frac{P_{net}}{3600 n n_i m_i}$ <p>که در آن:  <math>m_i</math> جرم ذره با ابعاد <math>i</math> (تن)  <math>n_i</math> تعداد ذرات <math>i</math> که می‌تواند در محدوده ابعادی گلوله به قطر <math>D_c</math> منطبق شود.  <math>P_{net}</math> توان خالص  <math>n</math> تعداد گلوله‌ها  <math>\tau</math> زمان ماند</p>	
<p>مرحله پنجم- تعیین تابع آشکارساز از آزمایش سقوط آزاد برای تعیین تابع آشکارساز استفاده می‌شود. این تابع به بیان توزیع ابعادی ذرات محصول با ارایه انرژی شکست و ابعاد ذرات اولیه می‌پردازد. بنابراین این تابع به میزان انرژی مخصوص خردایش که ذره دریافت می‌کند بستگی دارد و ذرات با ابعاد مختلف، انرژی مخصوص خردایش متفاوتی را دریافت می‌کنند. از آنجا که انرژی خردایش به شرایط عملیاتی آسیا بستگی دارد، بنابراین افزایش مقیاس باید مورد توجه قرار گیرد. (۲۲-۳)</p> $A_i \propto E_{cs,i} \propto D_m$ <p>که در آن:  <math>E_{cs,i}</math> انرژی مخصوص خردایش برای ذرات در محدوده ابعادی <math>i</math> (کیلووات ساعت بر تن)  <math>A_i</math> تابع آشکار برای ذرات در محدوده ابعادی <math>i</math>  <math>D_m</math> قطر داخلی آسیا (متر)</p> <p>با داشتن انرژی خردایش مخصوص آزمایش سقوط وزنه در مقیاس آزمایشگاهی این تابع به صورت ماتریس تنظیم و محاسبه می‌شود.</p>	



## ادامه جدول ۳-۶- مراحل و محاسبات افزایش مقیاس آسیای گلوله‌ای (مدل مورل)

نحوه محاسبه و توضیحات لازم	مقیاس
<p>مرحله ششم - تعیین ضریب شکست ضربه‌ای            ضریب شکست ضربه‌ای به وزن و مساحت سطح گلوله بستگی دارد که از رابطه زیر محاسبه می‌شود:</p> $nM_{ball}A_{ball} \propto \text{شکست ضربه‌ای} \quad (23-3)$ <p>که در آن:  <math>n</math> تعداد گلوله‌ها در آسیا  <math>M_{ball}</math> و <math>A_{ball}</math> به ترتیب جرم گلوله‌ها (کیلوگرم) و مساحت سطح گلوله (مترمکعب)            ابعادی از ذره که بالاترین آهنگ شکست را دارد (شکل (۳-۲)) از رابطه زیر محاسبه می‌شود:</p> $X_m = KD_c^2 \quad (24-3)$ <p>که در آن:  <math>K</math> معادل ۱,۳۷  <math>D_c</math> اندازه متوسط گلوله (متر)  <math>X_m</math> ابعاد ذره با بالاترین آهنگ شکست، در صورتی که در بار ورودی مواد با ابعاد بزرگتر از <math>X_m</math> وجود داشته باشد ضریب شکست ضربه‌ای باید در آن اعمال شود.</p>	
<p>مرحله هفتم - تعیین آهنگ شکست            با داشتن تابع آشکار در مرحله قبل و آزمایش سیکل بسته در مقیاس آزمایشگاهی و پایه می‌توان ماتریس آهنگ شکست در این مقیاس را به دست آورد. آهنگ شکست به صورت تعداد برخورد بر ذره که منجر به شکست می‌شود، بر واحد زمان محاسبه می‌شود. از آزمایش سیکل بسته برای ایجاد ارتباط بین آسیای گلوله‌ای و فرآیند طبقه‌بندی استفاده می‌شود. فرض بر آن است که آهنگ شکست به مساحت سطح گلوله‌ها، سرعت و توزیع ابعادی ذرات بستگی دارد و از رابطه زیر محاسبه می‌شود:</p> $R_i \propto \frac{J_t(1-\mu)VN_m}{D_c} \quad (25-3)$ <p>که در آن:  <math>D_c</math> قطر متوسط گلوله (متر)  <math>J_t</math> درصد پرشوندگی  <math>N_m</math> سرعت گردش آسیا (دور در ثانیه)  <math>R_i</math> آهنگ شکست ذرات در محدوده ابعادی <math>i</math>  <math>V</math> حجم داخلی آسیا (مترمکعب)  <math>\mu</math> درصد فضای خالی بین گلوله‌ها</p> <p>با ضرب کردن آهنگ شکست آزمایشگاهی در نسبت افزایش مقیاس <math>\frac{n_i \text{ pilot scale}}{n_i \text{ lab scale}}</math> آهنگ شکست در مقیاس پیشاهنگ حاصل می‌شود.  <math>n_i</math> تعداد ذراتی است که در محل ضربه گلوله‌ای با قطر <math>D_c</math> قرار می‌گیرند.</p>	آزمایشگاهی و پایه به پیشاهنگ
<p>مرحله هشتم - تابع انتقال جرم و تابع طبقه‌بندی            تابع خروج مواد <math>Q_{pul}</math> به چگونگی خروج ذرات از آسیا می‌پردازد. اگر هیچ طبقه‌بندی در خروجی آسیا نباشد، ذرات رفتاری مشابه آب دارند و تابع خروج ثابت است. در این صورت تابع خروج مواد، تابعی از شدت جریان پالپ در آسیا است. به منظور افزایش مقیاس آسیا، شدت جریان در آسیای پیشاهنگ با شبیه‌سازی و شدت جریان موثر در آسیای آزمایشگاهی نیز با رابطه زیر به دست می‌آید.</p> $Q_{pulp(lab)} = \frac{\text{حجم خرد شده}}{\text{زمان سیکل نهایی}} \quad (26-3)$ <p>که در آن:  <math>Q_{pulp(lab)}</math> شدت جریان آسیای آزمایشگاهی (مترمکعب در ساعت)            از توزیع ابعادی مواد خروجی از آسیا و میانگین توزیع ابعادی مواد موجود در آسیا برای محاسبه میانگین تابع طبقه‌بندی استفاده می‌شود. تابع طبقه‌بندی مواد در محدوده ابعادی <math>i</math> با رابطه زیر به دست می‌آید.</p> $\Omega_i = \frac{\beta_i}{\gamma_i} \quad (27-3)$ <p>که در آن:  <math>\Omega_i</math> تابع میانگین طبقه‌بندی در خروجی آسیا برای ذرات با ابعاد <math>i</math>  <math>\beta_i</math> درصد مواد باقی‌مانده در محدوده ابعادی <math>i</math> در خروجی آسیا  <math>\gamma_i</math> درصد مواد باقی‌مانده در محدوده ابعادی <math>i</math> درون آسیا            خروج ذرات از آسیا نسبتی از شدت جریان آسیا و تابع میانگین طبقه‌بندی است:</p>	

## ادامه جدول ۳-۶- مراحل و محاسبات افزایش مقیاس آسیای گلوله‌ای (مدل مورل)

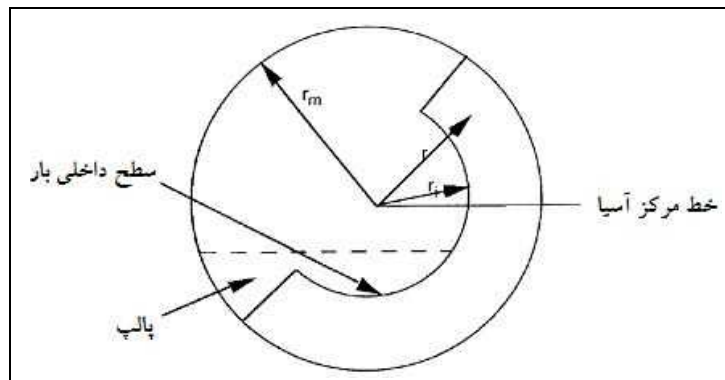
نحوه محاسبه و توضیحات لازم	مقیاس
$\varphi_i = Q_{pulp} \Omega_i$	(۲۸-۳) که در آن: $\Omega_i$ تابع طبقه‌بندی $\varphi_i$ تابع خروج مواد از آسیا
مرحله نهم- افزایش مقیاس توابع با ترکیب توابع آشکارساز، آهنگ شکست و تابع طبقه‌بندی ضریب موثر در شکست به صورت زیر است: $[AR\varphi^{-1}]_i \propto D_m J_t (1 - \mu) V N_m (D_c^2)^* D_c^{-1} Q_{pulp}^{-1} \Omega_i^{-1}$ (۲۹-۳) بنابراین برای افزایش مقیاس توابع یاد شده از آزمایشگاهی به پیشهنگ از رابطه زیر استفاده می‌شود: $\frac{[AR\varphi^{-1}]_{i, pilot scale}}{[AR\varphi^{-1}]_{i, lab scale}} \propto \frac{[D_m]_t (1 - \mu) V N_m (D_c^2)^* D_c^{-1} Q_{pulp}^{-1} \Omega_i^{-1}}{[D_m]_t (1 - \mu) V N_m (D_c^2)^* D_c^{-1} Q_{pulp}^{-1} \Omega_i^{-1}}$ (۳۰-۳) * $(D_c^2)$ فقط برای ذرات درشت‌تر از $x_m$ کاربرد دارد و $V$ به صورت نسبتی از $[D_m^2]_t$ است که جایگزین آن در رابطه یاد شده می‌شود.	آزمایشگاهی و پایه به پیشهنگ
مرحله اول- محاسبه توان مصرفی مشابه مرحله اول افزایش مقیاس قبلی است فقط با این تفاوت که مشخصات مربوط به آسیای صنعتی باید در رابطه‌ها اعمال شود.	
مرحله دوم- محاسبه قطر متوسط گلوله این مقدار با رابطه زیر حاصل می‌شود: $D_c = \sqrt[3]{\frac{\sum_{i=D_i}^{j=D_t} x_i^3}{n_f}}$ (۳۱-۳) $D_t$ قطر بزرگترین گلوله در آسیا (متر) $D_i$ قطر کوچکترین گلوله (متر) $n_f$ تعداد محدوده ابعادی گلوله‌ها مقدار کوچکترین ابعاد گلوله به ندرت قابل شناسایی است و این مقدار از رابطه زیر به دست می‌آید شکل (۳-۳). $D_i = 0.15 D_t$ تعداد محدوده‌های ابعادی نیز قابل تعیین نیست، بنابراین با در نظر گرفتن ابعاد گلوله‌ها در سری‌های مختلف با مقدار مشابه $\sqrt{2}$ یا $\sqrt[4]{2}$ می‌توان به تخمین آن‌ها پرداخت.	
مرحله سوم- تخمین تعداد گلوله‌ها در آسیای صنعتی این مقدار با رابطه زیر محاسبه می‌شود، که در آن: $n = \frac{J_t (1 - \mu) V}{V D_c}$ (۳۳-۳) $V$ حجم داخلی آسیا (مترمکعب) $V_{Dc}$ حجم گلوله‌ها با قطر $D_c$	واحد پیشهنگ به صنعتی
مرحله چهارم- محاسبه زمان حرکت گلوله مشابه مرحله سوم افزایش مقیاس قبلی است فقط با این تفاوت که مشخصات مربوط به آسیای صنعتی باید در رابطه‌ها اعمال شود.	
مرحله پنجم: محاسبه انرژی مخصوص خردایش (ECS) مشابه مرحله چهارم افزایش مقیاس قبلی است فقط با این تفاوت که مشخصات مربوط به آسیای صنعتی باید در فرمول‌ها اعمال شود.	
مرحله ششم: تعیین تابع آشکارساز مشابه مرحله پنجم افزایش مقیاس قبلی است فقط با این تفاوت که مشخصات مربوط به آسیای صنعتی باید در رابطه‌ها اعمال شود.	
مرحله هفتم: ضریب شکست ضربه مشابه مرحله ششم افزایش مقیاس قبلی است فقط با این تفاوت که مشخصات مربوط به آسیای صنعتی باید در رابطه‌ها اعمال شود.	
مرحله هشتم- تعیین آهنگ شکست از حاصل ضرب آهنگ شکست پیشهنگ در نسبت $\frac{n_i \text{ full scale}}{n_i \text{ pilot scale}}$ آهنگ شکست در مقیاس صنعتی به دست می‌آید. $(n_i)$ تعداد ذراتی است که در محل ضربه گلوله‌ای با قطر $D_c$ قرار می‌گیرند	



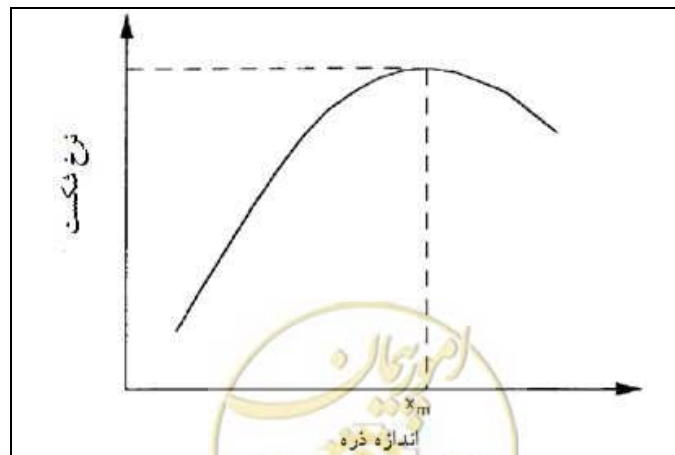
## ادامه جدول ۳-۶- مراحل و محاسبات افزایش مقیاس آسیای گلوله‌ای (مدل مورل)

مقیاس	نحوه محاسبه و توضیحات لازم
واحد پیشاهنگ به صنعتی	مرحله نهم- تابع انتقال جرم و تابع طبقه‌بندی مشابه مرحله هشتم افزایش مقیاس قبلی است فقط با این تفاوت که مشخصات مربوط به آسیای صنعتی باید در رابطه‌ها اعمال شود.
	مرحله دهم- افزایش مقیاس توابع برای افزایش مقیاس توابع آشکارساز، آهنگ شکست و تابع طبقه‌بندی از پیشاهنگ به صنعتی از رابطه زیر استفاده می‌شود: $\frac{[AR\varphi^{-1}]_{i,full\ scale}}{[AR\varphi^{-1}]_{i,pilot\ scale}} \propto \frac{[D_m]_t(1-\mu)VN_m(D_c^2)^*D_c^{-1}Q_{pulp}^{-1}\Omega_i^{-1}}{[D_m]_t(1-\mu)VN_m(D_c^2)^*D_c^{-1}Q_{pulp}^{-1}\Omega_i^{-1}}_{full\ scale\ pilot\ scale} \quad (34-3)$ <p>فقط برای ذرات درشت‌تر از <math>x_m</math> کاربرد دارد و <math>V</math> به صورت نسبتی از <math>[D_m^2L]</math> است و جایگزین آن در رابطه یاد شده می‌شود.</p>

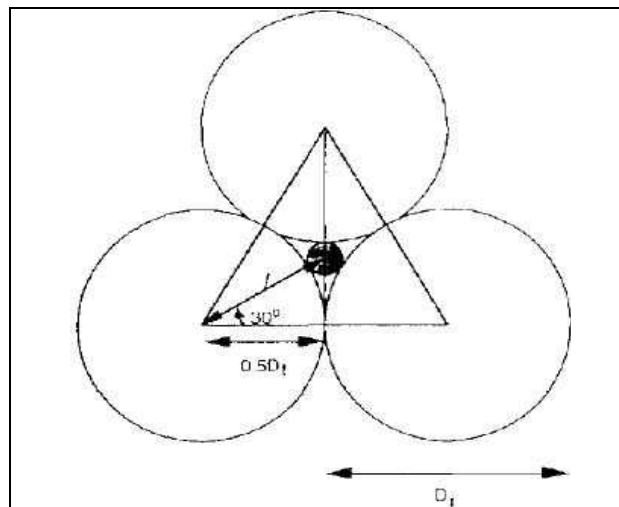
به منظور آگاهی از نحوه قرارگیری گلوله درون آسیا (رابطه ۳-۱۸ در جدول ۳-۶)، از شکل (۳-۱) استفاده می‌شود که در آن  $r_i$  و  $r_m$  به ترتیب موقعیت شعاعی، شعاع لاینرهای داخلی و شعاع سطح داخلی بار است. همچنین در مدلسازی آسیای گلوله‌ای، اگر مواد با ابعاد بزرگتر از  $x_m$  در بار ورودی وجود داشته باشد، ضریب شکست ضربه‌ای باید در محاسبه توان اعمال شود که در رابطه ۳-۳-۲۴ جدول ۳-۶-۳-۶ ارایه شده است. شکل ۳-۲-۳ نیز ارتباط بین  $x_m$  و آهنگ شکست را نشان می‌دهد. از آنجا که تعیین مقدار کوچکترین ابعاد گلوله مشکل است، کوچکترین گلوله می‌تواند مانند شکل ۳-۳-۳ تعیین شود که نحوه محاسبه ابعاد آن در رابطه ۳-۳-۳۲ جدول ۳-۶-۳-۶ ارایه شده است.



شکل ۳-۱- نحوه قرارگیری بار داخل آسیا



شکل ۳-۲- توزیع آهنگ شکست



شکل ۳-۳- نحوه قرارگیری گلوله‌ها و تعیین قطر کوچکترین ابعاد گلوله

### پ- آسیای خودشکن و نیمه‌خودشکن

در این آسیاها، عملیات خردایش بر اثر نیروهای ضربه‌ای بار آسیا و برخورد ذرات با سرعت زیاد به بدنه داخلی آسیا انجام می‌گیرد. در آسیاهای نیمه‌خودشکن از مقداری گلوله (۶ تا ۱۰ درصد) نیز برای کمک به خردایش استفاده می‌شود. بافت و ماهیت ماده معدنی از مهم‌ترین متغیرها در استفاده از این آسیاها است. هر چه کانسنگ سخت‌تر و سیمان بین کانی‌های تشکیل دهنده آن ضعیف‌تر باشد، استفاده از آن‌ها مناسب‌تر است. برای کسب اطلاعات بیشتر به نشریه‌های شماره ۵۴۴ و ۶۶۱ "راهنمای محاسبه تعیین ظرفیت ماشین‌آلات و تجهیزات واحدهای کانه‌آرایی" و "راهنمای تعیین شاخص‌های خردایش در آسیاهای مختلف" مراجعه شود. نحوه افزایش مقیاس آسیای خودشکن/نیمه‌خودشکن به صورت گام به گام در جدول ۳-۷-۱ ارائه شده است.

جدول ۳-۷-۱- مراحل و محاسبات افزایش مقیاس آسیای خودشکن و نیمه‌خودشکن

مقیاس	نحوه محاسبه و توضیحات لازم
آزمایشگاهی و پایه به پیشاهنگ	مرحله اول- تعیین شاخص‌های خردایش افزایش مقیاس آسیای خودشکن و نیمه‌خودشکن از طریق محاسبه انرژی مورد نیاز انجام می‌شود. برای این کار در ابتدا باید متغیرهایی نظیر شاخص کار، جرم مخصوص، شاخص سایش در آزمایشگاه تعیین شود که برای این کار به نشریه شماره ۶۶۱ با عنوان "راهنمای تعیین شاخص‌های خردایش در آسیاهای مختلف" مراجعه شود.
	مرحله دوم- تعیین توان در این مرحله، از آسیایی با طول ۰٫۳ متر و قطر ۱/۷۳ متر استفاده می‌شود. آسیا به مدت ۲۰ دقیقه با ۳۰۰ تا ۴۰۰ کیلوگرم نمونه با سرعت ۲۵ دور در دقیقه می‌چرخد. توان آسیای صنعتی با محاسبات مربوط به خود محاسبه می‌شود. با دانستن انرژی مصرفی برای آسیای خالی در حال کار و اختلاف آن با انرژی مصرفی آسیای حاوی بار، میزان انرژی مورد نیاز برای خردایش حدود ۴۰۰ کیلوگرم نمونه به دست می‌آید که می‌توان با نسبتی ساده، بسته به ظرفیت مقیاس پیشاهنگ، انرژی مصرفی در مقیاس پیشاهنگ را به دست آورد.
واحد پیشاهنگ به صنعتی	در ابتدا تعدادی آزمایش خردایش در مدار بسته با تغییر چشمه‌های سرنده، بار در گردش، میزان بار داخل آسیا و دور آسیا انجام می‌شود و توان مصرفی و دانه‌بندی محصول در هر آزمایش به دست می‌آید و سپس طی مراحل زیر آسیای صنعتی انتخاب می‌شود. مرحله اول- تعیین شاخص کار اصلاح شده شاخص کار اصلاح شده به ترتیب بر اساس روابط ۳-۳۵ و ۳-۳۸ محاسبه می‌شود. (۳-۳۵)

$$w_i = \frac{w}{11 \left( \frac{1}{\sqrt{P}} - \frac{1}{\sqrt{F}} \right)}$$

P و F به ترتیب ابعاد ذرات با ۸۰ درصد ورودی و خروجی (میکرون)  $w_i$  شاخص کار



## ادامه جدول ۳-۷- مراحل و محاسبات افزایش مقیاس آسیای خودشکن و نیمه خودشکن

مقیاس	نحوه محاسبه و توضیحات لازم
واحد پیشاهنگ به صنعتی	<p><math>W</math> انرژی مصرفی (کیلووات ساعت بر تن) برای تصحیح شاخص کار به دست آمده، از رابطه زیر استفاده می‌شود. (۳۶-۳)</p> $f_1 = \left[ \frac{D}{2.44} \right]^{0.2}$ <p><math>D</math> قطر آسیای در واحد پیشاهنگ معمولاً بازدهی موتور ۸۵ درصد و بازدهی با بار تمام ۹۰ درصد است. که در آن <math>Wi^*</math> شاخص کار اصلاح شده است. (۳۷-۳)</p> $f_2 = \left[ \frac{\eta}{\eta_t} \right]$ $Wi^* = f_1 \times f_2 \times W_i$ <p>که در آن <math>Wi^*</math> شاخص کار اصلاح شده است. (۳۸-۳)</p>
	<p>مرحله دوم - محاسبه انرژی لازم برای آسیای خودشکن با توجه به آزمایش‌های یاد شده، توان مصرفی آسیای خودشکن خشک (آئروفال) و دانه‌بندی بار ورودی و محصول آن به دست می‌آید. در صورتی که بار ورودی آسیای صنعتی درشت‌تر از آسیای خودشکن خشک باشد، آنگاه ظرفیت آسیای خودشکن خشک با توجه به توزیع دانه‌بندی بار ورودی و محصول صنعتی از رابطه زیر به دست می‌آید: (۳۹-۳)</p> $C_A^* = C_A \frac{\frac{1}{\sqrt{P_{A80}}} - \frac{1}{\sqrt{F_{A80}}}}{\frac{1}{\sqrt{P_{A80}^*}} - \frac{1}{\sqrt{F_{A80}^*}}}$ <p>که در آن: <math>C_A</math> ظرفیت و <math>C_A^*</math> خودشکن خشک تصحیح شده (تن در ساعت) <math>F_{A80}</math> و <math>F_{A80}^*</math> به ترتیب ۸۰ درصد بار اولیه عبوری در شرایط عادی و آئروفال <math>P_{A80}</math> و <math>P_{A80}^*</math> به ترتیب ۸۰ درصد محصول عبوری در شرایط عادی و آئروفال با توجه به مشخص بودن ظرفیت آسیای صنعتی: (۴۰-۳)</p> $F = \frac{C_{full\ scale}}{C_{Aero\ fall}}$ <p>ظرفیت آسیا با طول آن به طور مستقیم و با قطر آن ارتباط نمایی دارد: (۴۱-۳)</p> $\frac{C_1}{C_2} = \frac{L_1}{L_2} \left( \frac{D_1}{D_2} \right)^x$ <p>با در دست داشتن قطر و طول یک آسیای صنعتی و روابط یاد شده، مقدار <math>x</math> به دست می‌آید. با در نظر گرفتن نسبت طول به قطر یک به ۳ برای آسیای خودشکن: (۴۲-۳)</p> $C_1 = C_2 \left( \frac{L_1}{L_2} \right) \left( \frac{D_1}{D_2} \right)^x$ <p>با توجه به جدول ۳-۱۱، آسیا انتخاب می‌شود. از آنجا که این جدول بر اساس جرم مخصوص ۲٫۶۵ و سطح حجمی بار ۳۰ درصد و سرعت بحرانی ۷۵ درصد تهیه شده است، بنابراین ضرایب تصحیح نیز باید اعمال شود. ضرایب تصحیح مربوط به میزان انباشتگی بار در آسیا در جدول ۳-۱۲ ارائه شده است. در صورتی که آسیا دارای بخش مخروطی باشد، با توجه به جدول ۳-۱۳ توان مورد نیاز برای بخش مخروطی نیز به توان آسیا اضافه می‌شود.</p>

## جدول ۳-۸- توان آسیای خودشکن به ازای طول آسیا بر مبنای یکی از سازندگان معتبر

قطر اسمی (متر)	قطر داخلی با آستر (متر)	توان به ازای هر متر طول آسیا (کیلووات)
۵٫۵	۵٫۲	۳۹۰
۶٫۰	۵٫۸	۳۷۲
۶٫۷	۶٫۵	۴۶۲
۷٫۳	۷٫۱	۵۷۰
۷٫۹	۷٫۷	۶۸۹

ادامه جدول ۳-۸- توان آسیای خودشکن به ازای طول آسیا بر مبنای یکی از سازندگان معتبر

قطر اسمی (متر)	قطر داخلی با آستر (متر)	توان به ازای هر متر طول آسیا (کیلووات)
۸٫۵	۸٫۳	۸۲۱
۹٫۱	۸٫۹	۹۶۳
۹٫۷	۹٫۵	۱۱۲۲
۱۰٫۳	۱۰٫۱	۱۲۹۰
۱۰٫۹	۱۰٫۷	۱۴۷۵
۱۱٫۵	۱۱٫۳	۱۶۷۳
۱۲٫۱	۱۱٫۹	۱۸۸۱

جدول ۳-۹- ضرایب تصحیح مربوط به میزان انباشتگی بار در آسیا

سطح بار (%)	ضریب تصحیح قطر آسیا	سطح بار (%)	ضریب تصحیح قطر آسیا	سطح بار (%)	ضریب تصحیح قطر آسیا
۵	۰٫۲۲۱	۱۶	۰٫۶۳۰۷	۲۶	۰٫۹۱۱۹
۶	۰٫۲۶۲۶	۱۷	۰٫۶۶۲۸	۲۷	۰٫۹۳۵۲
۷	۰٫۳۰۳۳	۱۸	۰٫۶۹۳۹	۲۸	۰٫۹۵۷۷
۸	۰٫۳۴۳۲	۱۹	۰٫۷۲۴۲	۲۹	۰٫۹۷۹۳
۹	۰٫۳۸۲۲	۲۰	۰٫۷۵۳۶	۳۰	۱
۱۰	۰٫۴۲۰۳	۲۱	۰٫۷۸۲۳	۳۱	۱٫۰۱۹۹
۱۱	۰٫۴۵۷۵	۲۲	۰٫۸۰۹۹	۳۲	۱٫۰۳۸۸
۱۲	۰٫۴۹۳۹	۲۳	۰٫۸۳۶۷	۳۳	۱٫۰۵۷
۱۳	۰٫۵۲۹۴	۲۴	۰٫۸۶۲۶	۳۴	۱٫۰۷۴۳
۱۴	۰٫۵۶۴	۲۵	۰٫۸۸۷۷	۳۵	۱٫۰۹۰۶
۱۵	۰٫۵۹۷۸				

جدول ۳-۱۰- توان بخش مخروطی آسیای خودشکن در قطرهای مختلف آسیا بر مبنای یکی از سازندگان معتبر

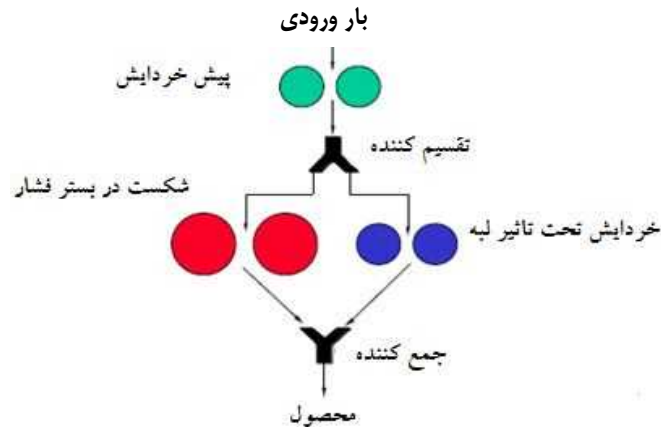
قطر اسمی (متر)	قطر داخلی با آستر (متر)	توان به ازای هر متر طول آسیا (کیلووات)
۵٫۵	۵٫۲	۲۵۷
۶٫۰	۵٫۸	۳۶۶
۶٫۷	۶٫۵	۵۲۱
۷٫۳	۷٫۱	۷۱۲
۷٫۹	۷٫۷	۹۴۷
۸٫۵	۸٫۳	۱۱۴۱
۹٫۱	۸٫۹	۱۴۶۱
۹٫۷	۹٫۵	۱۸۳۱

ت- آسیای غلتکی فشار بالا

در این آسیاها مواد با یک تغذیه‌کننده بر حسب تغییرات فشار درون آسیا در بین غلتک‌ها وارد می‌شوند (شکل ۳-۴). شکست ذرات در سه مرحله پیش‌خردایش، خردایش در اثر فشار و خردایش تحت تاثیر لبه انجام می‌شود. برای کسب اطلاعات بیشتر به نشریه شماره ۵۴۴ با عنوان "راهنمای محاسبه تعیین ظرفیت ماشین‌آلات و تجهیزات واحدهای کانه‌آرایی" مراجعه شود. نحوه



افزایش مقیاس این آسیاها به صورت گام به گام در جدول ۳-۱۱ ارایه شده است. از مدل مورل-توندو-شی<sup>۱</sup> برای افزایش مقیاس این آسیاها استفاده می‌شود. این مدل شامل سه بخش پیش‌بینی توزیع ابعادی محصول، ظرفیت و توان مصرفی است. مدل ظرفیت از مدل جریان پیستونی<sup>۲</sup> استاندارد پیروی می‌کند و توان مصرفی بر اساس ظرفیت و انرژی خریدایش مخصوص ورودی ( $E_{CS}$ ) است.



شکل ۳-۴- ساختار مفهومی مدل مورل-توندو-شی

جدول ۳-۱۱- مراحل و محاسبات در افزایش مقیاس آسیای غلتکی فشار بالا

مقیاس	نحوه محاسبه و توضیحات لازم
	<p>مرحله اول- تعیین ظرفیت</p> <p>ظرفیت اندازه‌گیری شده در مقیاس آزمایشگاهی بر اساس تن در ساعت با رابطه زیر به دست می‌آید:</p> $Q_m = 3.6 \frac{m}{t}$ <p>که در آن:</p> <p><math>m</math> جرم نمونه آزمایشگاهی</p> <p><math>t</math> زمان فرآیند</p> <p><math>Q_m</math> ظرفیت</p>
آزمایشگاهی و پایه به پیشاهنگ	<p>مرحله دوم- تعیین انرژی خریدایش ویژه</p> <p>انرژی خریدایش ویژه (کیلووات ساعت بر تن) به طور مستقیم از مقیاس آزمایشگاهی و ظرفیت پیش‌بینی شده از رابطه زیر به دست می‌آید:</p> $E_{cs} = \frac{(P_{no-load} + P_{gross})}{Q_m}$ $P_{gross} = \frac{2\tau u}{D}$ <p>که در آن:</p> <p><math>P_{no-load}</math> توان بدون بار</p> <p><math>P_{gross}</math> توان کل</p> <p><math>\tau</math> گشتاور استوانه (نیوتن متر)</p> <p><math>u</math> سرعت محیطی (متر بر ثانیه)</p> <p><math>D</math> قطر استوانه (متر)</p>
	<p>مرحله سوم- واسنجی مدل و افزایش مقیاس</p> <p>واسنجی با انطباق یک منحنی با توزیع ابعادی ذرات در مقیاس آزمایشگاهی حاصل می‌شود. سپس متغیرهای واسنجی مدل ثابت نگه داشته شده و انرژی مخصوص ورودی به منظور افزایش مقیاس استفاده می‌شود.</p>

1- Morrell/Tondo/Shi

2- Plug flow

## ادامه جدول ۳-۱۱- مراحل و محاسبات در افزایش مقیاس آسیای غلتکی فشار بالا

نحوه محاسبه و توضیحات لازم	مقیاس
<p>مرحله چهارم- تعیین فاصله کاری غلتک‌ها معمولاً حد فاصل بین غلتک‌ها در این آسیاها حدود ۲ تا ۲٫۵ درصد قطر غلتک است که البته بهتر است بسته به دانه‌بندی مورد نظر مقدار آن با انجام آزمایش به دست آید.</p>	<p>آزمایشگاهی و پایه به پیشاهنگ</p>
<p>مرحله اول- تعیین مدل توزیع ابعاد ذره توزیع ابعاد محصول نیز از سه فرآیند مشخص پیروی می‌کند، که هر یک از آن‌ها مدل شده و سپس با هم ترکیب می‌شوند و نتیجه نهایی به دست می‌آید. مدل کاهش ابعاد بر این فرضیه استوار است که سه مکانیسم شکست به صورت مستقل از آسیای غلتکی فشار بالا اتفاق می‌افتد. این مکانیسم‌ها شامل منطقه پیش خردایش، منطقه خردایش تحت تاثیر لبه<sup>۱</sup> و منطقه خردایش تحت فشار است، که به طور مفهومی در شکل ۳-۴ نشان داده شده‌اند.</p> <p>الف- منطقه پیش خردایش اگر ذرات از یک ابعاد بحرانی مشخص (<math>X_c</math>) بزرگتر باشد، مانند سنگ‌شکن استوانه‌ای، در تماس با سطح غلتک می‌شکنند. محصول این فرآیند به مرحله بعدی خردایش که منطقه تحت فشار بستر است، وارد می‌شود. حد فاصل بین مناطق فشار و پیش‌خردایش با فاصله بحرانی (<math>X_c</math>) مشخص و از رابطه زیر محاسبه می‌شود.</p> $x_c = 0.5 \left\{ (D + x_g) - \left[ (D + x_g)^2 - \frac{4\rho_g D x_g}{\rho_c} \right]^{0.5} \right\} \quad (45-3)$ <p>که در آن:  <math>D</math> قطر غلتک (متر)  <math>x_g</math> فاصله عملیاتی (متر)  <math>\rho_g</math> جرم مخصوص ظاهری کیک (محصول) (تن بر متر مکعب)  <math>\rho_c</math> جرم مخصوص ظاهری کانسنگ (تن بر متر مکعب)</p> <p>ب- منطقه خردایش تحت تاثیر لبه شکست در این ناحیه مشابه شکست در سنگ‌شکن استوانه‌ای است. حد فاصلی که مرز بین منطقه فشار و منطقه لبه را مشخص می‌کند، به صورت تابعی از بار ورودی با رابطه زیر محاسبه می‌شود:</p> $f = \gamma \frac{x_g}{L} \quad (46-3)$ <p>که در آن:  <math>f</math> میزان برا خرد شده در منطقه لبه  <math>\gamma</math> ضریب توزیع مواد  <math>L</math> طول غلتک (متر)      پ- منطقه فشار این منطقه بخش خروجی لبه غلتک است و با <math>\frac{f}{2 * L}</math> نشان داده می‌شود. مقدار <math>f</math> از ناحیه با حداقل فاصله (<math>x_g</math>) به ناحیه با فاصله بحرانی (<math>X_c</math>) توسعه می‌یابد.</p>	<p>واحد پیشاهنگ به صنعتی</p>
<p>مرحله دوم: تعیین ظرفیت در این مدل از رابطه زیر برای پیش‌بینی ظرفیت استفاده می‌شود و بر اساس تن بر ساعت بیان می‌شود.</p> $Q_c = 3600 L \rho_g x_g C \quad (47-3)$ <p>که در آن:  <math>u</math> سرعت محیطی استوانه (متر بر ثانیه)  <math>L</math> طول غلتک (متر)  <math>\rho_g</math> جرم مخصوص ظاهری کیک (محصول) (تن بر متر مکعب)  <math>C</math> ضریب تصحیح</p>	
<p>مرحله سوم- تعیین توان مشابه مرحله دوم افزایش مقیاس قبلی است با این تفاوت که ظرفیت مربوط به واحد صنعتی باید اعمال شود.</p>	



ادامه جدول ۳-۱۱- مراحل و محاسبات در افزایش مقیاس آسیای غلتکی فشار بالا

مقیاس	نحوه محاسبه و توضیحات لازم
واحد پیشاهنگ به صنعتی	<p>مرحله چهارم: تعیین نیروی فشاری مخصوص نیروی فشاری مخصوص بر حسب کیلونیوتن بر میلی متر مربع به صورت زیر به دست می آید: (۳-۴۸)</p> $F_{sp} = \frac{F}{1000 \times D \times L}$ <p>که در آن: F نیروی اعمالی (کیلونیوتن) D قطر غلتک (متر) L طول غلتک (متر)</p>
	<p>مرحله پنجم- تعیین حداکثر فشار بین غلتکها این مقدار عموماً بین ۴۰ تا ۶۰ برابر نیروی فشاری مخصوص است و از رابطه زیر به دست می آید: (۳-۴۹)</p> $P_{max} = \frac{F}{1000 \times D \times L \times k \times \alpha_{ip}}$ <p>که در آن: P<sub>max</sub> حداکثر فشار (مگاپاسکال) F نیروی اعمالی (کیلونیوتن) D قطر غلتک (متر) L طول غلتک (متر) k ثابت مواد (بین ۰٫۱۸ تا ۰٫۲۳) و <math>\alpha_{ip}</math> زاویه فشار (۶ تا ۱۰ درجه)</p>
	<p>مرحله ششم- تعیین فاصله غلتکها حاصل ضرب ضریب افزایش مقیاس در فاصله غلتکهای آسیای غلتکی فشاربالای آزمایشگاهی می توان آن را شبیه سازی کرد. ضریب افزایش مقیاس از رابطه زیر محاسبه می شود: (۳-۵۰)</p> $S_f = \frac{d_{simulated}}{d_{original}} = \frac{d_{full-scale}}{d_{lab-scale}}$ <p>که در آن: S<sub>f</sub> فاکتور افزایش مقیاس d فاصله بین دو غلتک</p>

### ۳-۲-۳- تجهیزات طبقه بندی

تجهیزات طبقه بندی شامل سرندها و کلاسیفایرها است که در سرندها بر اساس ابعاد ذرات و کلاسیفایرها بر اساس ابعاد، شکل و جرم مخصوص ذرات طبقه بندی انجام می گیرد. کاربرد سرندها در صنعت معمولاً بین ۴۰۰ تا ۰٫۹ میلی متر است و به ندرت تا ۲۵۰ میکرون هم استفاده می شود. سرندها به انواع ساکن (گریزلی، قوسی و نظایر آن) و متحرک (گردان، لرزان، نوسانی، ژیراتوری و نظایر آن) تقسیم می شوند. کلاسیفایرها نیز به انواع پارویی، ماریچی، هیدروسیکلونها و نظایر آن تقسیم می شوند. برای کسب اطلاعات بیشتر به نشریه شماره ۵۴۴ با عنوان "راهنمای محاسبه تعیین ظرفیت ماشین آلات و تجهیزات واحدهای کانه آرایی" مراجعه شود.

#### الف- کلاسیفایر ماریچی

این کلاسیفایرها از ظرفی با مقطع مستطیل شکل با بخش تحتانی شیب دار تشکیل شده اند. پالپ به بخش تحتانی آن وارد می شود و ذرات درشت به وسیله ماریچ به سمت بالا هدایت و ذرات ریز سرریز می شوند. افزایش شیب دستگاه باعث افزایش بازدهی و کاهش رقت ته ریز می شود و برای طبقه بندی مواد تا حدود ۷۵ میکرون مناسب است. برای کسب اطلاعات بیشتر به نشریه شماره



۵۴۴ با عنوان "راهنمای محاسبه تعیین ظرفیت ماشین‌آلات و تجهیزات واحدهای کانه‌آرایی" مراجعه شود. نحوه افزایش مقیاس این کلاسیفایرها در جدول ۳-۱۲ ارائه شده است.

جدول ۳-۱۲ - مراحل و محاسبات در افزایش مقیاس کلاسیفایرهای ماریچی

مقیاس	نحوه محاسبه و توضیحات لازم
آزمایشگاهی و پایه به پیشاهنگ	مرحله اول - تعیین سطح مفید کلاسیفایر سطح مفید کلاسیفایر از رابطه زیر محاسبه می‌شود: (۵۱-۳) $A = W \times E = \frac{Q}{1.8V_s}$ که در آن: A سطح مفید کلاسیفایر (مترمربع) E فاصله بین مانع و محل ورود بار اولیه در سطح حوضچه (متر) W عرض مانع (متر) Q شدت جریان سرریز (مترمکعب بر ساعت) V <sub>s</sub> سرعت ته‌نشینی (میلی‌متر بر ثانیه) است که با رابطه زیر تعیین می‌شود: (۵۲-۳) $V_s = \frac{8.39\{[1 + 0.0103(1 - C_v)^{4.66} g \cdot d^3 (S - 1)]^{0.5} - 1\}}{d}$ که در آن: C <sub>v</sub> درصد حجمی جامد، d قطر ذرات (میلی‌متر) S نسبت جرم مخصوص جامد به شتاب گرانی g
	مرحله دوم - انتخاب کلاسیفایر با توجه به سطح محاسبه شده و کاتالوگ سازندگان، کلاسیفایر مورد نظر انتخاب می‌شود.
واحد پیشاهنگ به صنعتی	مرحله اول - تعیین سطح مفید کلاسیفایر مشابه مرحله اول افزایش مقیاس قبلی است فقط با این تفاوت که مشخصات مربوط به کلاسیفایر صنعتی باید در رابطه‌ها اعمال شود.
	مرحله دوم - انتخاب کلاسیفایر مشابه مرحله دوم افزایش مقیاس قبلی است.

## ب- هیدروسیکلون

هیدروسیکلون‌ها تحت تاثیر دو نیروی گریز از مرکز و نیروی مقاومت سیال عمل جدایش انجام و مواد بر مبنای ابعاد و جرم مخصوص طبقه‌بندی می‌شوند. ذرات با سرعت ته‌نشینی زیاد به طرف دیواره حرکت می‌کنند و از ته‌ریز خارج میشوند و ذرات با سرعت ته‌نشینی کم به بخش مرکزی هدایت و از سرریز خارج می‌شوند. برای کسب اطلاعات بیشتر به نشریه شماره ۵۴۴ با عنوان "راهنمای محاسبه تعیین ظرفیت ماشین‌آلات و تجهیزات واحدهای کانه‌آرایی" مراجعه شود. نحوه افزایش مقیاس هیدروسیکلون‌ها به روش تجربی در جدول ۳-۱۳ ارائه شده است.

جدول ۳-۱۳ - مراحل و محاسبات افزایش مقیاس هیدروسیکلون به روش تجربی

مقیاس	نحوه محاسبه و توضیحات لازم
آزمایشگاهی و پایه به پیشاهنگ	مرحله اول - تعیین متغیرهای عملیاتی هیدروسیکلون آزمایشگاهی متغیرهای عملیاتی شامل حد جدایش، آهنگ جریان و افت فشار هستند که در طی آزمایش تعیین می‌شوند.
	مرحله دوم - افزایش مقیاس متغیرهای عملیاتی با در دست داشتن قطر و متغیرهای عملیاتی هیدروسیکلون آزمایشگاهی و روابط پایه‌ای زیر، مشخصات هیدروسیکلون در مقیاس پیشاهنگ تعیین می‌شود. (۵۳-۳) $\frac{d_{50c_2}}{d_{50c_1}} = \left(\frac{D_2}{D_1}\right)^{n_1} \left(\frac{Q_1}{Q_2}\right)^{n_2} = \left(\frac{D_2}{D_1}\right)^{n_3} \left(\frac{P_{d_1}}{P_{d_2}}\right)^{n_4}$

ادامه جدول ۳-۱۳ - مراحل و محاسبات افزایش مقیاس هیدروسیکلون به روش تجربی

مقیاس	نحوه محاسبه و توضیحات لازم
آزمایشگاهی و پایه به پیشاهنگ	$\frac{P_{d1}}{P_{d2}} \approx \left(\frac{Q_1}{Q_2}\right)^{n_5} \left(\frac{D_2}{D_1}\right)^{n_6} \quad (54-3)$ <p>که در آن: P افت فشار Q آهنگ جریان در مقیاس پیشاهنگ D قطر سیکلون و اندیس های ۱ و ۲ به ترتیب مربوط به سیکلون های آزمایشگاهی و پیشاهنگ است. n<sub>۱</sub> تا n<sub>۶</sub> مقادیر ثابتی که تابعی از شرایط جریان هستند. مقادیر تئوری آن در آهنگ جریان کم و پالپ رقیق در سیکلون های کوچک شامل می یابند. در بسیاری از عملیات مقادیر زیر، پیش بینی واقعی تری را ارائه می دهند: n<sub>۱</sub>=۱٫۵۴، n<sub>۲</sub>=۰٫۷۵، n<sub>۳</sub>=۰٫۲۵، n<sub>۴</sub>=۰٫۲۵، n<sub>۵</sub>=۲ و n<sub>۶</sub>=۴ است. در عمل با افزایش درصد جامد ورودی، حد جدایش افزایش و افت فشار کاهش می یابد. n<sub>۱</sub>=۱٫۵۴، n<sub>۲</sub>=۰٫۴۳، n<sub>۳</sub>=۰٫۷۲، n<sub>۴</sub>=۰٫۲۲، n<sub>۵</sub>=۲ و n<sub>۶</sub>=۳٫۷۶</p> <p>این روابط نشان می دهد که آهنگ جریان، فشار و قطر باید با هم مورد بررسی قرار گیرند. به عبارت دیگر حد جدایش نمی تواند به طور خاص تعیین کننده قطر سیکلون باشد، در حالی که یک قطر جدید می تواند آهنگ جدیدی از جریان یا فشار جدیدی را ایجاد کند.</p>
واحد پیشاهنگ به صنعتی	<p>مرحله سوم - تعیین کارایی طبقه بندی کارایی طبقه بندی در بعضی موارد با قرار دادن چند سیکلون به صورت سری بهبود می یابد. در صورتی که از N سیکلون به طور سری استفاده شود و سرریز سیکلون قبلی وارد سیکلون بعدی شود، آنگاه کارایی هیدروسیکلون برای ذرات با ابعاد d به صورت زیر محاسبه می شود:</p> $R_{d(T)} = 1 - (1 - R_d)^N \quad (55-3)$ <p>افزایش مقیاس در این مرحله نیز مشابه افزایش مقیاس از آزمایشگاهی به پیشاهنگ است و از همان رابطه ها و مدل ها در این بخش استفاده می شود.</p>

جدول ۳-۱۴ - مراحل و محاسبات افزایش مقیاس هیدروسیکلون به روش پلیت

مقیاس	نحوه محاسبه و توضیحات لازم
آزمایشگاهی و پایه به پیشاهنگ	<p>مرحله اول - تعیین متغیرهای عملیاتی وابسته متغیرهای عملیاتی در مقیاس آزمایشگاهی شامل ظرفیت سیکلون Q، حد جدایش d<sub>50c</sub>، شدت جریان S، دقت طبقه بندی m است که از روابط زیر محاسبه می شود.</p> <p>مرحله دوم - پیش بینی متغیرهای عملیاتی مستقل</p> $d_{50c} = F_1 \frac{39.7 D_c^{0.46} D_i^{0.6} D_o^{1.21} \eta^{0.5} e^{0.063 C_p^p}}{D_u^{0.71} h^{0.38} Q^{0.45} \left[ \frac{\rho_s - 1}{1.6} \right]^k} \quad (56-3)$ $m = F_2 \cdot 1.94 \left( \frac{D_c^2 h}{Q} \right)^{0.15} e^{\left( \frac{-1.58 S}{1+5} \right)} \quad (57-3)$ $P = F_3 \frac{1.88 Q^{1.8} e^{0.0055 C_p^p}}{D_c^{0.37} D_i^{0.94} h^{0.28} (D_u^2 + D_o^2)^{0.87}} \quad (58-3)$ $S = F_4 \frac{18.62 \rho_p^{0.24} (D_u / D_o)^{3.31} h^{0.54} (D_u^2 + D_o^2)^{0.36} e^{0.0054 C_p^p}}{D_c^{1.11} P^{0.24}} \quad (59-3)$ <p>که در آن: D<sub>c</sub> قطرهای تصحیح شده سیکلون</p>

## ادامه جدول ۳-۱۴ - مراحل و محاسبات افزایش مقیاس هیدروسیکلون به روش پلیت

مقیاس	نحوه محاسبه و توضیحات لازم
آزمایشگاهی و پایه به پیشاهنگ	$D_i$ قطر ناحیه گردابی $D_u$ قطر ته‌ریز $D_o$ قطر سرریز $h$ ارتفاع آزاد ناحیه گردابی $F$ ضرایب واسنجی که از آزمایش‌ها به دست می‌آید. $\eta$ گرانروی مایع $C_V^P$ درصد حجمی جامد در بار ورودی $\rho_s$ جرم مخصوص جامد پالپ ورودی $\rho_p$ جرم مخصوص پالپ بار ورودی $k$ ضریب هیدرودینامیکی که از داده‌های آزمایشگاهی به دست می‌آید و برای جریان آرام این مقدار ۰٫۵ است. $m$ اندیس طبقه‌بندی $S$ نسبت شدت جریان در ته‌ریز به شدت جریان در سرریز $P$ فشار پالپ ورودی سیکلون
واحد پیشاهنگ به صنعتی	مشابه مرحله اول افزایش مقیاس قبلی است فقط با این تفاوت که مشخصات مربوط به مقیاس صنعتی باید در رابطه‌ها اعمال شود.

## ۳-۲-۴ - مراحل و محاسبات افزایش مقیاس جداکننده‌ها

## الف - جداکننده مغناطیسی

انواع جداکننده‌ها در مقیاس‌های مختلف و مشخصات آن‌ها در جدول‌های ۳-۱۵ تا ۳-۱۸ و نحوه انتخاب جداکننده‌ها و افزایش مقیاس سطح ماتریکس در جداکننده‌های مغناطیسی شدت بالا-تر و گرادیان بالا-تر در جدول ۳-۱۹ ارایه شده است که می‌توان به کمک آن‌ها جداکننده مورد نظر را تعیین کرد ولی برای کسب اطلاعات بیشتر به نشریه شماره ۵۴۴ با عنوان "راهنمای محاسبه تعیین ظرفیت ماشین‌آلات و تجهیزات واحدهای کانه‌آرایی" مراجعه شود.

## جدول ۳-۱۵ - انواع جداکننده‌ها در مقیاس آزمایشگاهی و پایه

شرایط	نوع جداکننده
شامل لوله شیشه‌ای به قطر ۲٫۵۴ سانتی‌متر است که داخل میدان الکترومغناطیسی حرکت رفت و برگشتی دارد و کاربرد آن برای جدایش کانی فرومنیته است. متغیرهای کنترل‌کننده: شدت میدان مغناطیسی، آب شستشو و شیب لوله	لوله دیویس
شامل مدار C فولادی کوپل شده با هسته الکترومغناطیسی است و کاربرد برای جدایش کانی‌های پارامغناطیس است. این جداکننده‌ها دارای قابلیت تغییر نیروی میدان مغناطیسی در ناحیه جدایش و قابلیت تولید چندین محصول با شدت مغناطیسی مختلف هستند. متغیرهای کنترل‌کننده: شدت میدان مغناطیسی و شیب قیف	ایزودینامیک فرنترز یا بریرر <sup>۱</sup>
کاربرد برای پرعیارسازی منیته، جدایش پیرویت، سیدریت، ایلمنیت و کرومیت قطر استوانه، معادل قطر استوانه در جداکننده‌های صنعتی است. متغیرهای کنترل‌کننده: قطر استوانه و شدت میدان مغناطیسی	مغناطیسی شدت پایین





ادامه جدول ۳-۱۵- انواع جداکننده‌ها در مقیاس آزمایشگاهی و پایه

شرایط	نوع جداکننده
کاربرد برای جدایش کانی‌های پارامغناطیس و ذرات ریز با عرض موثر مغناطیسی ۱۲ سانتی‌متر قادر به انجام آزمون با وزن کمتر از ۱ کیلوگرم نمونه را دارد. متغیرهای کنترل‌کننده: قطر غلتک (۷۵، ۱۰۰ یا ۱۵۰ میلی‌متر) و شدت میدان مغناطیسی	مغناطیسی شدت بالا
کاربرد برای جدایش ذرات ریز و بسیار ریز کانی‌های پارامنیستیت (۰/۱ تا ۶۰۰ میکرون)	مغناطیسی گرادیان بالا-شدت بالا

جدول ۳-۱۶- ویژگی‌های جداکننده‌های صفحه‌ای، شبکه‌ای، استوانه‌ای و نواری شدت پایین

شرایط	نوع جداکننده
- سیستم مغناطیس‌شوندگی: آهنرباهای دائم - عملیات ناپیوسته - کاربرد برای حذف ذرات بسیار ریز آهن	جداکننده‌های صفحه‌ای
- مناسب برای ابعاد ذرات بار ورودی کمتر از ۱/۲۷ سانتی‌متر - نامناسب برای مواد مرطوب و چسبنده - کاربرد برای حذف ذرات آهن	جداکننده‌های شبکه‌ای
- سیستم مغناطیس‌شوندگی: آهنرباهای دائم یا الکترومغناطیس‌ها - کاربرد در جدایش مواد فرومغناطیس تا ابعاد ۲/۵ سانتی‌متر	جداکننده مغناطیسی استوانه‌ای خشک (شدت پایین)
- سیستم مغناطیس‌شوندگی: آهنرباهای دائم یا الکترومغناطیس‌ها - مناسب برای ابعاد ۰/۵ تا ۳۰ سانتی‌متر	جداکننده‌های نواری
- سیستم مغناطیس‌شوندگی: آهنرباهای دائم یا الکترومغناطیس‌ها - کاربرد در تغلیظ کانسنگ آهن و بازیابی واسطه‌های منیستیتی و حذف منیستیت از مواد معدنی و باطله‌ها	جداکننده مغناطیسی استوانه‌ای تر (شدت پایین)

جدول ۳-۱۷- ویژگی‌های جداکننده‌های استوانه‌ای شدت بالا بر اساس یکی از سازندگان معتبر

ظرفیت	کاربرد	ویژگی	ابعاد ذرات
تا ۸۰ تن در ساعت بر متر	در مرحله پیش فرآوری و برای ذرات بزرگتر از ۲/۵ سانتی‌متر، بازیابی منیستیت از کانسنگ آهن و سرباره‌ها	ایجاد گرادیان بالا با آهنربای فریت استروتمیم، نیروی میدان مغناطیسی ۱۲۰۰ گوس در سطح استوانه، سرعت استوانه ۲/۵ متر در ثانیه، قطر استوانه ۰/۹ متر، دارای ۱۰ تا ۱۵ قطب مغناطیسی	برای ذرات درشت‌تر از ۲/۵ سانتی‌متر
برای ذرات درشت ۰/۶ سانتی‌متر، بالای ۶۵ تن در ساعت و برای ذرات ۰/۰۲ سانتی‌متر بیش از ۳۳ تن در ساعت	فرآوری کانی‌ها در ابعاد ۰/۶ سانتی‌متر تا ۰/۰۲ سانتی‌متر، صنایع آلومینا و سیلیکات‌ها، بازیابی منیستیت از کانسنگ آهن و سرباره‌ها	ایجاد گرادیان بالا با آهنربای فریت استروتمیم، نیروی میدان مغناطیسی ۱۱۰۰ گوس در سطح استوانه، سرعت استوانه بالای ۵ متر در ثانیه، قطر استوانه ۰/۹ متر، دارای ۲۰ قطب مغناطیسی	برای ذرات درشت‌تر از ۰/۶ سانتی‌متر
به علت سرعت بالا، عمق مواد کم شده و ظرفیت آن بالای ۳۳ تن در ساعت	فرآوری ذرات ۰/۰۲ سانتی‌متر، فرآوری ثانویه، بازیابی منیستیت از ناخالصی	ایجاد گرادیان بالا با آهنربای فریت استروتمیم، نیروی میدان مغناطیسی ۱۰۰۰ گوس در سطح استوانه، سرعت استوانه ۷/۶ متر بر ثانیه، قطر استوانه ۰/۹ متر، دارای ۳۰ تا ۴۰ قطب مغناطیسی	برای ذرات ریزدانه (۰/۰۲ سانتی‌متر)
برای ذرات ۰/۰۲ سانتی‌متر، ۱۰ تا ۱۶ تن در ساعت در قطر ۰/۴ متر، ۱۶ تا ۲۳ تن در ساعت در قطر ۰/۶ متر، ۲۶ تا ۲۳ تن در ساعت در قطر ۰/۹ متر	جدایش کانی‌های آهن‌دار سنگ‌ها و کانی‌های صنعتی	قطب‌های حاوی RE، نیروی میدان مغناطیسی ۷۰۰۰ گوس در سطح استوانه، قطر استوانه ۰/۴، ۰/۶، ۰/۹ و ۱/۲ متر، دارای ۵ تا ۱۲ قطب مغناطیسی	استوانه با قطب مغناطیسی دائم

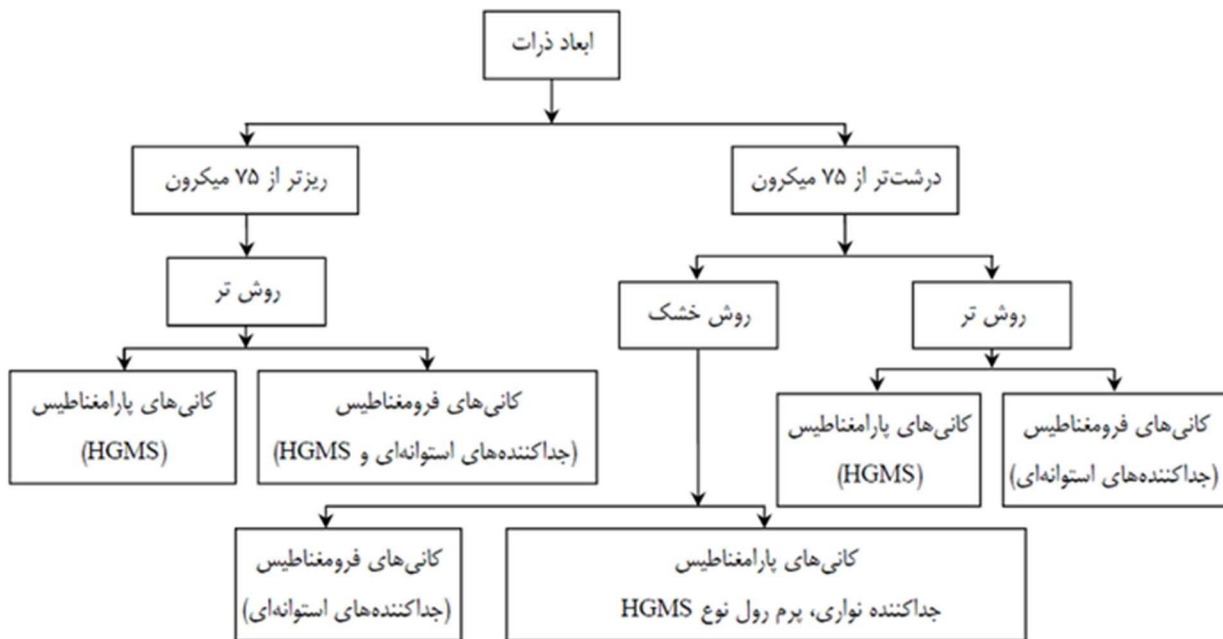
جدول ۳-۱۸- ویژگی‌های جداکننده‌های مغناطیسی شدت بالا-تر و گرادیان بالا-تر

ویژگی‌ها	جداکننده
با سیستم باردهی ثقلی کار می‌کند که طی آن پالپ از قسمت بالای ماتریکس وارد و از انتها خارج می‌شود. - حداکثر تا ۱۶۵۰ گوس (۱٫۶۵ تسلا) یک الکترومغناطیس ایجاد می‌کند. پشم فولاد، ماتریکس معمول مورد استفاده در آن‌ها است.	مغناطیس شدت بالا-تر
- ظرفیت‌های زیاد در عملیات پیوسته - در جدایش مغناطیسی کانی‌های صنعتی (ذرات پارامغناطیس) مانند ماسه سیلیکاتی، کوارتزیت و فلدسپار - در مقیاس پیشاهنگ قادر به فرآوری ۱۰۰ تا ۵۰۰ کیلوگرم در ساعت بار ورودی است.	
- عملیات به صورت غیرپیوسته - با جریان پالپ کنترل شده کار می‌کند و پالپ در انتهای ماتریکس پمپ و از بالا تخلیه می‌شود. پشم فولاد، ماتریکس معمول مورد استفاده در آن‌ها است. جدایش ذرات ریزتر از ۱۰ میکرون و آهن‌زدایی از کانی‌های صنعتی	گرادیان بالا-تر

جدول ۳-۱۹- مراحل و محاسبات افزایش مقیاس جداکننده‌های مغناطیسی

مقیاس	نحوه محاسبه و توضیحات لازم
آزمایشگاهی و پایه به پیشاهنگ	مرحله اول- تعیین مشخصات ماده معدنی در این مرحله مشخصات متاده معدنی شامل جرم مخصوص جامد و پالپ، درصد جامد پالپ، دانه‌بندی و مشخصات کانی از نظر خاصیت مغناطیسی تعیین می‌شود.
	مرحله دوم- انتخاب نوع جداکننده بر اساس ابعاد بار ورودی از روندنمای شکل ۳-۱۰ برای انتخاب نوع جداکننده استفاده می‌شود. جداکننده‌های مغناطیسی شدت بالا در شدت میدان ۵۰۰۰ گوس (۰٫۵ تسلا) به بالا کار می‌کنند. جداکننده‌های شدت پایین، با شدت میدان مغناطیس کمتر از ۲۰۰۰ گوس (۰٫۲ تسلا) کار می‌کنند.
	مرحله سوم- انتخاب جداکننده مغناطیسی با در نظر گرفتن ظرفیت در مقیاس پیشاهنگ، مشخصات ماده معدنی و انواع جداکننده‌ها و کاربرد آن‌ها، جداکننده مورد نظر بر اساس روابط، جدول‌ها، منحنی‌ها و کاتالوگ شرکت‌های سازنده انتخاب می‌شود. - برای تعیین سطح ماتریکس در جداکننده مغناطیسی شدت بالا-تر و جداکننده مغناطیسی گرادیان بالا-تر مراحل زیر باید انجام شود: الف- تعیین زمان جدایش واقعی زمان سیکل کامل جدایش ( $T_t$ ) شامل مجموع زمان‌های سیکل باردهی، شستشو، قطع و وصل آهن‌ریا و شستشوی جداکننده است. زمان جدایش واقعی با رابطه زیر محاسبه می‌شود: (۳-۶۰) که در آن: $T_t$ زمان سیکل کامل جدایش $t$ زمان جدایش واقعی ب- تعیین ظرفیت حجمی جداکننده ( $C_v$ ) (۳-۶۱) که در آن: $V_p$ ظرفیت تولید جداکننده $C_v$ ظرفیت جداکننده پ- تعیین مساحت ماتریس ( $S$ ) (۳-۶۲) $U$ سرعت جریان پالپ
پیشاهنگ به واحد صنعتی	نحوه انتخاب در واحد صنعتی مشابه افزایش مقیاس آزمایشگاهی به پیشاهنگ است بنابراین مراحل قبل به غیر از مرحله اول باید بار دیگر تکرار شود.





شکل ۳-۱۰- روندنمای انتخاب نوع جداکننده مغناطیسی بر اساس ابعاد بار ورودی

### ب- جداکننده‌های الکتریکی

این جداکننده‌ها با نیروهای الکتریکی و دیگر نیروها مانند نیروی گرانش و گریز از مرکز باعث جدایش مواد می‌شوند. برای کسب اطلاعات در مورد انواع آن‌ها و مکانیسم کاری این جداکننده‌ها می‌توان به نشریه شماره ۵۴۴ با عنوان "راهنمای محاسبه تعیین ظرفیت ماشین‌آلات و تجهیزات واحدهای کانه‌آرایی" مراجعه شود. نحوه افزایش مقیاس این جداکننده‌ها در جدول ۳-۲۰ نشان داده شده است.

جدول ۳-۲۰- مراحل و محاسبات در افزایش مقیاس جداکننده‌های الکتریکی

مقیاس	نحوه محاسبه و توضیحات لازم
آزمایشگاهی و پایه به پیشساز	مرحله اول- تعیین سطح مقطع جریان بار ورودی در جداکننده آزمایشگاهی مرحله دوم- تعیین طول روتور پس از تعیین ظرفیت بهینه به ازای یک متر طول روتور جداکننده آزمایشگاهی، ظرفیت ورودی را به ظرفیت تعیین شده در آزمایشگاه تقسیم می‌کنند، طول روتور مورد نیاز به دست می‌آورد.
واحد پیشساز به صنعتی	مرحله سوم- انتخاب جداکننده با استفاده از جدول‌های سازندگان از آنجا که ۵ سانتی‌متر انتهایی از طول روتور به دلیل نرسیدن و قطع شدن بار ورودی غیرقابل استفاده است بنابراین برای جلوگیری از کاهش ظرفیت، طول روتور در حدود ۵ سانتی‌متر بیشتر در نظر گرفته می‌شود سپس با استفاده از جدول‌های شرکت‌های سازنده می‌توان جداکننده مورد نظر را انتخاب کرد. با تعیین شرایط بهینه پیشساز، می‌توان با یک تناسب، طول روتور را برای جداکننده صنعتی به دست آورد و با استفاده از جدول‌های شرکت‌های جداکننده مورد نظر را انتخاب می‌شود.

### پ- جداکننده‌های ثقلی

روش‌های جدایش ثقلی بر مبنای حرکت نسبی آن‌ها در یک محیط سیال پایه‌گذاری شده است و از نیروهای گرانش و مقاومت سیال در برابر ذره که به ابعاد و شکل ذرات بستگی دارد استفاده می‌شود بنابراین با توجه به حد جدایش مورد نظر و متغیرها نوع جداکننده تعیین می‌شود. نحوه انتخاب آن در جدول ۳-۲۱ ارائه شده است. جدول‌های ۳-۲۲ و ۳-۲۳ به ترتیب بر مبنای درصد مواد با چگالی نزدیک به حد جدایش و محدوده ابعادی ذرات می‌توانند به انتخاب صحیح این جداکننده‌ها کمک می‌کنند. برای کسب

اطلاعات در مورد انواع این جداکننده‌ها (مانند جیگ، میز، واسطه سنگین و نظایر آن) و مکانیسم کاری آن‌ها می‌توان به نشریه شماره ۵۴۴ با عنوان "راهنمای محاسبه تعیین ظرفیت ماشین‌آلات و تجهیزات واحدهای کانه‌آرایی" مراجعه کرد.

جدول ۳-۲۱- مراحل و محاسبات افزایش مقیاس جداکننده‌های ثقلی

مقیاس	نحوه محاسبه و توضیحات لازم
آزمایشگاهی و پایه به پیشاهنگ	مرحله اول - خواص سنجی بار ورودی به منظور انتخاب بهترین روش ثقلی، مطالعات کانی‌شناسی کانسنگ بهترین عوامل برای مشخص کردن کانه باارزش، باطله، جرم مخصوص و محدوده ابعادی است.
	مرحله دوم - انجام آزمایش مایعات سنگین با انجام آزمایش با مایعات سنگین و تعیین میزان مواد با جرم مخصوص نزدیک به حد جدایش، با استفاده از جدول‌های ۳-۲۲ و ۳-۲۳ نوع جداکننده مناسب پیش‌بینی می‌شود.
	مرحله سوم - انتخاب جداکننده با توجه به ظرفیت واحد پیشاهنگ و کاتالوگ شرکت‌های سازنده، نوع جداکننده ثقلی انتخاب می‌شود.
پیشاهنگ به واحد صنعتی	با بررسی نحوه عملکرد جداکننده انتخابی در واحد پیشاهنگ و با یک تناسب بین ظرفیت این مقیاس با مقیاس صنعتی مورد نظر در (کارخانه در حال طراحی)، می‌توان با استفاده از کاتالوگ شرکت‌های سازنده، جداکننده مورد نظر را انتخاب کرد.

جدول ۳-۲۲- جداکننده مناسب بر مبنای میزان مواد با جرم مخصوص نزدیک به حد جدایش

درصد مواد با جرم مخصوص نزدیک به حد جدایش	روش‌های آرایش ثقلی	نوع دستگاه
۰ تا ۷	تقریباً همه روش‌های ثقلی	ناو شستشو و جیگ
۷ تا ۱۰	روش‌های نسبتاً موثر	جداکننده مخروطی
۱۰ تا ۱۵	روش‌های موثر	میز، ماریپچ و واسطه سنگین
۱۵ تا ۲۵	روش‌های خیلی موثر	واسطه سنگین با کنترل دقیق
>۲۵	روش‌های استثنایی با کنترل دقیق	واسطه سنگین با کنترل خیلی دقیق

جدول ۳-۲۳- ویژگی‌های بعضی از دستگاه‌های ثقلی

نوع دستگاه	محدوده ابعاد ذرات (mm)	کاربرد	ظرفیت (t/h)
جیگ	۰.۱ تا ۲۵۰	C, A, M, I	تا ۸۰۰
ناوها	۰.۲۵ تا ۲۵	A	تا ۵۰۰
مخروط ریچارد	۰.۰۵-۲	A, M, I	۶۰ تا ۷۰
اسپیرال	۰.۰۵ تا ۳	C, M, I	۱ تا ۱۲
میز لرزان	۰.۲۵ تا ۳	C, M, I	۰.۲ تا ۲
میز نرمه بارتلی - موزلی	۰.۰۵ تا ۰.۱	M	۲ تا ۲.۵
میز نرمه بارتلی	۰.۰۱ تا ۰.۱	M, I	۰.۳ تا ۰.۵
سانتریفوژ	۰.۰۰۲ تا ۰.۰۵	A, M	۱ تا ۵
جداکننده دوبلکس	۰.۰۱ تا ۰.۰۲	M	تا ۵
جداکننده نواری بارتلی	۰.۰۰۵ تا ۰.۱	M	تا ۰.۵
استوانه چرخشی	۰.۰۰۵ تا ۰.۱	M	۲.۵ تا ۳
جداکننده واسطه سنگین نوع استاتیکی	۲ تا ۵۰	M, C	تا ۵۰۰
جداکننده واسطه سنگین نوع دینامیکی	۰.۳ تا ۲۰	M, C	تا ۲۵۰۰

C زغال سنگ، I کانی‌های صنعتی، M کانسنگ‌های فلزی، A رسوبات آبرفتی



## ۳-۲-۵- مراحل و محاسبات افزایش مقیاس سلول‌های فلوتاسیون

در طراحی سلول‌های فلوتاسیون، متغیرهای زیادی از قبیل ظرفیت، ویژگی‌های ماده معدنی، درصد جامد، زمان ماند و نظایر آن باید مد نظر قرار گیرد. در این بخش به بررسی نحوه افزایش مقیاس سلول‌های فلوتاسیون مکانیکی و ستونی پرداخته شده است. برای شناخت بیشتر از انواع ماشین‌آلات فلوتاسیون و کاربرد آنها می‌توان به نشریه شماره ۵۴۴ با عنوان "راهنمای محاسبه تعیین ظرفیت ماشین‌آلات و تجهیزات واحدهای کانه‌آرایی" مراجعه کرد.

## الف- فلوتاسیون مکانیکی

برای افزایش مقیاس سلول‌های فلوتاسیون مکانیکی سه روش تجربی، روش مدل و روش ترسیمی وجود دارد که به ترتیب در جدول‌های ۳-۲۴، ۳-۲۶ و ۳-۲۷ ارایه شده‌اند.

جدول ۳-۲۴- مراحل و محاسبات افزایش مقیاس سلول‌های فلوتاسیون مکانیکی به روش تجربی

مقیاس	نحوه محاسبه و توضیحات لازم
آزمایشگاهی به واحد صنعتی	مرحله اول- تعیین زمان ماند آزمایشگاهی با استفاده از داده‌های سینتیکی آزمایش‌های ناپیوسته فلوتاسیون و محاسبه عیار و بازیابی، زمان ماند به دست می‌آید.
	مرحله دوم- تعیین زمان ماند صنعتی ضریب افزایش مقیاس زمان ماند برای انواع کانی‌های و سلول‌های مختلف، متفاوت است. ضریب افزایش مقیاس زمان ماند برای سلول‌های فلوتاسیون دنور در جدول ۳-۲۵ ارایه شده است. از حاصل ضرب این ضریب در زمان ماند آزمایشگاهی، زمان ماند صنعتی به دست می‌آید.
	مرحله سوم- تعیین حجم سلول حجم سلول از رابطه زیر محاسبه می‌شود: (۳-۶۳) $NV = \frac{1}{60} QTEPF$ که در آن: N تعداد سلول‌ها V حجم موثر سلول (در صورتی که مشخص نباشد، ۹۵ درصد حجم کل سلول در نظر گرفته شود). Q آهنگ بار ورودی خشک (تن در ساعت) T زمان ماند صنعتی E ضریب هوادهی که معمولاً ۱/۸۵ درصد در نظر گرفته می‌شود. P حجم پالپ به ازای یک تن بار ورودی خشک که از رابطه زیر به دست می‌آید. F ضریب افزایش مقیاس (معمولاً ۱/۲۵) است. (۳-۶۴) $P = \frac{1}{d_s} + \frac{100}{S} - 1$ که در آن: $d_s$ جرم مخصوص جامد S درصد جامد

جدول ۳-۲۵- زمان ماند و طول سلول‌های مکانیکی رافر (اولیه) دنور

ماده معدنی	درصد جامد بار ورودی	زمان ماند آزمایشگاهی (دقیقه)	زمان ماند صنعتی (دقیقه)	ضریب افزایش مقیاس	تعداد سلول با مقطع مربعی	تعداد سلول با مقطع دایره‌ای
مس	۳۲-۴۲	۱۳-۱۶	۶-۸	۱/۲	۱۲-۱۸	۸-۱۲
سرب	۲۵-۳۵	۶-۸	۳-۵	۱/۸	۴-۸	۶-۸

ادامه جدول ۳-۲۵- زمان ماند و طول سلول‌های مکانیکی رافر (اولیه) دنور

ماده معدنی	درصد جامد بار ورودی	زمان ماند آزمایشگاهی (دقیقه)	زمان ماند صنعتی (دقیقه)	ضریب افزایش مقیاس	تعداد سلول با مقطع مربعی	تعداد سلول با مقطع دایره‌ای
مولیبدن	۳۵-۴۵	۱۴-۲۰	۶-۷	۲٫۶	۱۲-۱۸	۱۰-۱۴
نیکل	۲۸-۳۲	۱۰-۱۴	۶-۷	۱٫۸	۱۰-۱۶	۸-۱۴
تنگستن	۲۵-۳۲	۸-۱۲	۵-۶	۱٫۸	۶-۱۰	۷-۱۰
روی	۲۵-۳۲	۸-۱۲	۵-۶	۱٫۸	۶-۱۰	۶-۸
باریت	۳۰-۴۰	۸-۱۰	۴-۵	۲	۴-۸	۶-۸
زغال سنگ	۴-۱۲	۴-۶	۲-۳	۲	۳-۶	۴-۵
فلدسپار	۲۵-۳۵	۸-۱۰	۳-۴	۲٫۶	۴-۸	۶-۸
فلورسپار	۲۵-۳۲	۸-۱۰	۴-۵	۲	۵-۱۰	۶-۸
فسفات	۳۰-۳۵	۴-۶	۲-۳	۲	۳-۶	۴-۵
پتاس	۲۵-۳۵	۴-۶	۲-۳	۲	۴-۸	۴-۶
ماسه ناخالص	۳۰-۴۰	۷-۹	۳-۴	۲-۳	۴-۸	۶-۸
سیلیکات آهن دار	۴۰-۵۰	۸-۱۰	۳-۵	۲-۳	۸-۱۴	۸-۱۰
سیلیکات فسفات	۳۰-۳۵	۴-۶	۲-۳	۲	۴-۶	۴-۶

\* میزان درصد جامد در مدار شستشو ۵۰ تا ۶۵ درصد میزان جامد رافر (اولیه) است و زمان ماند شستشو ۶۰ تا ۷۵ درصد زمان ماند رافر است.

جدول ۳-۲۶- مراحل و محاسبات افزایش مقیاس سلول‌های فلوتاسیون مکانیکی به روش مدلسازی

مقیاس	نحوه محاسبه و توضیحات لازم
آزمایشگاهی و پایه به پیشاهنگ	مرحله اول- تعیین بازیابی در زمان t
	مرحله دوم- تعیین زمان بهینه فلوتاسیون مرحله سوم: محاسبه ثابت سینتیک بازیابی در زمان t از رابطه زیر به دست می‌آید: (۳-۶۵) $R = R_{MAX} \left( 1 - \frac{1 - e^{-kt}}{kt} \right)$
پیشاهنگ به واحد صنعتی	مرحله اول- تعیین بازیابی کلی سلول بازیابی کلی سلول از رابطه زیر محاسبه می‌شود: (۳-۶۶) که در آن: k آهنگ ثابت فلوتاسیون t زمان بهینه فلوتاسیون R بازیابی در زمان t R <sub>max</sub> بازیابی در زمان بی‌نهایت
	مرحله اول- تعیین بازیابی کلی سلول بازیابی کلی سلول از رابطه زیر محاسبه می‌شود: (۳-۶۶) که در آن: C و F آهنگ جریان جامد در بار ورودی و کنسانتره X <sub>c</sub> و X <sub>f</sub> عیار فلز در جریان‌های بار ورودی و کنسانتره



ادامه جدول ۳-۲۶ - مراحل و محاسبات افزایش مقیاس سلول‌های فلوتاسیون مکانیکی به روش مدلسازی

نحوه محاسبه و توضیحات لازم	مقیاس
$R_F = \frac{C \cdot x_C}{\lambda_B \cdot Q_G \cdot x_B}$	<p>مرحله دوم: تعیین بازیابی کف بازیابی کف از رابطه زیر محاسبه می‌شود: (۶۷-۳)</p> <p>که در آن: <math>\lambda_B</math> بارگیری حباب <math>Q_G</math> آهنگ حجمی گاز در فصل مشترک پالپ-کف <math>x_B</math> عیار فلز در فصل مشترک پالپ-کف</p>
$R_C = \frac{R_{OV}}{R_F - R_{OV}(1 - R_F)}$	<p>مرحله سوم - بازیابی منطقه جمع‌آوری بازیابی منطقه جمع‌آوری از رابطه زیر محاسبه می‌شود: (۶۸-۳)</p> <p>که در آن: <math>R_F</math> بازیابی کف <math>R_{OV}</math> بازیابی کلی سلول</p>
$R = R_{MAX} \left( 1 - \frac{1 - (1 + k\tau_{cell})^{1-N}}{(N-1)k\tau_{cell}} \right)$	<p>مرحله چهارم - تعیین بازیابی در زمان <math>t</math> بازیابی در زمان <math>t</math> از رابطه زیر محاسبه می‌شود: (۶۹-۳)</p> <p>که در آن: <math>N</math> تعداد سلول <math>k</math> ثابت سینتیک <math>\tau</math> زمان ماند</p>
$R = R_{MAX} \left( 1 - \frac{\ln(1 + k\tau_{cell})}{k\tau_{cell}} \right)$ $k = 1.5 E_K \frac{J_G}{d_B}$ $k = \frac{E_K}{4} S_B$	<p>مرحله پنجم - محاسبه ثابت آهنگ واقعی فلوتاسیون در منطقه جمع‌آوری <math>k_C</math> با جایگذاری مقدار <math>R_C</math> در رابطه زیر ثابت آهنگ واقعی فلوتاسیون در منطقه جمع‌آوری محاسبه می‌شود: (۷۰-۳)</p> <p>و با استفاده از رابطه زیر ثابت آهنگ فلوتاسیون محاسبه می‌شود: (۷۱-۳)</p> <p>که در آن: <math>J_G</math> آهنگ ظاهری گاز <math>d_B</math> قطر حباب <math>E_K</math> کارایی جمع شدن و <math>k</math> با استفاده از رابطه زیر محاسبه می‌شود: (۷۲-۳)</p> <p>که در آن: <math>S_B</math> شار مساحت سطح حباب است.</p>
$R = R_{MAX} \left( 1 - \frac{\ln(1 + k\tau_{cell})}{k\tau_{cell}} \right)$	<p>مرحله ششم - محاسبه ثابت آهنگ ظاهری فلوتاسیون <math>K_{APP}</math> (۷۳-۳)</p> <p>(<math>k</math> ثابت سینتیک و <math>\tau</math> میانگین زمان ماند)</p>



ادامه جدول ۳-۲۶- مراحل و محاسبات افزایش مقیاس سلول‌های فلوتاسیون مکانیکی به روش مدلسازی

نحوه محاسبه و توضیحات لازم	مقیاس
<p>مرحله هفتم- تعیین اثر کف <math>\alpha</math> اثر کف با استفاده از رابطه زیر محاسبه می‌شود: (۷۴-۳)</p> $\alpha = \frac{k_{APP}}{K_C}$	
<p>مرحله هشتم- تعیین اثر اختلاط در سلول <math>\beta</math> اثر اختلاط در سلول با استفاده از رابطه زیر محاسبه می‌شود: (۷۵-۳)</p> $\beta = \frac{\varphi(N=1)}{\varphi(N \neq 1)} \Big _{\eta}$ <p>که در آن: <math>\varphi</math> تابع اختلاط سلول در حالت ایده‌آل (<math>N=1</math>) و واقعی (<math>N \neq 1</math>) در <math>\eta</math>های مختلف (<math>\eta</math> بازیابی بدون بعد است که با رابطه <math>\eta = R_c/R_{max}</math> به دست می‌آید.</p>	
<p>مرحله نهم- تعیین اثر جدایش ابعادی ذرات <math>\gamma</math> اثر جدایش ابعادی ذرات با استفاده از رابطه زیر محاسبه می‌شود: (۷۶-۳)</p> $\gamma = \frac{\tau_S}{\tau_L}$ <p>که در آن: <math>\tau_S</math> زمان ماند موثر ذره <math>\tau_L</math> زمان ماند موثر مایع</p>	
<p>مرحله دهم- تعیین ضریب افزایش مقیاس ایده‌آل ضریب افزایش مقیاس ایده‌آل با استفاده از رابطه زیر محاسبه می‌شود: (۷۷-۳)</p> $\xi = k_C/k_B$ <p>که در آن: <math>k_B</math> نرخ فلوتاسیون در سلول آزمایشگاهی <math>k_C</math> نرخ فلوتاسیون در منطقه جمع‌آوری</p>	پیشاهنگ به واحد صنعتی
<p>مرحله یازدهم- تعیین ضریب افزایش مقیاس واقعی ضریب افزایش مقیاس واقعی با استفاده از رابطه زیر محاسبه می‌شود: (۷۸-۳)</p> $\frac{k_{APP}}{k_B} = \xi \cdot \alpha \cdot \beta \cdot \gamma$ <p>که در آن: <math>\gamma</math> اثر جدایش ابعادی ذرات <math>\beta</math> اثر اختلاط در سلول</p>	
<p>مرحله دوازدهم- تعیین زمان بهینه فلوتاسیون (<math>\tau</math>) از حاصل ضرب ضریب افزایش مقیاس در زمان آزمایشگاهی، زمان بهینه تعیین می‌شود.</p>	
<p>مرحله سیزدهم- تعیین حجم سلول مورد نیاز با توجه به دبی ورودی مورد نظر (<math>Q</math>) در مقیاس صنعتی حجم سلول مورد نیاز با توجه به دبی ورودی مورد نظر (<math>Q</math>) در مقیاس صنعتی با استفاده از رابطه زیر محاسبه می‌شود: (۷۹-۳)</p> $V_{eff} = Q \cdot \tau$	





جدول ۳-۲۷- مراحل و محاسبات افزایش مقیاس سلول‌های فلوتاسیون مکانیکی به روش ترسیمی

مقیاس	نحوه محاسبه و توضیحات لازم
آزمایشگاهی و پایه به واحد صنعتی	مرحله اول- رسم منحنی بازیابی-زمان برای تعیین زمان بهینه
	مرحله دوم- رسم منحنی عیار-بازیابی برای تعیین بازیابی در زمان بهینه
	مرحله سوم- رسم خطی مماس بر بخش افقی منحنی که محل تلاقی آن با منحنی مقدار بازیابی در زمان بی‌نهایت را نشان می‌دهد.
	مرحله چهارم- محاسبه حداکثر مقدار ثابت سینتیک $k_{max}$ حداکثر مقدار ثابت سینتیک با استفاده از رابطه زیر محاسبه می‌شود: (۸۰-۳) $r(t) = r_{\infty} \frac{1 - [1 - e^{-k_{max}t}]}{k_{max}t}$ که در آن: $\tau$ بازیابی $t$ زمان بهینه $k_{max}$ ثابت آهنگ فلوتاسیون حداکثر
واحد پیشاهنگ به صنعتی	مرحله اول- تعیین حداکثر مقدار ثابت سینتیک و بازیابی در زمان بی‌نهایت که با استفاده از تجارب موجود در کارخانه‌های مشابه به دست می‌آید.
	مرحله دوم- تعیین زمان ماند و بازیابی با استفاده از روابط زیر محاسبه می‌شود: (۸۱-۳) $\frac{\tau}{t} = \frac{k_{max}}{K_{max}}$
	(۸۲-۳) $\frac{R(\tau)}{r(t)} = \frac{R_{\infty}}{r_{\infty}}$ که در آن: $R$ بازیابی $\tau$ زمان ماند

## ب- فلوتاسیون ستونی

برای افزایش مقیاس ستون‌های فلوتاسیون دو روش مدل لونسپیل و یون استفاده می‌شود که به ترتیب در جدول‌های ۳-۲۸ و ۳-۲۹ ارائه شده‌اند.

جدول ۳-۲۸- مراحل و محاسبات افزایش سلول‌های فلوتاسیون ستونی بر اساس مدلسازی لونسپیل

مقیاس	نحوه محاسبه و توضیحات
آزمایشگاهی و پایه به پیشاهنگ	مرحله اول- رسم منحنی‌های عیار-بازیابی برای سلول‌های مکانیکی و ستون آزمایشگاهی و مقایسه آن‌ها
	مرحله دوم- رسم منحنی لگاریتمی بازیابی نسبت به زمان که شیب نمودار، مقدار ثابت نرخ کلی ( $k_{fc}$ ) است.
	مرحله سوم- تعیین ثابت آهنگ در منطقه جمع‌آوری ( $k_c$ ) (۸۳-۳) $k_{fc} = k_c R_f$ که در آن: $R_f$ مقدار بازیابی ناحیه کف در مقیاس آزمایشگاهی و در مقیاس پیشاهنگ معمولاً حدود ۵۰ درصد است. با تعیین مقدار ثابت آهنگ کلی ( $k_{fc}$ ) در مقیاس آزمایشگاهی، مقدار ثابت آهنگ در منطقه جمع‌آوری در مقیاس پیشاهنگ برآورد می‌شود.
واحد پیشاهنگ به صنعتی	مرحله اول- محاسبه تعداد ستون $N$
	مرحله دوم- محاسبه آهنگ ظاهری پالپ آهنگ ظاهری پالپ $J_d$ در ابتدا مشخص نیست. بنابراین فرض می‌شود که مقدار آن معادل آهنگ ظاهری باطله $J_b$ است و با رابطه زیر حاصل می‌شود. (۸۴-۳) $j_t = \frac{[V_{FW} + (1 - R_k)V_{FK}]}{NA} + j_b$ که در آن:

ادامه جدول ۳-۲۸- مراحل و محاسبات افزایش سلول‌های فلوتاسیون ستونی بر اساس مدلسازی لونسپیل

نحوه محاسبه و توضیحات	مقیاس
<p><math>R_k</math> بازیابی وزنی کلی به روش تکرار است که اگر مقدار محاسبه شده تفاوت قابل ملاحظه‌ای با این مقدار داشته باشد، مجدداً با <math>R_k</math> جدید محاسبات تکرار می‌شود.</p> <p>A سطح مقطع ستون</p> <p><math>V_{FK}</math> و <math>V_{FW}</math> به ترتیب آهنگ شدت جریان مایع و ذره</p>	
<p>مرحله سوم- محاسبه زمان ماند مایع</p> <p>این مشخصه به روش زیر محاسبه می‌شود:</p> $\tau_l = \left[ \frac{H_c}{1 - \varepsilon_g} \right] / j_{sl} \quad (۸۵-۳)$ <p>که در آن:</p> <p><math>H_c</math> ارتفاع ستون پیشاهنگ که مشخص است (متر)</p> <p><math>\varepsilon_g</math> ماندگی گاز</p>	
<p>مرحله چهارم- محاسبه <math>U_{sp}</math> (سرعت نهایی ذره)</p> <p>این مشخصه با استفاده از روش سعی و خطا و به روش زیر محاسبه می‌شود:</p> $U_{sp} = \frac{gd_b^2(\rho_l - \rho_{sl})(1 - \varphi_s)^{2.7}}{18\mu_f(1 + 0.1SR_{Ep}^{0.637})}$ $Re_p = [d_p U_{sp} \rho_l (1 - \varphi_s)] \mu_f \quad (۸۷-۳)$ <p>که در آن:</p> <p><math>\rho_l</math> و <math>\rho_{sl}</math> به ترتیب جرم مخصوص مایع و پالپ</p> <p><math>Re_p</math> عدد رینولدز ذره</p> <p><math>\varphi_s</math> درصد حجمی جامد در پالپ</p> <p>d اندازه حباب (میلی‌متر)</p> <p><math>\mu_f</math> گرانیوی پالپ</p>	<p>واحد پیشاهنگ به صنعتی</p>
<p>مرحله پنجم- محاسبه زمان ماند پالپ</p> <p>این مشخصه به روش زیر محاسبه می‌شود:</p> $\tau_p = \tau_l \frac{j_{sl}/(1 - \varepsilon_g)}{\frac{j_{sl}}{1 - \varepsilon_g} + U_{sp}} \quad (۸۸-۳)$ <p>که در آن:</p> <p><math>\tau_l</math> زمان ماند مایع</p> <p><math>j_{sl}</math> نرخ ظاهری پالپ</p> <p><math>\varepsilon_g</math> ماندگی گاز</p> <p><math>U_{sp}</math> سرعت نهایی ذره</p>	
<p>مرحله ششم- محاسبه عدد تفرق سلول</p> <p>این مشخصه به روش زیر محاسبه می‌شود:</p> $U_i = \frac{J_l}{1 - \varepsilon_g} \quad (۸۹-۳)$ $D = 0.35 d_c^{4/3} \cdot (g \cdot J_g)^{1/3} \quad (۹۰-۳)$ $N_d = \frac{D}{U_i} \cdot \frac{1}{H_c} \quad (۹۱-۳)$ <p>که در آن:</p> <p><math>J_l</math> سرعت ظاهری مایع (متر بر ثانیه)</p> <p><math>d_c</math> قطر ستون (متر)</p>	



ادامه جدول ۳-۲۸ - مراحل و محاسبات افزایش سلول‌های فلوتاسیون ستونی بر اساس مدل‌سازی لونسپیل

مقیاس	نحوه محاسبه و توضیحات
	$J_g$ سرعت ظاهری گاز (متر بر ثانیه) $\varepsilon_g$ ماندگی گاز $H_c$ ارتفاع ستون
	مرحله هفتم - محاسبه بازیابی منطقه جمع‌آوری با رابطه لونسپیل این مشخصه به روش زیر محاسبه می‌شود: (۹۲-۳) $a = \sqrt{1 + 4k\tau_p N_d}$ (۹۳-۳) $R = 1 - \frac{4a \exp\left(\frac{1}{2N_d}\right)}{(1+a)^2 \exp\left(\frac{a}{2N_d}\right) - (1-a)^2 \exp\left(-\frac{a}{2N_d}\right)}$ که در آن: $k$ ثابت سینتیک $\tau$ زمان ماند $N_d$ عدد تفرق سلول $\varepsilon_g$ ماندگی گاز
	مرحله هشتم - محاسبه بازیابی منطقه کف و بازیابی کلی این مشخصه به روش زیر محاسبه می‌شود: (۹۴-۳) $R_f = 95 \exp\left[-1.44 \cdot 10^{-2} \frac{(H_f(1 + 3J_w))}{J_g^3}\right]$
واحد پیشاهنگ به صنعتی	$R = \frac{R_c R_f}{1 - R_c + R_c R_f}$ (۹۵-۳) که در آن: $H_f$ ارتفاع کف (متر) $J_w$ سرعت ظاهری آب (متر بر ثانیه) $J_g$ سرعت ظاهری گاز (متر بر ثانیه)
	مرحله نهم - تکرار محاسبات با $J_{SL}$ (نرخ ظاهری پالپ)
	مرحله دهم - تغییر $N$ برای رسیدن به بازیابی کلی بهینه
	مرحله یازدهم - تعیین ظرفیت حمل که برای تعیین مساحت سطح ستون (مرحله سیزدهم) نیاز است. این مشخصه به روش زیر محاسبه می‌شود: (۹۶-۳) $C_a = \frac{0.06\psi \cdot \pi \cdot d_p \cdot \rho_s \cdot J_g}{d_b}$ که در آن: $d_b$ قطر حباب (میلی‌متر) $d_p$ قطر ذره (میلی‌متر) $\Psi$ عدد ثابتی است که به بارگیری حباب بستگی دارد. $J_g$ سرعت ظاهری گاز (متر بر ثانیه)
	مرحله دوازدهم - برآورد آهنگ جامد کنسانتره این مشخصه به روش زیر محاسبه می‌شود: (۹۷-۳) $S = F \times R$ که در آن: $S$ آهنگ جامد کنسانتره $F$ آهنگ جامد بار ورودی $R$ بازیابی کلی



## ادامه جدول ۳-۲۸- مراحل و محاسبات افزایش سلول‌های فلوتاسیون ستونی بر اساس مدلسازی لونسپیل

مقیاس	نحوه محاسبه و توضیحات
واحد پیشاهنگ به صنعتی	<p>مرحله سیزدهم- برآورد مساحت سطح این مشخصه به روش زیر محاسبه می‌شود: (۹۸-۳)</p> $A = \frac{S}{C}$ <p>که در آن: A سطح ستون S آهنگ جامد کنسانتره C ظرفیت حمل</p> <p>مرحله چهاردهم- برآورد قطر ستون</p>

## جدول ۳-۲۹- مراحل و محاسبات افزایش مقیاس سلول‌های فلوتاسیون ستونی بر اساس مدل یون

مقیاس	نحوه محاسبه و توضیحات
آزمایشگاهی به واحد صنعتی	<p>مرحله اول- تعیین قطر ستون بر اساس آهنگ حجمی بار ورودی و درصد جامد در بار ورودی (S) این مشخصه به روش زیر محاسبه می‌شود: (۹۹-۳)</p> $d_c = \sqrt{\left[ \frac{4Y}{\pi C_{max}} \left( \frac{1}{\rho_p} + \frac{1-s}{s} \right)^{-1} \cdot \frac{Q_p}{N} \right]}$ <p>که در آن: S در صد جامد بار ورودی Y آهنگ کنسانتره Q<sub>p</sub> آهنگ حجمی بار ورودی</p>
	<p>مرحله دوم- تعیین ظرفیت حمل بصورت تابعی از قطر ستون این مشخصه به روش زیر محاسبه می‌شود: (۱۰۰-۳)</p> $C_a = \frac{4M_f Y}{\pi N d_c^2}$ <p>که در آن: M<sub>f</sub> ظرفیت ذرات جامد Y آهنگ کنسانتره d<sub>c</sub> قطر ستون N تعداد سلول</p>
	<p>مرحله سوم- محاسبه ارتفاع ستون این مشخصه به روش زیر محاسبه می‌شود: (۱۰۱-۳)</p> $H_c = \tau_p \left[ \frac{J_l + f J_b}{1 - \varepsilon_g} + U_p \right]$ <p>که در آن: τ زمان ماند J<sub>b</sub> سرعت ظاهری بار ورودی J<sub>l</sub> سرعت ظاهری آب شستشو ε<sub>g</sub> ماندگی گاز</p>
	<p>مرحله چهارم- استفاده از رابطه لونسپیل برای تعیین بازایی منطقه جمع‌آوری (روابط ۳-۹۲ و ۳-۹۳ جدول (۳-۲۸)) قطر و ارتفاع مورد نیاز برای رسیدن به بازایی بهینه فلوتاسیون ستونی به روش یون پیش‌بینی می‌شود.</p>

## ۳-۲-۶- مراحل و محاسبات افزایش مقیاس تیکنر

برای افزایش مقیاس تیکنر باید عمق و سطح تیکنر محاسبه و با مقایسه با کاتولوگ سازندگان، تیکنر مورد نظر انتخاب شود. روش‌های مختلفی برای تعیین سطح تیکنر وجود دارد که در جدول ۳-۳۰-۳ ارائه شده است. با نتایج آزمایش‌ها در مقیاس آزمایشگاهی، می‌توان سطح مورد نیاز برای تیکنر صنعتی را پیش‌بینی کرد. پس از تعیین سطح تیکنر، مرحله بعد تعیین عمق تیکنر است که نحوه محاسبه آن نیز در جدول ۳-۳۰-۳ ارائه شده است. برای درک بهتر از مکانیسم عملکرد تیکنر و انواع آن‌ها بهتر است به نشریه شماره ۵۴۴ با عنوان "راهنمای محاسبه تعیین ظرفیت ماشین‌آلات و تجهیزات واحدهای کانه‌آرایی" مراجعه شود.

جدول ۳-۳۰-۳- مراحل و محاسبات افزایش مقیاس تیکنر

مقیاس	نحوه محاسبه و توضیحات لازم
آزمایشگاهی به واحد صنعتی	<p>مرحله اول- تعیین سطح تیکنر</p> <p>سطح تیکنر باید به اندازه‌ای بزرگ باشد تا اطمینان حاصل شود که سرعت رو به بالای سیال کمتر از سرعت ته‌نشینی ذرات است، در غیر این صورت ذرات جامد از سرریز خارج می‌شوند. برای تعیین سطح تیکنر از چهار روش زیر می‌توان استفاده کرد:</p> <p>روش اول:</p> <p>- انجام آزمایش‌های ته‌نشینی با غلظت‌های مشابه بار ورودی به تیکنر و تعیین سرعت ته‌نشینی</p> <p>- تعیین شار مواد جامد مربوط به پالپ مورد نظر</p> <p>این مشخصه به روش زیر محاسبه می‌شود:</p> $Q_i = \frac{V_i}{D_{Fi} - D_{Ui}} \quad (102-3)$ <p>که در آن:</p> <p><math>Q_i</math> شار مواد جامد (<math>kg/m^2/h</math>)</p> <p><math>V</math> سرعت ته‌نشینی (<math>m/h</math>) که در آزمایشگاه تعیین می‌شود.</p> <p><math>D_{Fi}</math> و <math>D_{Ui}</math> به ترتیب رقت پالپ در بار ورودی و ته‌ریز تیکنر</p> <p>- تعیین سطح تیکنر</p> <p>این مشخصه به روش زیر محاسبه می‌شود:</p> $Q = A \times V \Rightarrow A = \frac{Q}{V} \quad (103-3)$ <p>که در آن:</p> <p><math>Q</math> شار یا دبی ورودی (مترمکعب در ساعت)</p> <p><math>A</math> سطح مقطع (مترمربع)</p> <p><math>V</math> سرعت ته‌نشینی (متر در ساعت)</p> <p>روش دوم:</p> <p>با در اختیار داشتن <math>D_U</math> و <math>D_F</math> (رقت پالپ در بار ورودی و ته‌ریز) که در مرحله طراحی تعیین می‌شوند با استفاده از رابطه کلی زیر، سطح تیکنر محاسبه می‌شود:</p> <p>این مشخصه به روش زیر محاسبه می‌شود:</p> $A = \frac{(D_F - D_U) \times W_S}{V \times \rho} \quad (104-3)$ <p>که در آن:</p> <p><math>V</math> سرعت ته‌نشینی (متر بر ساعت)</p> <p><math>\rho</math> جرم مخصوص سیال (تن بر مترمکعب)</p> <p><math>A</math> سطح تیکنر (مترمربع)</p> <p><math>W_S</math> دبی جامد خشک ورودی به تیکنر (تن در ساعت) است که از رابطه زیر به دست می‌آید:</p> $W_S = X_F \times W_P \quad (105-3)$ <p>که در آن:</p> <p><math>W_P</math> دبی وزنی پالپ (تن در ساعت)</p>



## ادامه جدول ۳-۳۰- مراحل و محاسبات افزایش مقیاس تیکتر

نحوه محاسبه و توضیحات لازم	مقیاس
<p><math>X_F</math> درصد وزنی جامد در پالپ سرعت ته‌نشینی نیز با انجام آزمایش‌های متعدد در غلظت‌های مختلف تعیین می‌شود. روش سوم: با استفاده از رابطه تجربی زیر نیز می‌توان سطح بهینه و مناسب را برای تیکتر محاسبه کرد: (۳-۱۰۶)</p> $A = \frac{t_u \times W}{S_F \times H_i}$ <p>که در آن: <math>S_F</math> درصد جامد پالپ ورودی به تیکتر <math>H_i</math> ارتفاع خط گل در حالت اولیه (متر) <math>t_u</math> زمان ته‌نشینی بحرانی (ساعت) یعنی زمانی که بعد از آن افزایش زمان تاثیر چندانی بر ته‌نشینی شدن ذرات ندارد. <math>W</math> دبی جامد خشک (مترمکعب در ساعت) <math>A</math> سطح تیکتر (مترمربع) روش چهارم: در روش دیگر، سطح تیکتر با استفاده از رابطه زیر به دست می‌آید: (۳-۱۰۷)</p> <p>که در آن: <math>W</math> دبی جامد ورودی به تیکتر (تن در ساعت) <math>A_u</math> واحد سطح (مقدار سطحی که به ازای آن یک تن در ساعت ته‌نشینی می‌شود) است. مقدار <math>A_u</math> با جدول (۳-۲۹) تعیین می‌شود.</p> $A = W \times A_u$	<p>آزمایشگاهی به واحد صنعتی</p>
<p>مرحله دوم- تعیین عمق تیکتر عمق تیکتر (متر) با استفاده از رابطه زیر تعیین می‌شود: (۳-۱۰۸)</p> $d = \frac{(\rho_s - 1)}{\rho_s \times A \times (\rho_p - 1)}$ <p>که در آن: <math>\rho_p</math> و <math>\rho_s</math> به ترتیب چگالی جامد و پالپ (کیلوگرم بر مترمکعب) <math>A</math> سطح تیکتر (مترمربع) عمق به دست آمده عمق حداقل است و برای بهبود و اصلاح آن از رابطه زیر استفاده شود: (۳-۱۰۹)</p> $D_{total} = D_{min} + h + h_r + h_s$ <p>که در آن: <math>d_{min}</math> و <math>d_{total}</math> به ترتیب عمق کلی و عمق حداقل (متر) <math>h</math> و <math>h_r</math> و <math>h_s</math> به ترتیب ارتفاع متناسب با ظرفیت، ارتفاع پاروها و ضریب اطمینان معادل ۰٫۷ متر هستند. عمق تیکتر متناسب با قطر آن است، بنابراین با انجام محاسبات می‌توان ابعاد تیکتر بهینه را به دست آورد.</p>	

## جدول ۳-۳۱- ارتباط عمق و قطر تیکتر

قطر												عمق	نرمال	کمترین حد		
تا ۵۳	۵۰ تا ۵۵	۴۷ تا ۵۲	تا ۴۳	۴۶ تا ۴۲	تا ۳۸	تا ۲۷	۳۸ تا ۳۷	تا ۱۹٫۶	۲۷٫۳ تا ۱۲٫۳	تا ۷٫۸	۱۲ تا ۳٫۶					
۵۳	۵۰ تا ۵۵	۴۷ تا ۵۲	تا ۴۳	۴۶ تا ۴۲	تا ۳۸	تا ۲۷	۳۸ تا ۳۷	تا ۱۹٫۶	۲۷٫۳ تا ۱۲٫۳	تا ۷٫۸	۱۲ تا ۳٫۶	۲٫۴ تا ۳٫۳	۱٫۵ تا ۲٫۱			
۷٫۶	۷٫۳ تا ۷٫۴	۷ تا ۷٫۴	۵٫۸ تا ۵٫۸	۵٫۵ تا ۵٫۵	۵٫۲ تا ۵٫۲	۴٫۲ تا ۴٫۲	۳٫۶ تا ۳٫۶	۳ تا ۳	۳٫۶ تا ۳٫۶	۳ تا ۳	۲٫۱ تا ۲٫۱	۱٫۸ تا ۱٫۸	۱٫۳ تا ۱٫۳			
۶٫۷	۶٫۴ تا ۶٫۴	۵٫۸ تا ۵٫۸	۵٫۲ تا ۵٫۲	۴٫۹ تا ۴٫۹	۴٫۹ تا ۴٫۹	-	-	-	-	-	-	-	-			



## ۳-۲-۷- مراحل و محاسبات افزایش مقیاس فیلترها

برای افزایش مقیاس فیلترها باید سطح فیلتر، محاسبه و با مقایسه با کاتالوگ سازندگان، فیلتر مورد نظر انتخاب شود. متغیرهای فیلتراسیون شامل سرعت تشکیل کیک، ظرفیت تشکیل کیک و سطح مورد نیاز برای فیلتر کردن طبق جدول ۳-۳۲ به دست می‌آیند. می‌توان با نتایج آزمایش‌ها در مقیاس آزمایشگاهی، سطح مورد نیاز برای فیلتر صنعتی را پیش‌بینی کرد. پس از تعیین این متغیرها، می‌توان با استفاده از جدول ۳-۳۳ نوع فیلتر را مشخص نمود و با استفاده از کاتالوگ سازندگان، فیلتر مورد نظر را انتخاب کرد. برای درک بهتر از مکانیسم عملکرد به نشریه شماره ۵۴۴ با عنوان "راهنمای محاسبه تعیین ظرفیت ماشین‌آلات و تجهیزات واحدهای کانه‌آرایی" مراجعه شود.

جدول ۳-۳۲- مراحل و محاسبات افزایش مقیاس فیلترها

مقیاس	نحوه محاسبه و توضیحات لازم
	<p>مرحله اول- تعیین سرعت تشکیل کیک</p> <p>با تعیین ضخامت کیک (میلی‌متر) و زمان فیلتراسیون یا زمان یک سیکل (ثانیه) در آزمایشگاه، سرعت تشکیل کیک (میلی‌متر در ثانیه) با رابطه زیر به دست می‌آید:</p> $V_c = \frac{T_c}{t_f} \quad (3-110)$ <p>که در آن:</p> <p><math>V_c</math> سرعت تشکیل کیک</p> <p><math>T_c</math> ضخامت کیک</p> <p><math>t_f</math> زمان فیلتراسیون</p>
آزمایشگاهی به واحد صنعتی	<p>مرحله دوم: تعیین ظرفیت تشکیل جامد خشک</p> <p>با تعیین جرم مخصوص جامد (کیلوگرم بر مترمکعب) در آزمایشگاه و مشخص شدن سرعت تشکیل کیک، ظرفیت تشکیل جامد خشک (کیلوگرم بر مترمربع در ساعت) با رابطه زیر به دست می‌آید (منظور از عدد یک در رابطه برای یک مترمربع از سطح فیلتر (واحد سطح) است):</p> $C_s = V_c \times 1 \times \rho_s \times 3.6 \quad (3-111)$ <p>که در آن:</p> <p><math>C_s</math> ظرفیت تشکیل جامد خشک</p> <p><math>\rho_s</math> جرم مخصوص جامد</p>
	<p>مرحله سوم- تعیین سرعت فیلتراسیون</p> <p>سرعت فیلتراسیون (کیلوگرم بر مترمربع در سیکل) نیز با رابطه زیر به دست می‌آید:</p> $C_f = \frac{V_c \times 1 \times \rho_s \times t_{fc}}{1000} \quad (3-112)$ <p>که در آن:</p> <p><math>C_f</math> سرعت فیلتراسیون</p> <p><math>t_{fc}</math> زمان یک سیکل</p> <p>با استفاده از محاسبات یاد شده و مقایسه آن‌ها با اطلاعات ارایه شده در جدول ۳-۳۳ می‌توان فیلتر مناسب را انتخاب کرد. متغیرهای دیگر فیلتر در مراحل بعدی به دست می‌آید:</p>



## ادامه جدول ۳-۳۲- مراحل و محاسبات افزایش مقیاس فیلترها

نحوه محاسبه و توضیحات لازم	مقیاس
<p>مرحله چهارم- تعیین وزن جامد در واحد حجم پالپ این مشخصه با رابطه زیر به دست می‌آید:</p> $C_c = \frac{C_{pulp}}{1 - \left(\frac{M_w}{M_{cake}} - 1\right) \left(\frac{C_{pulp}}{\rho_f}\right)} \quad (113-3)$ <p>که در آن:</p> <p><math>C_{pulp}</math> وزن جامد پالپ در واحد حجم پالپ (کیلوگرم بر مترمکعب)  <math>\rho_f</math> جرم مخصوص سیال  <math>M_w</math> وزن آب  <math>M_{cake}</math> وزن کیک</p>	آزمایشگاهی به واحد صنعتی
<p>مرحله پنجم- تعیین غلظت حجمی کیک این مشخصه با رابطه زیر به دست می‌آید:</p> $C_{Vcake} = \frac{\frac{x}{\rho_s}}{\frac{x}{\rho_s} + \frac{(1-x)}{\rho_f}} \quad (114-3)$ <p>که در آن:</p> <p><math>\rho_s</math> جرم مخصوص جامد  <math>X</math> درصد جامد در پالپ</p>	
<p>مرحله ششم- تعیین سطح فیلتر با توجه به دبی پالپ ورودی به فیلتر، از رابطه زیر می‌توان برای تعیین سطح مقطع فیلتر استفاده کرد:</p> $A = \frac{V_f}{\sqrt{\frac{2\Delta P_f \times t}{a \times \mu \times C_c}}} \quad (115-3)$ <p>که در آن:</p> <p><math>A</math> سطح فیلتر (مترمربع)  <math>V_f</math> حجم آب خارج شده از فیلتر (مترمکعب)  <math>\Delta P_f</math> افت فشار (نیوتن بر مترمربع)  <math>t</math> زمان فیلتراسیون (ثانیه)  <math>\alpha</math> مقاومت کیک (متر بر کیلوگرم)  <math>\mu</math> ضریب گرانروی دینامیکی (کیلوگرم بر متر در ثانیه)  <math>C_c</math> وزن جامد در واحد حجم پالپ (کیلوگرم بر مترمکعب)</p>	





جدول ۳-۳۳- مشخصات فیلتراسیون و محدوده کاری فیلترهای رایج

مشخصات پالپ					مشخصات فیلتراسیون
۰٫۱	۱	۱-۱۰	۱۰-۲۰	۲۰	درصد جامد
بدون کیک	۰٫۰۲	۰٫۱۷	۰٫۳۳	۲۰	سرعت تشکیل کیک (میلی متر بر ثانیه)
۲۵	۵۰	۵۰۰	۳۰۰۰	۳۰۰۰	ظرفیت تشکیل جامد خشک (کیلوگرم بر متر مربع در ساعت)
۵۰-۵۰۰۰	۵۰۰-۵۰۰۰	۱۰۰	۱۰۰۰	۱۵۰۰	سرعت فیلتراسیون (کیلوگرم بر متر مربع در سیکل)
				√	فیلتر ثقلی (آزاد)
				√	فیلتر تغذیه شونده از بالا
			√	√	فیلتر استوانه‌ای
			√	√	فیلتر نواری
			√		فیلتر دیسکی
√	√				فیلتر با پوشش اولیه
√	√	√			فیلتر خودکار فشاری





## 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](http://nezamfanni.ir) قابل دستیابی می‌باشد.

امور نظام فنی و اجرایی



Islamic Republic of Iran  
Management and Planning Organization

# Guideline for scale up in Mineral Processing Plants

**No. 670**

Office of Deputy for Strategic Supervision  
Department of Technical and Executive Affairs

[nezamfanni.ir](http://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>



[omoorepeyman.ir](http://omoorepeyman.ir)

## این نشریه

اصول کلی و اطلاعات لازم برای افزایش مقیاس بعضی  
از تجهیزات در کانه‌آرایی را ارائه می‌دهد.

