دانشگاه شهید باهنر کرمان
دانشکده فنی مهندسی
بخش مهندسی معدن

جزوه درس

انتقال مواد در فرآیندهای فرآوری

صمد بنیسی

استاد فرآوری مواد معدنی

بهمن ۱۳۹٤

فصل اول

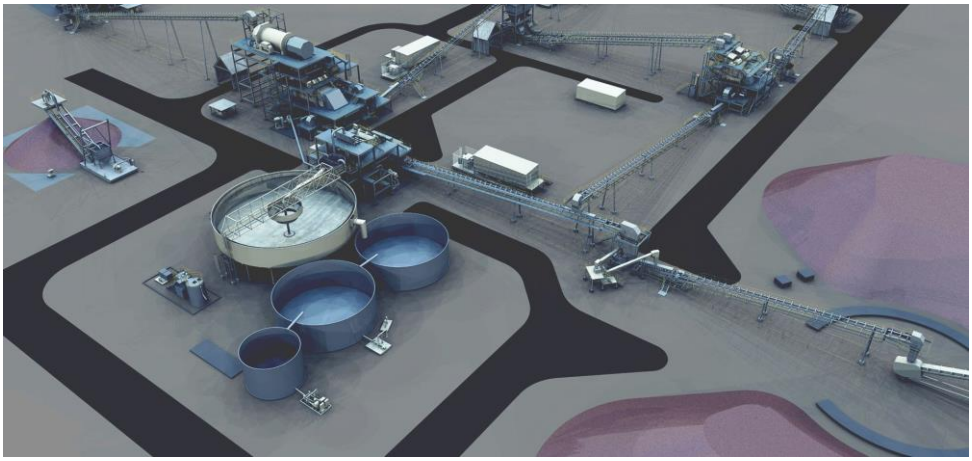
مقدمه ای بر

انتقال مواد در فرآیندهای فرآوری

مقدمه

در صنعت معدنکاری و فرآوری مواد معدنی انتقال کانه یکی از موارد کلیدی می‌باشد و معمولاً بین ۳۰ تا ۶۰ درصد قیمت نهایی مواد خام مربوط به‌این بخش است.

انتقال کانه شامل حمل (با کامیون، نوار نقاله، ناو و ...)، انبار کردن، خوراک دهی، شستن کانه در راه یا طی مراحل مختلف است. تصویر شماره ۱-۱، یک کارخانه فرآوری مواد معدنی را نشان می‌دهد که در آن از اجزای مختلف مبحث انتقال کانه استفاده شده است.



شکل ۱-۱ : نمایش سه بعدی از یک کارخانه فرآوری مواد معدنی

شستن کانه

دلایل شستن کانه عبارتند از:

۱) گرفتن ذرات ریز به دلیل جلوگیری از چسبندگی و گرفتگی و سخت شدن انتقال کانه

۲) آماده سازی برای سنگ جوری

۳) جداسازی مواد ریز و سیلیس (در زغال برای کاهش میزان خاکستر)

سنگ جوری

عبارت است از جداسازی کانی‌ها براساس رنگ، جلا، شکل و خواص ظاهری آن با روش‌های دستی و الکترونیکی

انواع روش‌های سنگ جوری

۱) دستی: شناسایی به وسیله چشم و تشخیص به وسیله مغز و جداسازی با دست انسان. به عنوان مثال در زغال سنگ برای جدا کردن چوب و مواد مزاحم.

شکل ۱-۲ : سنگ جوری به روش دستی

۲) دستگاهی یا الکترونیکی: گرفتن فیلم از کانه به صورت دانه دانه و مقایسه آن با کتابخانه از پیش تعیین شده و سپس جدا کردن به وسیله دستگاه. به عنوان مثال در الماس که عیار کانه آن کم است و همچنین در مورد مواد رادیواکتیو ازسنگ جوری الکترونیکی استفاده می‌شود.

شکل ۱-۳ : سنگ جوری به روش دستگاهی یا الکترونیکی

به مواد غیر قابل سوختن و یا مواد غیر زغالی در زغال سنگ خاکستر می‌گویند که وجود آن باعث کاهش کیفیت زغال می‌شود. شستن اولیه ذغال سنگ باعث افزایش در کیفیت محصول می‌شود.

شوت‌ها

به سطوح شیبدار و تند در زیر مخازن که باعث هدایت مواد برروی خوراک دهنده‌ها می شوند، شوت می‌گویند که درانواع آهنی و لاستیکی موجود می‌باشند.

شکل ۱-٤ : شوت‌ها در صنعت فرآوری مواد معدنی

اهمیت شیب شوت ازاین نظر ا ست که اگر شیب زیاد با شد نمی‌توان مواد را کنترل کرد و اگر کم با شد نمی‌توان مواد را حرکت داد.

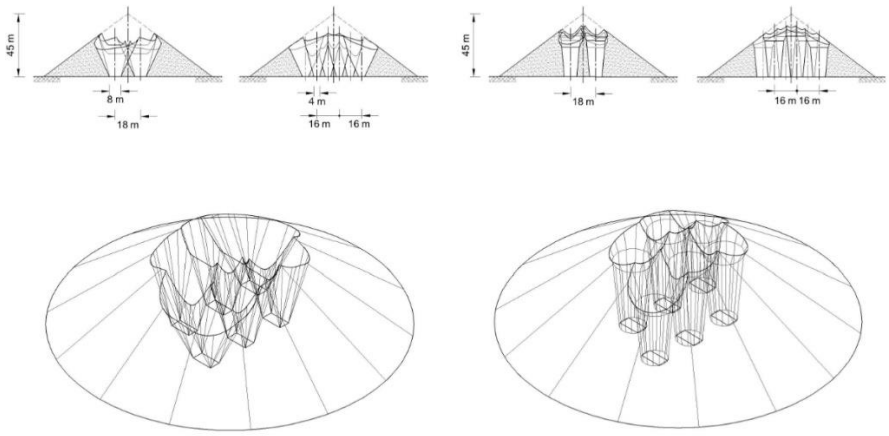
چینش مواد در انبارهای مواد معدنی

یکی از موارد مهم در مبحث انتقال مواد معدنی انبارها و مخازنی هستند که مواد در آنها ذخیره سازی می‌شوند. شکل ۱-۵ یک انبار توده‌ای مواد معدنی (stockpile) را نشان می‌دهد. دراین ذخایر چینش مواد از لحاظ اندازه بسیار حائز اهمیت می‌باشد.

شکل ۱-۵ : انبار توده‌ای مواد معدنی (stockpile)

حجم زنده مواد به حجمی‌گفته می‌شود که اگر خوراک دهنده کار کند آنها حرکت می‌کنند وحدود ۲۵ درصد مواد را تشکیل می‌دهند.

حجم مرده به حجمی‌از مواد گفته می‌شود که در بین حجم زنده قرار می‌گیرند و چنانچه خوراک دهنده‌ها هم کار بکنندااین حجم حرکت نمی‌کند و حدود ۷۵ درصد حجم مواد را تشکیل می‌دهند. شکل ۱-٦ و شکل ۱-۷، به ترتیب نمایشی از حجم زنده و حجم مرده را در stockpile و مخازن (bins) نشان می‌دهند.



شکل ۱-٦ : نمایشی از حجم‌های زنده و مرده در stockpile

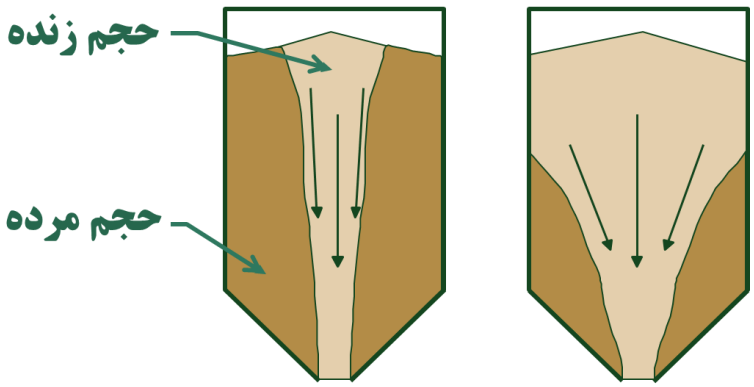
یکی از مشکلاتی که حجم مرده در کارخانه‌ایجاد می‌کند در رابطه با کانه‌های سولفیدی رخ می‌دهد چرا که در کانه‌های سولفیدی افزایش اکسیداسیون باعث بی تاثیر شدن روش فلوتاسیون ستونی می‌شود و بنابراین باعث کاهش بازیابی تا ۲۵ درصد می‌گردد.

موارد موثر در نسبت حجم زنده به حجم مرده مواد:

۱) شیب شوت‌ها

۲) تعداد خوراک دهنده‌ها

۳) هندسه انبار مواد



شکل ۱-۷ : نمایشی از حجم زنده و مرده در مخازن مواد معدنی (bins)

آتشباری در معادن

آتشباری عبارت از خرد کردن سنگ در محل معدن توسط مواد منفجره می‌باشد (شکل ۱-۸). دلیل اصلی آتشباری در معادن راحتی حمل مواد است.

شکل ۱-۸ : آتشباری در معادن

در یک معدن همواره باید بین عملکرد معدن و کارخانه فرآوری هماهنگی وجود داشته باشد چرا که کارایی فرآیندهای پایین دستی به فاصله چال‌ها و خرج ویژه بستگی دارد. از آنجا که خرد کردن بیش از حد باعث شده تا مواد بدون خوردن ضربه از سنگ‌شکن عبور کنند و بدون‌ایجاد ریز ترک در آسیا حضور یابند، نتیجه کاهش کارایی آسیا و فرآیندهای پایین دستی شوند. دراینده عیار تعیین کننده استخراج نیست زیرا عیار را می‌توان با اضافه کردن مواد در کارخانه تغییر داد، بلکه در حقیقت سختی سنگ تعیین کننده نحوه استخراج است. به‌این دلیل که گلوگاه کارخانه، خردایش می‌باشد پس طرح استخراجی باید براساس قابلیت خردایش سنگ یا سختی سنگ تعیین شود.

شاخص سختی سنگ معدن (SPI)

کمیتی است که نشان دهنده سختی سنگ و قابلیت خرد شدن سنگ می‌باشد.

SPI مدت زمانی است که طول می‌کشد تا یک سنگ را در یک آسیای استاندارد به یک اندازه معین رساند. هر چه SPI بیشتر باشد سختی سنگ بیشتر است زیرا زمان زیادی صرف خردایش آن شده است (SPI برحسب دقیقه می‌باشد).

شکل ۱-۹ : آسیای آزمایشگاهی مربوط به آزمایش تعیین شاخص سختی سنگ معدن (SPI)

از آنجا که گلوگاه کارخانه مدار آسیا کنی می‌باشد، توان آسیای نیمه خودشکن مورد نیاز و یا قطر آسیای مورد نیاز بر اساس میزان SPIمتوسط ۸۰ درصد وزنی مواد اندازه گیری می‌شود.

آتشکاری در معادن

پیشرفت‌هایی که درآتشکاری با بکارگیری چاشنی‌هایی با تاخیر چند میلی‌ثانیه‌ای و مواد منفجره پلاستیکی حاصل شده تا شکست سنگ قابل قبول‌تر گردد (شکل ۱-۱۰).

الف ب

شکل ۱-۱۰ : آتشکاری با چاشنی‌های الف) معمولی و ب) تاخیری

قطعات بزرگ بعد از آتشکاری یا باید به وسیله پیکور خرد شوند و یااینکه مجدداً آتشباری روی سنگ به منظور حمل و نقل بهتر انجام شود (شکل ۱-۱۱).

شکل ۱-۱۱ : خردایش مجدد روی قطعات بزرگ سنگ باقی مانده از آتشکاری اولیه

اندازه بزرگترین سنگ‌های آتشکاری شده در معادن روباز تا ۱/۵ متر نیز می‌رسد. در معادن با تناژ ورودی بالا برای انتقال مواد به سنگ شکن از تراک‌هایی تا ظرفیت ٤۰۰ تن (شکل ۱-۱۲) نیز استفاده می‌شود.

شکل ۱-۱۲ : تراک‌هایی تا ظرفیت ٤۰۰ تن

انتقال مواد به بخش سنگ شکنی اولیه

در صورتی که دامنه دانه‌بندی وسیع باشد، مواد درشت و ریز در هم چفت می‌شوند و ضریب جورشدگی با پر شدن فضای خالی ذرات درشت توسط ذرات ریز افزایش می‌یابد و پس از انبار کردن راه‌اندازی مجدد آن سخت می‌شود و به همین خاطر سعی می‌شود به جای بکارگیری سیستم‌های پیچیده انبار و خوراک دهی، از کامیون برای انتقال مستقیم به سنگ شکن استفاده شود (شکل ۱۳-۱).

شکل ۱-۱۳ : استفاده از کامیون برای انتقال مواد معدنی به واحد سنگ شکنی

سنگ شکن‌های جدید (شکل ۱-۱٤) سنگ‌هایی تا قطر ۲ متر را خرد می‌کنند، بنابراین کمتر به آتشباری مجدد نیاز پیدا می‌کنیم.

شکل ۱-۱٤ : یک سنگ شکن ژیراتوری بسیار بزرگ با قابلیت خرد کردن سنگ‌هایی با اندازه ۲ متر

در معادن زیرزمینی، سنگ معدن استخراجی ریزتر وهمگن‌تر از روباز است که دراین حالت جابجایی و انبار کردن مواد راحت‌تراست.

شکل ۱-۱۵ : تجهیزات جابجایی مواد در معادن زیر زمینی

مواد مزاحم ورودی به فرآیند

معمولاً مواد مزاحمی‌که از معدن وارد کارخانه فرآوری می‌شوند (که در مواردی باعث آسیب جدی به تجهیزات می‌شوند)، شامل چوب، فلزات و زباله می‌باشد.

در میان سنگ استخراجی از معدن معمولاً بخش بسیار کوچکی وجود دارد که برای تجهیزات فرآوری زیان آور است. به عنوان مثال تکه‌های فلز (شکل ۱-۱۶) کنده شده از ماشین آلات (ناخن بیل مکانیکی، قطعات بشکه و ...) باعث گرفتگی سنگ شکن‌ها و در برخی موارد شکستن قطعات در آن‌ها می‌شوند.

شکل ۱-۱۶ : قطعات فلزی ورودی به کارخانه از معدن

دلایل مزاحم بودن چوب در کارخانه:

۱) انسداد شوت‌ها

۲) با جذب مواد شیمیایی مورد مصرف در فلوتاسیون خود باعث افزایش مصرف ماده شیمیایی و کاهش کارایی فلوتاسیون می‌شود.

۳) گرفتگی روزنه سرند (شکل ۱-۱۷)

٤) گرفتگی دریچه‌های سلول فلوتاسیون ستونی

شکل ۱-۱۷ : ذرات چوب و زباله که باعث گرفتگی چشمه‌های سرند شده است.

علاوه بر چوب و فلزات، رس و نرمه چسبیده به ماده معدنی به دلیل کاهش کارایی سرند کنی، مشکلات فیلتر کردن و تیکنر و افزایش مصرف مواد شیمیایی به دلیل افزایش سطح خارجی جذب مواد ریز جزء مواد مزاحم به شمار می‌روند.

جداکردن مواد مزاحم از مواد معدنی

جداکردن مواد مزاحم باید در مراحل ابتدایی فرآیند انجام شود. در قدیم از سنگ جوری استفاده می‌شد و در سیستم‌های جدید سنگ جوری توسط دستگاه‌های جدید و تمام خودکار انجام می‌شود.

آیا در معدن مس سرچشمه سنگ جوری (به منظور افزایش کیفیت سنگ معدن) کاربرد دارد؟ خیر، زیرا سنگ معدن مس سرچشمه از نوع کانسار پورفیری است و در سنگ‌های پورفیری، آزاد سازی کانی با ارزش در حد ۳۰-۴۰ میکرون انجام می‌شود.

مشکلات‌ایجاد شده در اثر ورود فلزات به سنگ شکن

هر بار گرفتگی فلز در سنگ شکن باعث می‌شود که سنگ شکن حدود ۱۰ ساعت از کار بیفتد. شکل ۱-۱۸ قطعات معمول را که باعث توقف مدار سنگ شکنی می‌شود، را نشان می‌دهد.

شکل ۱-۱۸ : قطعات فلزی با احتمال بالای متوقف کردن سنگ‌شکن

دلایل گرفتگی سنگ شکن:

۱) گیر افتادن قطعات فلزی در سنگ شکن

۲) افتادن تسمه سنگ شکن

۳) افتادن تسمه سرند: دراین صورت با از کار افتادن سرند همه مواد با هم به داخل محفظه سنگ شکن می‌ریزند و در صورتی که مواد ریزتر از روزنه خروجی سنگ شکن به مقدار زیادی در محفظه وجود داشته باشد، باعث گرفتگی سنگ شکن می‌شود.

شکل ۱-۱۹ : صدمه قطعات فلزی در داخل سنگ شکن

مشکلات مکانیکی گرفتگی:

۱) ضربه به شاسی، الکتروموتور

۲) از بین رفتن تسمه سنگ شکن

۳) فشار و ضربه به جک‌های هیدرولیکی

٤) ضربه به مخروط و زره سنگ شکن

جلوگیری از ورود مواد مزاحم

با توجه به تمام مشکلاتی که‌این مواد مزاحم برای فرآیند به وجود می‌آورند، بهترین راه حل جلوگیری از ورودواین گونه از اشیا مزاحم به تجهیزات می‌باشد.

تجهیزات جلوگیری از ورود فلز:

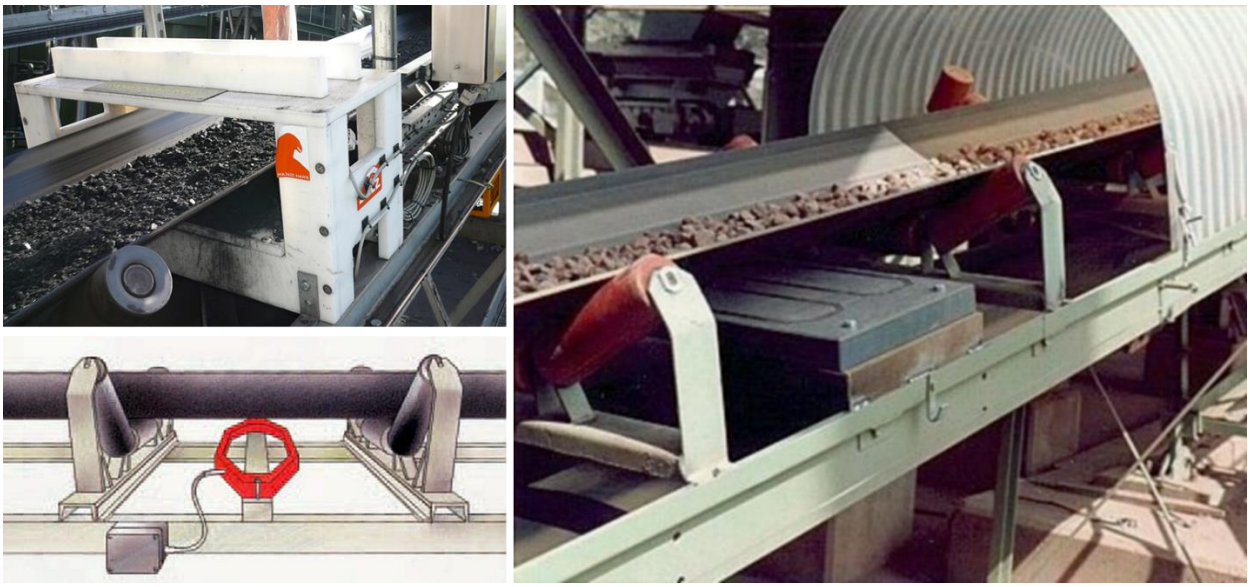
۱) آهنربا Magnet

۲) آشکار ساز فلز Metal detector

در مدار سنگ شکنی به هنگام ورود مواد معدنی به داخل سنگ شکن (نوار نقاله خوراک دهنده به سنگ شکن) ابتدا از آهنربا و سپس از آشکار ساز فلز استفاده می‌شود. چرا که آهنربا عمل جداسازی را بدون توقف نوار انجام می‌دهد.

شکل ۱-۲۰ : انواع مختلف آهنربا

شکل ۱-۲۱ : آهنرباهای در جا



شکل ۱-۲۲ : سه نوع متفاوت آشکارسازهای فلز (Metal detectors)

بهتر است از جداکننده مغناطیسی بالای مواد در محل ریزش استفاده شود زیرا دراین مکان مواد از هم باز شده و عمل جداسازی بهتر انجام می‌شود.

شکل ۱-۲۳: قرارگیری جدا کننده مغناطیسی در محل ریزش بار

تجهیزات جلوگیری از ورود فلزات به مسیر سنگ شکنی

در مرحله اول از جداکننده مغناطیسی برای سنگ معدن آهن و برای فلزات غیر آهنی نمی‌تواند کاربرد داشته باشد به همین دلیل بعد از آن از آشکار کننده فلز که هدایت الکتریکی مواد در حال انتقال را اندازه گیری می‌کند، استفاده می‌شود.

برداشتن قطعه فلز از روی نوار نقاله

جداکننده‌های مغناطیسی معمولاً به صورت پیوسته کار می‌کند و به طور خودکار مواد جمع شده را کنارمی‌گذارد آشکار کننده‌های مغناطیسی زمانی مواد را جدا می‌کنند که هدایت الکتریکی فلزات خیلی بیشتر از سنگ معدن بوده و هر گونه نوسانی را تشخیص میدهد و سپس با پاشش آب و یا رنگ مواد را شناسایی کرده و سپس توسط کارگران جمع آوری می‌گردد.

آشکار ساز فلز اطراف نوار میدان مغناطیسی‌ایجاد می‌کند و اگرهادی عبور کند ولتاژی القا می‌کند و سپس توسط بوق زدن و یا پاشش رنگ کارگر می‌تواند قطعه را بردارد، مشکل‌این روش‌این است که از زمانی که تشخیص می‌دهد هدایت الکتریکی زیاد شده و قطعه فلزی عبور کرده تا زمانی که عمل می‌کند، تاخیری وجود دارد. پس باید سکویی قرار دهیم تا کارگر مواد را از روی آن بردارد که همواره بین سرعت نوار نقاله واین که سکو در چه فاصله‌ای قرارگیرد رابطه برقرار کنیم.

شکل ۱-۲٤: پاشش رنگ در محلی که فلز تشخیص داده شده است.

شستشوی سنگ معدن

۱) کار سنگ جوری را راحت تر می‌کند.

۲) برای جدا سازی ذرات ریز یا رس از کانه بکار می‌رود، چراکه ظرفیت و بار آسیاکنی را کاهش می‌دهد.این ذرات ریز اگر ارزش اقتصادی داشته باشد، به جای‌اینکه به بخش سد باطله راه یابد به جلوی آسیا هدایت می‌شود . رس میتواند به دلیل چسبندگی بالای آن باعث جلوگیری از انتقال مواد گردد.

۳) انتقال مواد را راحت تر می‌کند و باعث عدم گرفتگی روزنه‌ها می‌شود.

٤) معمولاً توسط افشانه‌های آب فشار بالا که روی سرندهای لرزانی قرار دارد استفاده می‌شود.

۵) از آب شفاف به اصطلاح آب آتشفشانی استفاده می‌کنیم نه آب برگشتی چرا که آب برگشتی بدلیل وجود آهک باعث گرفتگی روزنه‌ها می‌شود.

٦) واپاشی کیک تولید شده در HPGR را در آسیا و یااین که با استفاده از سرند و پاشیدن آب روی آن انجام می‌دهیم.

شکل ۱-۲۵ : سرندهای شستشوی مواد معدنی

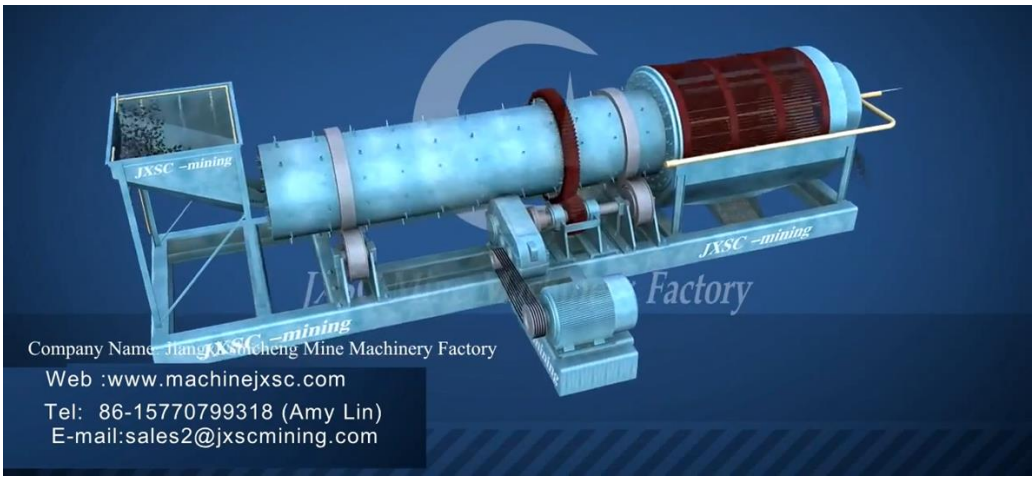
جداکننده مارپیچی

محل ورود خوراک به جداکننده مارپیچی از وسط آن می‌باشد و دلیل استفاده از آب تمیز کننده‌این است که ذرات ریز به سمت پایین بر می‌گردد که بخصوص در ماسه شویی استفاده می‌شود چرا که اگر در ماسه شویی رس وجود داشته باشد قیمت شدیدا کاهش می‌یابد و از جمله مزایای جداکننده مارپیچی‌این است که هم مواد را بالا می‌برد و هم بستر را باز می‌کند.

شکل ۱-۲۶ : جداکننده مارپیچی

تمیز کننده یا واپاشش (Scrubbers)

در کارخانه‌ای که آسیا نباشد و هدف ما جدایش ثقلی باشد از استوانه‌ای موسوم به تمیز کننده استفاده می‌کنیم. استوانه‌های گردانی هستند که درون آن آب وجود داشته و مواد در داخل آن حرکت کرده و در خروجی استوانه مواد از هم پاشیده شده و جداسازی صورت می‌گیرد.



شکل ۱-۲۷ : تمیز کننده (Scrubbers)

شمای عملیات کارخانه شستشو عبارت است از :

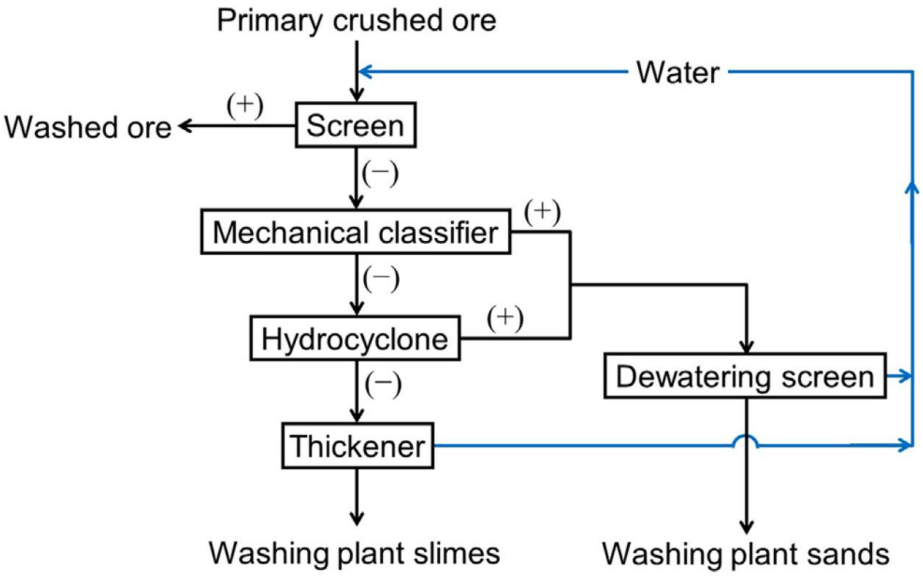
۱) سرند شستشوی محصولات سنگ شکن

۲) کلاسیفایر مکانیکی

۳) هیدروسیکلون

٤) سرند ماسه ساز

۵) تیکنر



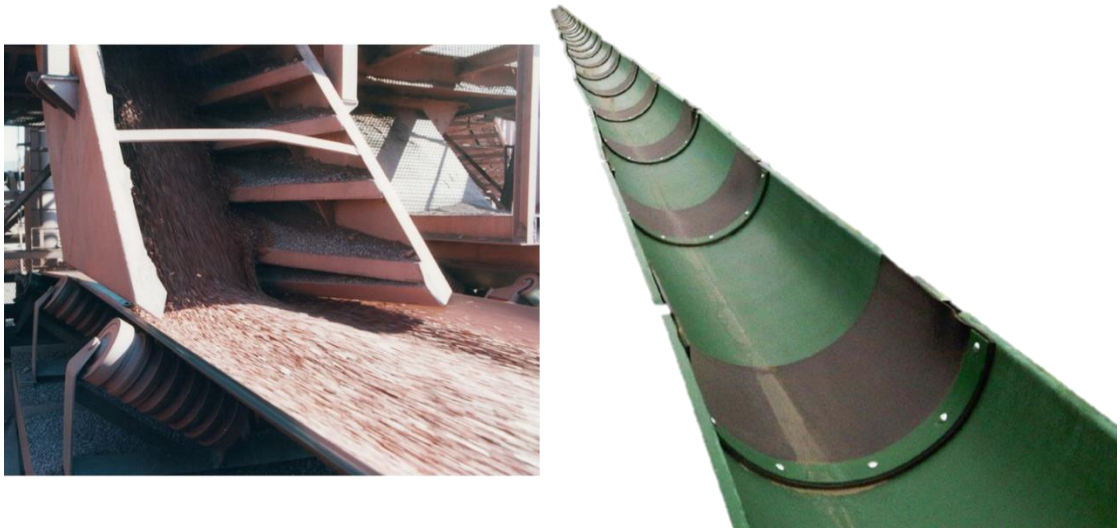
شکل ۱-۲۸ : شمای عملیات معمول کارخانه‌های شستشو

فصل دوم

تجهیزات انتقال مواد در کارخانه فرآوری

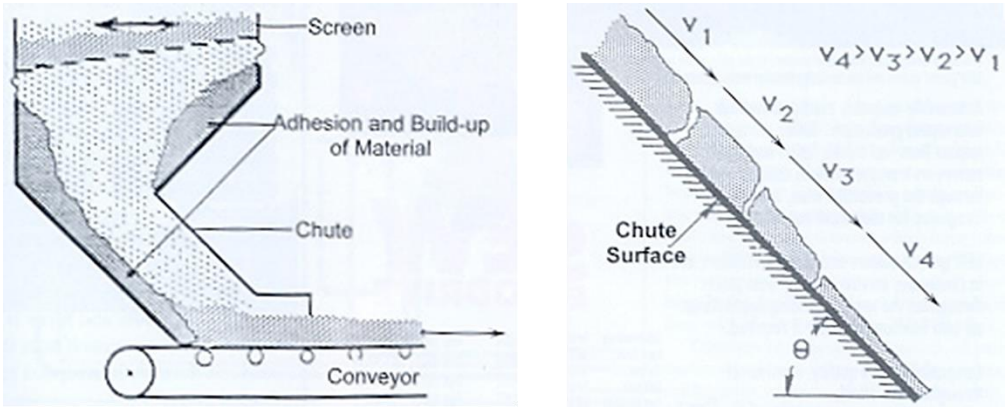
شیب تند یا سرسره (Chutes)

حمل سنگ معدن خشک از طریق شیب تند به شرط وجود شیب کافی برای لغزش آسان و عدم وجود شیب‌های تند امکان‌پذیر است. به عبارتی زاویه، تعیین کننده میزان انتقال مواد می‌باشد. مهمترین عامل در آن زاویه و جنس سطحی که مواد روی آن حرکت می‌کند می‌باشد.



شکل ۲-۱ : شیب تند یا سرسره به منظور جابجایی مواد معدنی (Chutes)

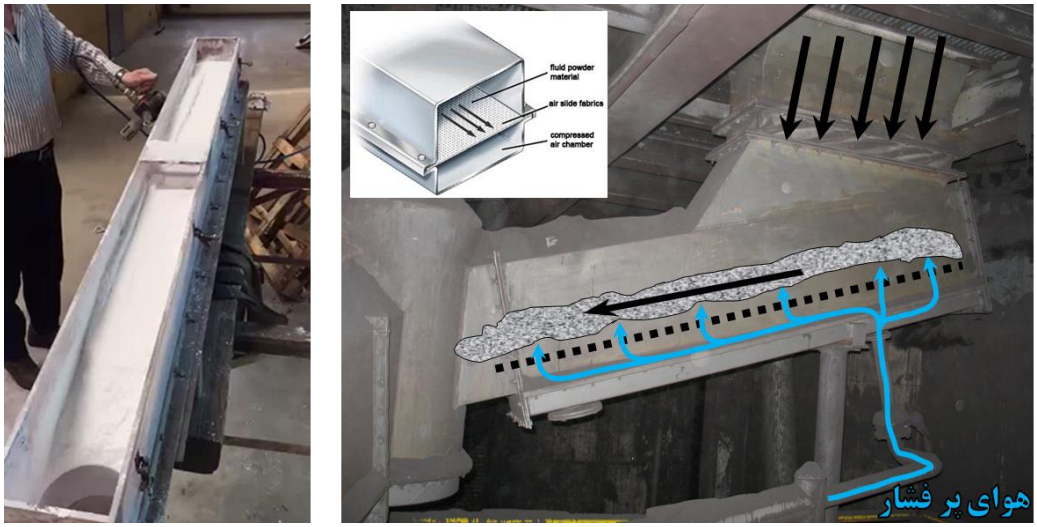
شیب برای صفحه فولادی ۱۵ تا ۲۵ درجه و برای سنگ معدن ٤٥ تا ٥٥ درجه می‌باشد شیب بیش از حد باعث عدم کنترل مواد می‌شود و شیب کم باعث عدم حرکت مواد می‌شود.



شکل ۲-۲ : اهمیت محاسبه شیب مناسب برای سرسره‌ها

کانال‌های هوارو (Air slide)

در مواردی برای انتقال مواد به جای آب از هوا استفاده می‌شود که معمولاً از یک مکنده در قسمت انتهایی و یک دمنده در قسمت ابتدایی تشکیل شده است. ولی دراین روش بجای مکنده، مواد توسط شیب حدود ۱۵ تا ۲۰ درجه توسط هوای فشرده که در قسمت زیرین سطح بستر قرار دارد جابجا می‌شوند. در صورت افت فشار روزنه‌هایی که هوا توسط آن خارج می‌شود دچار گرفتگی شده و انتقال را با مشکل روبرو می‌سازد. از مشکلات دیگر آن رطوبت مواد می‌باشد که بدین منظور برای رفع‌این مشکل از یک مشعل در قسمت ابتدایی استفاده می‌شود.

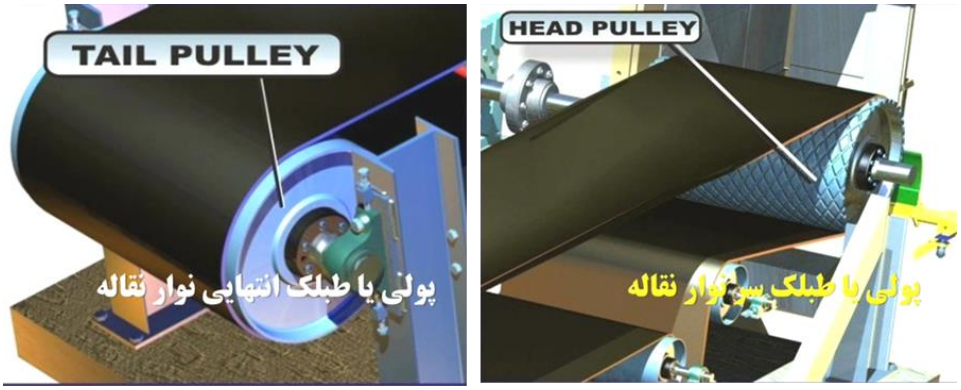


شکل ۲-۳ : کانال‌های هوارو (Air slide)

سیستم انتقال مواد توسط نوار نقاله

متداول ترین روش انتقال مواد نوار نقاله می‌باشد. نوار به صورت انعطاف پذیر بوده که بر روی دو قرقره یا دو پولی و یا طبلک سوار می‌باشد و به یک موتور برای حرکت در یک جهت وصل می‌باشد.

شکل ۲-٤ : نوار نقاله



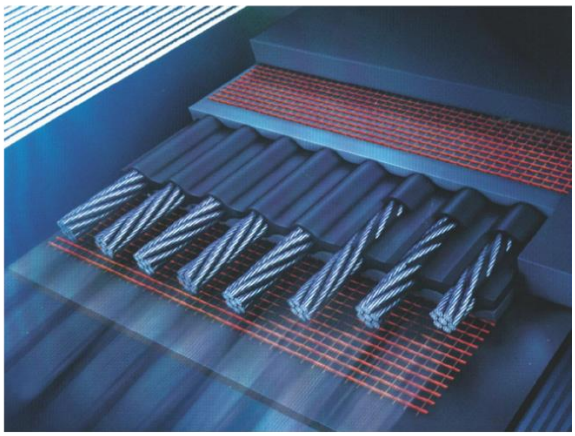
شکل ۲-۵ : پولی و طبلک‌های ابتدا و انتهای نوار نقاله

نوار بایستی به اندازه کافی تحت کشش قرارگیرد تا با قرقره حرکت دهنده تماس کافی برقرار کند.

شکل ۲-٦ : یک نوار نقاله بسیار طولانی

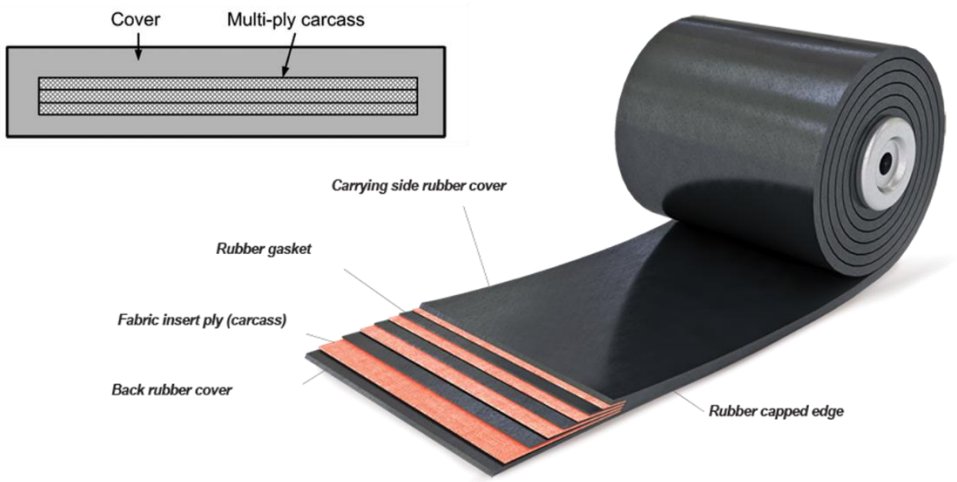
زیر دوزی نوار نقاله

زیر دوزی نوار بایستی به‌اندازه کافی باشد که بتواند کشش‌های نوار و ضربه یا حتی کرنش ناشی از بار گذاری را تحمل کند.



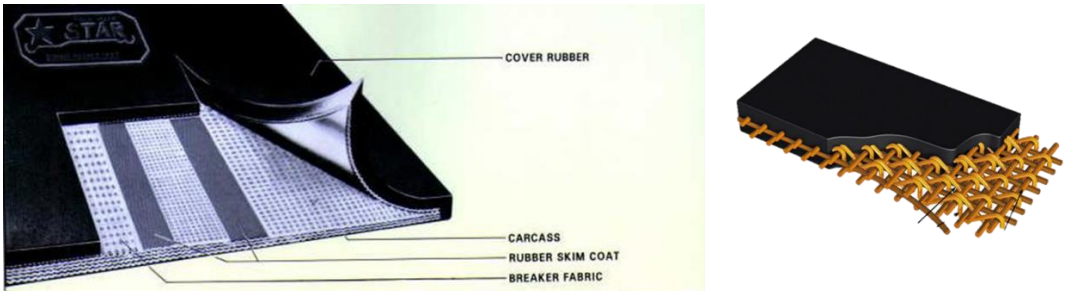
شکل ۲-۷ : زیر دوزی نوار نقاله

زیر دوزی‌ها به انواع مختلفی دسته‌بندی می‌شوند از جمله :یک لایه, چند لایه, کتان, نایلون, پشم, لاستیک و فولاد



شکل ۲-۸ : نوار نقاله چند لایه

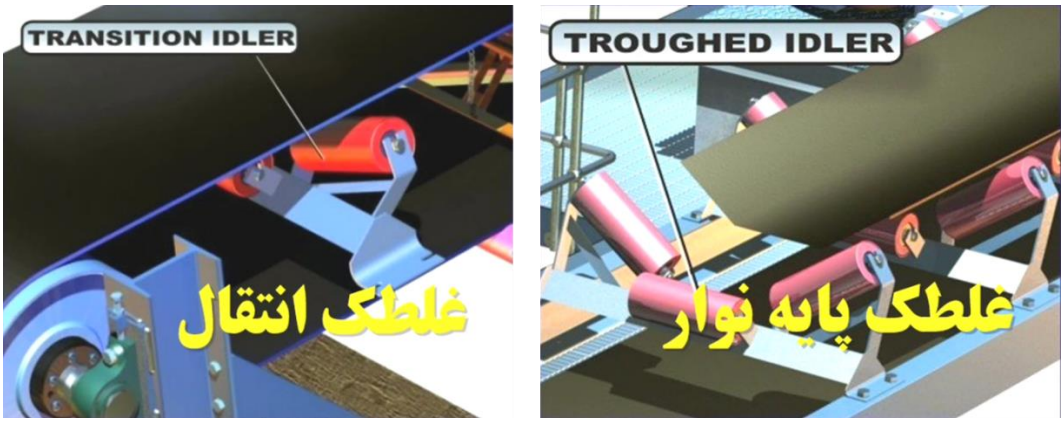
تعمیرات زیر دوزی معمولاً به صورت مکانیزه با حرارت دهی و بسط فلزی صورت می‌گیرد.



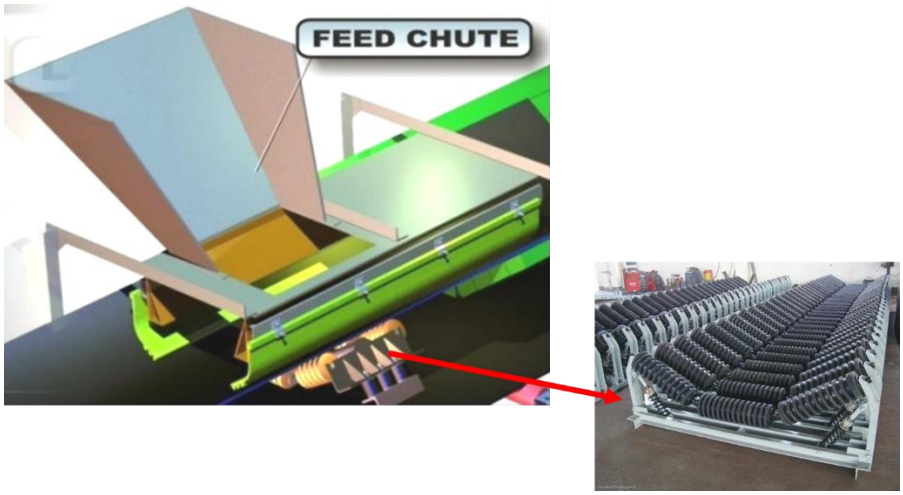
شکل ۲-۹ : تعمیرات زیردوزی نوار نقاله

گودساز یا هرزگرد

غلتک‌هایی هستند که نوار نقاله بر روی آن‌ها سوار است و شروع به حرکت می‌کنند. هرزگردها به انواع مختلفی دسته‌بندی می‌شوند که معمولاً از دو دسته کلی هرزگردهای عادی که نوار نقاله بر روی آن قرار دارد و دیگری هرزگردهای ضربه‌گیر در محل ورود ریزش مواد قرار داده می‌شوند تقسیم‌بندی شده‌اند.



شکل ۲-۱۰ : هرزگردهای عادی



شکل ۲-۱۱ : هرزگردهای ضربه‌گیر

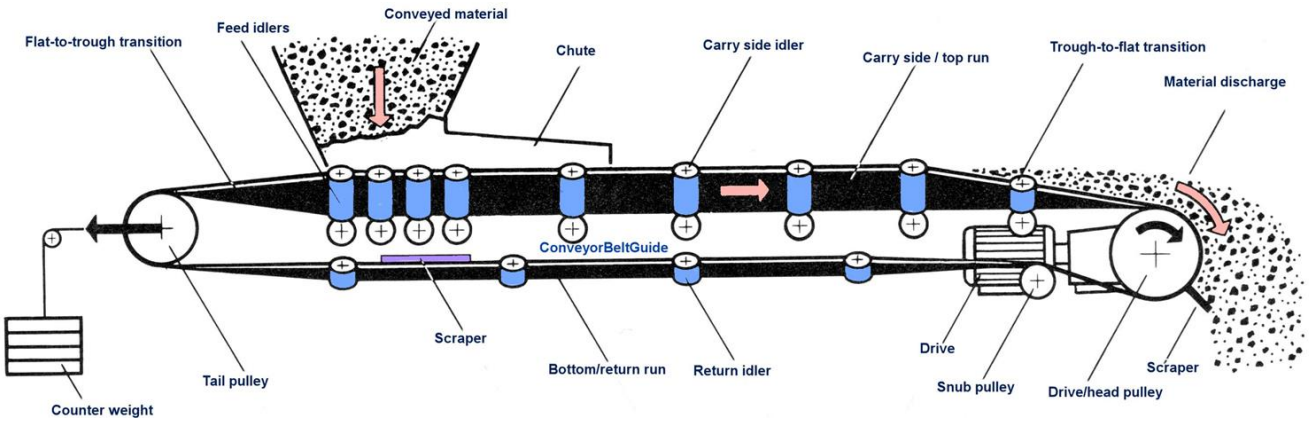
فاصله هرزگردها در زیر نوار نقاله بایستی به طور بیشینه باشد به طوری که در اثر فشار زیاد مواد خم ویا شکم‌ایجاد نکند.

هرزگردهای برگشتی

محل قرارگیری آن زمانی است که نوار نقاله بر میگردد .همواره تعداد آن از تعداد هرزگردهای رفت کمتر می‌باشد چون مواد روی آن قرار ندارد.

شکل ۲-۱۲ : هرزگردهای برگشتی

قبل از اینکه نوار نقاله برگردد بایستی به صورت کامل تمیز گردد چرا که در صورت وجود مواد چسبیده به آن باعث سایش هرزگردها و یا حتی منحرف شدن نوار نقاله می‌شود.



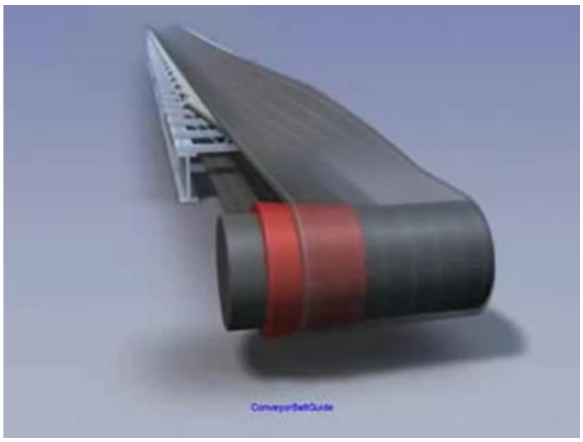
شکل ۲-۱۲ : اجزای مختلف نوار نقاله

مشکلات مواد باقی مانده روی نوار پس از تخلیه

الف: انحراف نوار

ب: سایش هرزگردها

ج: House keeping problems (همواره باید ۱-۲ نفر کارگر برای جاروب کردن مواد قرار دهیم).



شکل ۲-۱۳ : انحراف نوار

شکل ۲-۱٤ : سایش هرزگردها

دلایل انحراف نوار

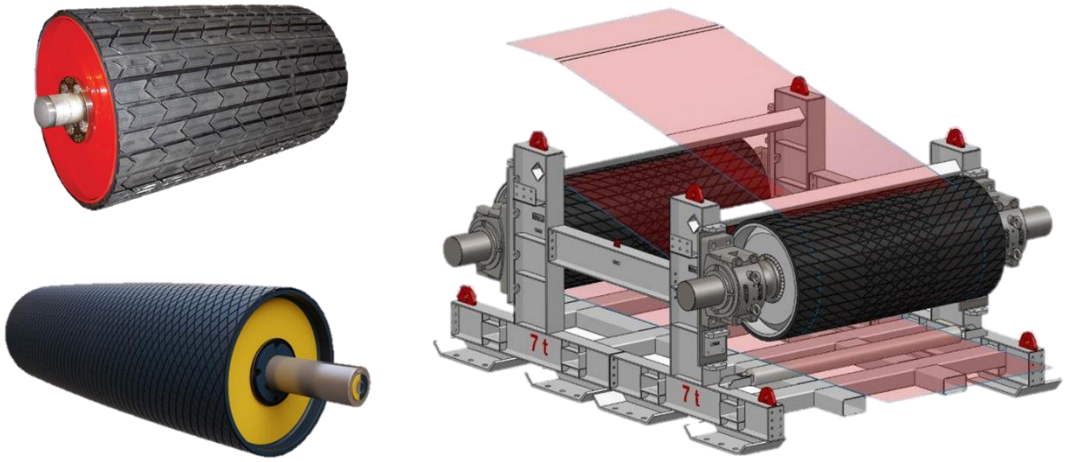
الف: نشست زمین

ب: با افزایش تعداد نقاط باردهی احتمال انحراف هم بیشتر می‌شود.

در برخی موارد به غلطک کنار نوار نقاله حس گر متصل می‌کنند تا وقتی نوار به حس گر برخورد کرد افراد را متوجه می‌کند که نوار منحرف شده است.

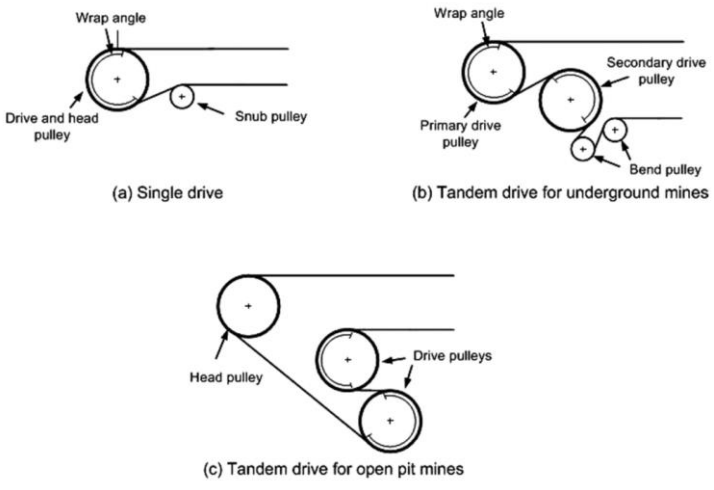
شکل ۲-۱۵ : غلطک راهنما

طبلکی که به موتور متصل است و عامل انتقال انرژی می‌باشد باید همواره آج دار باشد تا نوار روی آن سر نخورد و نیرو به نوار منتقل شود.

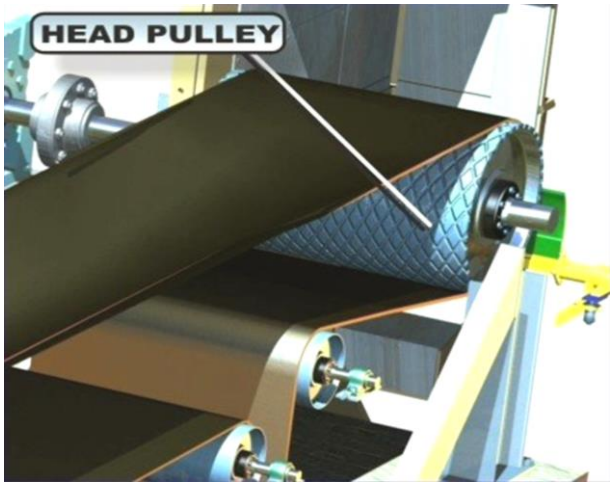


شکل ۲-۱۶ : طبلک آج دار جلوگیری از حرکت‌های جنبی نوار نقاله

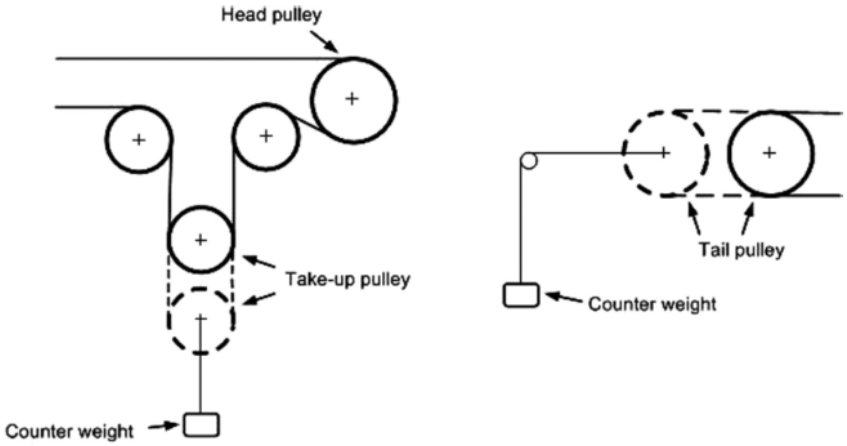
کشش نوار از مهم ترین نکاتی است که باید به آن توجه داشت.



شکل ۲-۱۷ : روش‌های ایجاد کشش در نوار نقاله



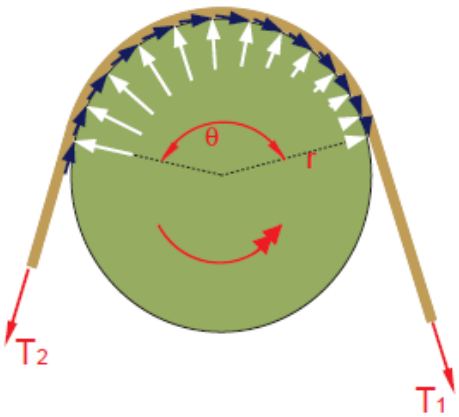
شکل ۲-۱۸ : آج دار بودن غلطک‌ها به همراه تحت کشش بودن نوار به حرکت نوار نقاله کمک زیادی می کند



شکل ۲-۱۹ : وزنه‌هایی که به منظور اعمال کشش به نوار بکار می‌روند

زاویه پوشش نوار نقاله

عبارت است از زاویه‌ای که نوار طی آن زاویه روی طبلک قرار می‌گیرد و هرچه این زاویه بیشتر شود یعنی تماس نوار روی طبلک بیشتر می‌شود و مناسب‌تر می‌باشد که این افزایش زاویه پوشش با استفاده از هرزگرد نوار سفت‌کن می‌باشد. هرچه این هرزگرد را بالاتر ببریم زاویه پوشش افزایش می‌یابد.



شکل ۲-۲۰ : زاویه پوشش نوار نقاله

در برخی موارد برای جلوگیری از سر خوردن نوار از دو طبلک متحرک استفاده می‌کنیم (دو نوع نوار سفت کن نیز موجود می‌باشد).

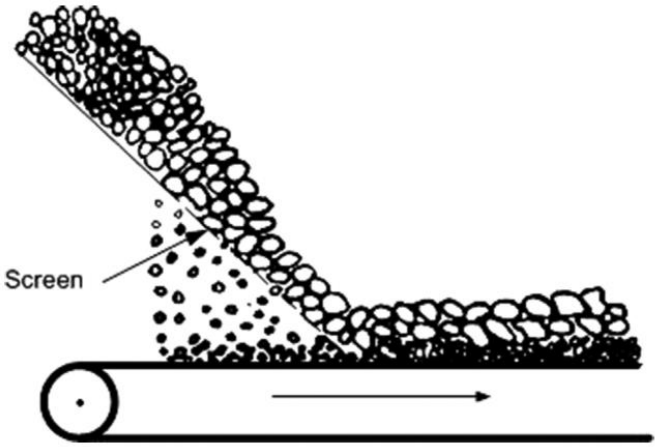
هم‌بندی نوار نقاله‌ها

در صورتی که سه نوار داشته باشیم و برای یکی مشکلی پیش بیاید باید از آخر به اول شروع به توقف نوار کنیم و پس از چند ثانیه نوار دوم و اول را متوقف میکنیم چرا که اگر متوقف نکنیم مواد روی نوار آسیب دیده میریزند و مشکلاتی را بوجود می‌آورد.

وقتی مشکلی در خوراک دهنده سه نوار متوالی که به صورت هم بند هستندایجاد شود از طریق هم بند بودن مواد نمیتوان مشکل را حل کرد چون مشکل در بالا دست است.

محافظت از نوار نقاله

برای محافظت از نوار باید سرندی را در محل ریزش قرار دهیم که ذرات ریز آن بستری می‌شود برای ذرات درشت و لذا حالت ضربه گیری پیدا می‌کند و مواد درشت مستقیما روی نوار نمی‌ریزند.

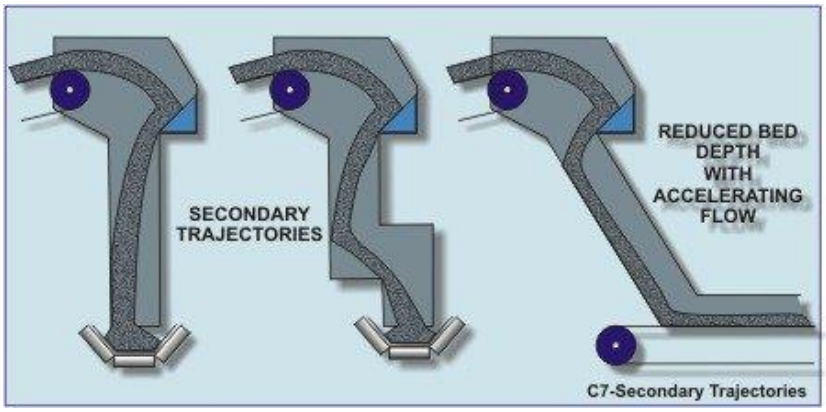


شکل ۲-۲۱ : استفاده از بستر ذرات ریز برای محافظت از نوار نقاله

برای محافظت از نوار بخصوص در محل‌های ریزش بایداز تعداد هرزگرد بیشتر با فاصله کمتر استفاده کنیم.

شکل ۲-۲۲ : افزایش تعداد هرزگردهای زیر خوراک دهنده برای محافظت از نوار

بهترین حالت برای ریختن مواد روی نوار این است که سرعت ریزش با سرعت حرکت نوار یکسان باشد.
مدل‌های مختلفی برای انتخاب نوع سرسره موجود می‌باشد که بسته به‌این که مواد مرطوب،چسبنده و... باشد برای کاهش ضربه استفاده می‌کنیم.

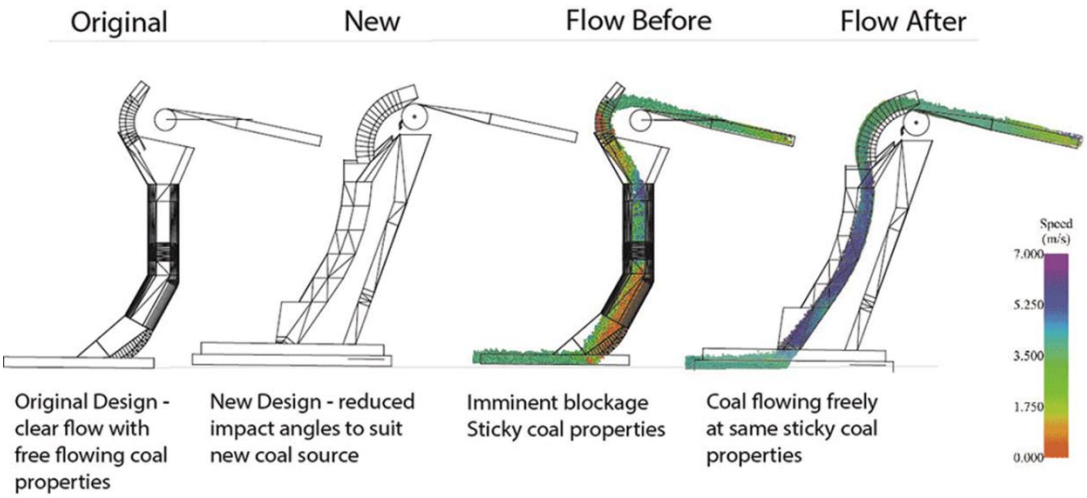


شکل ۲-۲۳ : شیوه مناسب خوراک دهی روی نوار نقاله

در محل ریزش مواد روی نوار از گردگیر که از صفحاتی تشکیل شده که از ریزش مواد جلوگیری می‌کند استفاده می‌کنیم سرعت مواد در داخل شوت باید اغلب یکسان باشد تا از گرفتگی جلوگیری شود.

شکل ۲-۲٤ : صفحات هدایت گر مواد و گردگیر روی نوار نقاله

در زمان شروع و یا توقف که نوار نقاله سرعتی ندارد باید مواد را به صورتی بر روی آن وارد کنیم که شیب کمتری داشته باشد.



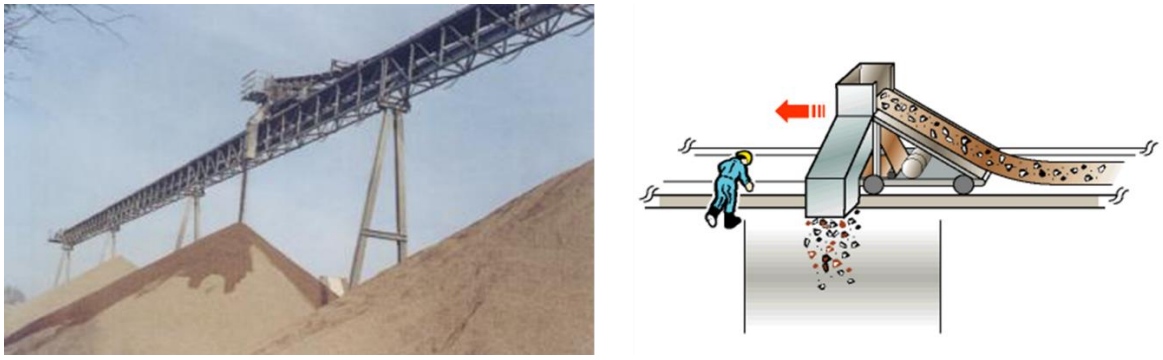
شکل ۲-۲۵ : بهبود طرح خوراک دهنده به منظور اصلاح زاویه و سرعت ورود مواد به نوار

در صورتی که شیب سرسره مواد زیاد باشد باعث وارد کردن ضربه به روی نوار می شود.

شکل ۲-۲۶ : خسارت به نوار نقاله در صورت زیاد بودن شیب ورود مواد

نوار نقاله کج کن (Tripper)

در صورتی که مخزن بزرگی داشته باشیم و بخواهیم بار را در نقاط مختلف بریزیم باید یک نوار سراسری وجود داشته باشد تا در هر نقطه که می‌خواهیم توقف کند و مواد را بریزد که برای این کار از tripper یا نوار نقاله کج کن استفاده می‌کنیم به این صورت که نوار می‌تواند روی یک ریل حرکت کند و از مزایای این کار کمک به مخلوط سازی مواد و پرشدن همه مخزن است.



شکل ۲-۲۷ : نوار نقاله کج کن (Tripper)

شیار کن

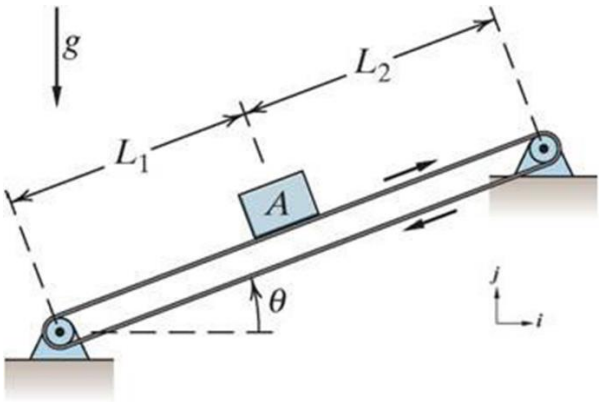
در صورتی که ۳ مخزن داشته باشیم می‌توانیم ۳ نوع مواد مختلف را در آن ذخیره کنیم و برای این که با یک نوار بتوانیم ۳ مخزن را خوراک دهی کنیم از وسیله‌ای بنام شیار کن استفاده می‌کنیم. اگر این وسیله پایین باشد مواد به مخزن اول می‌رود و اگر بالا ببریم به مخزن دوم میروند و در صورتی که بالاتر ببریم مواد به مخزن سوم می‌ریزند.(نسبت به tripper هزینه کمتری دارد) و راه دیگر استفاده از نوار نقاله رفت و برگشتی می‌باشد.

شکل ۲-۲۸ : شیار کن

شکل ۲-۲۹ : نوار نقاله رفت و برگشتی (Shuttle belts)

زاویه مناسب برای نوار نقاله

نوار نقاله‌ها می توانند بسته به نوع مواد بین زاویه ۱۰ تا ۱۸ درجه کار کنند. در زاویه بیش از این مقدار، مواد یا می لغزند و یا روی هم حرکت می کنند.

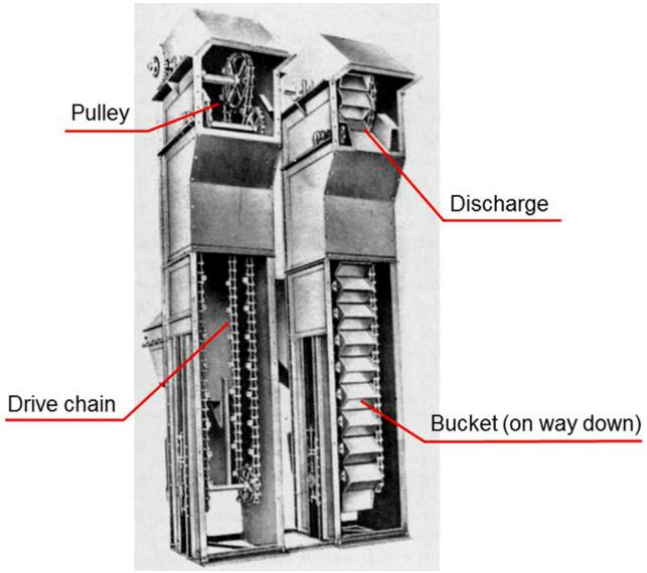


شکل ۲-۳۰ : زاویه مناسب برای نوار نقاله

بالابرهای سطلی ثقلی (Bucket elevator)

در جایی که فضا کم است و میخواهیم مواد را بالا ببریم از بالابر سطلی استفاده می‌کنیم به این صورت که از یک زنجیر تشکیل شده که روی آن چند سطل قرار دارد و با چرخیدن زنجیر سطل‌ها در پایین پر می‌شوند و در موقع برگشت مواد را خالی می‌کند.

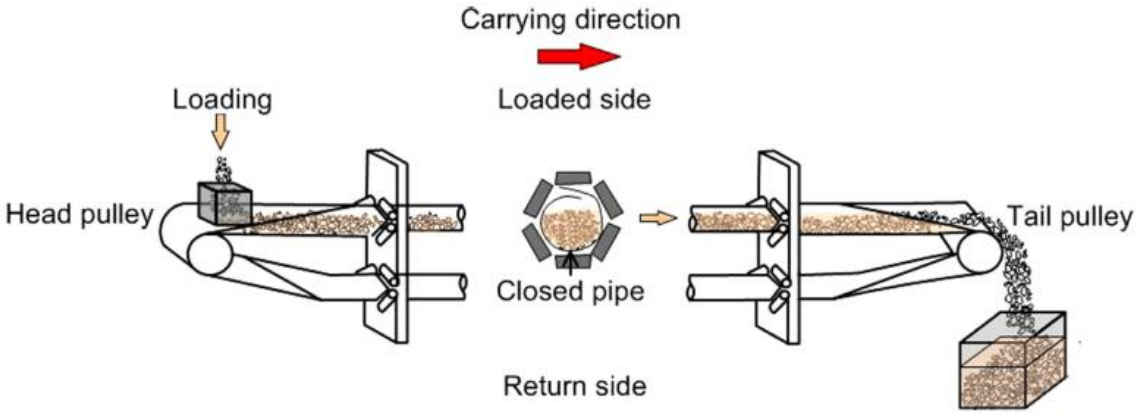
مهمترین مزیت بالابرهای سطلی این است که در جای کم(فضای کم) مواد را تا ارتفاع زیاد منتقل می‌کنند و مهمترین عیب آنها ظرفیت کم است.



شکل ۲-۳۱ : بالابرهای سطلی ثقلی (Bucket elevator)

نوار نقاله لوله ای (Pipe conveyor)

در محل‌هایی که مواد به صورتی است که احتمال دارد با وزش باد در محیط پخش شوند و یا سمی باشند نوار را پس از گذشتن از محل ورودی با اضافه کردن ٦-٧ هرزگرد به صورت لوله در می‌آوریم.



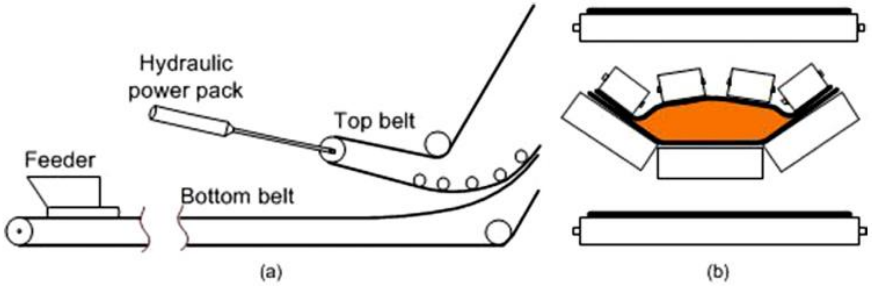
شکل ۲-۳۲ : نمایشی از نوار نقاله لوله ای

نوار نقاله لوله ای در ژاپن ساخته شده و در حال گسترش است. نوار بعد از اینکه باردهی شد، با استفاده از کنار هم قرار دادن پنج یا شش هرزگرد به شکل لوله درآمده و قبل از نقطه تخلیه صاف شده و از طبلک سرگاهی به طور معمول می گذرد.

شکل ۲-۳۳ : نوار نقاله لوله ای (Pipe conveyor)

نوار نقاله ساندویچی

در برخی موارد می‌خواهیم مواد را به زاویه‌های بالا ببریم که برای این کار به اصطلاح از نوار ساندویچی استفاده می‌کنیم، یک نوار مواد روی آن ریخته می‌شود و نوار دیگری روی مواد قرار می‌گیرند. برای استفاده از نوار نقاله‌های ساندویچی باید ذرات زاویه اصطکاک داخلی مناسبی داشته باشند تا در اثر فشرده شدن در جای خود بمانند و حرکت نکنند.



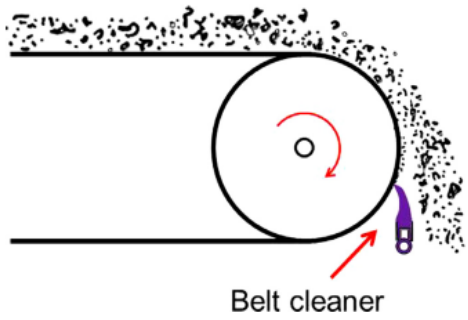
شکل ۲-۳٤ : نمایشی از نوار نقاله ساندویچی

مهم ترین نکته این است که با این روش مواد را به هر زاویه می‌توان برد و البته ظرفیت این روش کم می‌باشد.

شکل ۲-۳۵ : نوار نقاله ساندویچی

تمیز کننده نوار نقاله (Belt cleaner)

زمانی که موادی که جابجا می شوند چسبناک باشند، از تمیز کننده نوار و سیستم شستشو استفاده می شود. در صورتی که نوار آسیب دیده را با استفاده از با استفاده از بسطهای فلزی تعمیر کرده باشیم در محل پاک کردن به منظور جلوگیری از گیر نکردن بسطها از پاک کننده انعطاف پذیر استفاده میکنیم.

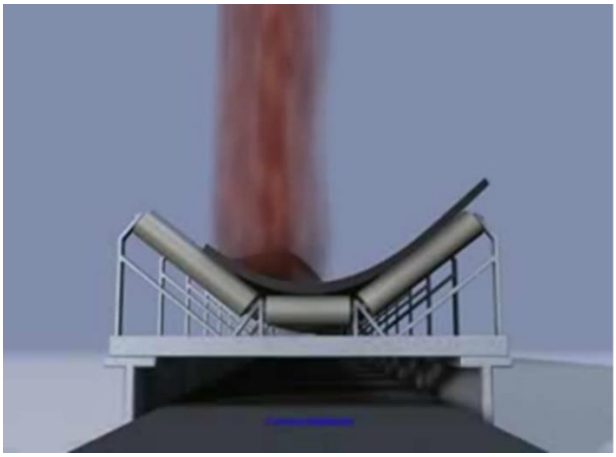


شکل ۲-۳۶ : تمیز کننده نوار نقاله

چسبیدن گل به هرز گرد و یا خردگی و زنگ زدگی آنها باعث از بین رفتن نوار می‌شود.

شکل ۲-۳۷ : سایش هرزگردها و چسبیدن گل به هرز گرد

در صورتی که نوار پاک نشود و با خود بر روی طبلک‌ها گل به جابگذارد نوار را به سمت مقابل منحرف می‌کند.



شکل ۲-۳۸ : انحراف نوار

از جمله راه‌های جلوگیری از انحراف نواراین است که مواد را بر روی مرکز آن بریزیم نه کناره‌ها.

انتخاب و تعیین ابعاد نوار نقاله

خصوصیات مواد براساس نوع ماده و ابعاد، گروه، متوسط دانسیته (پوند بر فوت مکعب) و حداکثر زاویه نوار نقاله در جدول ۲-۱ نشان داده شده است.

جدول ۲-۱: خصوصیات مواد براساس نوع ماده و ابعاد، گروه، متوسط دانسیته (پوند بر فوت مکعب) و حداکثر زاویه نوار نقاله

TABLE G-1: BULK MATERIAL CHARACTERISTICS

MATERIAL	CLASS	AVG. WT. LBS. CU. FT.	MAX. CONVEYING ANGLE	MATERIAL	CLASS	AVG. WT. LBS. CU. FT.	MAX. CONVEYING ANGLE
Ashes, Coal, Dry, Minus 3"	D46T 40°	35-40	20°-25°	Iron Ore	D36 35°	100-200	18°-20°
Ashes, Coal, Wet, Minus 3"	C46T 50°	45-50	23°-27°.	Kaolin Clay, Minus 3"	D36 35°	63	19°
Barite	D36	180	18°	Lignite, Air Dried	D35	45-55	20°
Barite, Crushed Minus 3"	D36	75-85	20°	Lime, Ground Minus 1/8"	B45X 43°	60-65	23°
Bauxite, Minus 100 Mesh	A26XY	50-60	20°	Lime, Pebble	D35 30°	53-56	17°
Boras, Fine	B26T	45-55	20°-22°	Lime, Over 1/2"	D35	55	18°
Cast Iron Chips	C46	130-200	20°	Limestone, Agricultural	B26	68	20°
Cement, Portland	A26M 39°	94	20°-23°	Limestone, Crushed	C26X 38°	85-90	18°
Cement, Clinker	D37 30°-40°	75-95	18°-20°	Manganese Ore	D37 39°	125-140	20°
Charcoal	D36Q 35°	18-25	20°-25°	Marble, Crushed, Over 1/2"	D27	80-95	20°
Cinders, Coal	D37T 35°	40	20°	Mica, Ground, Minus 1/8"	B36 34°	13-15	23°
Coal, Anthracite, Sized, 3/8" to 6"	C26 27°	55-60	16°	Phosphate Rock	D26 25°-30°	75-85	12°-15°
Coal, Bituminous, Slack	C45T 40°	43-50	22°	Salt, Coarse Dry	C25TU	40-45	18°-22°
Coal, Bituminous, Run of Mine	D35T 38°	45-55	18°	Salt, Fine, Dry	D26TUW 25°	70-80	11°
Coffee, Bean	C25Q 25°	32	10°-15°	Sand, Bank, Damp	B47 45°	110-130	20°-22°
Coke, Loose	D47QVT	23-35	18°	Sand, Bank, Dry	B37 35°	90-110	16°-18°
Coke, Petroleum	D36Y	35-45	20°	Sand, Foundry, Prepared	B47	80-90	24°
Coke, Breeze, Minus 1/4"	C37Y 30°-45°	25-35	20°-22°	Sand, Foundry, Shakeout	D37 39°	90-100	22°
Concrete, Wet: 6" Slump	D26	110-150	12°	Sand, Silica, Dry	B27	90-100	10°-15°
4" Slump	D26	110-150	20°-22°	Sand, Saturated	B27	110-130	15°
2" Slump	D26	110-150	24°-26°	Shale, Crushed	C36 39°	85-90	22°
Copper Ore	D27	120-150	20°	Slag, Furnace, Crushed	A27 25°	80-90	10°
Coral, Crushed	D26	40-45	20°	Slag, Furnace, Granulated	C27 25°	60-65	13°-16°
Corn, Shelled	C25NW 21°	45	10°	Slate, Crushed, Minus 1/2"	C26 28°	80-90	15°
Cullet, Crushed	D37Z	80-120	20°	Slate, Ground, Minus 1/8"	A36Y 35°	70-80	20°
Culm, Minus 3/64", Damp	B25TVY	45-60	20°	Soda Ash, Light	A36Y 37°	20-35	22°
Dolomite, Lumpy	D26	90-100	22°	Soda Ash, Heavy	B36 32°	55-65	19°
Earth, Common, Loam, Dry	B36 35°	70-80	20°	Stone, Crushed	D36Y	85-90	20°
Earth, Clay, Dry	B36 35°	65	20°	Stone, Screenings	C36	85-90	18°
Earth, Moist	B46 45°	100-110	23°	Stone, Dust	B36Y	75-85	20°
Feldspar, Ground, Minus 1/8"	B36 38°	70-85	18°	Sulphate, Crushed, Minus 1/2"	C25NS	50-60	20°
Fluorspar	D46	110-120	20°	Sulphate, Lumpy, Minus 3"	D25NS	80-85	18°
Fuller's Earth, Burnt	B26 35°	40	20°	Sulphate, Powdered	B25NW	50-60	21°
Fuller's Earth, Raw	B26 35°	35-40	20°	Trap rock, Crushed	D37	100-110	20°
Glass, Batch	D27Z	80-100	20°-22°	Vermiculite Ore	D36Y	70-80	20°
Granite, Broken	D27	95-100	20°	Wheat	C25N 28°	45-48	12°
Gravel, Average, Blended	D27 38°-40°	90-100	20°	Wood Chips	E45WY	10-30	27°
Gravel, Sharp	D27 40°	90-100	15°-17°				
Gravel, Pebble	D36 30°	90-100	12°				
Gypsum, Calcined	C36 40°	70-80	21°				
Gypsum, Crushed	D26 30°	70-80	15°				
Gypsum, Powdered	A36Y 42°	60-70	21°				

KEY TO CLASSIFICATION OF MATERIAL

Size Characteristics
- A - Very fine, under 100 mesh
- B - Fine, under ⅛"
- C - Granular, ⅛" to ½"
- D - Lumpy, over ½"
- E - Irregular, stringy, interlocking, mats together

Flow Characteristics
- 2 - Free flowing, angle of repose 20° to 30°
- 3 - Average flowing, angle of repose 30° to 45°
- 4 - Sluggish, angle of repose over 45°

Abrasive Characteristics
- 5 - Non-abrasive
- 6 - Abrasive
- 7 - Very abrasive

Miscellaneous Characteristics
- N - Contains explosive dust
- Q - Degradable, affecting use or saleability
- S - Highly corrosive
- T - Mildly corrosive
- U - Hygroscopic
- Y - Interlocks or mats
- W - Oils or chemical present, may affect rubber products
- X - Packs under pressure
- Y - Very light and fluffy, may be wind swept
- Z - Elevated temperature

Example: Limestone, Crushed - C26X 38°
- C - Granular, ⅛" to ½"
- 2 - Free flowing, angle of repose 20° to 30°
- 6 - Abrasive
- X - Packs under pressure
- 38° - Angle of repose

توصیف علائم:

اندازه ذرات

A: ذرات خیلی ریز کوچکتر از ۱۵۰ میکرون

B: ذرات ریز؛ کوچک تر از ۳ میلی متر

C: دانه ای؛ بین ۳ تا ۱۲,۷ میلی متر

D: تکه ای؛ بزرگ تر از ۱۲,۷ میلی متر

E: بی شکل، کشیده، در هم قفل شده

خصوصیات جریان

۲: راحت جاری شونده؛ زاویه قرار بین ۲۰ تا ۳۰ درجه

۳: متوسط جاری شونده؛ زاویه قرار بین ۳۰ تا ٤٥ درجه

٤: کمتر جاری شونده؛ زاویه قرار بیش از ٤٥ درجه

خصوصیات ساینده‌گی

٥: غیر ساینده

٦: ساینده

۷: خیلی ساینده

خصوصیات مختلف

N: محتوی گرد قابل انفجار

Q: قابل تجزیه (تاثیرگذار بر کاربرد و فروش)

S: به شدت خورنده

T: نسبتاً خورنده

U: نم گیر، گیرنده رطوبت

V: در هم قفل شده

W: دارای روغن و مواد شیمیایی (تاثیر گذار بر محصولات لاستیکی)

X: تحت فشار

Y: بسیار سبک ممکن است با باد حرکت کند

Z: درجه حرارت بالا

مثال: سنگ آهک شکسته شده C26X38°

C: دانه ای؛ ۳ تا ۱۲,۷ میلی متر

۲: راحت جاری شونده؛ زاویه قرار بین ۲۰ تا ۳۰ درجه

٦: ساینده

X: تحت فشار

۳۸o: زاویه قرار

جدول۲-۲: ظرفیت تن (کوچک) بر ساعت نوار نقاله گودساز برای مواد با دانسیته ۱۰۰ پوند بر فوت متر مکعب و سرعت نوار 100 فوت بر دقیقه [حداکثر اندازه ذرات برای سربار ۲۰ درجه]

TABLE G-2

CAPACITY IN TPH OF EQUAL ROLL TROUGH BELT CONVEYORS
(1) FOR 100 LB./CU. FT. MATERIAL
AT 100 FPM BELT SPEED

(4) MAXIMUM SIZE LUMPS FOR 20° SURCHARGE

BELT WIDTH	(3) ANGLE OF SURCHARGE												UNIFORM SIZE	(2) MIXED WITH 50% FINES
	20° TROUGH IDLER			35° TROUGH IDLER				45° TROUGH IDLER						
	20°	25°	30°	10°	20°	25°	30°	5°	10°	20°	25°	30°		
18"	50	56	63	53	65	70	75	55	60	70	75	80	4"	4"
24"	96	108	120	102	122	132	142	106	115	132	140	150	5"	7"
30"	157	175	195	167	200	215	232	175	187	215	230	244	6"	10"
36"	230	260	290	248	295	318	343	258	278	318	340	360	7"	12"
42"	320	360	400	344	408	442	475	358	386	440	470	500	8"	14"
48"	430	480	530	457	540	585	630	475	510	584	623	660	10"	16"
54"	547	612	678	585	693	750	806	608	655	748	797	845	11"	18"
60"	680	762	844	730	863	933	1000	758	815	930	992	1050	12"	20"

۱- برای مواد با دانسیته متفاوت از ۱۰۰ پوند بر فوت متر مکعب

$$\text{ظرفیت} = \text{ظرفیت جدول} \times \frac{\text{دانسیته برحسب پوند بر فوت مکعب}}{100}$$

۲- ۵۰ درصد ریز به صورت ۵۰ درصد کوچک تر از ۵۰ درصد حداکثر اندازه

۳- زاویه سربار در حدود ۱۵ درجه کمتر از زاویه قرار

٤- برای زاویه سربار ۳۰ درجه، نصف اندازه زاویه سربار ۲۰ درجه استفاده شود.

جدول۲-۳: حداکثر سرعت نوار برحسب فوت بر دقیقه

مواد			عرض نوار (اینچ)							
	خصوصیات	مثال	۱۸	۲٤	۳۰	۳٦	٤۲	٤۸	٥٤	٦۰
حداکثر اندازه قطعه (ذره)	غیرساینده	ذغال	۳٥۰	٤۰۰	٤٥۰	٥۰۰	٥٥۰	٦۰۰	٦۰۰	٦۰۰
	صاف – ساینده	شن	۳٥۰	۳٥۰	٤۰۰	٤٥۰	٥۰۰	٥٥۰	٥٥۰	٥٥۰
	تیز و ساینده	کانه	۲٥۰	۳۰۰	۳٥۰	٤۰۰	٤٥۰	٥۰۰	٥۰۰	٥۰۰
نصف حداکثر اندازه قطعه (ذره)	غیرساینده	ذغال	٤۰۰	٤٥۰	٥۰۰	٥٥۰	٦۰۰	٦٥۰	۷۰۰	۷٥۰
	صاف – ساینده	شن	۳٥۰	٤۰۰	٤٥۰	٥۰۰	٥٥۰	٦۰۰	٦٥۰	۷۰۰
	تیز و ساینده	کانه	۳۰۰	۳٥۰	٤۰۰	٤٥۰	٥۰۰	٥٥۰	٦۰۰	٦٥۰
دانه ای ۳ تا ۱۲/۷ میلی متر		ماسه، دانه	٤۰۰	٥۰۰	٦۰۰	۷۰۰	۸۰۰	۹۰۰	۹۰۰	۹۰۰
پودرهای هوا داده شده		سیمان، غبار	۲۰۰ تا۳۰۰							
نوارهایی با خروجی مارپیچی			۲۰۰							

جدول ۲-٤: توان در محور برای نوار نقاله خالی در سرعت نوار* ۱۰۰ فوت بر دقیقه (X)

HORSEPOWER AT HEADSHAFT FOR EMPTY CONVEYOR
AT 100 FPM BELT SPEED
[For other speeds use direct proportion]

CONVEYOR CENTERS FEET	BELT WIDTH					
	18"	24"	30"	36"	42"	48"
25	.44	.53	.62	.72	.82	.98
50	.47	.57	.67	.77	.89	1.06
100	.52	.63	.76	.87	1.02	1.21
150	.57	.69	.85	.97	1.15	1.36
200	.62	.76	.93	1.08	1.28	1.50
250	.67	.82	1.02	1.18	1.41	1.65
300	.72	.89	1.11	1.29	1.54	1.80
350	.77	.95	1.20	1.39	1.67	1.95
400	.82	1.02	1.28	1.50	1.80	2.10
450	.87	1.08	1.37	1.60	1.93	2.25
500	.92	1.15	1.46	1.71	2.06	2.40

* برای سرعت های دیگر تناسب مستقیم استفاده شود.

جدول ۲-۵: توان در محور برای شرکت افقی بار (Y)

HORSEPOWER AT HEADSHAFT TO MOVE LOAD HORIZONTALLY
ANY BELT SPEED — ANY MATERIAL

CONVEYOR CENTERS FEET	CAPACITY - TONS PER HOUR									
	50	100	150	200	250	300	350	400	500	600
25	.25	.50	.76	1.01	1.26	1.51	1.77	2.02	2.52	3.03
50	.28	.57	.85	1.14	1.42	1.70	1.99	2.27	2.84	3.41
100	.35	.69	1.04	1.39	1.74	2.08	2.43	2.78	3.47	4.17
150	.41	.82	1.23	1.64	2.05	2.46	2.87	3.28	4.10	4.92
200	.47	.95	1.42	1.89	2.37	2.84	3.31	3.79	4.73	5.68
250	.54	1.07	1.61	2.15	2.68	3.22	3.75	4.29	5.36	6.44
300	.60	1.20	1.80	2.40	3.00	3.60	4.20	4.80	6.00	7.20
350	.66	1.32	1.98	2.65	3.31	3.97	4.64	5.30	6.63	7.95
400	.72	1.45	2.17	2.90	3.63	4.35	5.08	5.81	7.26	8.71
450	.79	1.58	2.36	3:16	3.94	4.73	5.52	6.31	7.89	9.47
500	.85	1.70	2.55	3.41	4.26	5.11	5.96	6.82	8.52	10.23

NOTE: The above HP values are for idlers with anti-friction bearings.

هر سرعت- هر ماده

اعداد توان برای هرزگرد هایی با یاتاقان های بدون اصطکاک است.

جدول۲-٦: توان در محور برای بالا بردی عمودی بار (Z)

HORSEPOWER AT HEADSHAFT TO LIFT LOAD VERTICALLY
ANY BELT SPEED — ANY MATERIAL

VERTICAL LIFT FEET	CAPACITY - TONS PER HOUR									
	50	100	150	200	250	300	350	400	500	600
5	.25	.51	.76	1.01	1.26	1.51	1.76	2.02	2.52	3.03
10	.51	1.01	1.52	2.02	2.52	3.03	3.53	4.04	5.05	6.06
20	1.01	2.02	3.03	4.04	5.05	6.06	7.07	8.08	10.10	12.12
30	1.52	3.03	4.55	6.06	7.57	9.09	10.60	12.12	15.15	18.18
40	2.02	4.04	6.06	8.08	10.10	12.12	14.14	16.16	20.20	24.24
50	2.53	5.05	7.58	10.10	12.62	15.15	17.67	20.20	25.25	30.30
60	3.03	6.06	9.09	12.12	15.15	18.18	21.21	24.24	30.30	36.36
70	3.54	7.07	10.60	14.14	17.67	21.21	24.74	28.28	35.35	42.42
80	4.04	8.08	12.12	16.16	20.20	24.24	28.28	32.32	40.40	48.48

THE TOTAL HP AT THE HEADSHAFT IS THE TOTAL OF FACTORS (x) + (y) + (z)

NOTE: If factor (z) exceeds ½ the sum of (x + y), backstop is necessary.

هر سرعت- هر ماده

توان کل در محور مجموع Z+Y+X

مثال: اندازه نوار نقاله ای را محاسبه کنید که بتواند $4\frac{m^3}{min}$ سنگ آهن را از مخزن به کارخانه سنگ شکنی ثانویه انتقال دهد. مسافت افقی ۵۶ متر و انتقال عمودی ۱۸ متر است. دانسیته توده ای سنگ معدن ۲۲۰۰ کیلوگرم بر متر مکعب و همه مواد کوچکتر از ۱۵ سانتی متر است.

حل:

با استفاده از جدول۲-۱، سنگ آهن، تکه ای، بزرگتر از ۱ سانتی متر و کوچکتر از ۱۵ سانتی متر، جریان شوندگی متوسط، زاویه قرار بین ۱۵ تا ۴۵ درجه؛ ساینده؛ زاویه قرار ۳۵ درجه. علامت: D36 35°

زاویه سربار ۱۵ درجه کمتر از زاویه قرار است. در نتیجه زاویه سربار ۲۰ درجه است. از جدول۲-۲

تناژ: $4\frac{m^3}{min} \times 2.2\frac{t}{m^3} \times 60\frac{min}{h} = 528\frac{t}{h}$

نوار با زاویه گود شدگی ۲۰، ۳۵ و ۴۵ درجه می تواند انتخاب شود. زاویه ۲۰ درجه انتخاب می شود چون با زاویه سربار ۲۰ درجه یا بیشتر پیشنهاد می شود و ظرفیت نوار را افزایش می دهد.

الف- با توجه به حداکثر اندازه ذرات برای سربار ۲۰ درجه، عرض نوار ۶ سانتی متر (۲۴ اینچ) انتخاب می شود.

ب- برای زاویه سربار ۲۰ درجه، زاویه گودساز ۲۰ درجه، ظرفیت نوار با سرعت $۳۰\frac{m}{min}$

سرعت ۱۰۰ فوت بر دقیقه معادل $100\ \frac{ft}{min} \times \frac{1m}{3.3ft} = 30\frac{m}{min}$

ظرفیت ۹۶ تن (کوچک) بر ساعت با دانسیته $100\frac{lb}{ft^3}$

دانسیته سنگ آهن:

$$2200\frac{kg}{m^3} \times 0.06243 = 137.35\frac{lb}{ft^3}$$

ظرفیت با دانسیته سنگ آهن

$$\text{ظرفیت} = 96 \times \frac{137.35}{100} = 131.856\frac{t}{h}$$

$$\text{ظرفیت} = \frac{131.856}{1.1023} = 119.62\frac{t}{h}$$ تن بزرگ

ظرفیت برحسب متر مکعب بر دقیقه

$$\frac{119.62\frac{t}{h}}{2.2\frac{t}{m^3}} = 54.37\frac{m^3}{h} \times \frac{1h}{60min} = 0.91\frac{m^3}{min}$$

ج- ظرفیت مورد نیاز $4\frac{m^3}{min}$ در نتیجه برای رسیدن به ظرفیت مورد نظر سرعت باید

$$\frac{4}{0.91} \times 30 = 132\frac{m}{min}$$

حداکثر سرعت مجاز برای عرض نوار 41cm $350\frac{\text{ft}}{\text{min}} \times \frac{1\text{m}}{3.28\text{ft}} = 106.7\frac{\text{m}}{\text{min}}$

در نتیجه نوار با عرض بیشتر باید انتخاب شود

د- عرض بعدی ۷۶ سانتی متر است.

ظرفیت ۱۵۷ تن (کوچک) بر ساعت با دانسیته $100\frac{\text{lb}}{\text{ft}^3}$

$$\text{ظرفیت} = 157 \times \frac{137.35}{100} = 215.640\frac{\text{t}}{\text{h}}$$

تن بزرگ $$\text{ظرفیت} = \frac{215.640}{1.1023} = 195.63\frac{\text{t}}{\text{h}}$$

ظرفیت برحسب متر مکعب بر دقیقه

$$\frac{195.63\frac{\text{t}}{\text{h}}}{2.2\frac{\text{t}}{\text{m}^3}} = 88.92\frac{\text{m}^3}{\text{h}} \times \frac{1\text{h}}{60\text{min}} = 1.49\frac{\text{m}^3}{\text{min}}$$

برای رسیدن به ظرفیت مورد نظر ($4\frac{\text{m}^3}{\text{min}}$) سرعت نوار را می توان افزایش داد:

$$(\frac{4}{1.49}) \times 30 = 80.5 \approx 81\frac{\text{m}}{\text{min}}$$

حداکثر سرعت مجاز $350\frac{\text{ft}}{\text{min}} \times \frac{1\text{m}}{3.28\text{ft}} = 106.7\frac{\text{m}}{\text{min}}$

در نتیجه سرعت نوار در محدوده مجاز است.

توان مورد نیاز برای به حرکت در آوردن نوار باید بر همه اصطکاک غلبه کند و نوار خالی را به حرکت در آورد و همچنین بار را نیز به صورت افقی و عمودی حرکت دهد.

فاصله بین هرزگرد ابتدائی و انتهایی ۵۶ متر است. توان لازم برای نوار نقاله خالی با سرعت $30\frac{\text{m}}{\text{min}}$ برابر است با (جدول ۲-٤)

$$\text{توان لازم برای نوار خالی} = \left(\frac{184}{200}\right) \times 0.76 = 0.70\ \text{HP}$$

توان لازم در سرعت نوار $81\frac{\text{m}}{\text{min}}$ $0.7 \times \left(\frac{81}{30}\right) = 1.9\ \text{HP}$

توان لازم برای حرکت دادن افقی $4\frac{\text{m}^3}{\text{min}}$ به طول ۵۶ متر برابر است با (جدول ۲-۵):

$$5.27\ \ \text{HP}$$

توان لازم برای بالا بردن $4\frac{m^3}{min}$ به ارتفاع ۱۸ متر از (جدول ۲-٦):

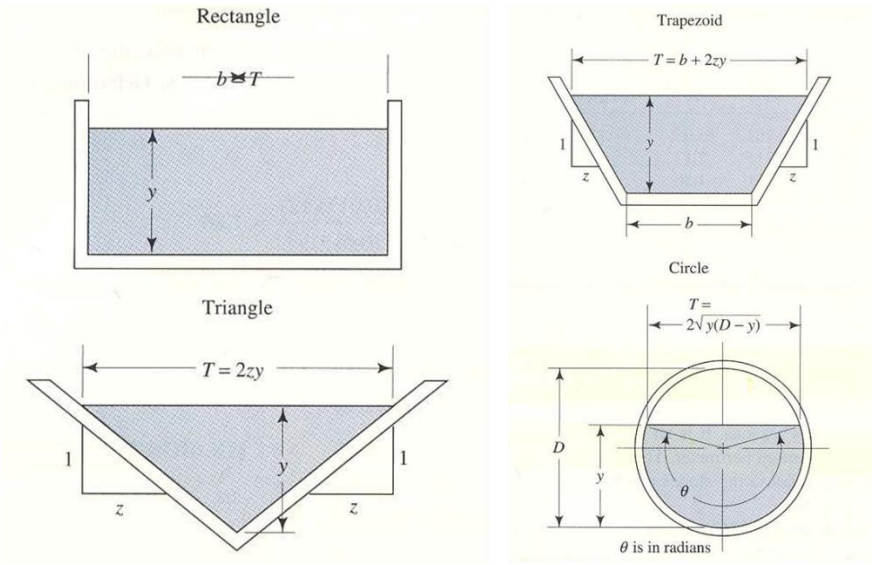
$$35.26 \quad HP$$

توان کل مورد نیاز:

$$P = 1.9 + 5.27 + 35.26\ HP$$
$$P = 42.43\ HP \quad ; \quad 31.64\ KW$$

ناوها و کانال‌ها

برای انتقال مواد حاصله از آسیا کنی که بصورت پالپ می‌باشد از ناو (uشکل)استفاده می‌کنیم که بر روی آن دوش آب برای شست و شوی مواد قرار می‌دهند شیب ناو همواره قابل توجه می‌باشد چرا که ما به دنبال یک سرعت مشخص برای عبور مواد هستیم و ناوها در مقاطع مختلف ساخته می‌شوند که این نوع مقاطع بر روی سرعت نیز تاثیر می‌گذارد.

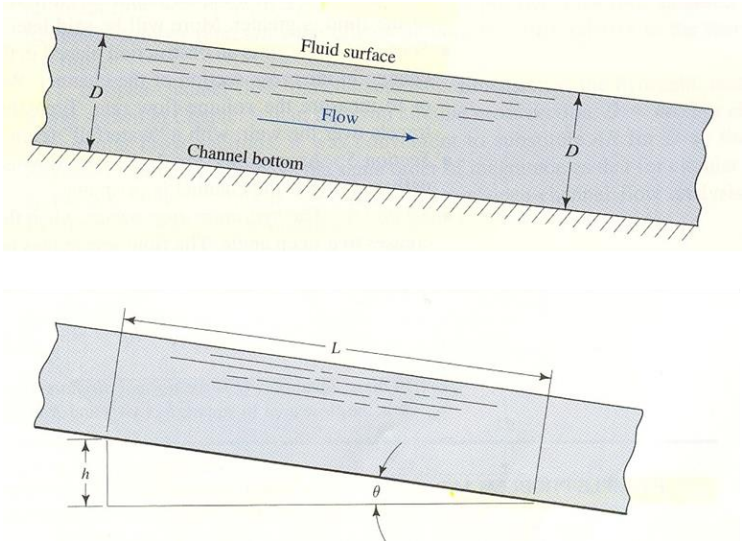


شکل ۲-۳۹ : انواع مختلف از مقاطع عرضی کانال‌ها

یکی از مشکلات استفاده از ناوها برای انتقال مواد (پالپ) کم شدن سطح مؤثر ناو به مرور زمان به دلیل ته نشینی ذرات است. برای جدایش طلا از ناو استفاده می‌شود به‌این صورت که مواد را درون ناو می‌ریزند و سپس ذرات سنگین طلا ته نشین می‌شود. برای این منظور از ناوی باید استفاده شود که عرض ناو در امتداد طول آن کاهش یابد. دلیل آن ایجاد لایه‌بندی مناسب است.

شکل ۲-٤۰ : استفاده از ناو در جابجایی مواد

شیب ناو به ابعاد ذرات بستگی دارد (چون نیروی جلوبرنده ذرات ثقل می‌باشد) و همچنین دانسیته نیز می‌تواند تاثیر گذار باشد.

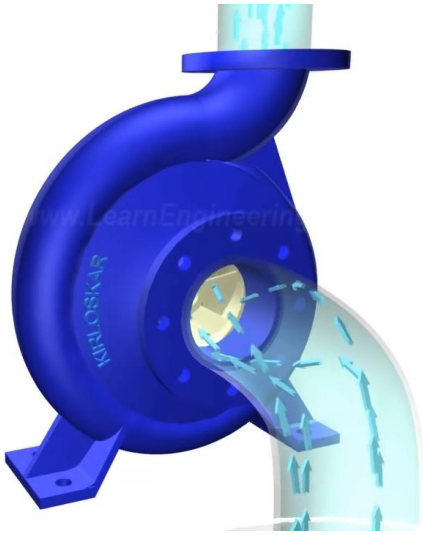


شکل ۲-٤۱ : شیب مناسب برای ناوها

اگر کانال انتقال مواد روباز باشد بیشترین سرعت در بیشترین فاصله از دیواره پایینی است و اگر لوله باشد بیشترین سرعت در وسط آن می‌باشد.

پمپ‌های سانتریفیوژی

در صورتی که نخواهیم از ناو برای انتقال پالپ استفاده کنیم باید از پمپ سانتریفیوژ استفاده کنیم که این پمپ‌ها از پره‌هایی تشکیل شده و یک مکش ایجاد می‌کند (به دلیل وجود خلا از ورودی پالپ را می‌گیرد و می‌چرخاند و به بالا می‌فرستد).



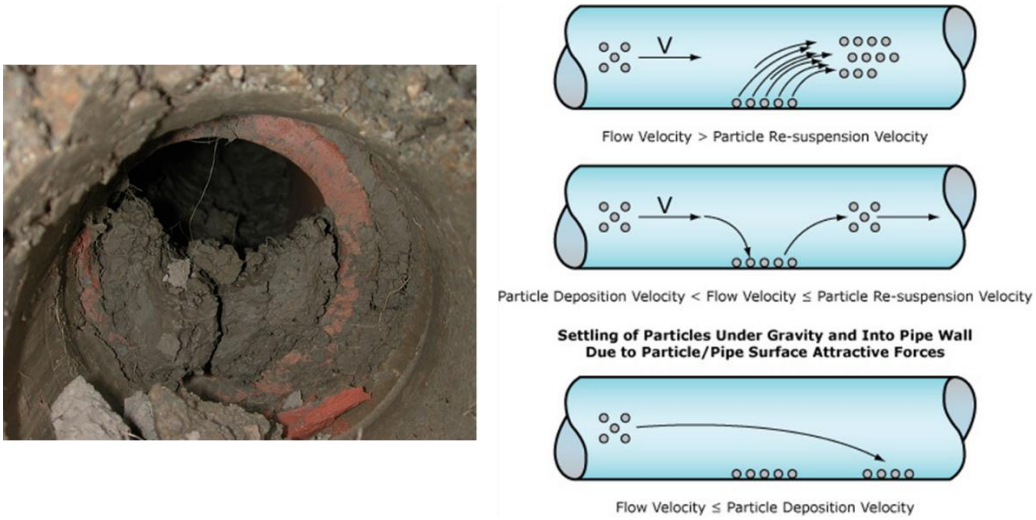
شکل ۲-۴۲ : پمپ‌های سانتریفیوژی

پمپ‌های گریز از مرکز در یک مرحله تا ۳۰ متر را می‌تواند بالا ببرند. به دلیل سرعت بالای داخل محفظه همزن، سایش در این قسمت می تواند بالا باشد، خصوصاً در زمانی که ذرات پمپ شده درشت باشند. بازرسی از وضعیت پمپ‌ها را باید در اولویت قرار داد چرا که در صورت خردگی پره‌ها موتور همچنان به کار خود ادامه می‌دهد.

شکل ۲-۴۳ : سایش در قطعات مربوط به پمپ‌ها

مشکل اصلی پمپ‌ها در انتقال مواد شکسته و خورده شدن پره‌های پمپ است زیرا پره‌ها در تماس مستقیم با پالپ قرار دارند این امر باعث می‌شود موتور پمپ کار کند ولی مواد را منتقل نکند.

از جمله نکات مهم به خصوص در کارخانه‌هایی که سه شیفت کار نمی‌کنند این است که بررسی شود که مواد روی نوار به کدام سمت شیب دارند که پس از توقف همان جا جمع می‌شوند و شکم میدهد و همچنین در لوله‌های انتقال پالپ باید محاسبه کرد که سرعت سیال چه مقدار باشد تا از ته نشینی ذرات جلوگیری کند. قطر لوله‌ها را نباید بیش از حد اندازه بزرگ انتخاب کرد، چون حرکت آهسته پالپ باعث ته نشینی جامدات و در نتیجه گرفتگی لوله می شود.



شکل ۲-٤٤ : تاثیر قطر لوله‌های انتقال پالپ در ته‌نشین شدن ذرات

از جمله مواردی که باعث کاهش سرعت پالپ می‌شود این است که محل اتصال دو لوله ۹۰ درجه باشد ولی به صورت قوسی متصل شده باشد. که بیشترین خراب شدگی هم مربوط به همین پیچ است.

شکل ۲-٤٥ : انتقال مواد از طریق لوله در کارخانه فرآوری مواد

عوامل موثر در سرعت ته نشینی:

الف: نسبت جامد به مایع (چرا که ویسکوزیته تغییر می‌کند و ویسکوزیته هم در صورتی که رس زیاد باشد بالا می‌رود).

ب: دانسیته متوسط پالپ

ج: دانسیته جامد تشکیل دهنده

د: دانه‌بندی و شکل ذرات

فصل سوم

انبار کردن و ذخیره سازی مواد معدنی

مقدمه

انبار کردن سنگ معدن به دلایل زیر انجام می‌شود:

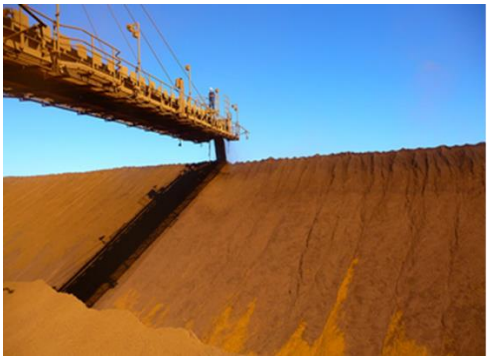
الف) نرخ متفاوت کار در واحدهای مختلف معدن و کارخانه فرآوری

ب) پیوسته و ناپیوسته بودن بعضی از واحدها مانند دو شیفت و سه شیفت کار کردن

ج) تفاوت در زمان لازم برای انجام تعمیرات واحدهای مختلف

همگن سازی مواد

انبار کردن مواد معدنی به منظور مخلوط سازی سنگ معدن‌هایی با عیار و یا ویژگی‌های مختلف نیز به کار می‌رود. علاوه بر این خوراک یکنواختی را برای کارخانه تأمین می‌کند.



شکل ۳-۱ : مخلوط سازی سنگ معدن

عوامل موثر در تعیین حجم مناسب برای انبارها

حجم انبار به تجهیزات کارخانه فرآوری، روش عملیات، فراوانی و زمان توقف واحدهای مختلف بستگی دارد.

شکل ۳-۲ : انواع مختلف انبار در ظرفیت‌های زیاد و کم

بین سنگ شکن اولیه و کارخانه فراوری یک انبار میگذارند برای اینکه این سنگ‌شکن یکی است و اگر خراب شد ذخیره برای کارخانه وجود داشته باشد.

شکل ۳-۳ : انبار ذخیره مواد پس از سنگ شکنی اولیه

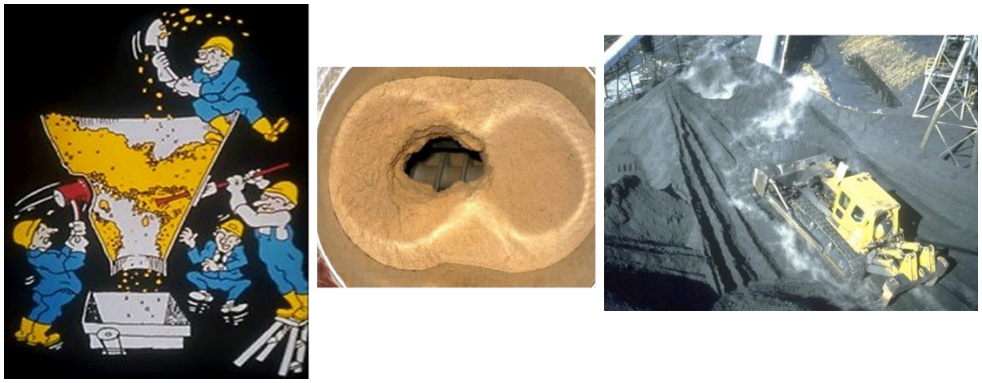
حجم مناسب برای انبار ذخیره مواد

معمولاً چون تعمیرات از نظر آماری با ۹۵ درصد اطمینان ۸ ساعت طول می‌کشند در انبارها به اندازه ۳ برابر زمان تعمیرات یعنی ۲٤ ساعت کارکرد کارخانه ذخیره وجود دارد.

شکل ۳-٤ : حجم مناسب برای انبار ذخیره مواد با توجه به نیاز کارخانه

مشکلات به وجود آمده در اثر یخ زدن مواد معدنی

یخ زدن باعث مشکل در حرکت مواد می‌شود که در بعضی از کارخانه‌ها با افزایش دمای داخل کارخانه تا حدودی از بروز این مشکل جلوگیری می‌کنند.



شکل ۳-۵ : مشکلات به وجود آمده در ذخیره سازی مواد به علت یخ زدن مواد معدنی

انبار کردن توسط نوار نقاله کج کن(Tripper)

از نوار نقاله کج کن(Tripper) و نوارهای رفت و برگشتی برای مخلوط سازی سنگ معدن‌ها در انبار استفاده می‌شود.

شکل ۳-٦ : تجهیزات همگن سازی خوراک ورودی به کارخانه فرآوری

انبار کردن و برداشت مواد به صورت لایه لایه

انبار کردن مواد به صورت لایه لایه و برداشت مواد عمود براین لایه‌ها است (claim & reclaimer).برای‌اینکه مخلوط سازی بهتر صورت گیرد.

شکل ۳-۷ : سیستم داشت و برداشت چرخ سطلی

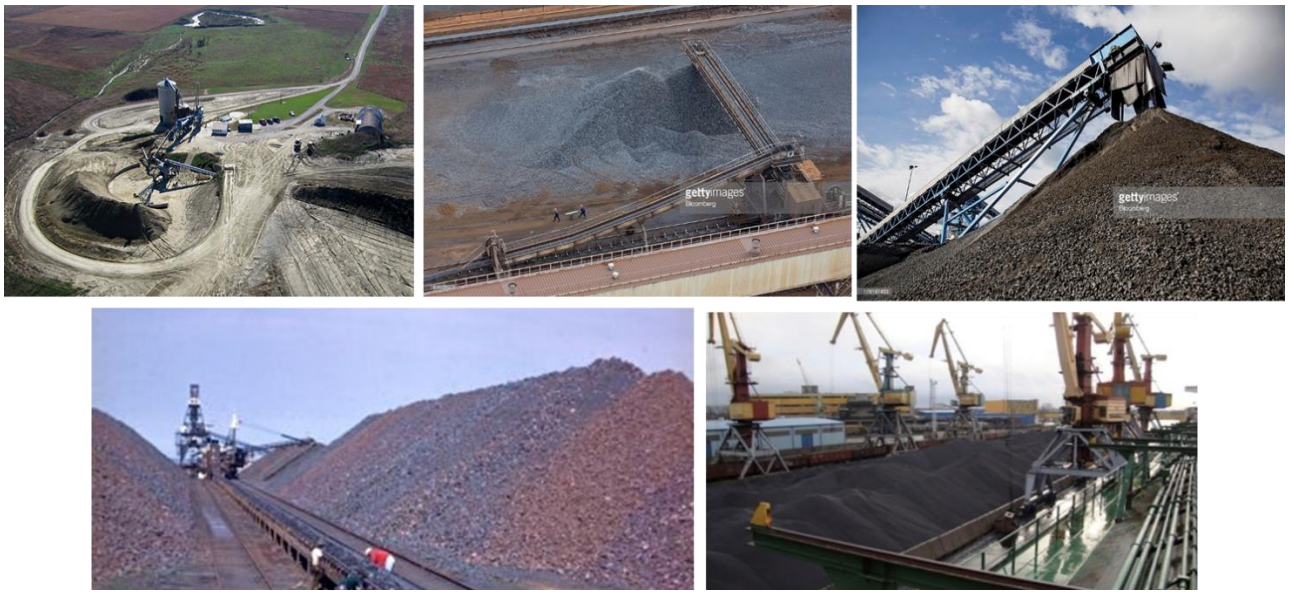
انواع مختلف روش‌های انبار کردن

بسته به نوع ماده معدنی، انبار کردن به صورت مخازن روباز یا در تانک‌ها انجام می‌شود.

شکل ۳-۸ : انواع مختلف انبار کردن مواد در کارخانه‌های فرآوری مواد

انبار روباز

انبارهای روباز، برای ذخیره سازی سنگ معدن درشت با ارزش اقتصادی کم (عیار کم) استفاده می‌شوند، ظرفیت‌این نوع انبارها زیاد است واین انبارها باید از لحاظ هدایت گرمایی، زهکشی، گرد و غبار، مکانیک زمین و تشعشات‌ایمنی و پایداری شرایط مناسبی داشته باشند.



شکل ۳-۹ : انواع مختلف انبارهای روباز

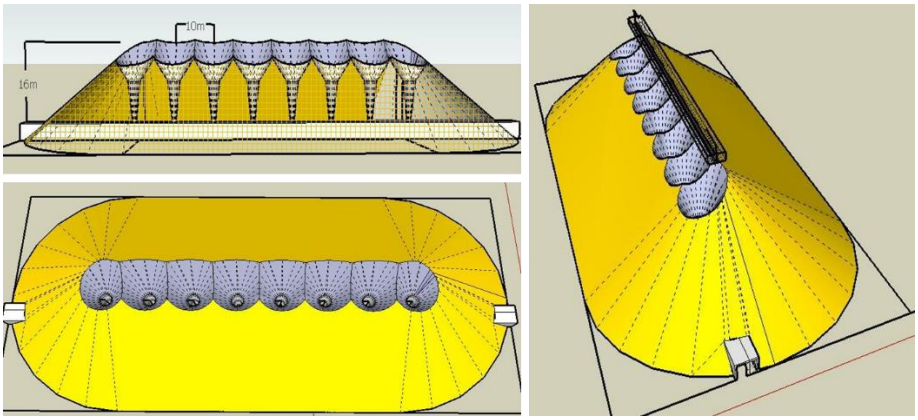
عوامل مهم موثر در انبار کردن روباز

برای انبار کردن روباز مواد، باید از میزان زاویه قرار سنگ معدن، حجم اشغال شده توسط سنگ معدن شکسته شده و تناژ آن اطلاع داشت. انبار روباز، باید از لحاظ هدایت گرمایی، زهکشی، گرد و غبار، مکانیک زمینی و تشعشعات ایمنی و پایداری مناسبی داشته باشد.

هدایت گرمایی یعنی یک سیستمی مانند سیستم تهویه به کار گرفته شود تا از زیاد شدن دما در جاهای مختلف انبار جلوگیری شود چون گرمای زیاد ممکن است منجر به بروز واکنش‌های شیمیایی ناخواسته شود.

انبار روباز مخروطی شکل و در طول گسترده

انبار مخروطی شکل بالاترین ظرفیت بر واحد سطح را فراهم می‌کند ولی برای مخلوط سازی انبارهای در طول گسترده کارایی بهتری دارند.



شکل ۳-۱۰ : انبار روباز در طول گسترده

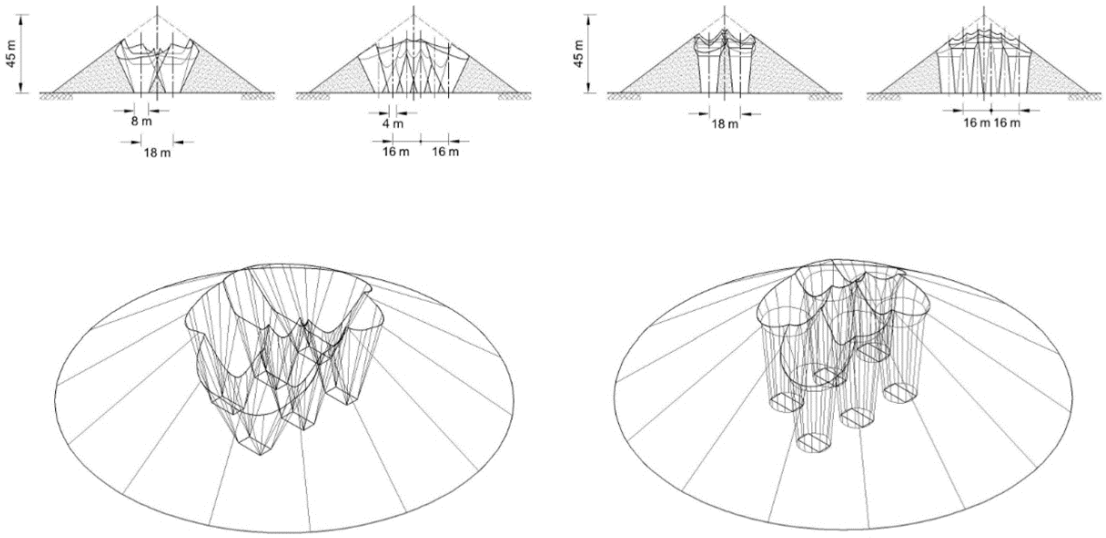
تلسکوپی وسیله‌ای است که باعث می‌شود مواد هنگام ریختن از نوار روی مخزن زیاد پخش نشوند چون ارتفاع (طول) آن قابل تغییر است.

سیستم‌های مختلف برداشت از انبارهای روباز

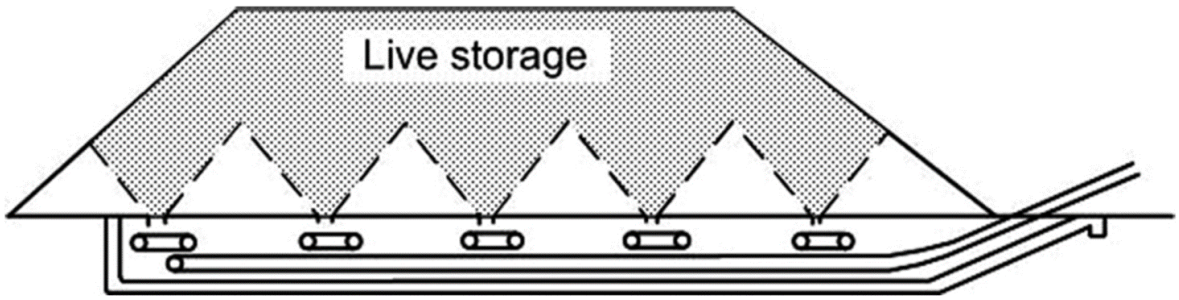
اقتصادی ترین راه برداشت سیستم برداشت تونلی است دراین سیستم برداشت امکان مخلوط سازی با به کارگیری خوراک دهنده‌های مختلف در طول و عرض توده وجود دارد.

شکل ۳-۱۱ : سیستم برداشت تونلی

ذخیره زنده یعنی قسمتی از مواد که در هنگام تخلیه حرکت می‌کنند. در انبارهای روباز مواد قابل برداشت یا ذخیره زنده در حدود ۲۰ تا ۲۵ درصد کل مواد است ولی در انبار طول گسترده در حدود ۳۰ تا ۳۵ درصد کل مواد است.



شکل ۳-۱۲ : میزان ذخیره زنده در انبارهای روباز مخروطی



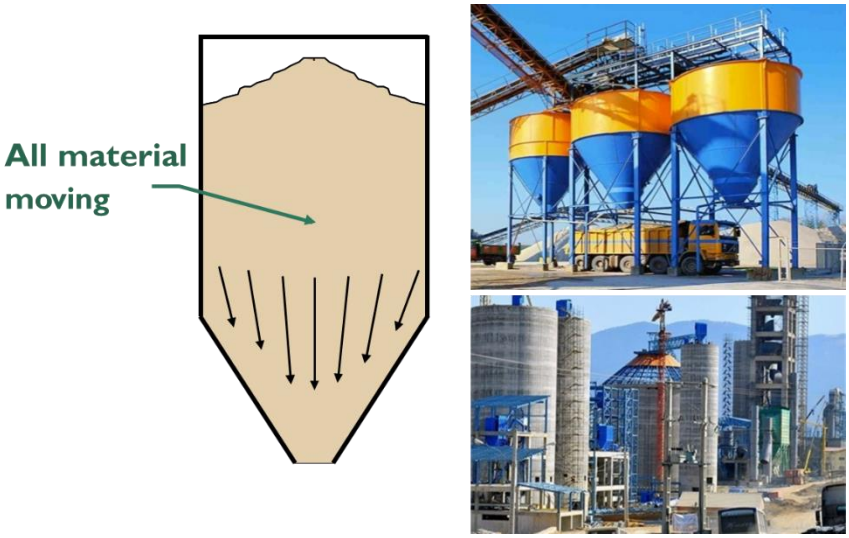
شکل ۳-۱۳ : میزان ذخیره زنده در انبارهای روباز در طول گسترده

مخازن بسته ذخیره سازی مواد معدنی

انبار کردن سنگ معدن‌های سولفوری خیلی مهم است چون این مواد سریع اکسید می‌شوند و در پایین دست مثل عملیات فلوتاسیون کارایی به شدت کاهش می‌یابد به همین دلیل سعی می‌شود از انبارهای سقف دار استفاده شود، و هرچه مواد ریزتر باشند اهمیت بیشتری پیدا می‌کنند چون مواد ریز دارای سطح جانبی بیشتری هستند و بیشتر اکسید می‌شوند، مانند انبار نرمه مس سرچشمه.

موارد مهم در مخازن خوراک دهی

مخازن خوراک دهی باید به راحتی قابل پر شدن باشند و از همه مهمتر مواد راحت بتوانند ازاین مخازن خارج شوند. مخازنی که قیفی شکل هستند به‌این دلیل است که در هنگام تخلیه همه مواد حرکت کنند و تخلیه شوند.



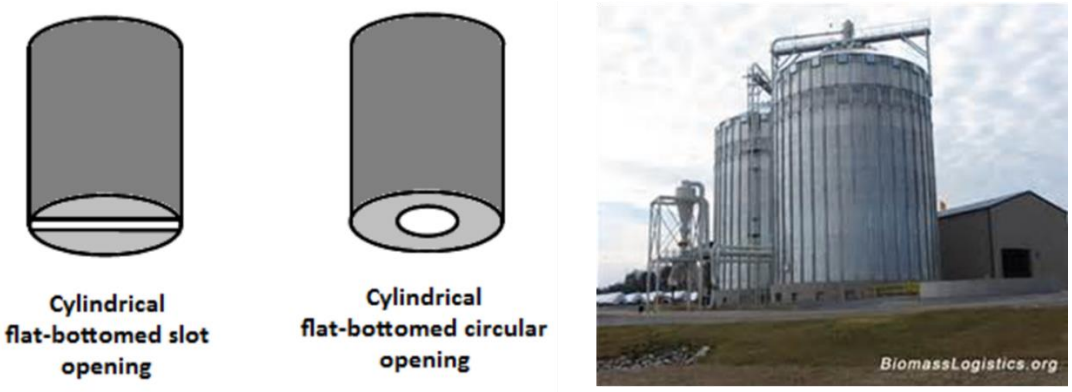
شکل ۳-۱٤ : موارد مهم در مخازن خوراک دهی

مخازن خوراک دهی با قاعده تخت

مزایا: سادگی ساخت، ضربه گیری توسط مواد تخلیه نشده در آن، شکل هندسی مناسب به وجود آمده توسط مواد مرده جهت تخلیه بهتر، عدم سایش سریع کف

عیوب: کاملاً قابل تخلیه نیستند و همیشه مقداری از مواد به عنوان ذخیره مرده وجود دارند.

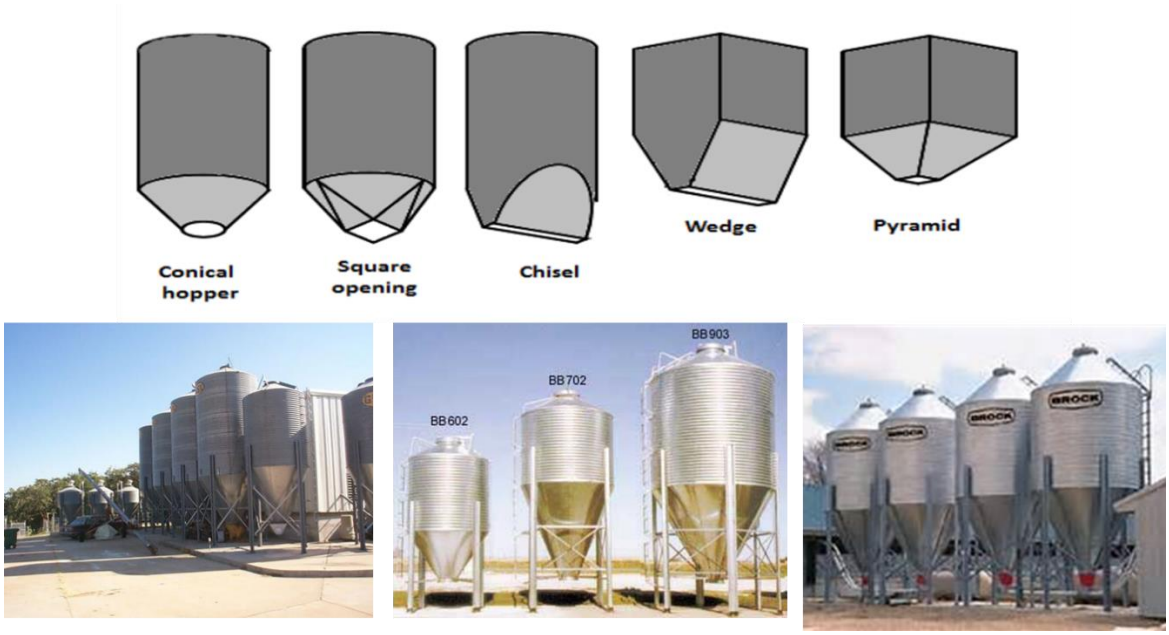
این مخازن معمولاًبه دلیل وجود رطوبت یا یخ زدگی زیاد گیر می‌کنند و برای رفع گیر کردناین مخازن از فشار آب، هوای فشرده و... استفاده می‌شود.



شکل ۳-۱۵ : مخازن خوراک دهی با قاعده تخت

مخازن خوراک دهی با قاعده شیب دار

در مواردی که سنگ معدن به راحتی اکسیده می شوند باید از مخازنی استفاده کرد که کف آن‌ها شیب دار است.



شکل ۳-۱۶ : مخازن خوراک دهی با قاعده شیب دار

تانک‌های آماده ساز

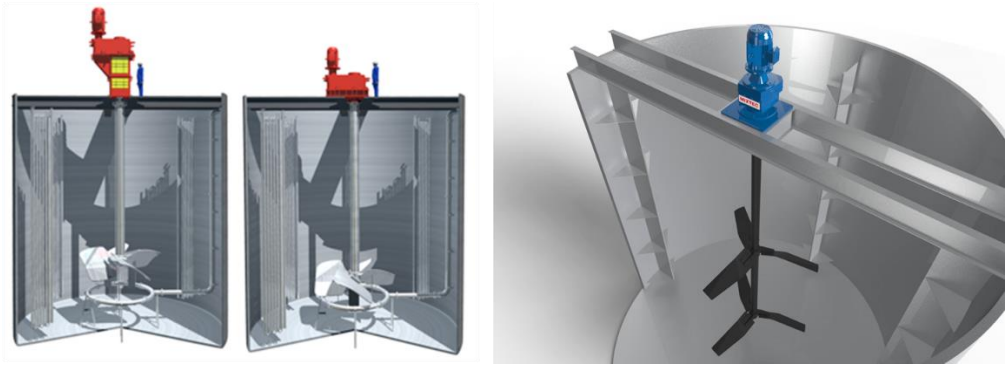
برای ذخیره سازی پالپ از تانک‌های آماده ساز (همزن دار و...) استفاده می‌کنند. چون این تانک‌ها ذرات را به حالت تعلیق نگه می‌دارند و از ته نشینی و گرفتگی ذرات جلوگیری می‌کنند.

شکل ۳-۱۷ : تانک‌های آماده ساز

پارامترهای مهم در تانک‌های آماده ساز:

تعداد همزن، سرعت همزن، قطر همزن، فاصله همزن از دیواره و کف تانک

دراین نوع تانک‌ها هرچقدر عدد توان بر واحد حجم بیشتر باشد تعلیق بیشتر است (بهتر انجام می‌شود).



شکل ۳-۱۸ : تعلیق ذرات تانک‌های همزن دار

تانک‌های نوسان گیر

این نوع تانک‌ها جهت گرفتن نوسان‌های کوچک در دبی خوراک به کار گرفته می‌شوند و به همزدن در آنها توسط همزن، دمش هوا و یا از طریق گردش با پمپ انجام می‌شود.

شکل ۳-۱۹ : تانک‌های نوسان گیر (Surge bins)

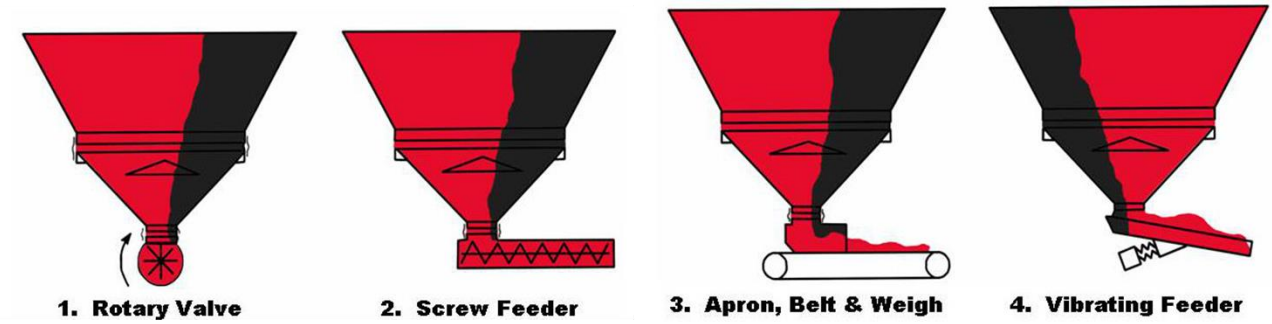
گردش با پمپ یعنی بخشی از خود پالپ با پمپ به داخل تانک بر میگردد تا باعث تلاطم در تانک شود.

شکل ۳-۲۰ : تعلیق توسط گردش مواد با پمپ

خوراک دهنده

دلایل استفاده از خوراک دهنده

برای اینکه به شکل پایدار و بدون نوسان به کارخانه خوراک دهی شود وهمچنین تناژی که مورد نیاز است را انتقال دهد.



شکل ۳-۲۱ : خوراک دهنده‌های مختلف

تناژ ورودی به کارخانه را می‌توان با استفاده از دو عامل کنترل کرد:

الف) ضخامت مواد که با تنظیم دریچه ورودی به خوراک دهنده قابل تغییر است (این تغییر معمولاً دائمی‌است).

ب) سرعت خوراک دهنده که تن بر ساعت را مشخص می‌کند و می‌توان هر لحظه آن را تغییر داد.

سرسره (Chute)

به فاصله بین مخزن و خوراک دهنده گفته می‌شود، که شیب و جنس آن در انتقال بهتر مواد نقش زیادی دارند (اگر شیب زیاد باشد کنترل مواد سخت می‌شود و اگر شیب کم باشد مواد به سختی حرکت می‌کنند).

شکل ۳-۲۲ : سرسره (Chute)

انواع خوراک دهنده:

چرخ زنجیری(برای مواد درشت به کار میرود)، نواری، زنجیری، چرخشی، مارپیچی، لرزشی و...

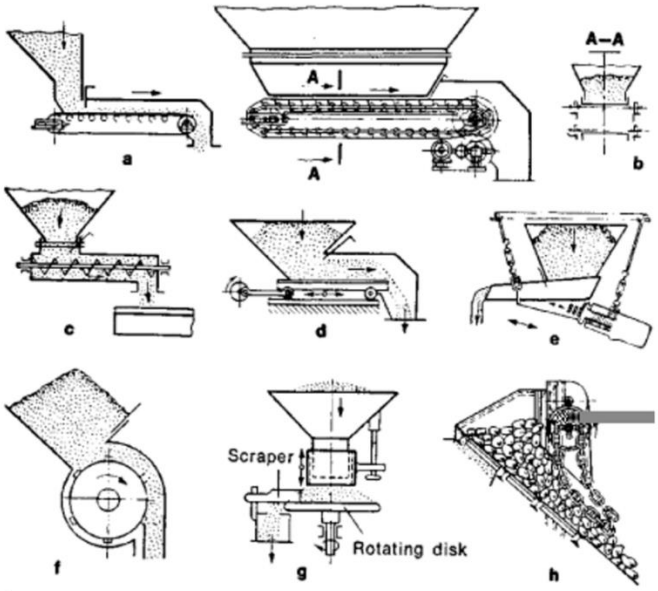
خوراک دهنده میله ای بیضی شکل دارای یک سری موانع است که این موانع به صورت یک درمیان مقابل مواد قرار گرفته و از عبور آن‌ها جلوگیری می‌کنند و مواد از رو به روی دیگر موانع که به صورت موازی قرار گرفته‌اند عبور می‌کنند سپس جای این موانع عوض شده به این ترتیب که موانعی که قبلاً رو به روی مواد قرار می‌گرفتند حال به صورت موازی قرار می‌گیرند و بالعکس واین سیکل به صورت پیوسته ادامه خواهد داشت. این خوراک دهنده برای مواد مرطوب یا موادی که دارای رس بالایی هستند مطلوب است.

خوراک دهنده لبه دار(Apron feeder) : این خوراک دهنده در صنعت فرآوری بسیار کاربرد دارد. معمولاً بعد از انبار درشت از این نوع خوراک دهنده استفاده می شود.

خوراک دهنده رفت وبرگشتی: حالت پیوستگی دارد، ظرفیت پایینی دارد، ارزان قیمت است، فضای کمتری را اشغال را می‌کند، مکانیزم ساده‌ای دارد و در کارخانه‌های کوچک مورد استفاده قرار می‌گیرد.

خوراک دهنده نواری: دارای یک نوار کوتاه است و در سنگ شکن‌های ثانویه به دلیل ریز بودن مواد کاربرد دارد. سرعت نوار و ارتفاع مواد روی آن مشخص کننده تناژ مواد عبور کرده است. زمانی مورد استفاده قرار می‌گیرد که ذرات ریز باشند و لبه‌های تیز وجود ندارد که باعث سایش و پارگی شوند.

پر کاربرترین خوراک دهنده در اکثر کارخانه‌ها Vibrating Feeder و Apron.Belt & Weigh هستند.



Diagrams of feeders: (a) belt, (b) apron, (c) screw, (d) shaking, (e) vibrating, (f) drum, (g) disk, (h) chain

شکل ۳-۲۳ : انواع خوراک دهنده

در کارخانه مس سرچشمه از خوراک دهنده مارپیچی برای اضافه کردن پودرآهک به آسیای گلوله‌ای استفاده می‌شود.

شکل ۳-۲٤ : خوراک دهنده مارپیچی

خوراک دهی در معادن زیر زمینی

معادن زیر زمینی دارای مواد با ابعاد ریزتری نسبت به معادن روباز هستند و با استفاده از سنگ شکن فکی در زیرزمین مواد را خرد می‌کنند و این باعث انتقال راحت تر مواد می شود. زنجیرآزاد زنجیری بسیار سنگین است که با حرکت بر روی مواد نرخ عبور مواد تنظیم می شود.

شکل ۳-۲۵ : خوراک دهی در معادن زیر زمینی

گاهی در عیار و بازیابی یک کارخانه تفاوت به وجود می آید که به اشتباه به عملیات پرعیارکنی ارتباط داده می شود در صورتی که اشکال کار اینجاست که در طول زمان هم دانه بندی و هم عیار عوض می شود.

خود سوزی

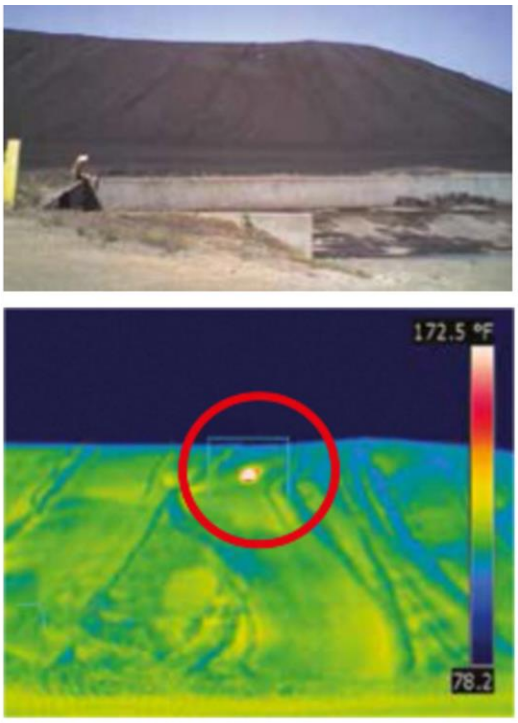
در اثر ترکیب کربن ذغال و اکسیژن پدیده اکسیداسیون اتفاق می افتد که نتیجه آن آزاد شدن گرماست، اگر این گرما به محیط نفوذ پیدا نکند خودسوزی اتفاق می افتد یا به عبارتی اگر نرخ تولید گرما بیشتر از نرخ انتقال گرما باشد این اتفاق خواهد افتاد.

شکل ۳-۲۶ : خود گرم شدن (Self- Heating)

راه‌های پیشگیری

- پایش درجه حرارت و انتقال زغال سرد به منطقه گم شده در صورت مشاهده منطقه با دمای بالا

OBA combines the use of a temperature probe – the traditional way of measuring temperatures– and a FLIR E6 handheld thermal imaging camera.



Spontaneous combustion of coal is a common concern for coal stockyards.

شکل ۳-۲۷ : پایش درجه حرارت توده مواد معدنی

- ریختن پودر بر روی ذغال‌ها برای جلوگیری از اکسیداسیون

شکل ۳-۲۸ : ریختن پودر بر روی ذغال‌ها برای جلوگیری از اکسیداسیون

- پراکنده کردن ذغال به منظور ایجاد سطح آزاد بیشتر و جلوگیری از انتقال گرما
- پایین آوردن رطوبت

اگر مواد را به صورت مخروطی قرار دهیم احتمال خودسوزی بیشتر است.

شکل ۳-۲۹ : وقوع پدیده خود گرم شدن در توده‌های مخروطی

خود سوزی در مورد کنسانتره‌های سولفیدی هم اتفاق می افتد به طور مثال در کشتی‌های حامل کنسانتره سولفیدی این اتفاق دیده می شود.

شکل ۳-۳۰ : آتش گرفتن کشتی حمل مواد معدنی در اثر خودسوزی

فصل چهارم

انتخاب و تعیین ابعاد مخازن، خروجی قیف ها و خوراک دهنده ها

تعریف مخزن

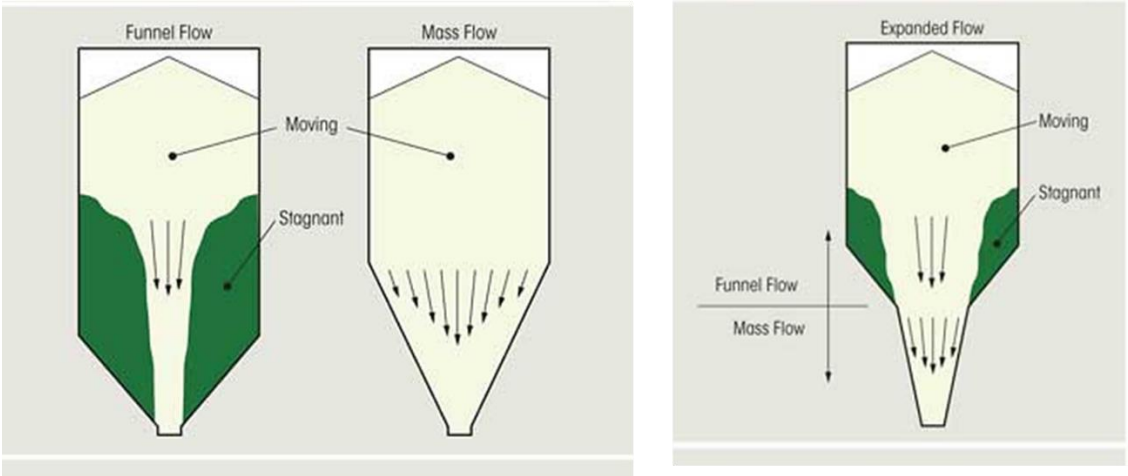
مخزن (سیلو، بونکر) معمولاً از یک استوانه عمودی و یک بخش قیفی تشکیل می شود.

شکل ٤-١ : مخازن

انواع مخزن

بر اساس نوع الگوی جریانی که تشکیل می شود، سه نوع مخزن وجود دارد:

- جریان توده ای
- جریان قیفی
- جریان گسترده



شکل ٤-٢ : الگوهای مختلف جریان داخل مخازن

مشخصه های موثر در انتخاب مخزن

سه مشخصه ای که در انتخاب مخزن باید در نظر گرفته شود:

- برآورده کردن ظرفیت مورد نیاز

- خارج کردن محتوی مخزن بطور اطمینان بخش در زمان تقاضا
- ساخت آسان و ایمن

شکل ٤-٣ : برآورده کردن ظرفیت مورد نیاز

شکل ٤-٤ : خارج کردن محتوی مخزن بطور اطمینان بخش در زمان تقاضا

شکل ٤-٥ : مراحل ساخت مخازن

مواردی که جهت برآورده کردن وظایف مخزن باید انجام داد

مرحله اول: تعیین ملزومات ذخیره سازی

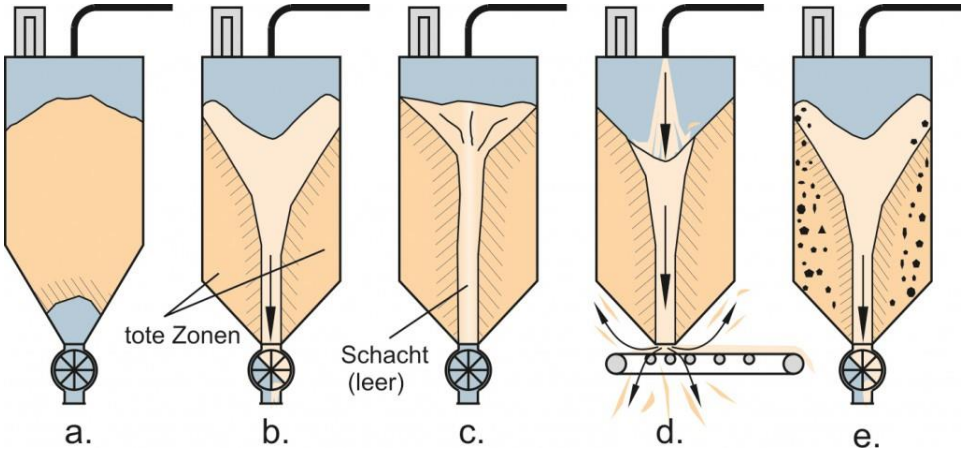
۱) ظرفیت: بسته به محل مخزن (ابتدا، اواسط یا انتهای فرآیند) متفاوت خواهد بود.

شکل ٤-٦ : مخازن با ظرفیت های مختلف

۲) نرخ خروجی: نرخ های متوسط، حداقل، حداکثر و اینکه نرخ حجمی است یا وزنی.

شکل ٤-٧ : خروجی مخزن

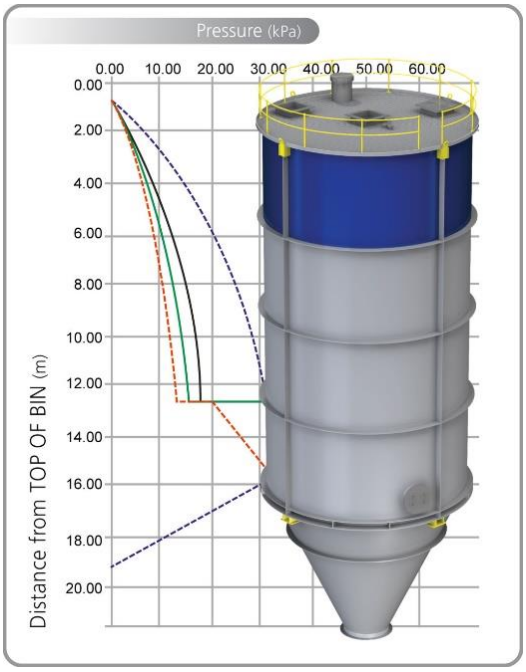
۳) فراوانی تخلیه: چه مدت مواد در داخل مخزن بدون حرکت خواهد ماند.



شکل ٤-٨ : مشکلاتی که در اثر ماندگی زیاد مواد رخ می دهد.

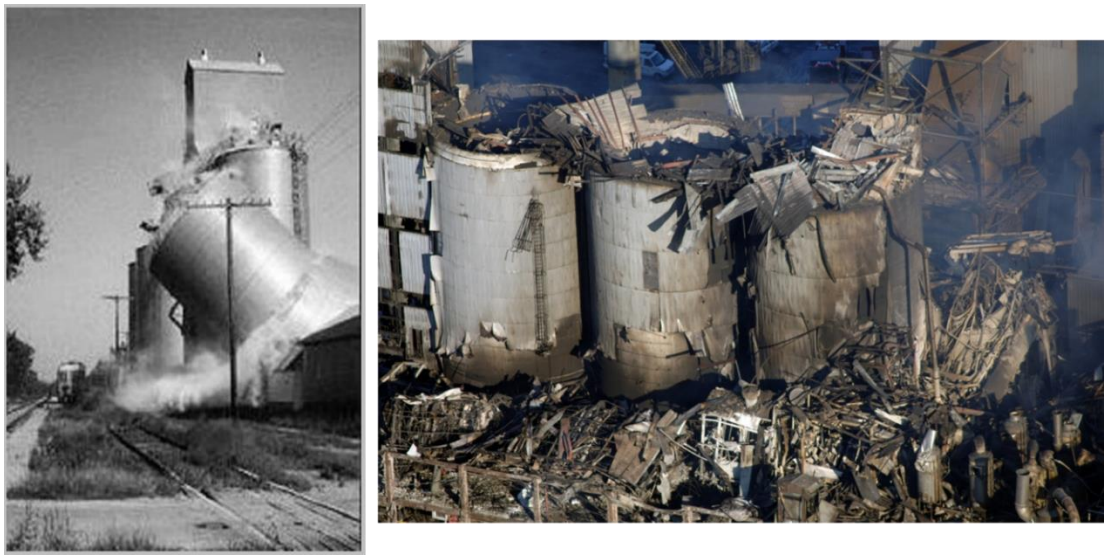
٤) یکنواختی مواد خروجی: آیا جدا نشینی مواد مشکلی در خروج مواد و یا فرآیند پایینی ایجاد نمی کند.

٥) فشار و درجه حرارت: تفاوت بین مخزن و تجهیزات پایینی و بالا دستی.



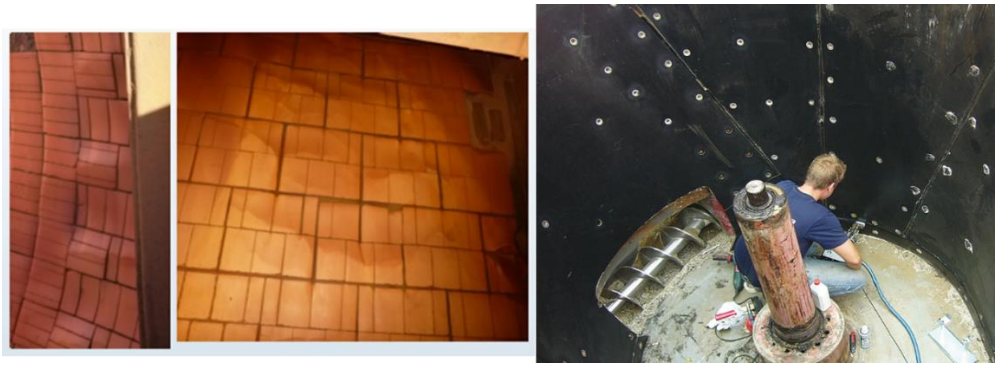
شکل ٤-٩ : تغییرات فشار نسبت به عمق مخزن

٦) زیست محیطی: آیا مخاطره انفجار و یا در معرض قرار گرفتن کارکنان وجود دارد.



شکل ٤-١٠ : آسیب های محیط زیستی در اثر انتخاب نامناسب مخزن

۷) مواد سازنده مخزن: ملاحظات در خصوص سایش و خوردگی ممکن است نوع موادی که برای ساخت می توان انتخاب کرد را تحت تاثیر قرار دهد.



شکل ٤-١١ : آستر های درون مخازن با سایش بالا

مرحله دوم: محاسبه اندازه تقریبی مخزن

در ابتدا از قسمت قیف صرف نظر کنید.

از رابطه زیر برای تخمین ارتفاع تقریبی بخش استوانه ای برای ذخیره سازی مورد نظر استفاده کنید.

$$H = \frac{C}{\gamma \times A}$$

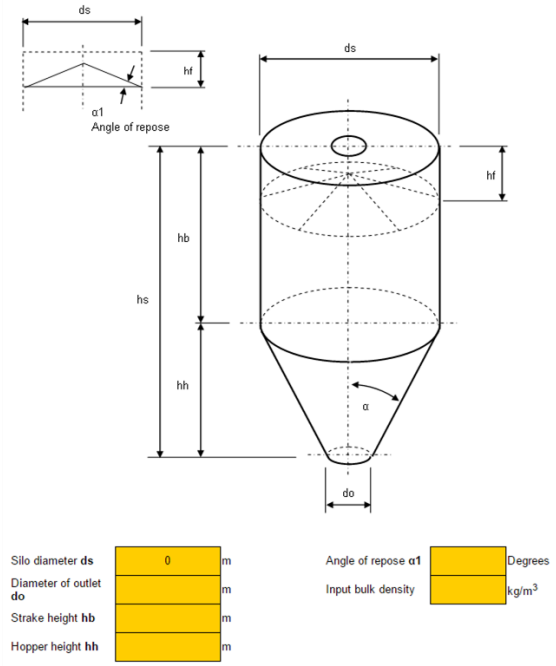
H: ارتفاع استوانه

C : ظرفیت مخزن

γ :متوسط دانسیته توده ای

A :سطح مقطع بخش استوانه ای

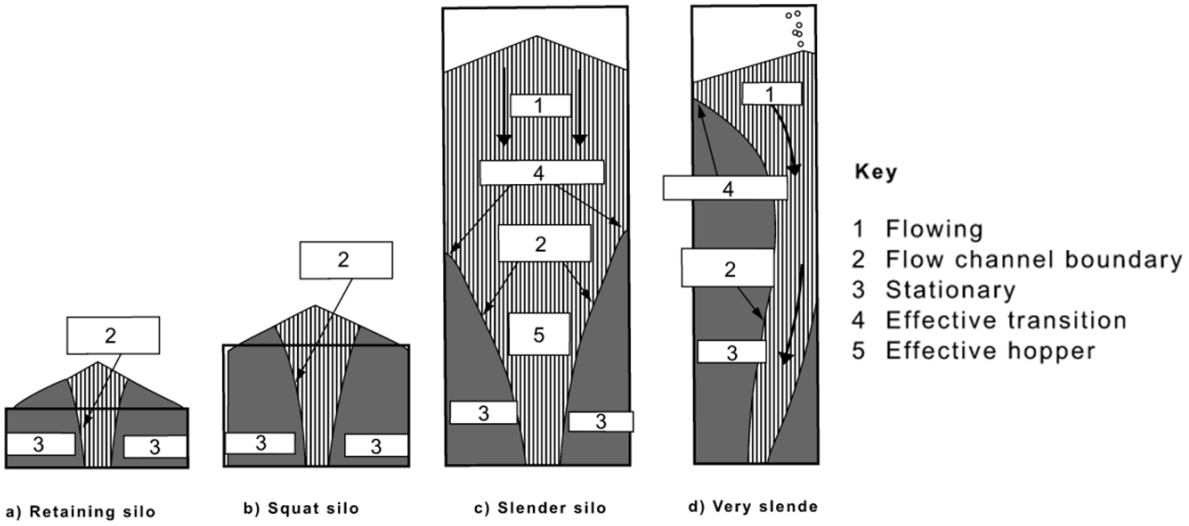
ارتفاع واقعی باید با در نظر گرفتن حجم از دست رفته در بالای مخزن، به دلیل زاویه قرار مواد و همچنین حجم مواد در بخش قیفی تعدیل شود.



شکل ٤-١٢ : نرم افزار محاسبه حجم مخزن

به طور کلی ارتفاع بخش دایره ای یا مربع استوانه باید بین ٥/١ تا ٤ برابر قطر یا عرض استوانه باشد.

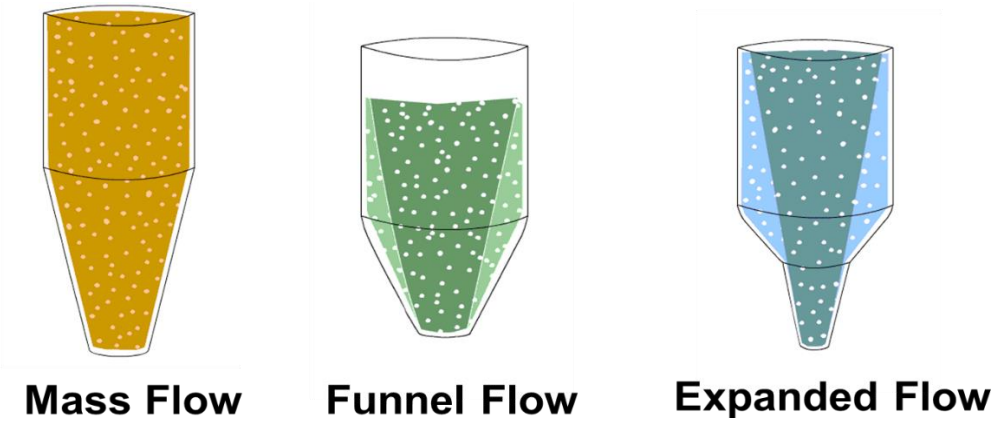
اعداد خارج از این محدوده منجر به طرح های غیر اقتصادی و یا خصوصیات جریان نامطلوب می شود.



شکل ٤-١٣ : تاثیر نسبت قطر به ارتفاع مخازن در نحوه خروج مواد

باید توجه داشت که حجم ذخیره مخزن وحجم زنده (قابل استفاده، فعال) آن برابر نیست.

در زمانی که جریان قیفی و یا جریان گسترده است، حجم مرده زیادی را باید در نظر گرفت.



شکل ٤-١٤ : الگوهای خروج ذرات در مخزن‌ها

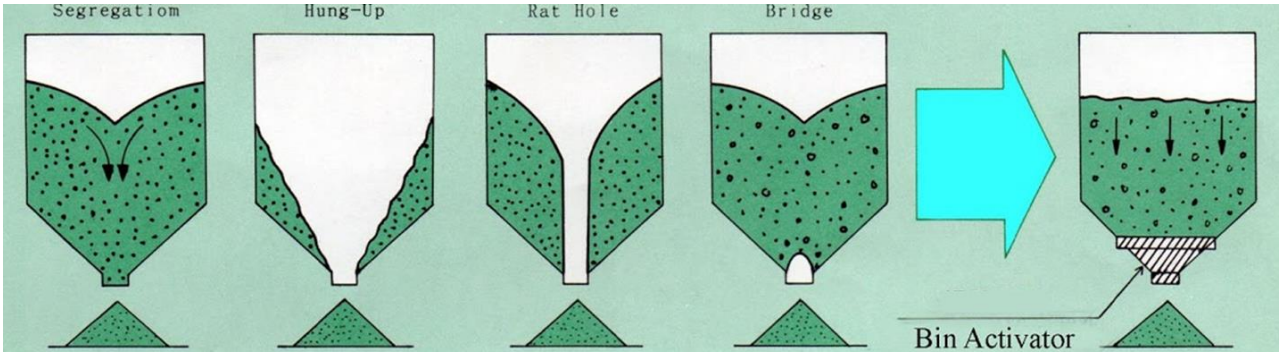
مرحله سوم: تعیین خصوصیات در ارتباط با جریان یافتن مواد

دانستن خصوصیات جریانی توده جامد جهت پیش بینی یا کنترل چگونگی رفتار آن در مخزن یا قیف حائز اهمیت است.

شکل ٤-١٥ : مواد با خصوصیات مختلف

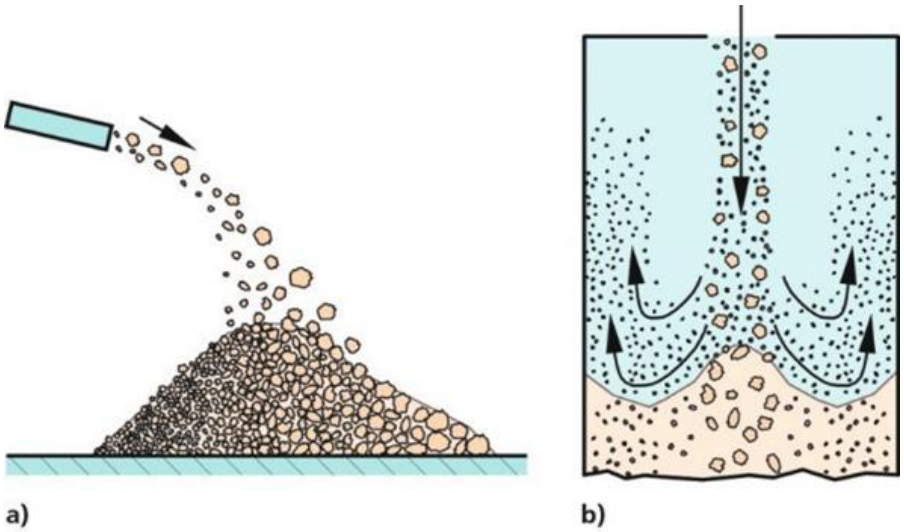
مهمترین خصوصیات در ارتباط با پیش بینی رفتار جریان یافتگی

خصوصیت	کاربرد
١) استحکام چسبناکی	محاسبه اندازه خروجی جهت جلوگیری از طاق زدن و جریان سوراخ موشی
٢) خواص اصطکاکی	زاویه قیف برای جریان های توده ای و اصطکاک داخلی
٣) لغزیدن در نقطه برخورد	حداقل زاویه سرسره در نقاط برخورد
٤) قابلیت فشردگی	محاسبات فشار، بار مخزن، طراحی خوراک دهنده
٥) نفوذپذیری	محاسبات نرخ خروجی، زمان ته نشینی
٦) تمایل به جدا نشینی	پیش بینی احتمال رخداد جدا نشینی
٧) سائیدگی	پیش بینی عمر آستر

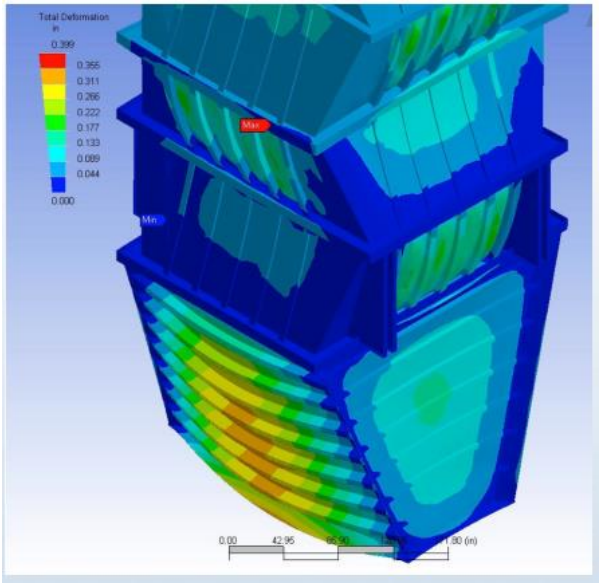


شکل ٤-١٦ : مشکلات به وجود آمده در رابطه با مخازن

شکل ٤-١٧ : جدا نشینی ذرات در حین خروج از مخزن



شکل ٤-١٨ : جدا نشینی ذرات درشت و ریز



شکل ٤-١٩ : شبیه سازی مقاومت مخزن در مقابل فشار

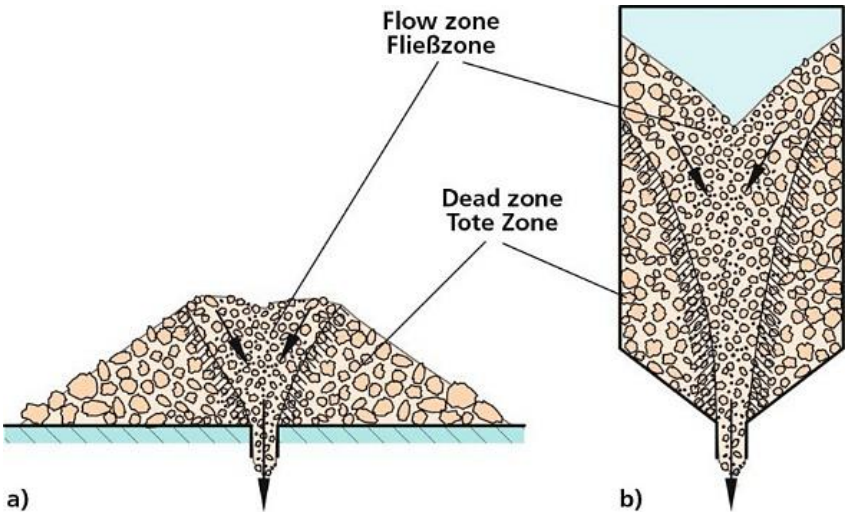
شکل ٤-٢٠ : آسترهای نصب شده در بدنه مخزن برای جلوگیری از سایش آن

خصوصیات جریان مواد با عوامل زیر تغییر می کند.

۱) رطوبت

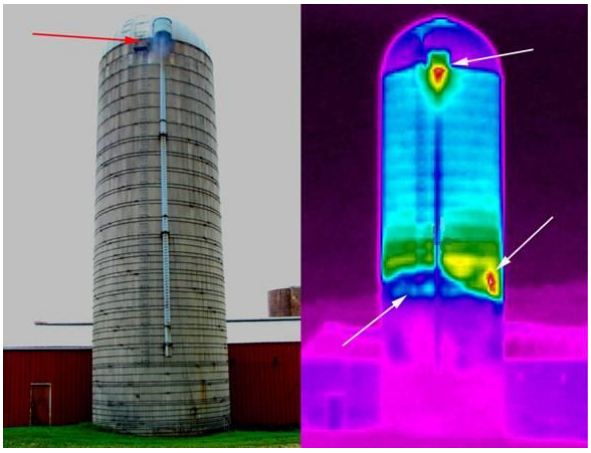
شکل ٤-٢١ : مواد با رطوبت مختلف

۲) اندازه، شکل، سختی و الاستیسیته ذرات



شکل ٤-٢٢ : تاثیر اندازه و شکل ذرات در جریان مواد

۳) درجه حرارت



شکل ٤-٢٣ : اختلاف دمایی در نقاط مختلف مخزن

٤) زمان توقف ذخیره

شکل ٤-٢٤ : مشکلاتی که در اثر ماندگی زیاد مواد رخ می دهد.

٥) مواد شیمیایی اضافه شده

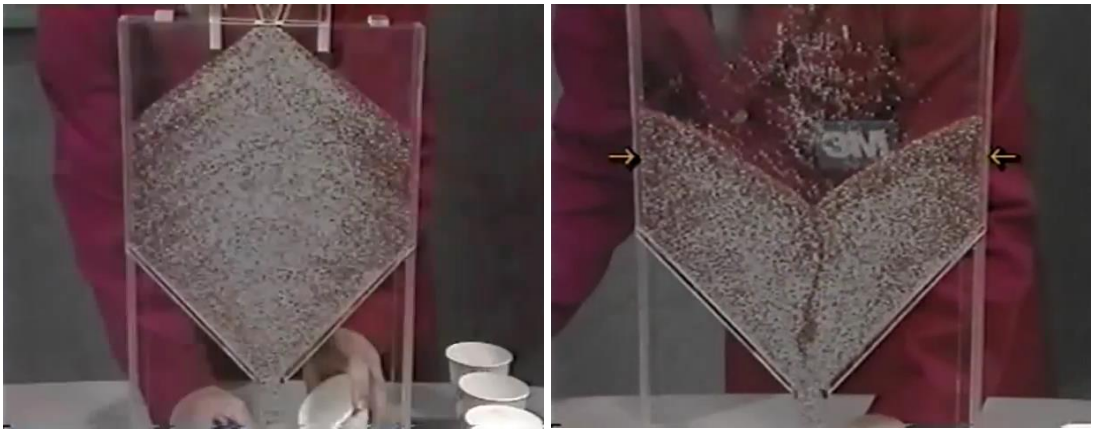
٦) سطح دیواره

٧) فشار

شکل ٤-٢٥ : آسیب ناشی از فشار بالای مواد

مرحله چهارم: تعیین خصوصیات در ارتباط با جریان یافتن مواد

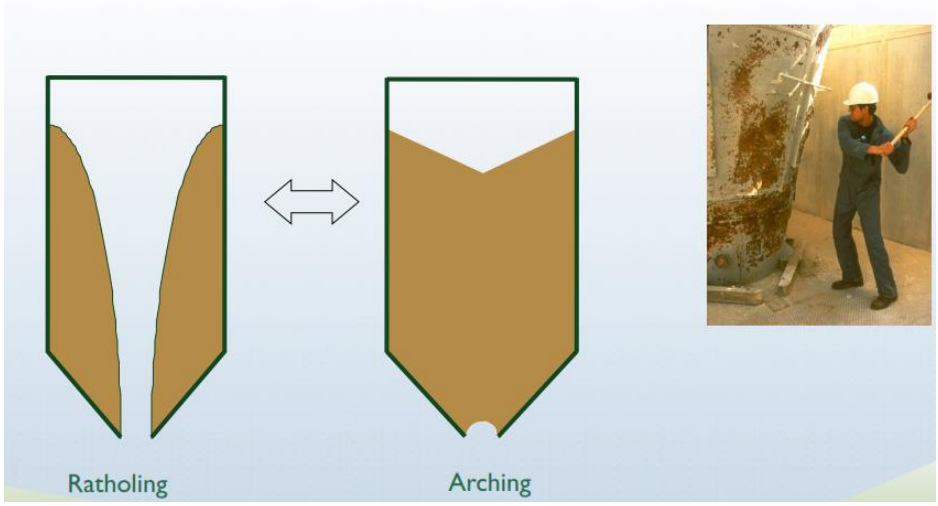
اگرچه فرض اول بر این است که موادی که اول وارد می شوند، اول هم خارج شوند ولی همواره اینطور نیست. اکثر مخازن، قیف ها، سیلوها و تانک‌های آماده ساز با الگوی جریان قیفی حرکت می کنند.



شکل ٤-٢٦ : نحوه خروج مواد از داخل مخازن

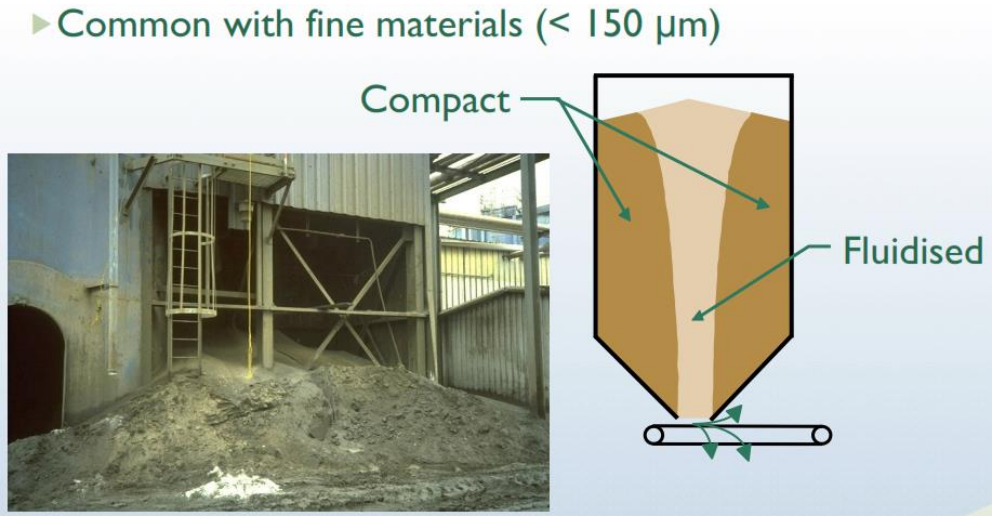
در جریان قیفی بعضی از مواد حرکت می کنند و بقیه ساکن هستند. این توالی اولین ورودی/ آخرین خروجی در صورتی که ذرات نسبتاً درشت، راحت جریان شونده، غیرقابل تجزیه و جانشینی اهمیت نداشته باشد، قابل قبول است.

در جریان قیفی طاق زنی و جریان سوراخ موشی ممکن است ایجاد شود و جریان ممکن است ناگهانی باشد.



شکل ٤-٢٧ : پدیده طاق زدن و سوراخ موشی در مخازن

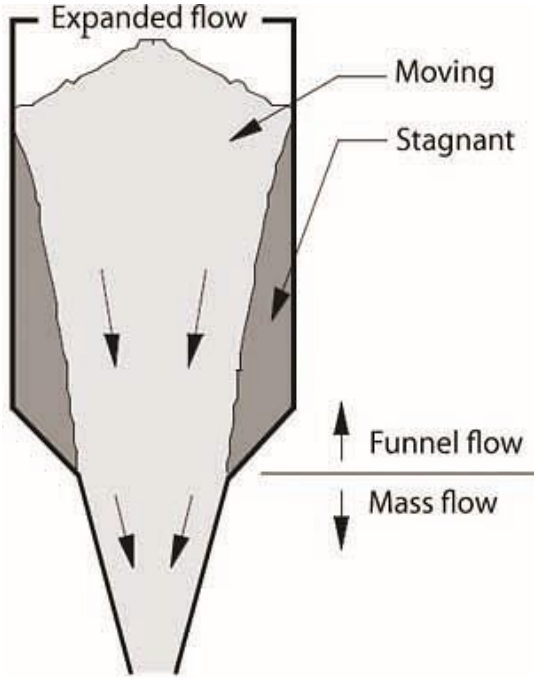
پودر های سیال شده فرصت از دست دادن هوا را ندارند و ممکن است در زمان تخلیه حالت طغیانی داشته باشند.



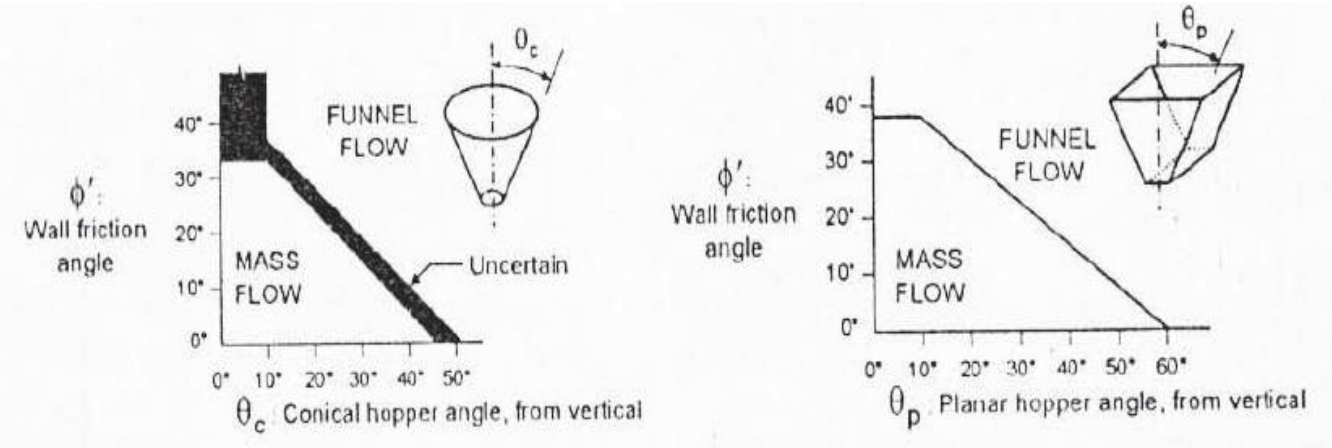
شکل ٤-٢٨ : خالی شدن ناگهانی مخزن

برای فراهم کردن جریان توده ای لازم است که بخش قیفی کاملا شیب داشته باشد و اصطکاک کمی داشته باشد تا همه مواد بدون مناطق مرده در حال جریان باشند.

خروجی باید جهت جلوگیری از طاق زنی و رسیدن به نرخ خروجی مورد نظر بزرگ باشد.



شکل ٤-٢٩ : الگوی جریان گسترده



شکل ٤-٣٠ : حدود جریان توده ای برای قیف های مخروطی و گوه ای شکل

مثال : جریان توده ای در قیف مخروطی که دارای زاویه ۲۰ درجه است و زاویه اصطکاک دیواره در آن ۲۳ درجه یا کمتر است، تشکیل می شود.

- اگر به شیب دیواره قیف ٤ درجه و یا بیشتر اضافه شود الگوی جریان به قیفی تبدیل می شود.
- اگر زاویه دیواره ۲۰ درجه باشد ولی زاویه اصطکاک تا ۲۸ درجه یا بیشتر برسد، الکوی قیفی حاصل می شود.

محاسبه اندازه خروجی مناسب برای غلبه بر طاق زنی مشکل تر است. برای این کار لازم است که استحکام چسبندگی و زاویه اصطکاک داخلی مواد تعیین شود.

دو نکته اصلی در طراحی مخزن با جریان قیفی عبارتند از:

- تعیین به قدر کافی بزرگ خروجی قیف برای غلبه بر طاق زنی و لوله‌ای شدن
- انتخاب شیب تند برای قیف به طوری که مواد روی آن باقی نمانند.

معمولاً اگر شیب قیف ۱۰ تا ۱۵ درجه بیش از زاویه اصطکاک داخلی انتخاب شود، مواد روی قیف باقی نمی مانند.

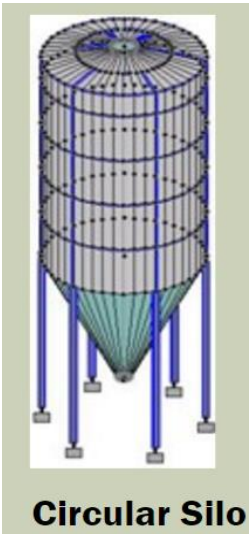
مرحله ششم: در نظر گرفتن شکل مخزن

در نگاه اول ممکن است سطح مقطع مربعی یا مستطیلی در بالای مخزن نسبت به سطح مقطع دایره ای ترجیح داده شود. چون آن‌ها راحت تر ساخته می شوند و سطح مقطع بیشتری نسبت به واحد ارتفاع دارند. ولی این مزایا بر ملاحظات ساختاری و الگوی جریان نمی‌توانند غلبه بکنند.

شکل ٤-٣١ : سیلو با قاعده مستطیلی

استوانه دایره ای شکل در مقابل فشارهای داخلی مقاومت می کند ولی دیوارهای صاف ممکن است خم شوند. به همین دلیل در صورتی که سطح مقطع دایره ای است، تقویت کننده های خارجی کمتری مورد نیاز است و ضخامت دیواره ها می تواند کمتر باشد.

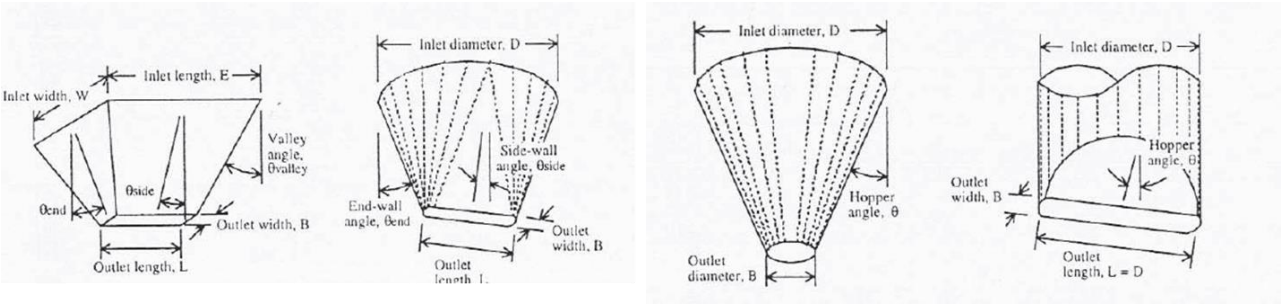
علاوه بر این، تجمع مواد (ماند) پیش نمی آید که این در حالتی که پایین مخزن قیف وجود داشته باشد، اهمیت پیدا می کند.



شکل ٤-٣٢ : سیلو با قاعده دایره

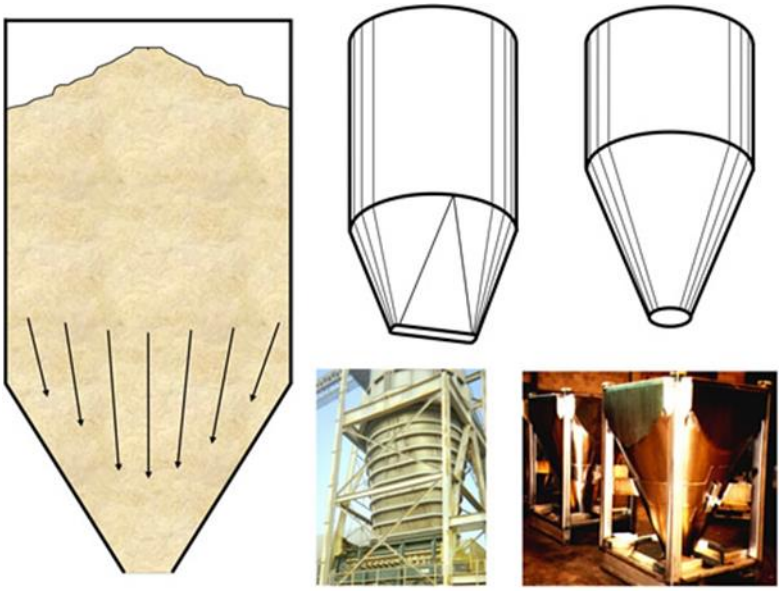
گوشه های تیز یا گرد

قیف های منشوری بدلیل داشتن زاویه داخلی کمتر نسبت به دیواره های کناری باعث ایجاد الگوی قیفی می شوند. شکل‌های مخروطی، انتقالی و قلمی بدلیل نداشتن گوشه الگوی جریان توده ای ایجاد می کند.



شکل ٤-٣٣ : بخش خروجی مخازن

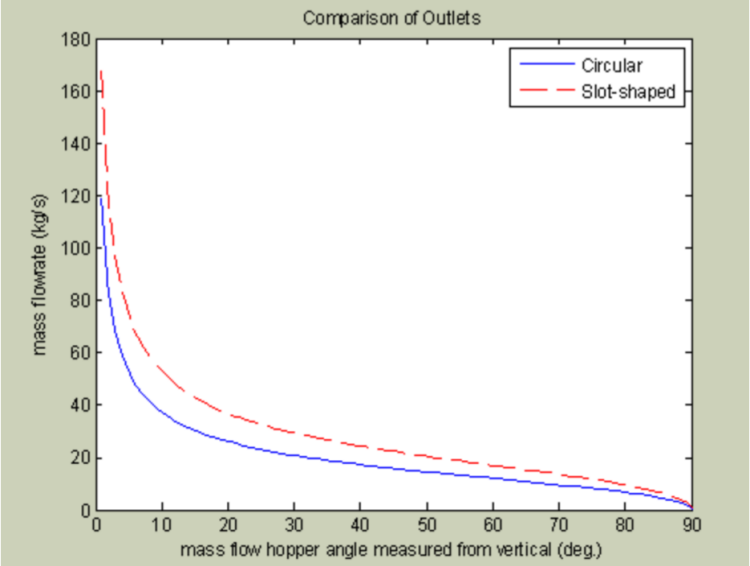
معمولاً قیف های گوه ای شکل (انتقالی و یا قلمی) می توانند ۱۰ تا ۲۰ درجه شیب کمتری نسبت به قیف مخروطی داشته باشند و هنوز جریان توده ای در آن ها بر قرار باشد. این امر باعث صرفه جویی در ارتفاع قیف و هزینه های آن می شود.



شکل ٤-٣٤ : قیف گوه ای شکل

جهت غلبه بر طاق زنی چسبندگی و یا قفل بین ذره ای، قیف مخروطی باید دارای قطر خروجی تقریباً دو برابری عرض یک قیف گوه ای داشته باشد (البته در صورتی که طول آن سه برابر عرض آن باشد). به همین دلیل مخازن مخروطی نیاز به خوراک دهنده های بزرگتری دارند.

بدلیل سطح مقطع بیشتر خروجی شکافی، نرخ بیشینه جریان زیادتر از قیف های مخروطی است.



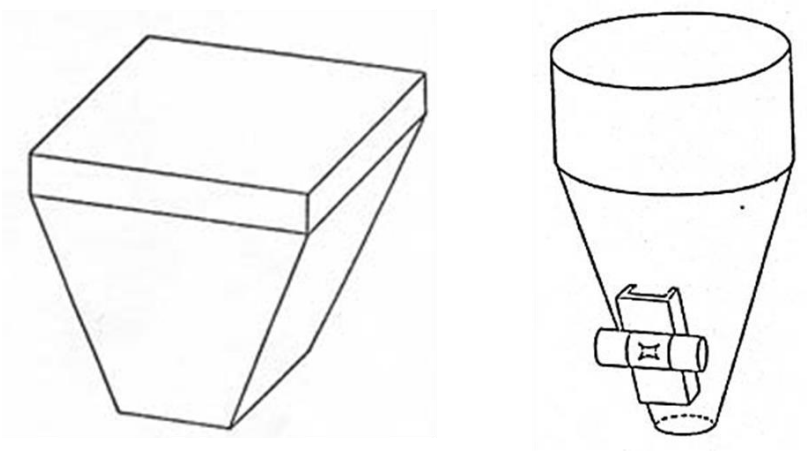
شکل ٤-٣٥ : تاثیر زاویه بخش مخروطی مخزن بر نرخ خروج مواد

معمولاً قیف های گوه های شکل فضای کمتری نیاز دارند و هزینه آستر آنها نسبت به مخروطی کمتر است، ولی خوراک دهنده و دریچه آن‌ها گران‌تر است.

شکل ٤-٣٦ : مخازن با قیف های گوه ای شکل

در اکثر کارخانه ها خارج کردن مواد در امتداد خط مرکزی مخزن برای هماهنگی با تجهیزات پایین دست حائز اهمیت است. علاوه بر آن، داشتن یک نقطه ورودی و یک نقطه خروجی که روی یک خط مرکزی باشند، مشکلات جریان یافتنی و ساختاری را کاهش می‌دهد. در چنین شرایطی مخازن مخروطی بهتر است، بخصوص زمانی که از دریچه برای شروع و توقف جریان استفاده می شود.

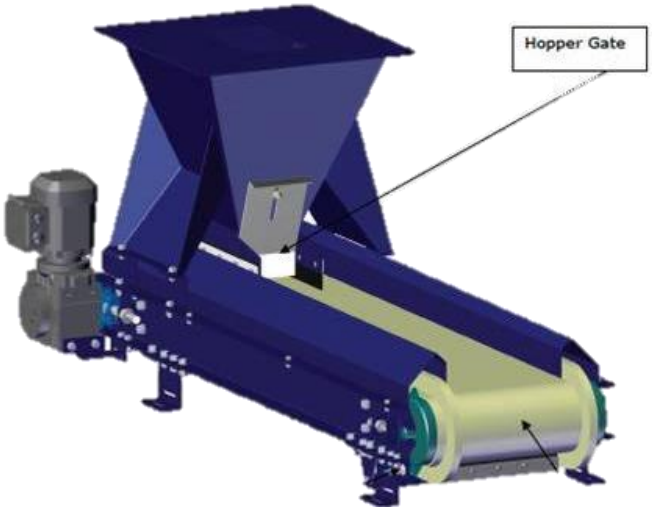
در صورتی که مواد به داخل یک محیط تحت فشار خوراک دهی می شود، خروجی دایره‌ای جهت تحمل کاهش فشار ترجیح داده می شود.



شکل ٤-٣٧ : دو خروجی مختلف در مخازن (دایره ای و مربعی)

مرحله هفتم: در نظر گرفتن عوامل دیگر

یک دریچه کشویی در خروجی مخزن جهت تعمیرات و نگهداری باید نصب شود. البته این دریچه برای کنترل یا تنظیم جریان به کار گرفته نمی شود و فقط در حالت کاملاً باز و یا کاملاً بسته به کار گرفته می شود.



شکل ٤-٣٨ : دریچه کشویی خروجی مخزن

طرح خوراک دهنده به اندازه مخزن بالای آن دارای اهمیت است. خوراک دهنده باید بطور یکنواختی مواد را از کل سطح مقطع خروجی مخزن تخلیه کند.

شکل ٤-٣٩ : خوراک دهنده های مختلف در مخازن

ابعاد داخلی فلنج ها باید طوری در نظر گرفته شود که بعد از اتصال مانعی در جلوی جریان ایجاد نکند. برای این کار معمولاً اندازه آنها یک مقدار بزرگتر در نظر گرفته می شود.

این امر باید در خصوص واشر درزبند نیز در نظر گرفته شود.

شکل ٤-٤٠ : فلنج های نصب شده در انتهای قیف خروجی

در صورتی که در داخل مخزن جوشکاری انجام شود، حتماً باید بعد از اتمام کار سطح سمباده زده شود تا هموار باشد. این کار بخصوص در بخش خروجی قیف از اهمیت زیادی برخوردار است.

شکل ٤-٤١ : چسبیدن مواد به زائده ها

آسترهای داخلی فولاد ضد زنگ یا پلی اتیلن در روی سطوح شیب دار نصب می شود.

شکل ٤-٤٢ : سایش در بدنه مخازن

در الگوی جریان توده ای، مواد نسبت به دیواره های استوانه و قیف در حال حرکت می باشند، در نتیجه در طراحی بخصوص برای مواد سائیده این نکته را در نظر داشت.

معمولاً در اثر سایش سطوح قیف هموار تر می شوند. عمر آسترهای دیواره با انجام آزمایش های سایش باید تخمین زده شود.

نصب در معمولاً در جریان یافتن مواد ایجاد مشکل می کند و فقط در مواردی که ضروری باشد در بخش استوانه ای نصب می شوند.

شکل ٤-٤٣ : دریچه دسترسی در بدنه مخزن

در طراحی علاوه بر نیروی وارده از طرف توده مواد، نیروهای خارجی نیز در نظر گرفته شوند.

در مخازنی که شکل آنها تغییر داده شده تا الگوی جریان در آنها توده ای باشد، بار زیادی در بین بخش عمودی و قیف جریان توده ای وارد می‌شود.

اگر مخزن برای مواد با چسبندگی کم طراحی شده در آن مواد با چسبندگی بالا باردهی نشود، چون باعث ایجاد طاق زدگی و لوله ای شدن می شود. تخریب این طاق ها در مواردی باعث تخریب مخزن می شود.

شکل ٤-٤٤ : در صورتی که سطح داخلی قیف صاف نباشد

تعیین اندازه خروجی قیف

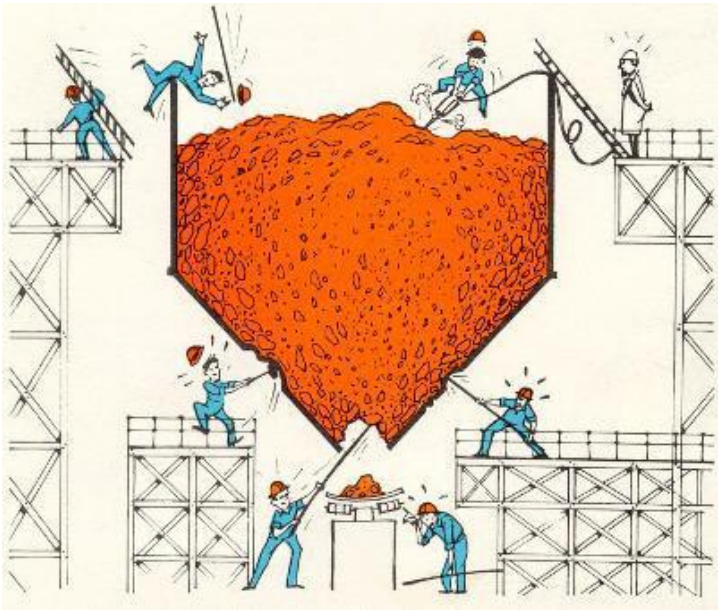
در اکثر موارد از یک خوراک دهنده جهت کنترل خروجی مواد استفاده می شود.

در چنین شرایطی حداکثر دبی قابل دستیابی از طریق خروجی قیف باید بیش از حداکثر دبی مورد انتظار خوراک دهنده باشد.

این امر در خصوص ذرات ریز اهمیت بیشتری دارد چون دبی در زمان الگوی توده‌ای کمتر از ذرات درشت است.

مرحله اول: محاسبه نسبت عرض یا قطر خروجی به اندازه ذرات

توقف جریان به دلیل قفل شدگی ذرات در صورتی که قطر خروجی کمتر از شش برابر قطر ذرات باشد قابل انتظار است.



شکل ٤-٤٥ : قفل شدگی ذرات در مخزن

در خصوص خروجی گسترده نسبت عرض به اندازه ذرات باید بیش از ۳ به ۱ باشد.

مرحله دوم: تعیین خصوصیات مواد

مشخص کنید که آیا مواد درشت، راحت تر جریان یابنده یا پودر ریز است؟

مواد در صورتی درشت به حساب می آیند که ۲۰ درصد از سرند ٦ میلی متر عبور کند.

شکل ٤-٤٦ : ذرات با اندازه های مختلف

تشخیص جریان یابندگی مواد بستگی به چسبندگی مواد، ابعاد مخزن و وجود یا عدم وجود فشار اضافی (وارد کردن لرزش بعد از پر شدن) دارد. اگر ترکیب این عوامل باعث شود که جریان مواد با مشکلی روبرو نشود (طاق زنی و لوله ای شدن)، آن مواد راحت جریان شونده به حساب می آیند.

پودر ریز به جامد هایی اطلاق می شود که خواص جریانی آنها تحت تاثیر هوای بین ذرات قرار گیرد مانند آرد.

شکل ٤-٤٧ : ذرات با اندازه بسیار ریز (پودر)

مرحله سوم: تعیین حداکثر دبی جریان قابل دستیابی

اگر مواد درشت است ولی به راحتی جریان پیدا نمی کند باید اندازه خروجی افزایش پیدا کند و یا استحکام چسبندگی مواد کاهش داده شود تا به راحتی جریان پیدا کند.

در خصوص مواد درشت و راحت جریان یابنده اگر نسبت اندازه خروجی به اندازه ذرات جهت جلوگیری از پل زدن به اندازه کافی بزرگ در نظر گرفته شود، حداکثر نرخ قابل دستیابی است.

حداکثر دبی مواد درشت و راحت جریان یابنده (گندله های پلاستیکی) از رابطه زیر قابل محاسبه است.

$$Q = 3600\gamma A\left[\frac{Bg}{2(1+m)\tan\theta}\right]^{\frac{1}{2}}$$

Q : دبی (lb/h)

γ : دانسیته توده ای (lb/ft^3)

A : سطح مقطع خروجی (ft^2)

B : قطر خروجی دایره ای یا عرض خروجی شکافی (ft)

g : شتاب ثقل $(32\frac{ft}{s^2})$

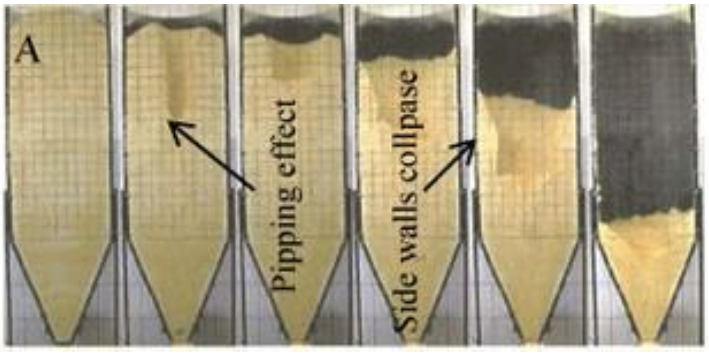
m : برابر با صفر در خروجی شکافی و برابر یک در قیف مخروطی

θ : زاویه انتقال جریان (از خط عمودی)

در صورتی که اندازه ذرات بقدری بزرگ باشند که بخش قابل توجهی از خروجی را تشکیل دهد، در رابطه اندازه ذرات را باید به نحوی وارد کرد.

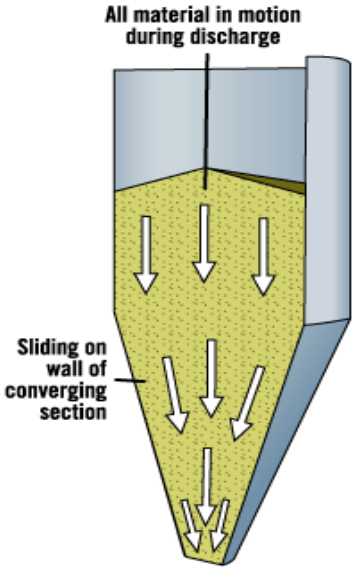
در صورتی که الگوی جریان قیفی باشد زاویه انتقال (θ) به دلیل وجود مناطق ساکن دقیقاً مشخص نیست و در نتیجه پیش بینی دبی مشکل تر است. معمولاً خروجی بیشینه از الگوی قیفی نسبت به الگوی توده ای برای خروجی یکسان بیشتر است.

در صورتی که مواد بسیار ریز شده باشند در مخازن با جریان قیفی به راحتی قابل جابجا شدن نیستند. ذرات ریز بدلیل از دست ندادن هوای داخل آن‌ها به صورت بستر سیال باقی می مانند و غیر قابل کنترل شده خارج می شوند.



شکل ٤-٤٨ : خروج کنترل نشده ذرات ریز در مخازن

مخازن با الگوی تودهای برای مواد ریز مناسب تر می باشند ولی حداکثر دبی آن‌ها خیلی کمتر از ذرات درشت است. دلیل کاهش دبی، جریان رو به بالای هوا از طریق قیف خروجی است که توسط خلاء ایجاد شده کم در اثر عبور مواد می باشد.



شکل ٤-٤٩ : خروج ذرات با الگوی توده ای

در صورتی که دبی خروجی مخازن با الگوی توده ای کم باشد، روش‌های زیر را برای افزایش آن می توان به کار گرفت:

- افزایش اندازه خروجی

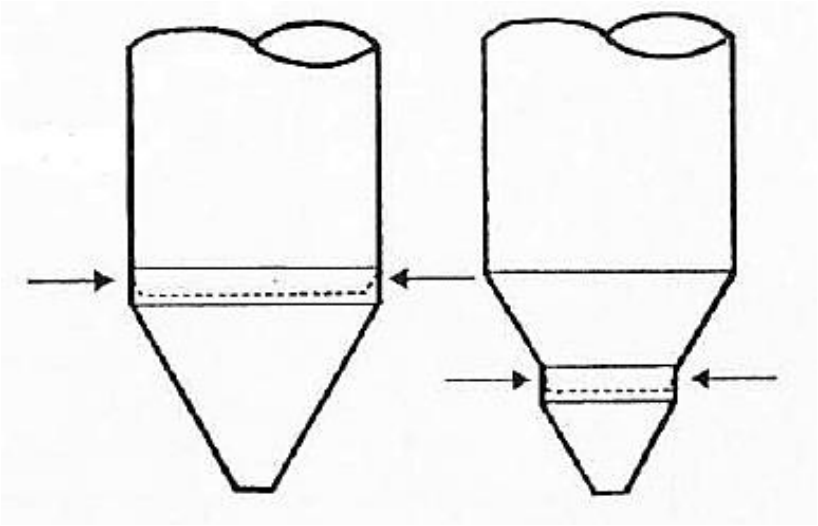
چون نرخ خروجی متناسب با سطح مقطع خروجی می باشد، دو برابر کردن آن خروجی را تقریبا چهار برابر می کند.

- کاهش سطح مواد در مخزن

ذرات ریز مانند سیال رفتار نمی‌کنند.

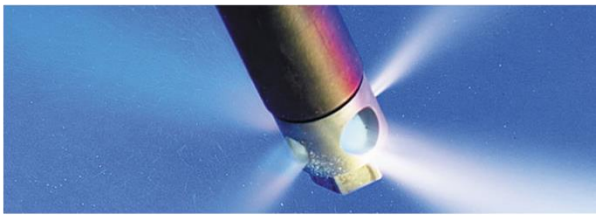
– وارد کردن هوا

این کار باعث می شود که هوایی که از بیرون به داخل کشیده می‌شود، کمتر شود و در نتیجه دبی جریان بین ۲ تا ۵ برابر می‌شود.



شکل ٤-٥٠ : افزایش قطر خروجی مخزن برای افزایش نرخ خروج مواد

درصورتی که مواد پودر ریز و دبی خروجی بالا مورد نیاز باشد و مخزن با الگوی جریان توده ای نیز از عهده آن بر نمی آید باید از سیستم بستر سیال استفاده کرد.

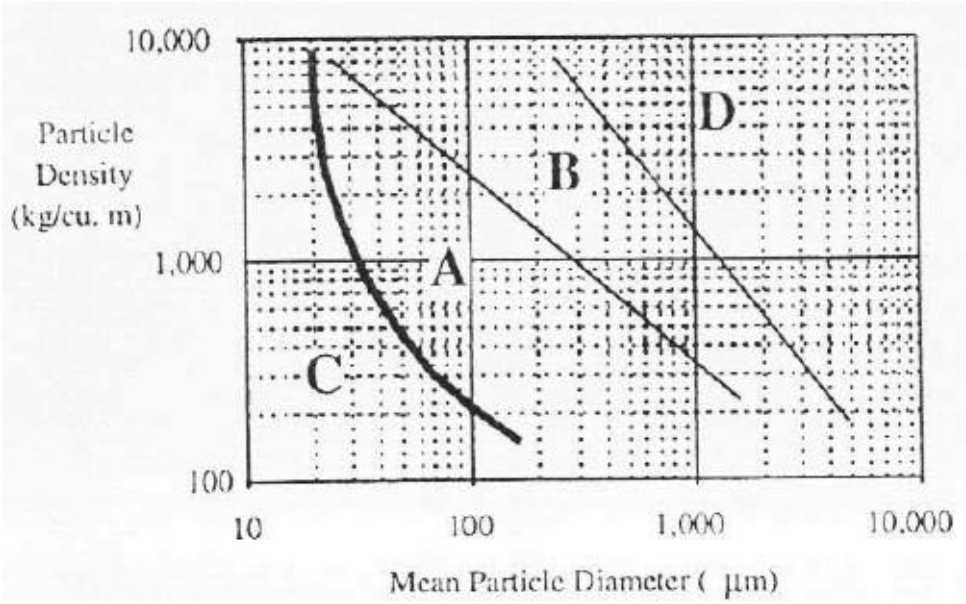


شکل ٤-٥١ : مهیا کردن سیستم بستر سیال در مخزن

برای استفاده از سیستم بستر سیال چسبندگی و نفوذ پذیری ذرات کم باشد تا بستر به صورت یکنواختی حالت سیالیت پیدا کند و به راحتی هوای خود را از دست ندهد.

شکل ٤-٥٢ : استفاده از هوای پر فشار به منظور کمک به حرکت مواد در مخزن

از نمودار Geldart برای تشخیص اینکه آیا مواد مناسب برای سیال‌سازی می باشند یا نه استفاده می شود. مناطق A و B برای سیال‌سازی مناسب می باشند. C مشکل و برای D نیاز به هوای زیاد می باشد چون ذرات خیلی سریع ته نشین می شوند.



شکل ٤-٥٣ : مشخص کردن قابلیت سیال شوندگی ذرات

عوامل مورد ارزیابی جهت سیال کردن بستر

- دانسیته توده ای مواد کاهش پیدا خواهد کرد و این امر در تجهیزات پایین دستی ممکن است ایجاد مشکل کند.
- دانسیته توده ای بسته به میزان سیال شدن در زمان تغییر خواهد کرد که مشکل آفرین خواهد بود.
- هزینه انرژی و گاز مصرفی باید به عنوان هزینه عملیاتی در نظر گرفته شود.
- اندازه گیری دبی جریان، باید توان اندازه گیری نرخ مواد مشابه سیال را داشته باشد.
- درصورتی که جدانشینی مواد وجود دارد، نباید از این شیوه استفاده کرد.

انتخاب خوراک دهنده

زمانی که لازم است که نرخ جریان خروجی از مخازن کنترل شود از خوراک دهنده استفاده می شود.

شکل ٤-٥٤ : خوراک دهنده های مختلف

شاخص های انتخاب خوراک دهنده

مستقل از نوع خوراک دهنده انتخابی، شرایط زیر باید فراهم گردد:

- ✓ برقراری جریان پیوسته و قابل اطمینان مواد از مخزن
- ✓ امکان تنظیم دبی خروجی در یک محدوده معین
- ✓ تخلیه یکنواخت مواد از خروجی با بکارگیری الگوی جریان توده ای که از جدانشینی، ایجاد کیک و نواحی مرده جلوگیری میکند.
- ✓ حداقل کردن نیروی اعمالی به خوراک دهنده از تجهیزات بالادست. این امر توان مورد نیاز برای کار خوراک دهنده را کم کرده و سایش اجزاء مختلف خوراک دهنده را کاهش می دهد.

تقسیم بندی کلی خوراک دهنده ها

خوراک دهنده ها به دو نوع کلی حجمی و وزنی تقسیم می شوند.

- ✓ خوراک دهنده حجمی دبی حجمی خروجی از مخزن را تنظیم و کنترل می کند. چهار نوع متداول این نوع خوراک دهنده عبارتند از: مارپیچی، شیر چرخشی و صفحه لرزان.
- ✓ خوراک دهنده های وزنی دبی جرمی را تنظیم می کنند و می توانند پیوسته و یا ناپیوسته کار کنند. در سیستم ناپیوسته بعد از تخلیه مقدار معینی مواد در واحد زمان آن متوقف می شود.

مراحل انتخاب خوراک دهنده

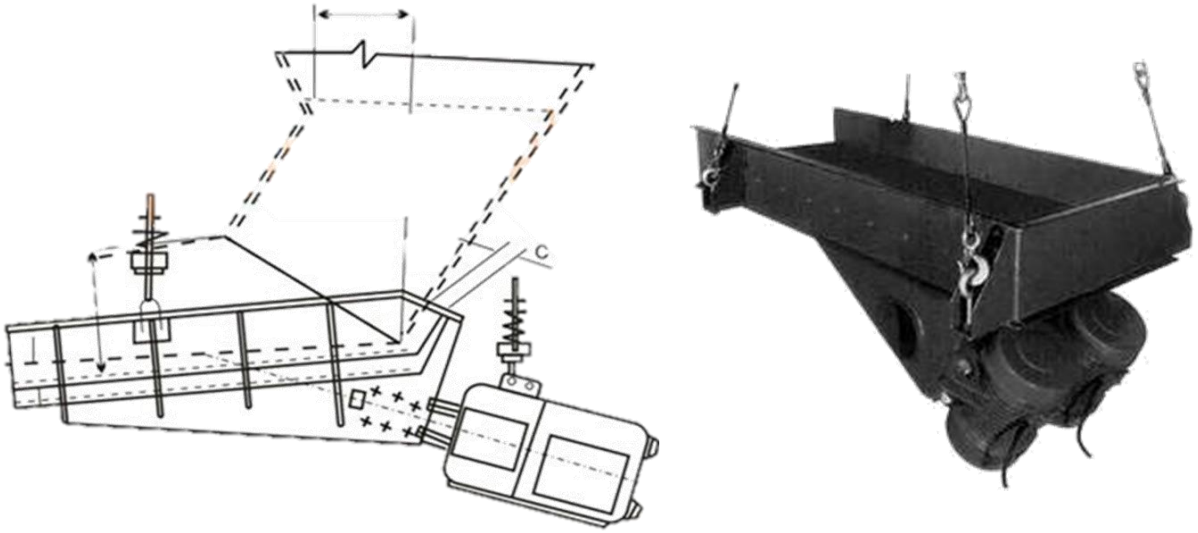
مرحله اول: تعیین بزرگترین اندازه ذرات

اگر ذرات کوچکتر از ۱/۲ سانتی متر است تقریباً از هر نوع خوراک دهنده قابل استفاده است.

اگر ذرات بزرگتر از ۰/۵ سانتی متر است از خوراک دهنده های نواری و یا لرزان استفاده می کنند.

مرحله دوم: اهمیت سایش ذرات

اگر سایش ذرات مهم باشد از خوراک دهنده لرزان باید استفاده کرد. خوراک دهنده های مارپیچی و شیر گردشی مناسب نیستند.



شکل ٤-٥٥ : خوراک دهنده لرزان

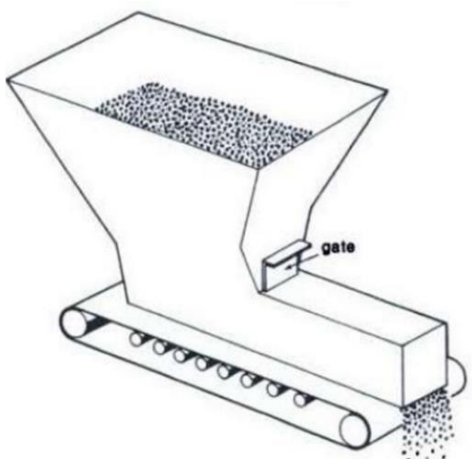
مرحله سوم: تعیین فراوانی برخورد مستقیم مواد روی خوراک دهنده

در چنین حالاتی خوراک دهنده لرزان صفحه ای مناسب تر است.

شکل ٤-٥٦ : خوراک دهنده لرزان صفحه ای

مرحله چهارم: تعیین شکل خروجی قیف متصل به خوراک دهنده

خروجی دایره ای و مربعی محدودیتی در انتخاب خوراک دهنده ایجاد نمی کنند. ولی خروجی های گسترده به خوراک دهنده مارپیچی یا نواری نیاز دارند.

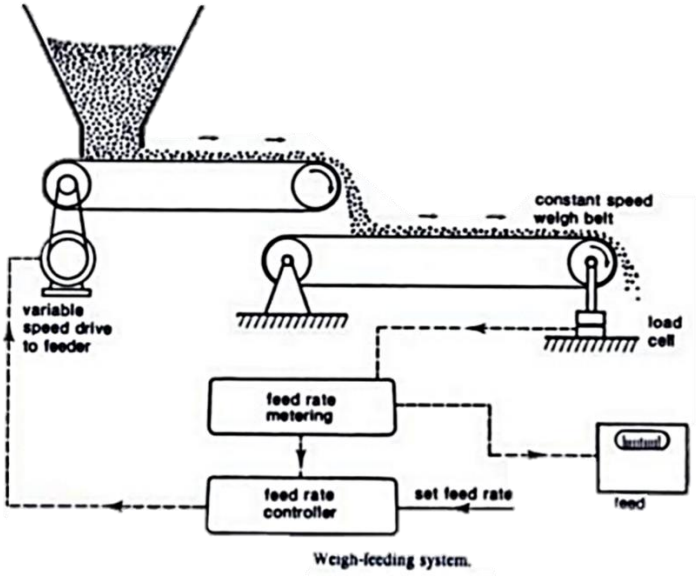


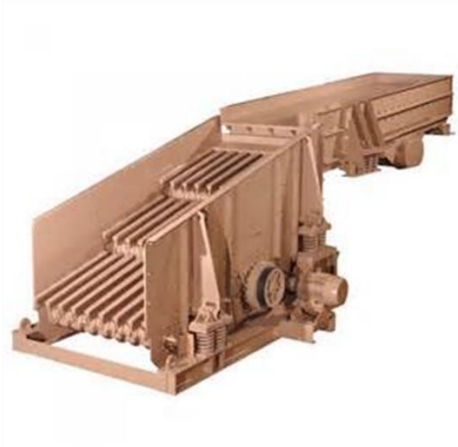
ب الف

شکل ٤-٥٧ : خوراک دهنده الف) نواری و ب) مارپیچی

مرحله پنجم: تعیین حجمی یا وزنی بودن کنترل جریان

- خوراک دهنده های مارپیچی، شیر چرخشی و لرزان صفحه ای بر اساس حجم می توانند جریان را کنترل کنند.
- خوراک دهنده های نواری برای هر دو مورد کاربرد دارند.

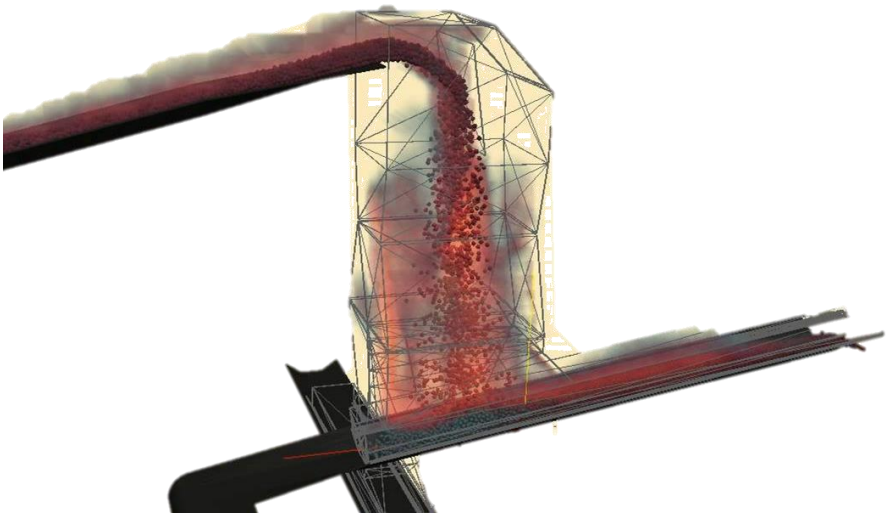




شکل ٤-٥٨ : کنترل جریان بر اساس حجم آن

مرحله ششم: تعیین درجه حرارت عملیات

خوراک دهنده نواری تا حدود ۲۰۰ درجه می توانند به کار گرفته شوند و برای درجه حرارت های تا ۵۰۰ درجه می توان از خوراک دهنده مارپیچی، شیر گردشی و لرزشی صفحه ای استفاده کرد.



شکل ٤-٥٩ : شبیه سازی تغییرات درجه حرارت داخل یک خوراک دهنده

مرحله هفتم: تعیین ظرفیت طراحی

ترتیب استفاده از خوراک دهنده ها به ترتیب ظرفیت آنها عبارتند از:

١- خوراک دهنده نواری

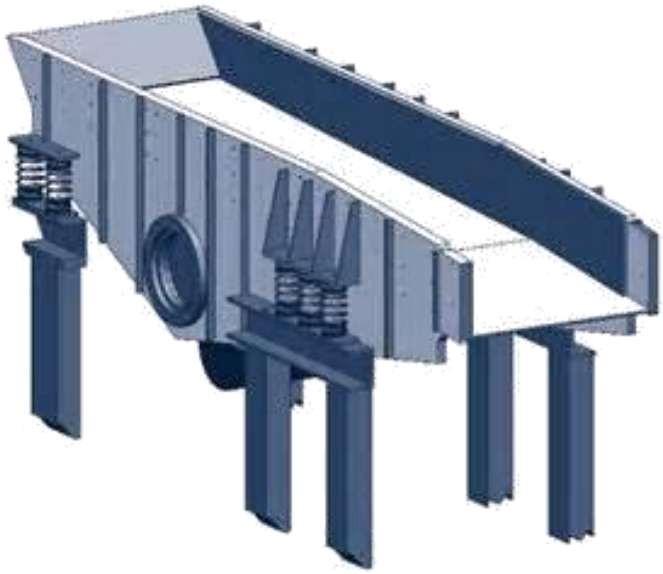
٢- خوراک دهنده مارپیچی

٣- خوراک دهنده شیر چرخشی

٤- خوراک دهنده لرزان صفحه‌ای

معمولا ظرفیت حداکثر خوراک دهنده‌ی نوار ٣٠٠٠ تن بر ساعت است، در حالی که این مقدار برای خوراک دهنده‌های دیگر ٥٠٠ تن بر ساعت است.

حداقل نرخ خوراک دهی باید مشخص شود. در اغلب خوراک دهنده‌ها، نسبت کم شدن ١٠ به یک قابل دستیابی است. برای مقادیر بیشتر، خوراک دهنده لرزان صفحه‌ای مناسب تر است.

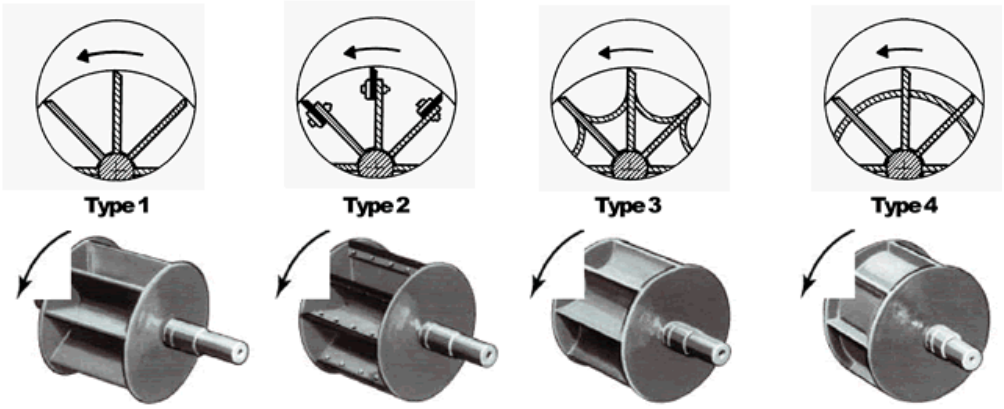


شکل ٤-٦٠ : خوراک دهنده لرزان صفحه‌ای

مرحله هشتم: ملاحظات خاص

در صورتی که مواد به محیط تحت فشار خوراک دهی می‌شود، خوراک دهنده شیر گردشی مناسب است.

اگر ریخت و پاش نکردن مواد اهمیت دارد، نباید از خوراک دهنده نواری استفاده شود.



شکل ٤-٦١ : انواع مختلف شیرهای خوراک دهنده ها

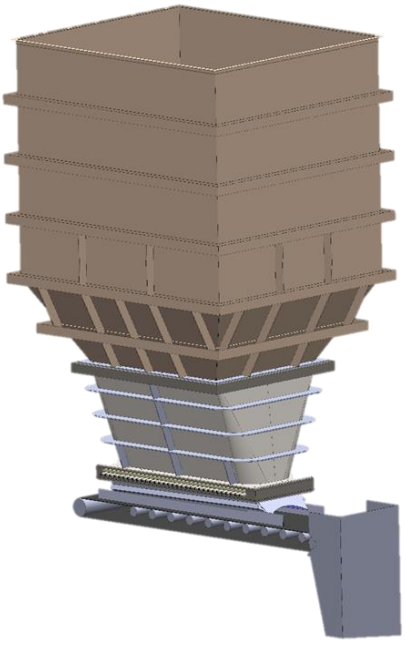
مرحله نهم: تعیین خصوصیات مواد که بر انتخاب خوراک دهنده موثر است

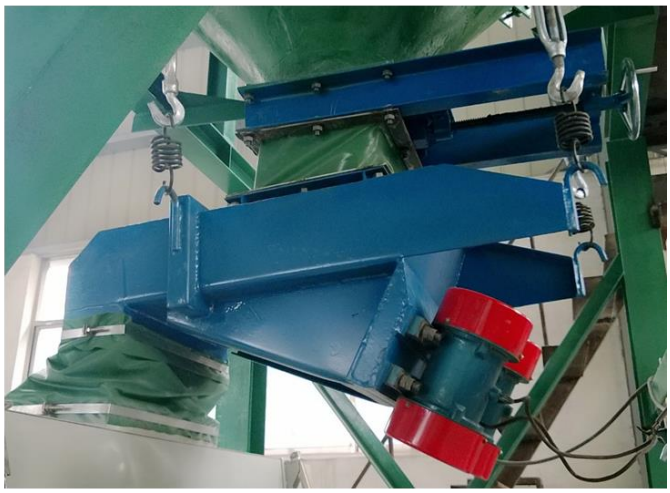
در صورتی که مواد بسیار ریز هستند، گرد و غبار و احتمال طغیان مواد، وجود دارد. اما از خوراک دهنده‌ی شیر گردشی و یا مارپیچ خوب طراحی شده می‌توان استفاده کرد.

در مواردی که مواد به فشار حساس هستند، بهترین نوع خوراک دهنده، نواری است.

برای موادی که تجزیه می‌شوند یا واکنش می‌دهند، خوراک دهنده نواری و لرزان صفحه‌ای مناسب‌ترند، چون مناسب مرده ندارند.

در شرایطی که در خوراک مواد مزاحم ممکن است باشد، از خوراک دهنده نواری و لرزان باید استفاده کرد.

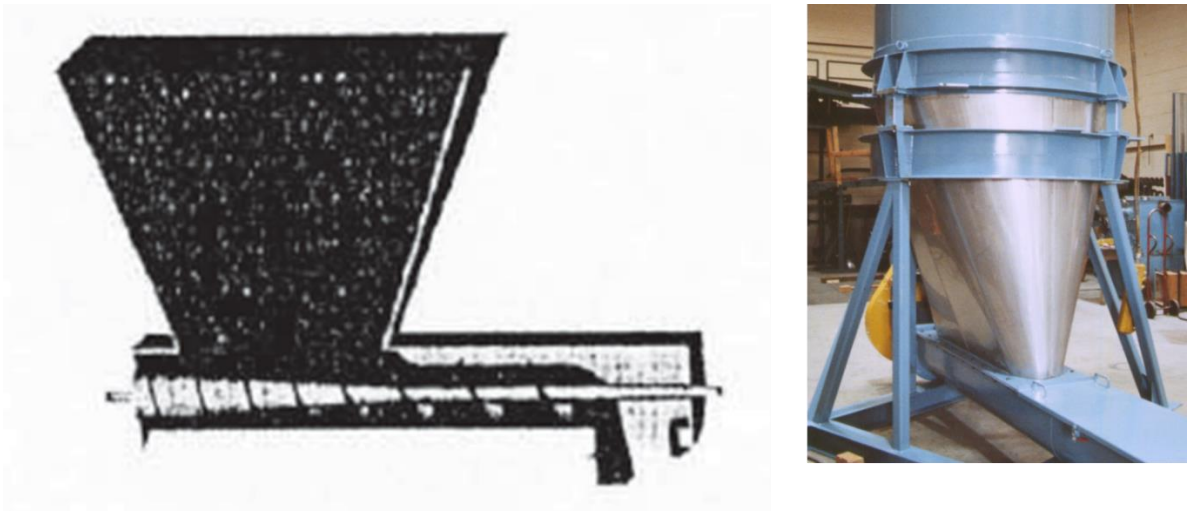




الف ب

شکل ٤-٦٢ : خوراک دهنده الف) لرزان و ب) نواری

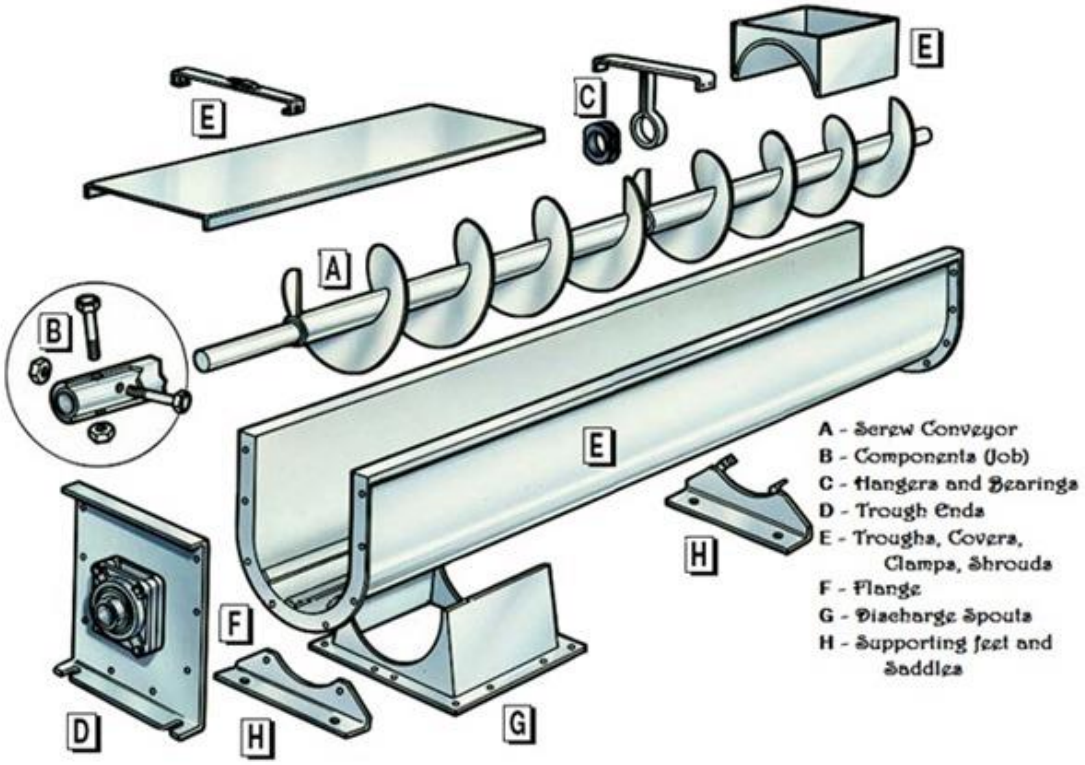
نکته کلیدی در خوراک دهنده‌های مارپیچی، فراهم کردن افزایش ظرفیت در جهت خوراک دهی است.



شکل ٤-٦٣ : خوراک دهنده‌های مارپیچی

جهت فراهم کردن خروجی یکنواخت در امتداد خروجی قیف، ترکیبی از افزایش زاویه چرخش و کاهش قطر محور بکار گرفته می‌شود.

معمولا طول مارپیچ بیش از ٦ تا ٨ برابر قطر آن ساخته می‌شود.



شکل ٤-٦٤ : اجزای مختلف خوراک دهنده‌های مارپیچی

خوراک دهنده‌های نواری

در این نوع خوراک دهنده طراحی طوری است که در امتداد طول نوار افزایش ظرفیت فراهم می‌شود.
برای این کار در ابتدا فاصله بین قیف و خوراک دهنده کم است و به تدریج اضافه می‌شود (گوه‌ای شکل).
عمق مواد در ابتدای خروجی حداقل باید ۵/۱ تا ۲ برابر بزرگترین اندازه ذرات باشد تا از گرفتگی جلوگیری کند.

شکل ٤-٦٥ : خوراک دهنده نواری

خوراک‌دهنده لرزان

این نوع خوراک دهنده در فراهم کردن یک لایه پیوسته از مواد در خروجی عالی می‌باشد.
این نوع خوراک دهنده فقط برای اتصال به مخازن با خروجی دایره‌ای یا مربعی مناسب است.
این نوع خوراک دهنده برای مواد دارای چسبندگی مناسب نیستند و برای خروجی مخازن دایره‌ای و مربعی بکارگرفته می‌شود.

دریچه ها

جهت انجام تعمیرات روی خوراک دهنده‌ها از دریچه‌های مختلفی مانند دریچه‌ی کشویی برای جداکردن خوراک دهنده از مخزن بالا دست استفاده می‌شود.

دریچه‌ها باید در حالت کاملا باز و یا بسته کار کند در غیر این صورت باعث ایجاد منطقه مرده می‌شوند.

ارتفاع دریچه باید در کمترین مقدار باشد تا فشار اضافی روی خوراک دهنده وارد نشود.

فصل پنجم

خصوصیت سنجی جامدهای تودهای جهت دستیابی به جریان یکنواخت از مخازن

مقدمه

مخازن، قیف‌ها، خوراک دهنده‌ها و نوار نقاله‌ها، جامدهای توده‌ای را تقریباً در هر صنعتی از صنایع شیمیایی و داروسازی تا تولید برق و معدنکاری جابه جا می‌کند. در طی عملیات، رفتار جامد توده‌ای در چنین تجهیزاتی همواره قابل پیش‌بینی و قابل اعتماد نیست.

جریان غیریکنواخت به دلیل غیرکارا کردن فرآیندها، اتلاف محصول و مشکلات عملیاتی می‌تواند خیلی هزینه‌بر باشد. جریان مواد ممکن است به واسطه تشکیل طاق یا لوله‌ای شدن، طغیان ذرات بسیار ریز، متوقف شود. با توجه به اطلاعات در خصوص جریان و ذرات دانه‌ای مهندسان می‌توانند انتخاب مخزن، تجهیزات خوراک‌دهی، فرآوری و انتقال را بهینه کنند. این اطلاعات می‌تواند جهت حل مشکلات تجهیزات موجود نیز به کار گرفته شوند.

برای مهندسان نام ماده مانند پودر پلی‌اتیلن، تری‌پلی‌فسفات سدیم اطلاعاتی در ارتباط با خصوصیات جریانی آنها بدست می‌دهد. در حالت کلی، این امر ممکن است درست باشد ولی راه قابل اطمینانی نیست. برخلاف انتظار، تفاوت‌های عمده در قابلیت جریان یافتنی در بین انواع مختلف یک ماده معین مشاهده می‌شود.

چهار مشخصه نامناسب برای طراحی مخازن

چهار مشخصه‌ای که در زیر می‌آید اغلب جهت پیش‌بینی رفتار جامدهای توده‌ای به کار گرفته می‌شوند.

زاویه قرار

تعیین زاویه قرار ساده است: تشکیل توده‌ای از مواد و اندازه‌گیری شیب آن. بخش مشکل کار نحوه استفاده از این داده است. برای اکثر مواد، زاویه قرار بستگی زیادی به نحوه ساختن توده مواد دارد. علاوه برآن، نحوه تشکیل توده شباهت بسیار کمی با تشکیل طاق یا لوله‌ای شدن در مخازن و قیف‌ها و یا دیگر پارامترهای کلیدی مورد نیاز برای طراحی سیستم انتقال مواد دارد. به طور کلی، زاویه قرار مواد، شاخص دقیق اندازه‌گیری قابلیت جریان یافتن مواد نیست. عمده‌ترین کاربرد آن در تعیین ارتفاع و حجم توده است.

توزیع اندازه ذرات و رطوبت

ذرات خیلی ریز یا مرطوب معمولاً جهت جابه جا کردن مشکلات بیشتری نسبت به ذرات خشک ایجاد می کنند. اگر چه، همانند زاویه قرار، هیچ کس نمی‌تواند مستقیماً از توزیع دانه‌بندی ذرات و یا رطوبت، قابلیت جریان یافتنی توده جامد را محاسبه یا پیش‌بینی نماید. این اطلاعات می‌تواند به عنوان معیارهای کیفی در کنار شاخص‌های کاملاً کمی به کار گرفته شوند.

مواد راحت جریان شونده و غیر راحت جریان شونده

تقسیم بندی این که ماده‌ای راحت جریان شونده است یا نه بستگی زیادی به سیستم انتقال به کار گرفته شده دارد.

به عنوان مثال، ماده‌ای که نیاز به خروجی با اندازه ۵ سانتی متری جهت جلوگیری از طاق‌زنی دارد به راحتی از مخازن، سیلوها، قیف‌ها ودیگر تجهیزات فرآوری با خروجی بزرگتر جریان پیدا می‌کند. همان مواد، اگر در قیفی با خروجی کوچکتر قرار داده شود، طاق می‌زند. در نتیجه، این پارامترها نسبی است و به طور مطلق نشان دهند، قابلیت جریان یافتنی نمی‌باشد.

ویسکوزیته

مواد جامد در حال جاری شدن تنش‌های برشی ایجاد می‌کند و قادر است این تنش‌ها را حفظ کند حتی زمانی که دبی آنها به طور چشمگیری تغییر کند. مواد جامد توده‌ای ساکن نیز می‌تواند تنش‌های برشی خود را حفظ کند. هر دو پدیده، برخلاف سیال‌ها است که نیاز به حرکت جهت ایجاد و حفظ تنش‌های برشی دارد. در نتیجه، تمام جامدهای توده‌ای برخلاف سیال‌ها نمی‌توانند فرض شوند که ویسکوزیته دارند.

پارامترهای مناسب جهت پیش‌بینی رفتار جریان مواد توده‌ای:

۱- مقاومت چسبندگی
۲- خواص اصطکاکی
۳- لغزش در محل‌های برخورد
٤- قابلیت فشرده شدن
٥- نفوذپذیری
٦- تمایل به جدانشینی
۷- قابلیت خرد شدن
۸- سایندگی
۹- خصوصیات انتقال با هوا

۱- مقاومت چسبندگی

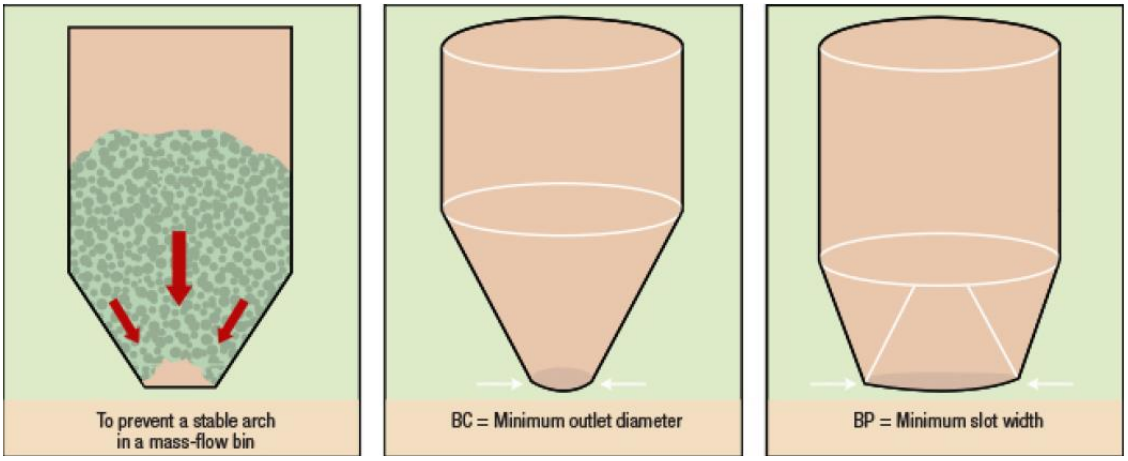
خیلی از مواد توده‌ای زمانی که از یک کیسه ریخته می‌شوند مانند یک مایع جریان پیدا می‌کنند. تحت این شرایط، چنین موادی مقاومت چسبندگی ندارند. اگر چه، وقتی در دست فشرده می‌شوند، آنها ممکن است مقاومت کافی برای حفظ شکل خود را بدست آورند.

شرایط مشابهی در داخل مخازن، سیلوها و قیف‌ها اتفاق می‌افتد. فشارهای تحکیم از صفر در سطح شروع و به مقادیر نسبتاً بالا در اعماق بیشتر می‌رسد. اگر ذرات جامد به دلیل فشارهای اعمالی، مقاومت چسبندگی پیدا کند، طاق خواهند زد و یا لوله‌ای خواهند شد. طاق (گنبد یا پل) یک مانع پایداراست که در روی باریک‌ترین بخش ظرف ذخیره (معمولاً خروجی) تشکیل می‌شود. طاق‌ها از بقیه محتوی مخزن حمایت می‌کنند و از خروج مواد جلوگیری می‌کنند. لوله‌ای شدن (سوراخ موش) یک لوله پایدار یا حفره عمودی است که مواد را از خروجی تخلیه می‌کند. مواد در بخش‌هایی ساکن و مرده می‌مانند که تا زمان وارد کردن یک نیروی خارجی جهت حرکت و کنده شدن، در جای خود باقی می‌مانند.

مقاومت چسبندگی به صورت تابعی از فشار تحکیم قابل اندازه‌گیری است. در آزمایشگاه، نمونه مواد در سلول آزمایش برش مستقیم قرار داده می‌شود و بارهای فشاری و برشی جهت شبیه‌سازی شرایط جریان در مخازن به آن اعمال می‌شود زمانی که نمونه تحت تحکیم قرار گرفت، مقاومت آن با وارد کردن نیروی برشی تا گسیختگی، اندازه‌گیری می‌شود با تکرار این آزمایش در شرایط مختلف مقاومت برحسب فشار تحکیم که تابع جریان نام دارد، بدست می‌آید. تابع جریان مواد در مرحله بعد برای

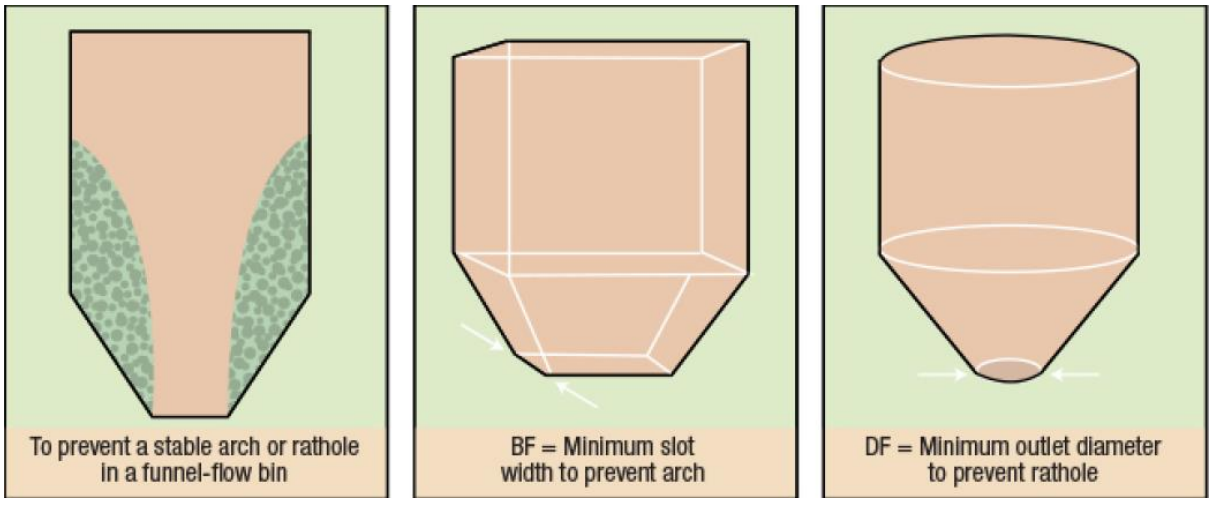
محاسبه حداقل ابعاد خروجی (BF,BP,BC,DF در شکل‌های ۵-۱ و ۵-۲) جهت جلوگیری از طاق‌زنی چسبندگی و لوله‌ای شدن به کار گرفته می‌شود.

دو نوع الگوی جریان در مخازن وجود دارد. مخزن جریان توده‌ای دارای یک بخش خروجی نسبتاً طولانی و مخروطی می‌باشد (شکل ۵-۱). در جریان توده‌ای، همه مواد در زمان تخلیه در حال حرکت می‌باشند در نتیجه هیچ ناحیه ساکن و مرده‌ای تشکیل نمی‌شود.



شکل ۵-۱: اندازه خروجی عامل حیاتی در جلوگیری از تشکیل طاق در مخزن جریان توده‌ای است.

مخزن جریان قیفی برعکس، دارای بخش خروجی نسبتاً کوتاه است. (شکل ۵-۲) اگر چه ظرفیت ذخیره سازی برای یک ارتفاع معین در مخزن جریان قیفی بیشتر است ولی به دلیل هندسه خاص، مواد بخش میانی حرکت می‌کنند و مواد در دیواره‌ها ساکن می‌باشند. مناطق مرده حاصل، ممکن است جریان مواد را دچار مشکل کند.



شکل ۵-۲: اندازه خروجی جریان قیفی باید طوری انتخاب شود که از تشکیل طاق و یا لوله‌ای شدن جلوگیری کند.

برای مخزن جریان توده‌ای با خروجی دایره‌ای، حداقل قطر مورد نیاز جهت جلوگیری از طاق زدن با BC بیان می‌شود (شکل۵-۱، مرکز). به عنوان مثال اگر ماده‌ای که اندازه خروجی بحرانی آن ۳۰ سانتی متر است در مخزن جریان توده‌ای که خروجی آن ۱۵ یا ۲۰ سانتی متر است ذخیره شود، طاق پایدار تشکیل خواهد شد. برعکس، اگر اندازه خروجی ۳۰ یا ۳۵ سانتی متر باشد به دلیل عدم تشکیل طاق پایدار، مواد جریان پیدا خواهد کرد.

قیف‌های غیرمخروطی نیز به کار گرفته می‌شوند. به طور کلی، شکل گوه‌ای با خروجی گسترده جزو هندسه‌های مناسب می‌باشد که می‌تواند محدوده وسیعی از شرایط را بدون توقف جریان، پوشش دهد. حداقل عرض خروجی برای جلوگیری از تشکیل طاق در قیف گوه‌ای شکل در قیف جریان توده‌ای با BP نشان داده می‌شود (شکل ۵-۱، راست) برای یک ماده معین، این مقدار معمولاً نصف BC است. به عنوان مثال، اگر برای ماده‌ای BC برابر با ۳۰ سانتی متر باشد، این ماده به راحتی در قیفی که اندازه عرض خروجی شکافی آن ۱۵ سانتی متر است، جریان پیدا می‌کند. به عنوان قانون کلی، طول خروجی شکافی باید حداقل سه برابر عرض آن باشد تا تأثیر دیواره‌های مخزن را به حداقل برساند. بنابراین، در مثال ذکر شده، ابعاد خروجی می‌تواند ۱۵ در ٤٥ سانتی متر و یا بیشتر باشد، در مقایسه با مخازن جریان توده‌ای مخازن با جریان قیفی چندین مزیت دارند: این مخازن نیاز به قیف نسبتاً کوتاه‌تری دارند و ارتفاع مورد نیاز برای ذخیره سازی برای یک ظرفیت ذخیره‌سازی یکسان آنها کمتر است. از طرف دیگر، چون در کنار دیواره‌ها حرکت مواد کم است، احتمال سایش و تماس ذرات حداقل است.

به طور کلی، فقط مواد با خواص زیر در مخازن جریان قیفی به طور قابل اطمینانی جریان پیدا می‌کنند.

- ذرات درشت (بزرگتر از ۶ میلی‌متر)
- راحت جاری شونده
- تجزیه ناپذیر
- عدم وجود جدانشینی و یا اهمیت نداشتن آن

جهت جلوگیری از تشکیل طاق در مخزن جریان قیفی، حداقل عرض خروجی شکافی باید تعیین شود قطر خروجی بحرانی (DF ، شکل ۲ راست) باید محاسبه شود. لوله‌ای شدن زمانی که قطر کانال جریان (که با اندازه خروجی تنظیم می‌شود) کوچکتر از DF باشد، اتفاق می‌افتد به عنوان مثال، ابعاد بهینه برای هر دو مخازن توده‌ای و قیفی برای انتقال پودر پلاستیکی در جدول ۵-۱ آمده است.

جدول ۵-۱: ابعاد بحرانی برای جریان پیوسته (بدون توقف)

	For bins with unlimited maximum size		As a function of vessel height				
	Mass-flow bin to prevent arch formation	Funnel-flow bin to prevent arch formation	Funnel flow bin to prevent rathole formation				
P-factor	BC, ft	BP, ft	BF, ft	DF at EH = 1 ft	DF at EH = 5 ft	DF at EH = 10 ft	DF at EH = 20 ft
1.00	1.0	0.5	0.5	2.1	6	10	19
1.25	1.0	0.5	0.6	2.3	6	12	23
1.50	1.0	0.5	0.6	2.4	7	14	27
2.00	1.2	0.6	1.0	2.8	9	18	35

P-factor: عامل بیش فشار

BC: حداقل قطر برای خروجی دایره ای

BP: حداقل عرض برای خروجی شکافی یا بیضی

EH: فشار تحکیم موثر

BF: حداقل عرض شکاف برای خروجی مستطیلی

DF: حداقل قطر بریا خروجی دایره ای

وقتی فشارهای اعمالی روی مواد بیش از ثقل باشد، بیش فشار (overpressure) اعمالی می تواند به تشکیل طاق یا لوله ای شدن جریان کمک کند. تحکیم به واسطه بیش فشار ناشی از لرزاندن، ضربه وارده هنگام پر کردن یا اختلاف فشار هوا می تواند ایجاد شود. جدول ۱، نشان می دهد که ابعاد مخزن تابعی از فشارهای تحکیمی است. در جدول ۱، برای هر دو مخازن الگوی توده ای و قیفی، حداقل ابعاد مخزن جهت جلوگیری از تشکیل طاق و یا لوله ای شدن به صورت تابعی از عامل P است. عامل P برابر با ۱، به معنای اعمال فشار به واسطه ثقل است. وقتی عامل P برابر با ۱/۲۵ است، فشار تحکیم کننده اعمالی روی مواد ۲۵ درصد بیش از ثقل تنهاست. این داده ها می تواند جهت مقایسه مخازن مختلف مورد استفاده قرار گیرد. از داده های جدول، می توان دریافت که برای این مواد (پودر پلاستیکی)، مخزن جریان قیفی قابل کاربرد نیست چون قطر خروجی مورد نیاز در مقایسه با اندازه مخزن نسبتا بزرگ است. این بدین معناست، که مهندس بهتر است که از مخزن با الگوی توده ای استفاده کند.

عوامل مؤثر بر چسبندگی جامد توده‌ای

رطوبت: معمولاً، چسبندگی با افزایش رطوبت بیشتر می‌شود، البته نه با نسبت مستقیم، مواد نم‌گیر وقتی در معرض هوای مرطوب قرار می‌گیرند، محتوی رطوبت آنها به طور چشمگیری افزایش پیدا می‌کند.

اندازه و شکل ذرات: ارتباط مستقیمی بین اندازه ذره، شکل و چسبندگی وجود ندارد. اگر چه، در اغلب موارد با ریزتر ذرات جامد توده‌ای، آن چسبندگی بیشتر پیدا می‌کند و انتقال آن مشکل می‌شود. ذرات گوشه دار رشته‌ای چسبندگی بیشتری نسبت به ذرات گرد دارند.

درجه حرارت: درجه حرارت توده جامد برچسبندگی آن تأثیر می‌گذارد. به عنوان مثال، خیلی از پودرهای پلاستیکی با افزایش درجه حرارت، انتقال و جابه جا کردن آنها با مشکل روبرو می‌شود. بعضی مواد مقاومت بیشتری در درجه حرارت‌های ثابت دارند در حالی که بعضی دیگر، مقاومت چسبندگی بیشتری با تغییر درجه حرارت در طی سرد یا گرم شدن پیدا می‌کنند.

زمان ذخیره سازی ساکن: زمانی که مواد در مخزن یا قیف برای مدت زمانی بدون حرکت می‌مانند مقاومت چسبندگی آنها افزایش پیدا می‌کند و انتقال آن مشکل می‌شود. این چسبندگی به دلیل نشست و تراکم، بلوری شدن، واکنش‌های شیمیایی و پیوند چسباننده حاصل می‌شود.

افزودنی‌های شیمیایی: در بعضی موارد، اضافه کردن مقدار کوچکی از مواد شیمیایی مانند دوده سیلیس که باعث ایجاد جامد چسبنده جهت جریان یافتن راحت‌تر می‌شود.

۲- خواص اصطکاکی

هر دو مقادیر اصطکاک داخلی و خارجی در زمان خصوصیت سنجی خواص جریان مواد توده ای حائز اهمیت‌اند. اصطکاک داخلی در اثر ذرات جامدی که نسبت به هم حرکت می‌کنند، ایجاد می‌شود و با زاویه اصطکاک داخلی و زاویه اصطکاک داخلی مؤثر توصیف می‌شود که هر دو این مقادیر از طریق آزمایش برش مستقیم قابل تعیین است. اصطکاک خارجی با زاویه

اصطکاک دیواره با ضریب اصطکاک لغزشی بیان می‌شود. هر چه قدر ضریب اصطکاک لغزشی کمتر باشد، زاویه دیواره‌های قیف می‌تواند برای دستیابی به جریان توده‌ای با شیب کمتری ساخته شود. ضریب اصطکاک لغزشی با لغزاندن یک نمونه مواد روی یک سطح دیواره ساکن قابل اندازه‌گیری است. آن نسبت نیروی برشی لازم جهت لغزش به بار عمودی اعمال شده به سطح صفحه است. تانژانت معکوس این مقدار زاویه اصطکاک دیواره است.

عوامل مؤثر بر مقادیر اصطکاک داخلی و خارجی

فشار: معمولاً با افزایش فشار تحکیم، زاویه اصطکاک داخلی مؤثر کاهش پیدا می‌کند به طور مشابه، ضریب اصطکاک لغزشی اغلب با افزایش فشار عمودی به صفحه کاهش پیدا می‌کند. اگر چه، زاویه داخلی اصطکاک یک خصوصیت ذاتی مواد است که ممکن است در زمانی که فشار اعمالی بر مواد افزایش پیدا می‌کند، افزایش، کاهش و یا ثابت بماند.

رطوبت محتوی: با افزایش رطوبت، اکثر جامدهای توده‌ای اصطکاکی‌تر می‌شوند.

شکل و ابعاد ذرات: معمولاً مواد ریز نسبت به ذرات درشت اصطکاکی‌تر می‌باشند به همین دلیل جریان آن‌ها با مشکلات بیشتری همراه است. شکل ذرات به دلیل زاویه‌دار بودن و قفل شدن آنها و همچنین فرو رفتن ذرات به دیواره باعث افزایش اصطکاک می‌شود.

درجه حرارت: برای خیلی از مواد، افزایش درجه حرارت باعث اصطکاکی‌تر شدن آنها می‌شوند.

زمان ذخیره سازی ساکن: در اثر تماس با دیواره، اکثر مواد افزایش ضریب اصطکاک بین ذرات و دیواره را تجربه می‌کنند در این شرایط، دیواره مخازن برای جریان یافتن مواد باید با شیب بیشتر ساخته شوند.

سطح دیواره: شرایط اولیه سطح، نقش عمده‌ای را در چگونگی لغزش مواد روی آن ایفا می‌کنند. سطوح هموارتر معمولاً اصطکاک کمتری دارند، البته در همه موارد این طور نیست. با سایش مخزن، خوردگی داخلی می‌تواند باعث زبری دیواره‌ها شده و باعث مشکل لغزش مواد گردد.

داده‌های مربوط به اصطکاک برای محاسبه بار مخزن و پیش‌بینی لغزش در سرسره مواد به شکلی که در زیر بحث می‌شود، مورد استفاده قرار می‌گیرد.

محاسبه بارهای مخزن: خواص اصطکاکی برای پیش‌بینی بارهایی که به دیواره‌های مخزن وارد می‌شود، مورد استفاده قرار می‌گیرد. در بخش استوانه‌ای مخزن، بارهایی که توسط دیواره‌های عمودی به صورت برشی تحمل می‌شود توسط اصطکاکی که بین مواد توده‌ای و دیواره استوانه‌ای است و همچنین زاویه اصطکاک داخلی ذرات تأثیر می‌پذیرد.

پیش‌بینی لغزش مواد روی سرسره مواد: سرسره برای انتقال مواد از یک نقطه به نقطه دیگر در سیستم انتقال توده‌ای مورد استفاده قرار می‌گیرد. بنا بر تعریف، سرسره در هیچ زمانی کاملاً پر نیست (دبی خروجی برابر یا بزرگتر از نرخ پر شدن است). بعد از نقطه برخورد، شتاب ذره روی سرسره مستقیماً در ارتباط با تفاوت بین زاویه اصطکاک دیواره مواد و زاویه سرسره است. تا زمانی که سرسره شیب بیشتری نسبت به زاویه اصطکاک دیواره داشته باشد، ذرات به طور پیوسته شتاب خواهند گرفت. در غیر این صورت، آهسته حرکت خواهند کرد و نهایتاً سرسره را مسدود خواهند کرد.

۳- لغزش در محل برخورد

دو عامل کلیدی در طراحی سرسره عبارتند از زاویه سرسره و زبری یا صافی سطح در نقطه برخورد است. سرسره کم شیب و زبر باعث جلوگیری از جریان خواهد شد. حداقل شیب مورد نیاز با گذاشتن یک حلقه که در آن نمونه‌ای از جامده توده‌ای پر شده روی یک نمونه از سطح دیواره و اعمال فشار عمودی برای شبیه سازی ضربه تعیین می‌شود. زمانی که وزنه برداشته شد، صفحه بالا آورده می‌شود تا زاویه‌ای که در آن ذرات شروع به لغزش می‌کند، تعیین گردد.

تمام عواملی که بر خواص اصطکاکی می‌تواند تأثیر بگذارد بر زاویه بهینه سرسره تأثیر گذار است به جز زمان ذخیره سازی ساکن. چون در طراحی سرسره منطقی نیست که فرض شود زمانی که مواد در آن حرکت نمی‌کنند پر باقی بماند. در نتیجه عامل زمان در ملاحظات طراحی در نظر گرفته نمی‌شود.

۴- قابلیت فشردگی

در اغلب موارد، دانسیته توده‌ای مواد تابعی از فشار تحکیم عمل کننده روی آن است. در نتیجه، توصیف مواد صرفاً با کلمات سست یا متراکم کافی نمی‌باشد. در عوض، رابطه دانسیته با فشار می‌تواند به صورت خط راست روی محورهای تمام لگاریتمی نشان داده شود.

عوامل مؤثر بر دانسیته توده‌ای مواد

رطوبت: محتوی رطوبت بالا معمولاً باعث می‌شود که مواد قابلیت تراکم بیشتری پیدا کند.

اندازه و شکل ذرات: اغلب هر چه ذرات ریزتر باشند، آن توده متراکم‌تر و قابلیت فشردگی بیشتری خواهد داشت. شکل ذرات می‌تواند به دلیل جورشدگی آنها تأثیر گذار باشد، تمایل آنها به شکست در زمان تراکم نیز مؤثر است.

درجه حرارت: بعضی مواد با افزایش درجه حرارت قابلیت تراکم بیشتری پیدا می‌کنند.

الاستیسته (کشسانی) ذرات: مواد کشسان در زمانی که تحت فشار قرار دارند تمایل به تغییر شکل دارند.

کاربرد داده‌های قابلیت فشردگی

زاویه اصطکاک دیواره: مقادیر دانسیته توده‌ای در نقاط مختلف قیف برای محاسبه فشار عمودی اعمالی به دیواره قیف مورد استفاده قرار می‌گیرد. بعد از انجام آزمایش اصطکاک دیواره، زاویه اصطکاک دیواره برای فشارهای مختلفی تعیین می‌شود و برای محاسبه زاویه‌های محدود کننده قیف جریان توده‌ای استفاده می‌شود.

بارهای مخزن: دانسیته توده‌ای مواد مستقیماً بر فشارها و تنش‌های برشی عمل کننده بر دیواره مخزن تأثیرگذار می‌باشد. با دانستن این که چگونه دانسیته توده‌ای با فشار تغییر می‌کند، نیروهای اعمالی می‌تواند به دقت تعیین شود.

طراحی خوراک دهنده: برای محاسبه بارهای عمل کننده بر خوراک دهنده یا دریچه، دانستن دانسیته توده‌ای مواد در خروجی قیف لازم است. اطلاع از این دانسیته به تعیین ابعاد خوراک دهنده حجمی و انتخاب سرعت آن کمک می‌کند.

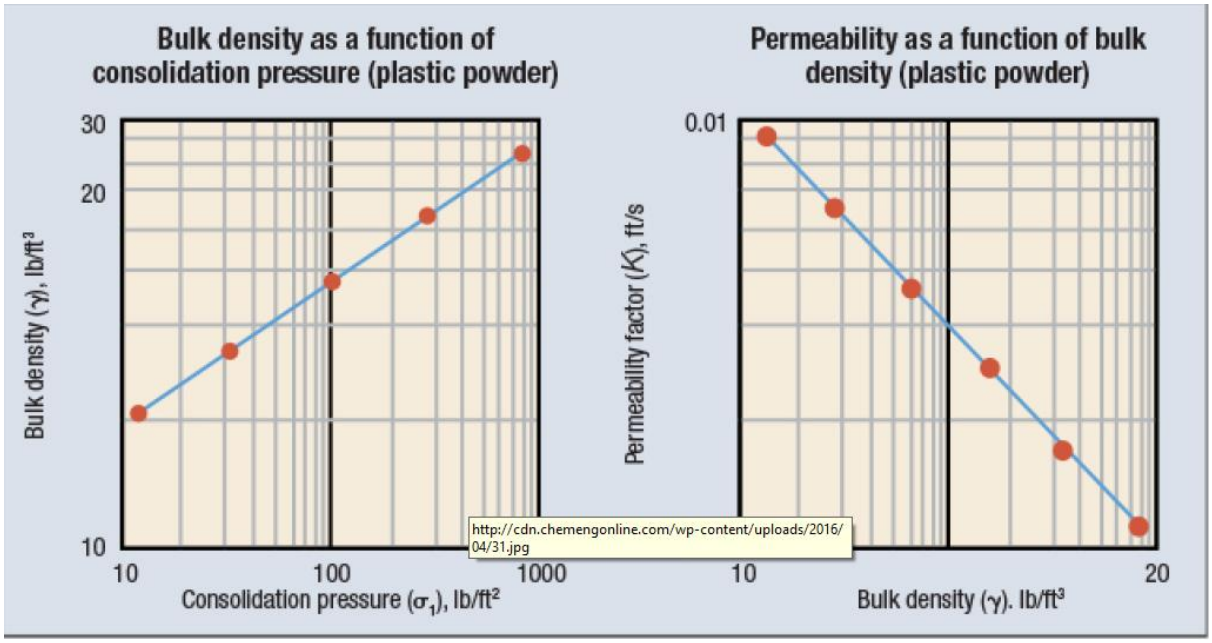
۵- نفوذپذیری

برای پودرهای ریز، مخازن جریان قیفی نرخ خروجی بالایی دارند اما کنترل کردن نرخ جریان همواره کار مشکلی بوده است. در طی جریان قیفی، کانال جریان ناپایدار بود و اندازه و شکل ناحیه ساکن نه به خوبی تعریف شده و نه ثابت است. این

کانال به طور ناگهانی تغییر اندازه می‌دهد یا فرو می‌ریزد و شرایطی از حالت بدون جریان تا طغیان کامل ایجاد می‌کند. پودرهای ریز در مخازن جریان توده‌ای که کانال آنها پایدار و قابل پیش‌بینی می‌باشند به راحتی قابل جابه جا شدن می‌باشند چون همه مواد به طور پیوسته در مخزن جریان توده‌ای در حال حرکت می‌باشند، کانال جریان با شکل مخزن تنظیم می‌شود حداکثر دبی جریان پودر ریز از خروجی قیف جریان توده‌ای در مقایسه با ذرات درشت دانه‌ای کمتر است. برای مواد ریز، گسترش و کاهش فضاهای خالی در طی جریان می‌تواند فشار هوای روبه بالایی در خروجی مخزن جریان توده‌ای ایجاد کند. در طی تخلیه، این فشار رو به بالا بر خلاف ثقل عمل می‌کند و دبی خروجی را کاهش می‌دهد. چنین اختلاف فشاری معمولاً برای ذرات درشت تشکیل نمی‌شود چون ذرات درشت نسبت به ذرات ریز قابلیت نفوذپذیری بیشتری دارند و هوا به راحتی از داخل حفراتی که در حال گسترش یا کاهش می‌باشند حرکت می‌کند. این پدیده می‌تواند با در نظر گرفتن چگونگی جریان گاز از میان یک بستر وقتی اختلاف فشار در عرض بستر رخ می‌دهد، تحلیل شود. وقتی سرعت گاز پایین است، جریان از داخل بستر آرام است و قانون دارسی می‌تواند برای ارتباط دادن سرعت گاز به اختلاف فشار در داخل و یا عرض بستر استفاده شود. این رابطه به شکل زیر می‌تواند نوشته شود:

$$u = -k\left(\frac{\frac{dp}{dx}}{\gamma}\right)$$

که در آن k فاکتور نفوذپذیری توده جامد، u سرعت نسبی ظاهری گاز از میان بستر ذرات، γ دانسیته جامد توده‌ای در بستر و $\frac{dp}{dx}$ تفاوت فشار عمل کننده در نقطه‌ای از بستر ذرات است که سرعت در آنجا محاسبه می‌شود. فاکتور نفوذپذیری (k) همان واحد سرعت دارد و به طور معکوس متناسب با ویسکوزیته گاز است. آزمایش نفوذپذیری با عبور دادن هوا از میان یک ستون نماینده مواد جامد انجام می‌شود. فشار در عرض بستر تنظیم می‌شود و نرخی که در آن گاز جریان می‌یابد اندازه گیری می‌شود. این رویکرد امکان تعیین نفوذپذیری جامد توده‌ای را به صورت تابعی از دانسیته فراهم می‌نماید. شکل ۵-۳ نتایج آزمایش برای یک پودر پلاستیک را نشان می‌دهد.



شکل ۵-۳: افزایش فشار تحکیم دانسیته توده‌ای را افزایش و نفوذپذیری را کاهش می‌دهد.

افزایش دانسیته توده‌ای و کاهش نفوذپذیری در صورتی که در فرآیند انتخاب مخزن در نظر گرفته نشود، می‌تواند در جریان پیش‌بینی شده اختلال ایجاد کند.

چون مخازن جریان توده‌ای الگوی جریان پایداری دارند که از شکل مخزن پیروی می‌کند مقادیر نفوذپذیری می‌تواند برای محاسبه نرخ جریان پایدار و بحرانی از قیف‌های جریانی توده‌ای مورد استفاده قرار گیرد. مقادیر نفوذپذیری می‌تواند برای محاسبه زمان لازم برای پودرهای ریز جهت ته نشینی در مخازن و سیلوها و برای طراحی ظروف فرآوری جامد برای حرارت دادن، خشک کردن یا آماده سازی به کار رود.

عوامل مؤثر بر نفوذپذیری

شکل و اندازه ذرات: نفوذپذیری با کاهش ابعاد ذرات کم می‌شود. هر چه جورشدگی ذرات بیشتر باشد، نفوذپذیری توده جامد کاهش پیدا می‌کند.

رطوبت: با افزایش محتوی رطوبت، مواد تمایل دارند که به هم پیوسته که این امر باعث افزایش نفوذپذیری می‌شود و در نتیجه نرخ خروجی و ته نشینی را افزایش می‌دهد.

درجه حرارت: چون فاکتور نفوذپذیری (k) به طور معکوس با ویسکوزیته هوای حفرات در ارتباط است، گرم کردن باعث می‌شود که هوا ویسکوزیته‌ی بالاتری داشته باشد که این امر نفوذپذیری را کاهش می‌دهد.

۶- تمایل به جدانشینی

مخلوط ذرات جامد می‌توانند در طی انتقال جدا شوند. این مسئله می تواند مشکلات کنترل کیفی هزینه‌بری را در پی داشته باشد که عمدتاً به دلیل اتلاف مواد اولیه، تولید از دست رفته، افزایش هزینه های نگهداری و سرمایه‌ای بالاتر می‌باشد.

مکانیزم‌های مؤثر در جانشینی ذرات

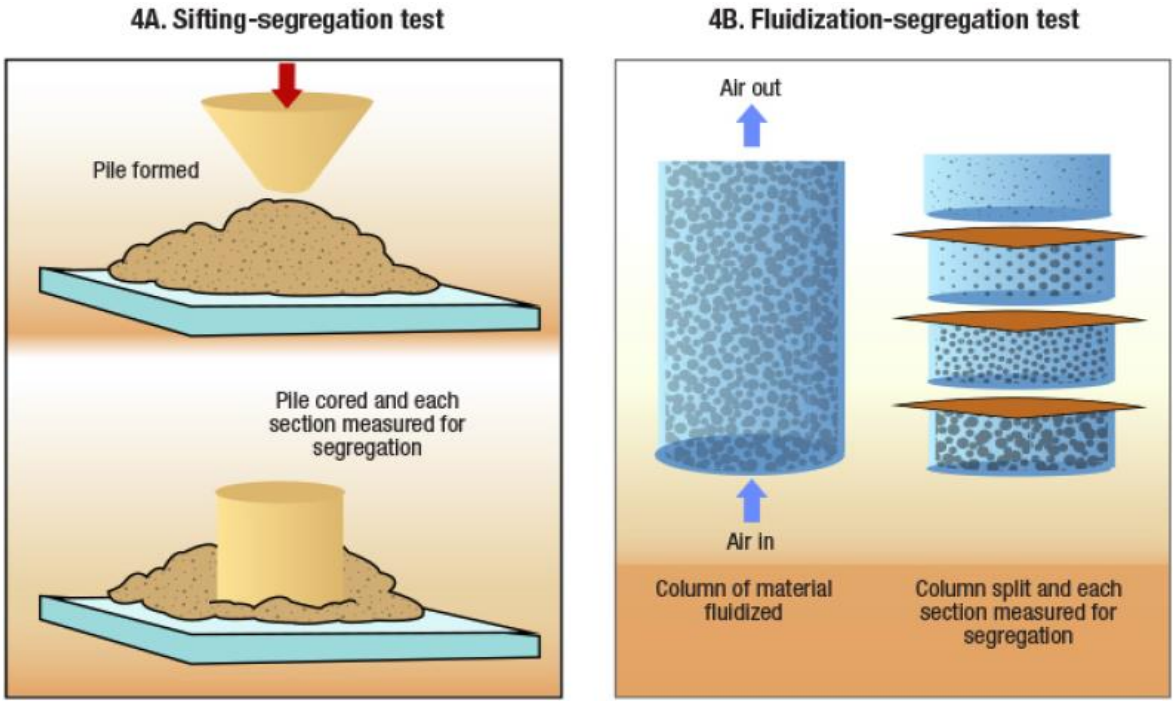
سوا شدن: متداول‌ترین پدیده‌ای که در جدانشینی ذرات توده‌ای روی می‌دهد، حرکت ذرات کوچک تر از میان زمینه ذرات بزرگتر است به عنوان مثال، وقتی یک مخزن پر می‌شود، ذرات ریز در زیر نقطه پر شدن تمرکز پیدا می‌کنند در حالی که ذرات درشت در اثر غلتش و لغزش به حاشیه‌های بیرونی توده حرکت می‌کنند.

به تله افتادن هوا: به طور کلی، ذرات ریز یا با دانسیته پایین، نسبت به ذرات درشت و یا با دانسیته بیشتر نفوذ ناپذیرتر می‌باشند. در نتیجه، آنها تمایل بیشتری به نگهداری و حفظ هوای مابین حفرات خود دارند. وقتی یک مخلوط ذرات درشت و ریز به یک مخزن خوراک‌دهی می‌شود، معمولاً الگوی جدانشینی عمودی در آن ایجاد می‌شود که در آن ذرات درشت در انتهای بستر و ذرات ریز در نزدیک بالای آن بستر هوا باقی می‌مانند.

به تله افتادن ذرات: ذرات ریزتر و با دانسیته کمتر، مدت زمان بیشتری در طی عملیات پر کردن در هوا باقی می‌مانند. این جریان‌ها، ریزگردها از نقطه پر کردن به نواحی معینی از مخزن مانند جمع‌کننده‌های گرد و غبار و خروجی‌ها انتقال می‌دهند.

تأثیرات مسیر: مقاومت هوا ممکن است بر ذرات در زمان سقوط از سرسره مواد تأثیر بگذارد. ذرات ریزتر اینرسی کمتری دارند در نتیجه نمی‌توانند به طور افقی مسافت زیادی را از خروجی سرسره مواد طی کنند.

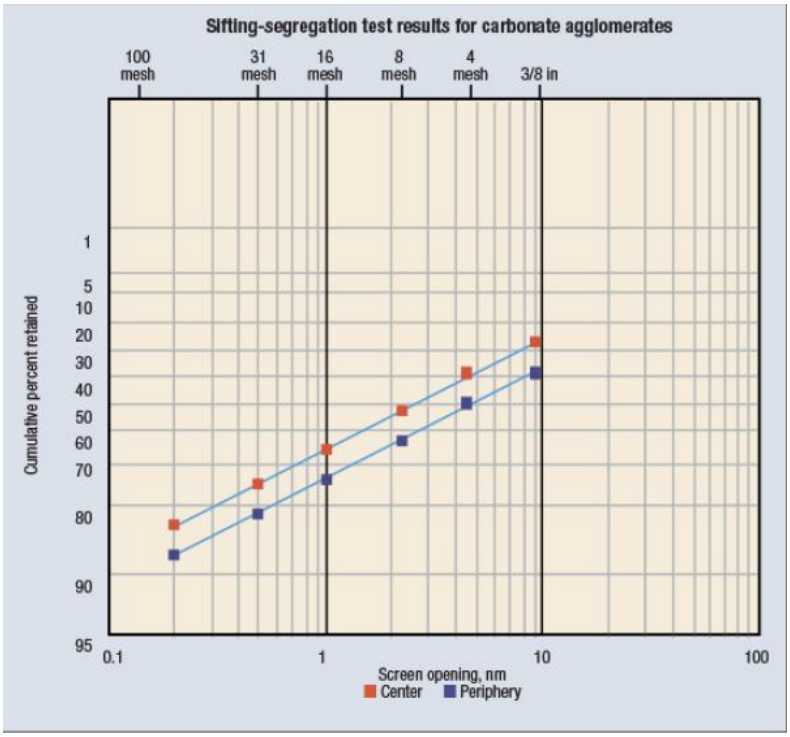
تمایل مواد برای جدانشینی به واسطه سَوا شدن توسط آزمایش سوا شدن قابل تعیین است.



شکل ٥-٤: جدانشینی ذرات داخلی قیف می‌تواند مشکلاتی را در خصوص فرآیند و کنترل کیفیت ایجاد کند تمایل مواد می-تواند قبلاً با استفاده از آزمایش‌های جدانشینی ارزیابی شود.

در ابتدا یک توده تحت شرایط کنترل شده، تشکیل داده می‌شود. سپس از بخش‌های مختلف توسط مغزه‌گیری نمونه گرفته می‌شود و با انجام آزمایش‌های دانه‌بندی، عیارسنجی و دیگر متغیرهای مربوط، جدانشینی مورد بررسی قرار می‌گیرد. شکل ٤B: آزمایش جدانشینی ذرات در زمان هوا بستر شدن عوامل تأثیرگذار بر جدانشینی ذرات

شکل ٥-٥ نتایج آزمایش سَوا کردن که روی ذرات به هم پیوسته کربنات انجام شده را نشان می‌دهد.



شکل ۵-۵: نتایج آزمایش جدانشینی برای ذرات به هم پیوسته کربناتی

جهت تعیین احتمال جدانشینی توسط به تله افتادن هوا، یک استوانه بلند که در آن نمونه توده‌ای ریخته شده، به مدت کوتاهی هوادهی می‌شود. بعد از بستر هوا کردن، هوا قطع می‌شود و بخش‌های مختلف استوانه برداشته شده و محتوی هر بخش تحت بررسی قرار می‌گیرد. در صورتی که توسط به تله افتادن هوا تحت جدانشینی قرار گرفته باشند، ذرات ریز نزدیک بالای ستون تمرکز پیدا می‌کنند و ذرات بزرگتر و سنگین‌تر در پایین استوانه جمع می‌شوند.

شکل و ابعاد ذرات: جدانشینی زمانی که دامنه دانه‌بندی ذرات وسیع باشد به احتمال زیادی روی می‌دهد به خصوص زمانی که حرکت بین ذره‌ای در طی عملیات امکان‌پذیر باشد. عموماً، ذرات بزرگتر از ۱۰۰ میکرون می‌توانند در معرض جدانشینی قرار بگیرند. اگر اکثر ذرات کوچکتر از ۱۰۰ میکرون باشند، جدانشینی توسط به تله افتادن هوا و یا ذرات اتفاق می‌افتد.

چسبندگی: هر چه ماده چسبنده‌تر باشد، احتمال کمتری دارد که جدانشینی در آنها روی دهد. بنابراین، برای بعضی مواد افزایش رطوبت می‌تواند پتانسیل جدانشینی را کاهش دهد. به طور کلی، این امر باعث می‌شود که مواد راحت‌تر جاری نشوند و باعث چسبیدن ذرات کوچک روی ذرات درشت‌تر می‌شود. با این حال، باید توجه داشت که اضافه کردن آب یا روغن به سرعت می‌تواند شرایط را از حالت راحت جاری شونده به حالت جاری نشونده تغییر دهد.

الگوی جریان مخزن: نوع الگوی جریان که ایجاد می‌شود به طور بارزی بر تمایل ذرات به جدانشینی تأثیر بگذارد. معمولاً الگوهای جریان قیفی باعث ایجاد جدانشینی جانبی می‌شود در حالی که الگوی جریان توده‌ای این مشکلات را حداقل می‌کند.

۷- قابلیت خرد شدن

سایش ذرات در خیلی از صنایع یک مسئله عمده است. شکست ذرات باعث می‌شود که گرد و غبار خارج از حد قابل قبول ایجاد شود یا محصول خارج از مشخصات معمول تولید شود یا افزایش محصول برگشتی را داشته باشد.

عوامل مؤثر بر سایش ذرات

ضربه: ذرات معمولاً در زمان برخورد به صفحات سخت می‌شکنند، مخصوصاً زمانی که جریان مواد تغییر جهت داده می‌شود مانند زمان پر کردن مخزن با انتقال از یک نوار به نوار دیگر و سرسره مواد.

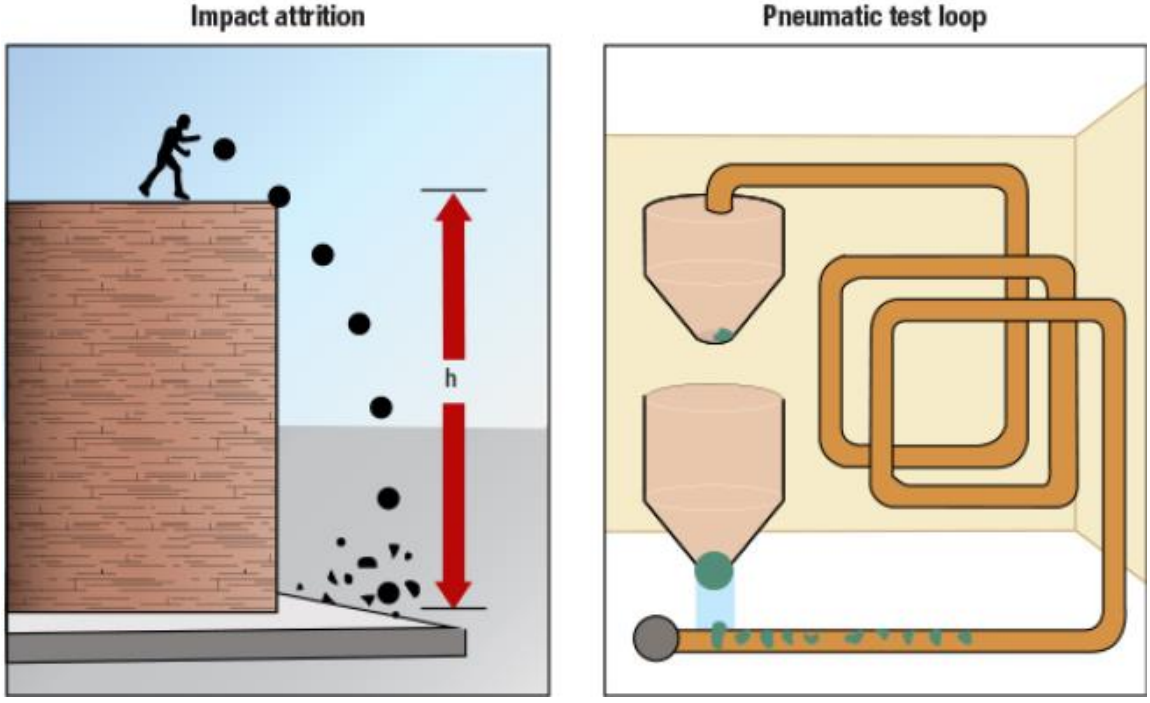
انتقال با هوا: مقدار سایش ذرات در خط انتقال توسط هوا متناسب با حداقل مربع سرعت ذرات. اگر سرعت ذرات سه برابر شود، مقدار سایش ۹ برابر یا بیشتر خواهد شد. بنابراین، کاهش سرعت مواد به طور چشمگیری سایش را کاهش می‌دهد سایش از تعداد و نوع پیچ‌ها در خط لوله تأثیر می‌پذیرد. توجه کافی باید به اندازه خط لوله و جانمایی شود تا سرعت ذرات و تعداد تغییر جهت‌ها کمینه شود.

جریان یافتن از مخازن و قیف‌ها: سایش در مخازن و قیف‌ها به واسطه کنده شدن گوشه‌های ذرات روی می‌دهد. هر چه برخورد تنش بالای ذره- ذره در مخزن در طی عملیات معمول اتفاق بیافتند، سایش و شکست ذرات افزایش پیدا خواهد کرد. سایش تابعی از نرخ کرنش برشی (سرعت ذرات حرکت کننده نسبت به دیواره) نیست بلکه آن وابسته به تغییر شکل برشی کلی و تنش‌های برخورد است. شکست در قیف‌ها با دیواره‌های همگرا بیشتر است چون تنش‌های برشی بارزی توسط تغییر در سرعت در قسمت‌های همگرا ایجاد می‌شود. این کرنش‌های برشی با تنش‌های برخوردهای پر انرژی ترکیب می‌شود.

خوراک دهنده‌های مکانیکی: خوراک دهنده‌های مارپیچی و شیر چرخشی باعث شکست ذرات شکننده می‌شوند. خوراک دهنده‌های نواری با اینکه تنش‌های برشی کمتری را وارد می‌کنند ولی می‌توانند باعث شکست ذرات کاملاً ترد شوند.

آزمایش‌های اندازه‌گیری تمایل به سایش

سایش در اثر ضربه: با هدایت جریان ذرات به صفحه ثابت یا روی یک بستر ذرات، تأثیر ضربه روی توزیع دانه‌بندی می‌تواند اندازه‌گیری شود. (شکل ۵-۶- ب)

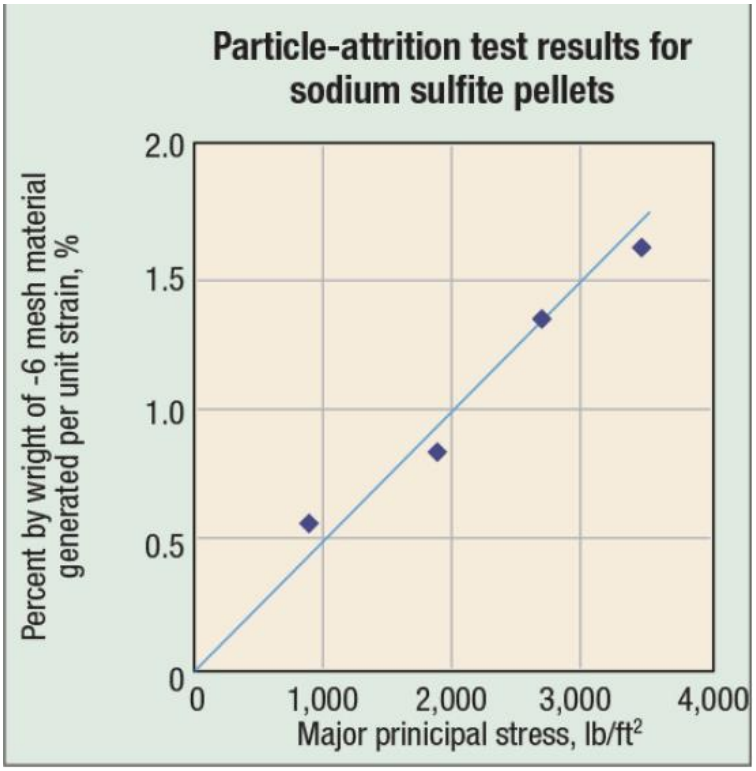


ب الف

شکل ۵-٦ : الف) آزمایش حلقه انتقال با هوا ب) سایش در اثر ضربه

آزمایش حلقه انتقال با هوا: این آزمایش برای تعیین سرعت بهینه و تعداد زانوهایی که مواد می‌تواند قبل از اینکه خیلی سائیده شود، تحمل کند، به کار می‌رود. (شکل ۵-٦- الف)

آزمایش سایش چرخشی: این وسیله شامل یک سلول برشی حلقوی است که مواد را تحت فشارهای تحکیم قرار می‌دهد در حالی که آنها در حال برش می‌باشند. مثالی از نتایج این آزمایش روی گندله‌های سولفیت سدیم در شکل ۵-۷ نشان داده شده است.



شکل ۵-۷: نتایج آزمایش سایش چرخشی برای گندله‌های سولفیت سدیم. در سطوح تنش‌های اصلی بالا، درصد ذرات ریز افزایش پیدا می‌کند.

عوامل مؤثر بر تمایل به سایش

سختی ذرات و سطوح تجهیزات: سختی نسبی بر آنچه در محل برخورد اتفاق می‌افتد، تاثیر می‌گذارد. اگر سطح تجهیز سخت‌تر از ذرات باشد، سایش به احتمال بالا روی می‌دهد.

کشسانی ذرات و سطوح: اگر سطح یا مواد کشسان باشد، ذرات به احتمال قوی به جای شکستن، بالا و پایین می‌پرند.

شکل و ابعاد ذرات: ذرات بزرگ و گوشه‌دار یا ورقه‌ای نسبت به ذرات ریز با گرد تمایل بیشتری به شکست دارند.

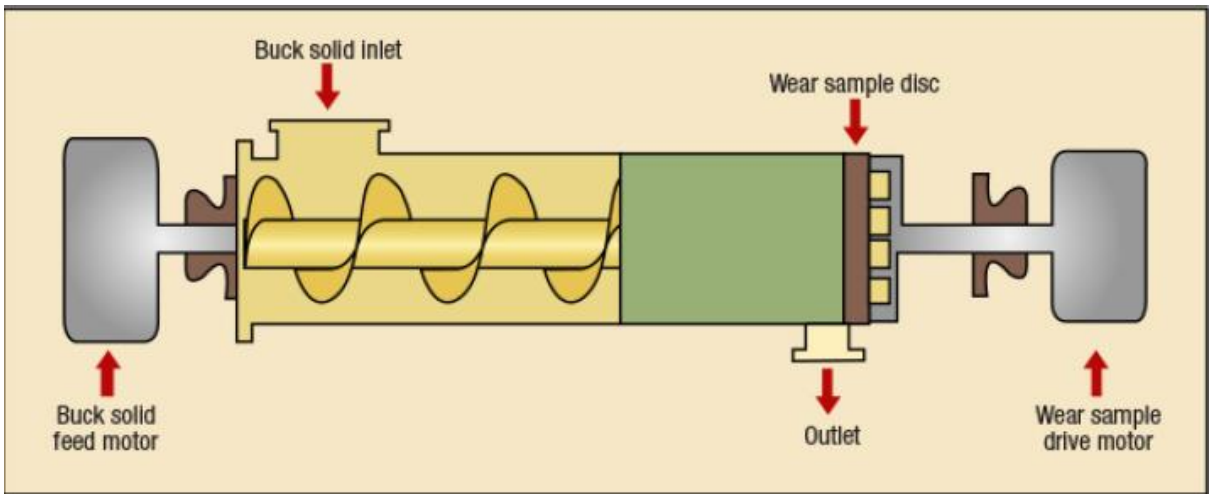
نیروی ضربه: هر چه سرعت ذرات در نقطه برخورد بیشتر باشد، احتمال رخداد سایش بیشتر می‌شود.

فشار و تنش‌های برشی عمل کننده بر ذرات در مخزن: هر چه قدر فشار و تنش بیشتر باشد، میزان سایش مورد انتظار بیشتر می‌شود.

۸-ساینده‌گی

مواد توده‌ای جاری در مخازن، سرسره‌ها و خوراک‌دهنده‌ها می‌تواند باعث سایش سطح تجهیزات شود. توانایی در انجام اقدامات پیشگیرانه در خصوص سایش تجهیزات می‌تواند باعث کاهش هزینه‌ها، زمان توقف و میزان تعمیرات و نگهداری شود.

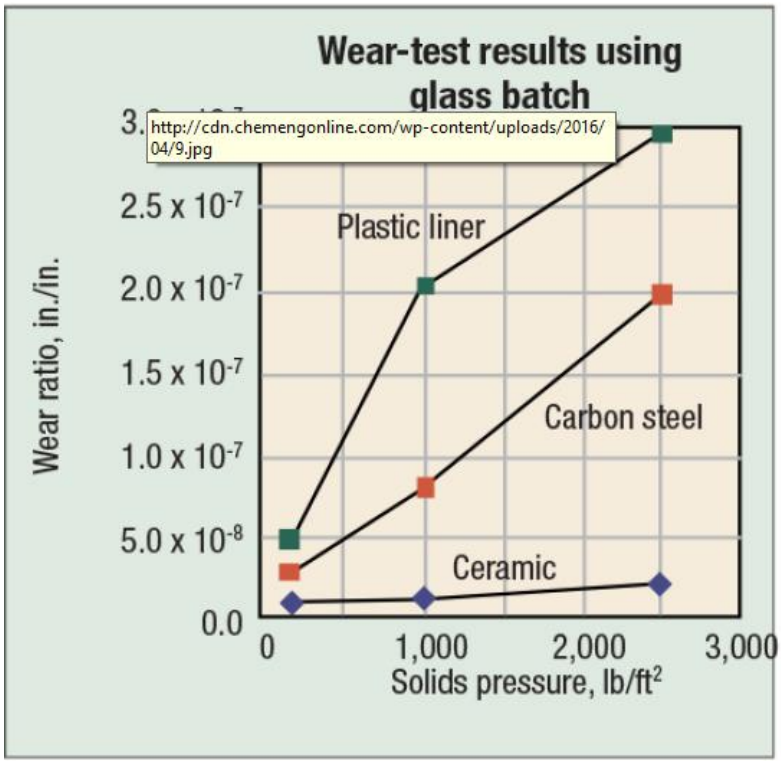
چندین روش برای تعیین ساینگی به کار گرفته می‌شود. این‌ها شامل دیسک‌های چرخشی، پالپ‌های ماسه و آزمایش سایش چرخ لاستیکی می‌شود. این تجهیزات فقط یک مقدار نسبی خاص را در خصوص ساینگی به دست می‌دهند و نمی‌توانند شرایط داخل تجهیزات انتقال مواد را شبیه‌سازی کنند و استفاده از آنها برای پیش‌بینی نرخ سایش مطلق امکان پذیر نمی‌باشد. یک وسیله تعیین سایش در شکل ۵-۸ آمده است.



شکل ۵-۸: دستگاه مورد استفاده برای اندازه‌گیری سایش که در آن شرایط عملیاتی شبیه سازی شده است.

در طی آزمایش، توده جامد به طور پیوسته به سطوح تماس خوراک‌دهی می‌شود. فشارهای وارده روی سطح می‌تواند کنترل و اندازه‌گیری شود. سرعت نسبی بین ذرات و سطوح نیز قابل اندازه گیری است.

تنش‌های برشی که بین توده جامد و سطوح ایجاد می‌شود به طور پیوسته تحت پایش می‌باشد تا تغییرات در ضریب اصطکاک بین جامد و سطح ثبت گردد. شکل ۵-۹ نتایج آزمایش برای ذرات شیشه روی سطوح مختلف را نشان می‌دهد.



شکل ۵-۹: نتایج آزمایش سایش برای ترکیب ذرات خشک روی سطوح مختلف

عوامل مؤثر بر نرخ سایش روی تجهیزات انتقال دهنده ذرات توده‌ای

سختی ذرات و سطوح: سایش زمانی که ذرات سخت‌تر از سطوح باشد، اتفاق می‌افتد.

اندازه و شکل ذرات: توانایی یک ذره که روی یک سطح بغلتد بر خصوصیات سایشی آن تأثیر می‌گذارد. ذرات کوچک و گوشه‌دار تمایل به لغزش تا غلتش دارند، در نتیجه سایندگی آنها بیش از ذرات درشت و گرد می‌باشد. مواد با دامنه دانه‌بندی وسیع ساینده‌تر از ذرات ریز و یا ذرات درشت به تنهایی می‌باشند، ذرات سخت و گوشه‌دار باعث کنده شدن سطح و در نتیجه باعث تشدید سایش می‌شود.

رطوبت: افزایش رطوبت تمایل به افزایش نرخ سایش دارد. با افزایش چسبندگی، ذرات به احتمال زیاد می‌لغزند و غلتش در آنها کمتر است. البته در مواردی رطوبت تأثیر روان کنندگی داشته است.

درجه حرارت: اگر درجه حرارت به قدری تغییر کند که تأثیرگذار بر سختی ذرات یا سطح باشد، نرخ سایش می‌تواند تحت تأثیر قرار گیرد.

خوردگی: بر خلاف فولاد ضد زنگ و آلومینیوم، چدن (فولاد کربن) در معرض خوردگی است. با سایش سطوح چدن و در معرض رطوبت یا مواد شیمیایی قرار گرفتن امکان این که زودتر از موعد مقرر خراب و پوسیده شود وجود دارد.

۹- انتقال با هوا

سیستم‌های انتقال با هوا معمولاً به دو گروه رقیق و غلیظ تقسیم می‌شوند. در سیستم‌های رقیق، ذرات کاملاً معلق در جریان هوا می‌باشند ودر اکثر بخش‌ها ذرات در تماس با هم نیستند. در سیستم غلیظ، مواد در امتداد خطوط لوله به صورت یک بستر غلیظ با سرعت پایینی حرکت می‌کند و ذرات در تماس با هم می‌باشند. معمولاً بین این دو حالت (رقیق و غلیظ) منطقه میانی

است که منطقه نسبتاً وسیعی است. تبدیل از انتقال کاملاً معلق به انتقال غیرمعلق محدوده پیوسته‌ای است که شرایط میانی آن را پوشش می‌دهد.

کلید طراحی سیستم انتقال موفق، به فهم خواص توده جامده و توصیف روشن ملزومات سیستم انتقال مربوط می‌شود.

سیستم‌هایی که در آنها اکثر ذرات در حالت کاملاً تعلیق در هوا می‌باشند، که متداول‌ترین حالت نیز می‌باشد، به راحتی در صورتی که سرعت هوا به اندازه کافی بالا باشد، قابل انتقال می‌باشد. این سیستم‌ها می‌تواند یا در حالت فشار و یا خلاء کار کنند و معمولاً برای سیستم‌های فشاری Psi ۱۵-۱۲ و برای شرایط خلاء Psi ۷- تا ۵- می‌باشد. آزمون‌های آزمایشگاهی برای تعیین محدوده حداقل سرعت انتقال برای ذرات معلق می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد. سیستم‌هایی که مواد را در حالت تعلیق انتقال می‌دهند معمولاً خیلی گران نیستند و طراحی آنها مشکل نیست. البته باید توجه داشت که این نوع انتقال مواد به سایش ذرات و خوردگی لوله‌های انتقال منجر می‌شود. از طرف دیگر، سیستم‌های سرعت پایین و غیرمعلق در فشارهای بالاتری کار می‌کنند. این سیستم‌ها گران‌تر بوده ولی در صورتی که مواد جا به جا می شوند ترد و شکننده و ساینده باشند، می‌تواند اقتصادی باشد. ارزیابی مناسب بودن مواد برای انتقال غیرتعلیقی از تحلیل خواص نفوذپذیری و قابلیت تراکم قابل استنتاج است.

به طور کلی، انتقال غیر تعلیقی برای مواد زیر مناسب می‌باشند:

* مواد توده‌ای که دارای قابلیت تراکم بالا و نفوذپذیری کم می‌باشند که این امر هوای کافی برای حرکت در الگوی غیرمنظم بستر هوا سیال از میان لوله با طول نسبتاً طولانی را در خود حفظ می‌کند. سیستم‌های انتقال برای چنین موادی اغلب تزریق هوا در امتداد خط لوله برای حفظ سیالیت می‌باشد.
* موادی که نسبتاً نفوذپذیر و غیرقابل تراکم می‌باشند که اغلب به راحتی در حالت غیرتعلیقی قابل انتقال می‌باشند.

نتیجه‌گیری

خواص چسبندگی و اصطکاکی عوامل طراحی مخزن و قیف را دیکته می‌کنند. عواملی مانند قابلیت فشردگی و نفوذپذیری بر چگونگی جریان یافتن مواد تأثیر می‌گذارد و نرخ‌های خروجی از تجهیزات ذخیره‌سازی را مشخص می‌کند. اندازه‌گیری احتمال لغزش مواد در نقاط برخورد، جدا نشینی، قابلیت شکست و ساینده‌گی آن می‌تواند اطلاعات مهمی را در خصوص چگونگی انتقال مطمئن آن فراهم نماید. در عین حال، رفتار مواد سیستم انتقال با هوا را نیز دیکته می‌کند. جهت کاهش مشکلات در ارتباط با انتقال همه نوع ماده توده‌ای، مهندسان باید رویکرد نظامندی برای خصوصیت سنجی جریان و خواص مکانیکی مواد تحت شرایط مختلف عملیاتی را در پیش بگیرند.

فصل ششم

طراحی مخازن و قیف ها

مقدمه

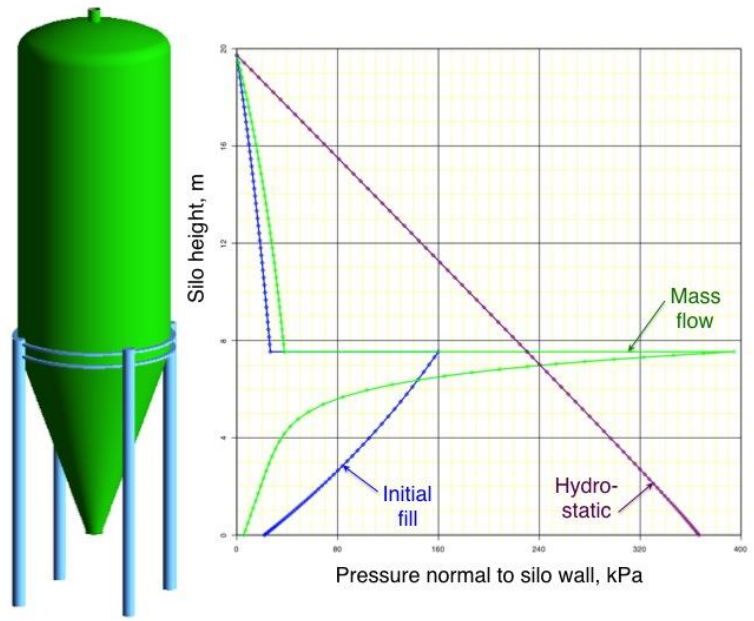
نکته اصلی در طراحی مخازن، دستیابی به شکل هندسی است که در آن طاق زنی و یا لوله ای شدن اتفاق نیفتد و شرایط و جریان توده ای برقرار باشد.

شکل ٦-١: لوله ای شدن در یک مخزن روباز

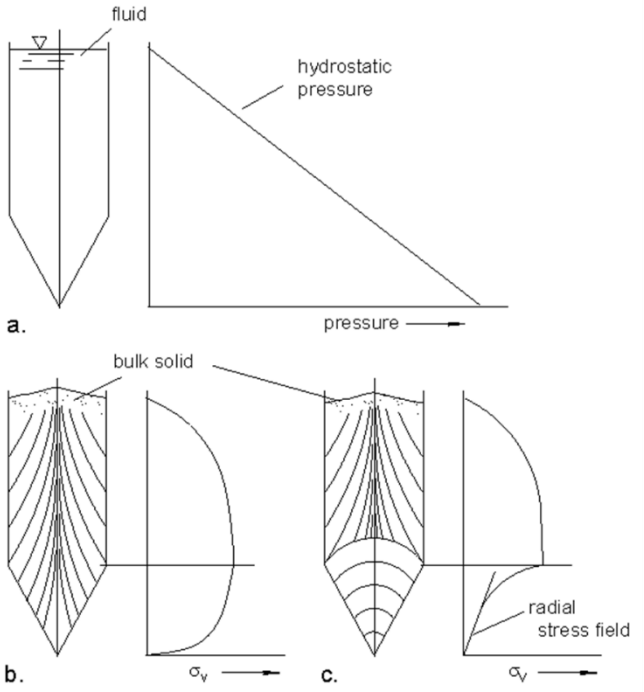
خواص جریانی توده های جامد

زمانی که توده جامد در مخزن یا قیف جریان پیدا می کند، تغییر شکل برشی پیوسته روی می دهد.

فشار وارده به توده جامد با حرکت جامد به سمت پایین در کانال جریان تغییر می کند و با تغییر فشار مقاومت و دانسیته توده جامد نیز تغییر می کند. زمانی که جریان متوقف می شود فشار های وارده در طی جریان باقی می ماند.



شکل ٦-٢: تغییرات پارامترهای مختلف در ارتفاع های مختلف یک مخزن



a :pressure in a silo filled with a fluid (imaginary)

B: vertical stress after filling the silo with a bulk solid

C: vertical stress after the discharge of some bulk solid

شکل ٦-٣: تغییرات نیروهای مختلف فشاری در یک مخزن

زمانی که فشار وارده به توده جامدی که در حال جریان در قیف است باعث تنظیم تا نقطه ای میشود که مقاومت آن بتواند اعماق را تحمل کند جریان متوقف خواهد شد.

در نتیجه لازم است که مشخص شود مقاومتی که در توده جامد تحت تغییر شکل پیوسته ایجاد می شود چقدر است و فشار موجود در توده در حال حرکت به چه میزان است؟

آزمایش تعیین تنش برشی برای مواد دانه ای

خلاصه روش آزمایش

نمونه نمایانگر توده جامد در سلول برشی با ابعاد معین قرار داده می‌شود.

شکل ٦-٤: سلول برشی مربوط به آزمایش تعیین تنش برشی برای مواد دانه ای

نمونه تحت تحکیم قرار داده می شود، با سفت کردن در سلول برش در حالی که یک نیروی فشاری عمودی به در وارد می شود.

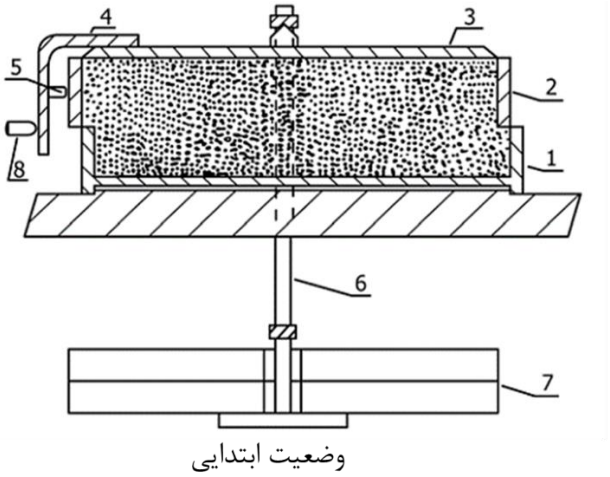
نیروی عمودی به درپوش اعمال می شود و نمونه پیش برش می شود تا زمانی که مقدار برش پایدار بدست آید.

شکل ٦-٥: سلول برشی در حال تحکیم

نمونه تحت برش با مقدار بار عمودی کمتر(نسبت به حالت پیش برش) قرار می‌گیرد تا نیروی برش به بیشینه برسد و سپس کاهش پیدا کند.

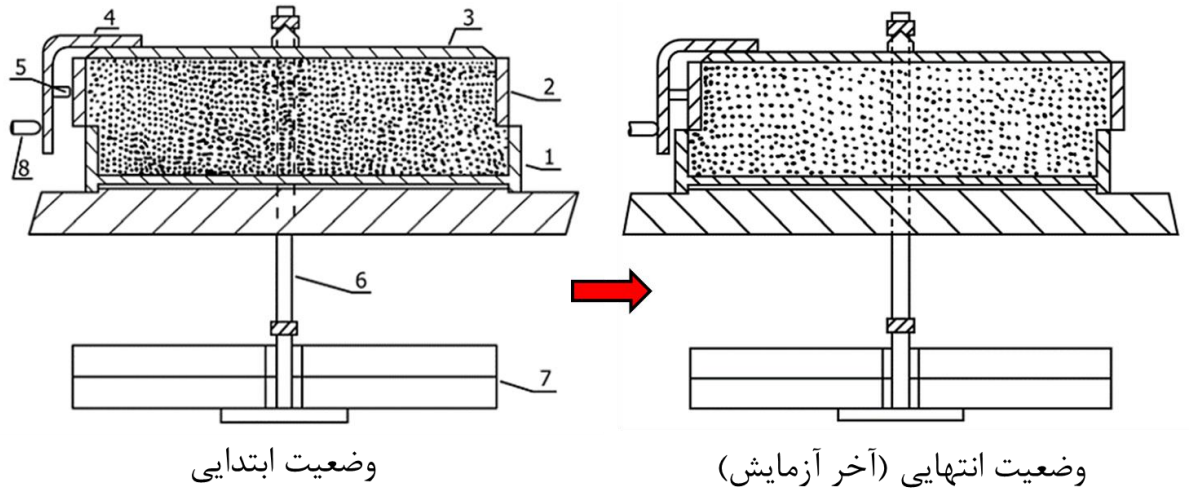
شکل ٦-٦: نمونه تحت برش

آزمایش اصطکاک دیواره با لغزاندن نمونه روی یک تکه از جنس دیواره اندازه‌گیری می شود. مقاومت اصطکاکی در مقادیر بار عمودی فشاری تعیین می گردد.



۱- پایه
۲- حلقه برش
۳- درپوش
۴- بست
۵- میلچه فلزی (خار)
۶- آویز وزنه
۷- وزنه ها
۸- دسته

شکل ٦-٧: اجزای مختلف سلول برشی مربوط به آزمایش تعیین تنش برشی برای مواد دانه ای



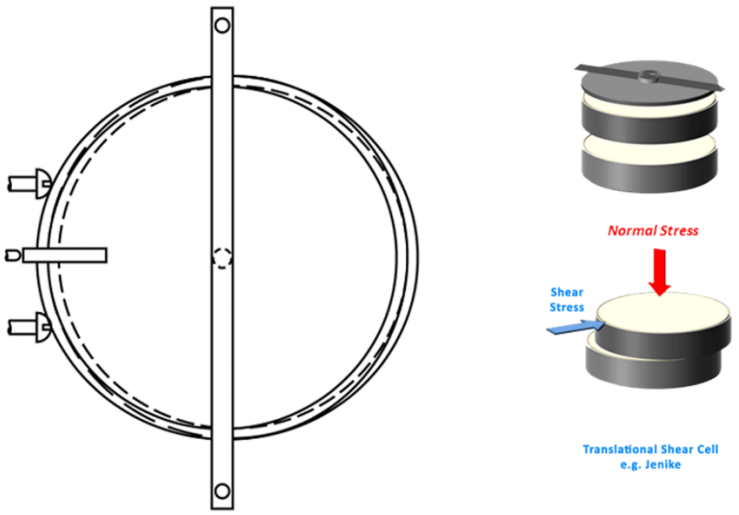
شکل ٦-٨: وضعیت سلول برشی قبل و بعد از انجام آزمایش

اندازه سلول برش، باید حداقل ۱۲ برابر بزرگترین اندازه ذرات مورد اندازه گیری باشد.

(اندازه استاندارد قطر سلول برش: ۹۵ میلی متر)

نیروی وارده باید دقیقاً به بست وارد شود تا به صفحه برش (صفحه بین پایه و سلول برش) منتقل گردد (نه بالا و نه پایین صفحه).

برای آزمایش اصطکاک دیواره قطعه ۱۲ ×۱۲ سانتی متر از جنس دیواره مورد استفاده قرار می گیرد.



شکل ٦-٩: مراحل انجام آزمایش تعیین تنش برشی برای مواد دانه ای

در آزمایش برش، بعد از پر کردن مواد درپوش به آرامی قرار داده می‌شود، وزنه ها آویزان می شود. این کار برای خروج هوای احتمالی در بین ذرات باید به آهستگی انجام شود.

اگر در اثر نیروی عمودی وارده از طرف وزنه ها، سطح مواد پایین رفت (این کار با مشاهده حرکت درپوش عملی است)، درپوش برداشته شده و مواد به آن اضافه می شود تا جبران پایین رفتن مواد در اثر فشار بشود.

وزنه هایی که در آویز قرار داده می شود، باید با توجه به مقدار تنش عمودی پیش برش انتخاب شوند.

پیچ بالای درپوش ۲۰ دفعه سفت و شل می شود (۹۰ درجه)، تا کار تحکیم انجام شود.

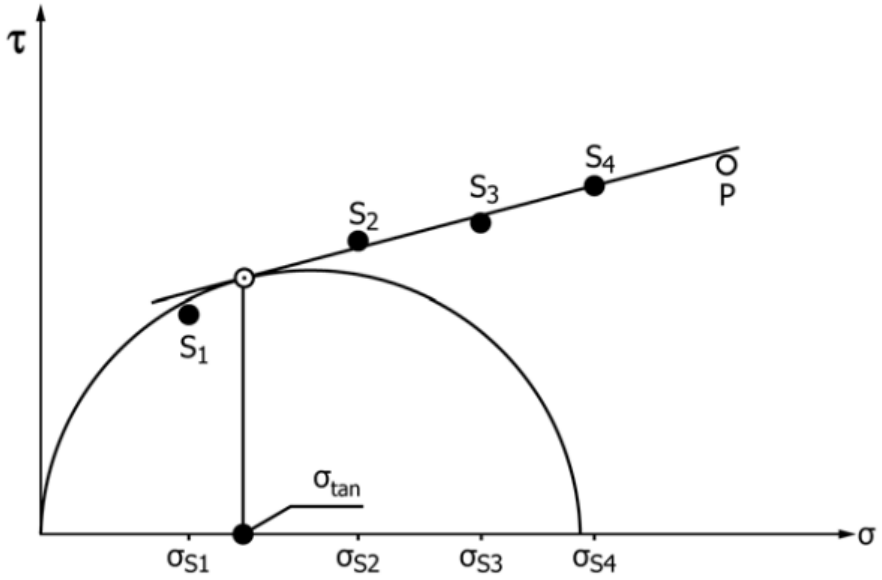
بعد از گذاشتن درپوش برش، از طریق دسته که در یک میلی متری حلقه قرار دارد، نیروی برشی در مسافت کل (٦ میلی متر) وارد می شود. نیروی برشی در طی کردن این مسافت ثبت می شود.

چون میلچه فلزی وارد کننده نیرو با نرخ ثابتی حرکت می کند، منحنی نیروی برشی بر حسب زمان می تواند به نیروی برشی بر حسب کرنش تبدیل شود.

شکل ٦-۱۰: دستگاه آزمایش تنش برشی Jenike

شکل ٦-۱۱: سلول برشی و مواد تحت برش پس از انجام آزمایش

برای هر نیروی عمودی، تنش برشی تسلیم تعیین می شود و با رسم آنها در مختصات τ-σ ، خط نشان دهنده نقاط گسیختگی بدست می آید.



شکل ٦-١٢: نمودار تنش-کرنش مربوط به آزمایش تعیین تنش برشی برای مواد دانه ای

آزمایشات نشان می‌دهد که تغییر شکل پیوسته در طی جریان پایدار، فقط برای شرایط تنش معینی از توده جامد اتفاق می‌افتد.

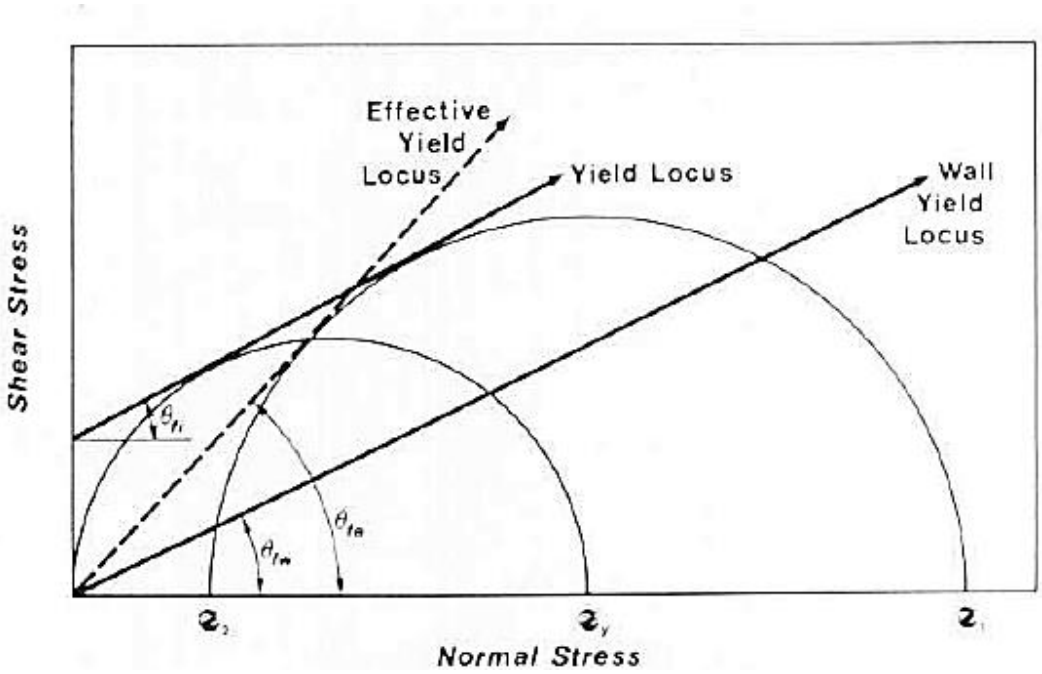
این شرایط با زاویه موثر اصطکاک توده جامد نشان داده می‌شود که عبارت است از:

$$\sin(\theta_{fe}) = \frac{\sigma - \sigma_2}{\sigma_1 + \sigma_2}$$

θ_{fe}: زاویه موثر اصطکاک σ_1 و σ_2: تنش فشاری اصلی و فرعی

زاویه موثر در اصطکاک برای یک ماده در درجه حرارت و رطوبت معین ثابت است و با استفاده از آزمایش کننده برشی اندازه گیری می‌شود.

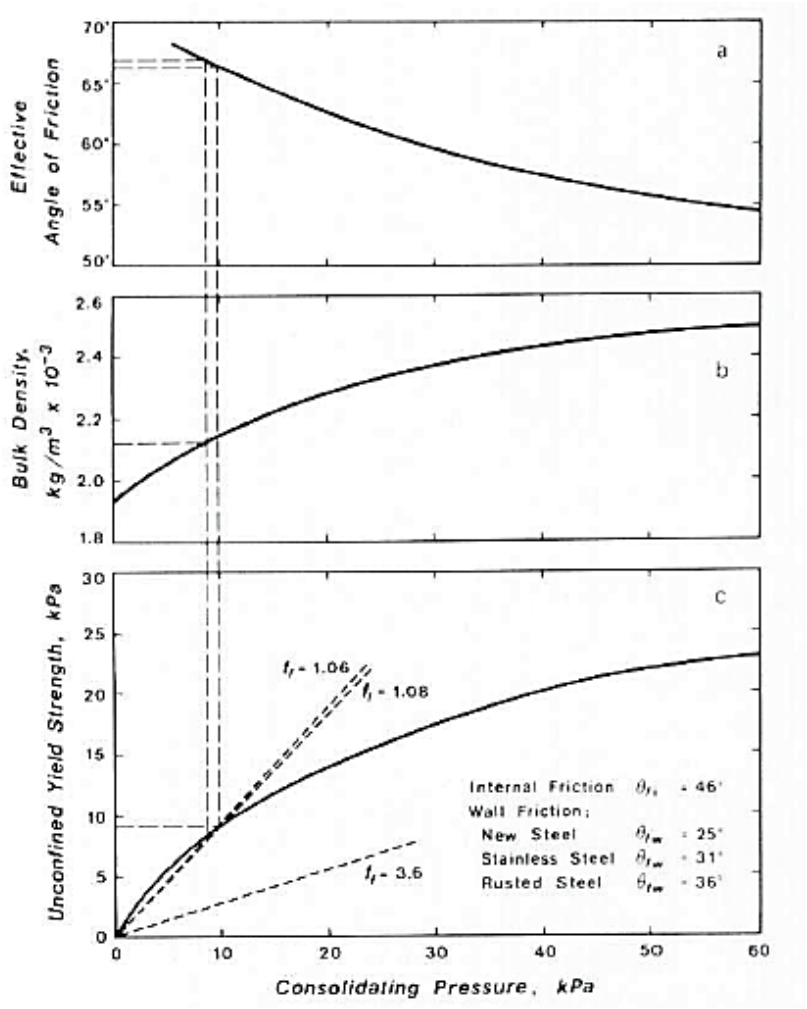
با هر حالت تحکیم، یک مکان هندسی تسلیم وجود دارد که توسط زاویه اصطکاک داخلی (θ_{f_i}) مشخص می‌شود. تنش تسلیم غیر محبوس توده جامد در این تحکیم خاص با σ_y نشان داده می شود.



شکل ٦-١٣: نمودار خواص جریان برای توده های جامد

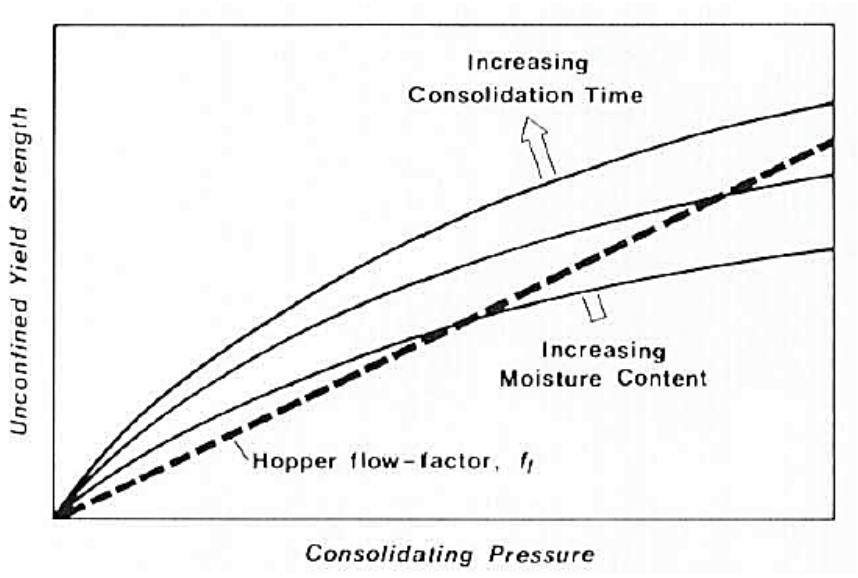
وقتی که توده جامد در تماس دیواره مخزن یا قیف حرکت می کند، شرایط اصطکاکی با مکان هندسی تسلیم دیواره نشان داده می شود و با زاویه اصطکاک دیواره (θ_{f_w}) نمایش داده می شود.

زاویه موثر اصطکاک، تنش تسلیم غیر محبوس و دانسیته توده جامدی که قرار است در مخزن استفاده شود باید در محدوده فشارهای تحکیم مورد انتظار در مخزن تعیین شود.



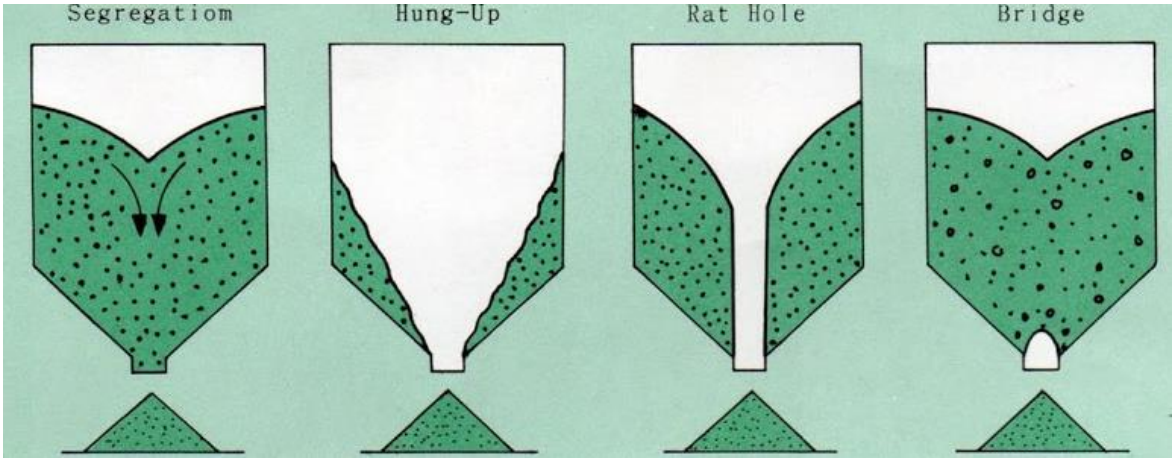
شکل ٦-١٤: نمودار خواص جریان کانه آهن با محتوای رطوبت ۱۰ درصد

میزان رطوبت و زمانی که مواد جهت تحکیم در مخزن باقی می ماند بر خواص جریان یافتنی آنها تاثیر می گذارد.



شکل ٦-١٥: نمودار تاثیر زمان و رطوبت در خواص جریان

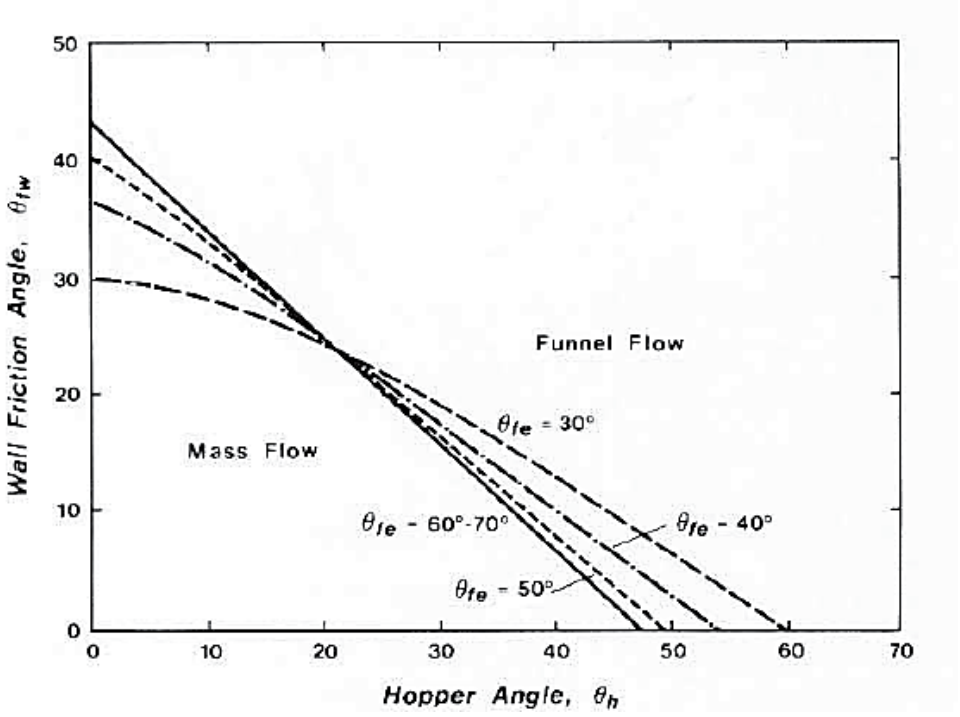
زمانی که خواص مواد توده ای مشخص شدند، شرایط بحرانی برای برقراری جریان توده ای، طاق زنی و لوله ای شدن میتواند تعیین گردند.



شکل ٦-١٦: موارد مختلفی که در خروج مواد ممکن است اتفاق بیافتد

جریان توده ای

رابطه بین زاویه اصطکاک دیواره، زاویه قیف و زاویه موثر اصطکاک از طریق محاسبات مشخص شده است.



شکل ٦-١٧: رابطه بین زاویه اصطکاک دیواره، زاویه قیف و زاویه موثر اصطکاک

شرایط جریان قیفی و جریان توده ای با توجه به زاویه های اصطکاک قابل دست یابی است.

طاق زنی

برای دهانه شکافی، حداقل عرض برای جلوگیری از طاق زنی برابر است با:

$$B_a \geq \frac{\sigma_y}{\rho_b g}$$

B_a: عرض شکاف (طول شکاف > ۲,۵ × عرض)

σ_y: تنش تسلیم غیر محبوس

ρ_b: دانسیته توده ای

برای دهانه دایره ای حداقل قطر برابر است با:

$$B_a \geq \frac{2\sigma_y}{\rho_b g}$$

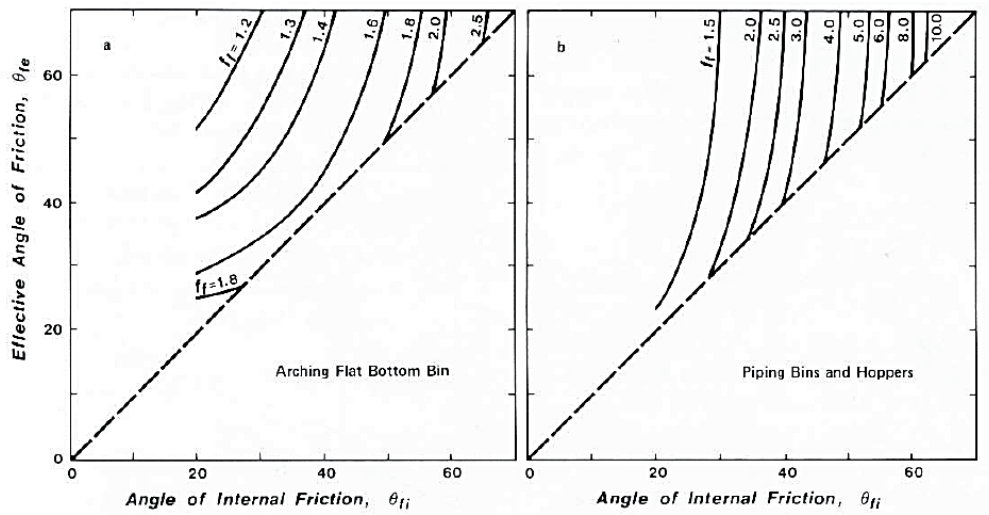
مقاومت توده جامد در صورتی که فشار تحکیم برای جریان پایدار مشخص باشد، قابل تعیین است. (شکل ٦-١٤)

فشار تحکیم کننده در منطقه دهانه برای مواد و قیف ها با زاویه های مختلف محاسبه شده است. شرایط بحرانی برای طاق زنی بر حسب عامل جریان (f_f) توصیف می شود.

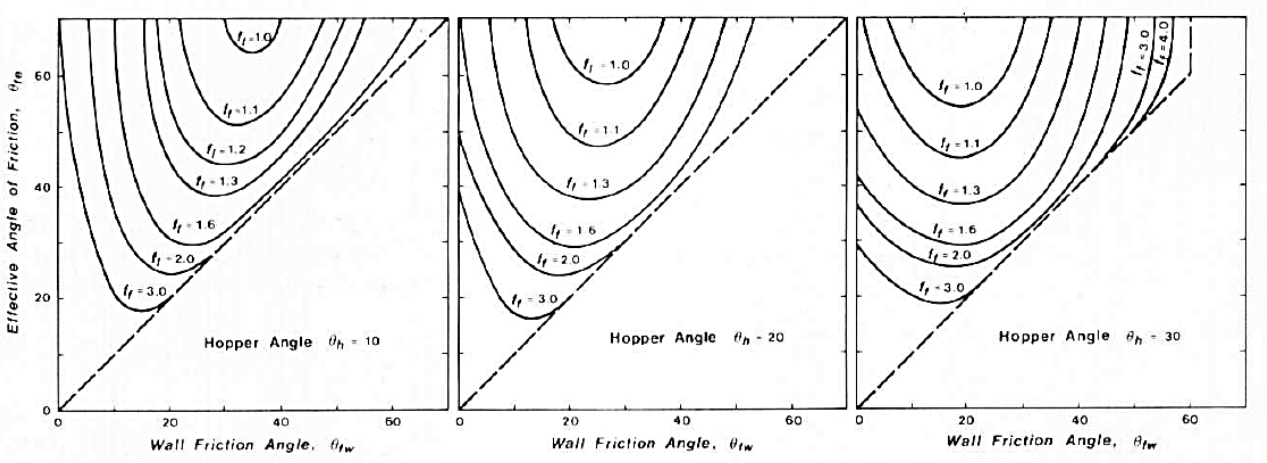
$$f_f = \left[\frac{\sigma_1}{\sigma_y}\right]_{cnt}$$

f_f: عامل جریان

σ_1: فشار تحکیم کننده (تنش فشاری اصلی)



شکل ٦-١٨: پارامترهای اساسی برای a) پدیده کمانی شدن در قسمت کف مخازن b) لوله ای شدن در مخازن و سیلوها



شکل ٦-١٩: پارامترهای اساسی برای پدیده کمانی شدن در قسمت قیفی مخازن

اگر این عوامل جریان روی منحنی تنش تسلیم غیر محبوس بر حسب فشار تحکیم کننده نشان داده شود به صورت یک خط راست با شیب f_f خواهد بود.

اگر توده جامدی با خواص مقاومتی معینی در یک قیف با مقدار عامل جریان خاصی قرار داده شود مقادیر σ_y و σ_1 برای طاق زنی از محل برخورد دو منحنی به دست می آید (شکل ٦-١٥).

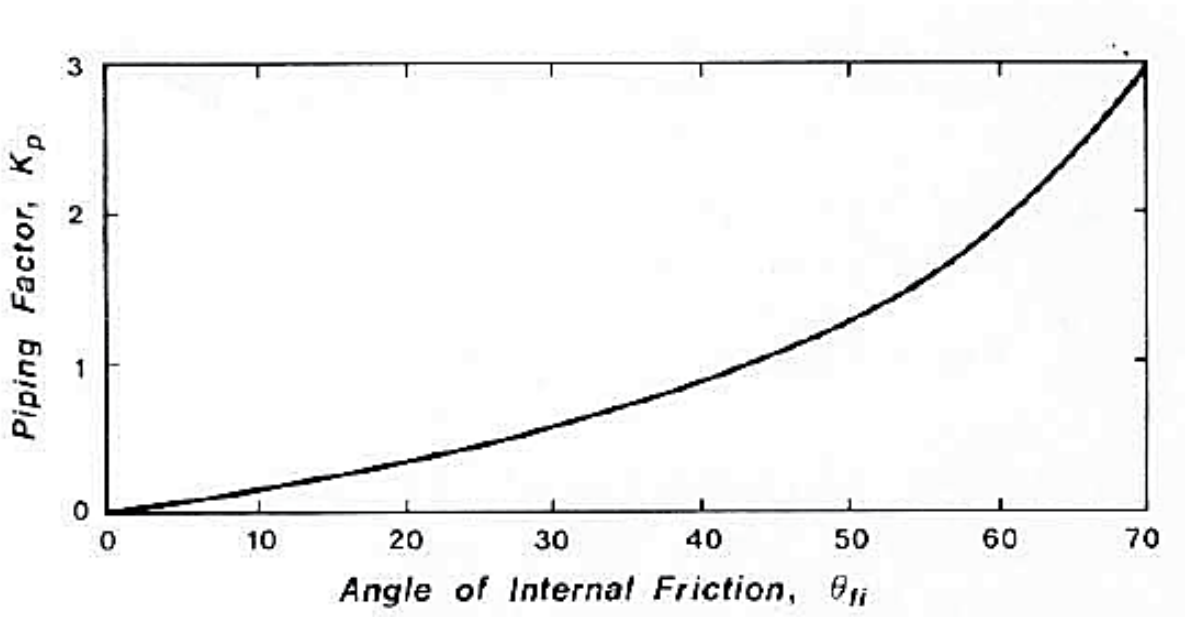
لوله ای شدن

ابعاد دهانه برای جلوگیری از لوله ای شدن:

$$D_P \geq 4\frac{\sigma_y}{\rho_b g}k_P$$

D_P: قطر دهانه

k_P: عامل لوله ای شدن



شکل ٦-٢٠: عامل لوله ای شدن

عامل جریان برای لوله ای شدن مانند طاق زنی تعریف و مورد استفاده قرار می گیرد.

باید توجه داشت که لوله ای شدن شرایط با جریان محدود شده است و در صورتی که جریان توده‌ای وجود داشته باشد، لوله ای شدن روی نمی دهد.

مثال:

خواص جریان یافتنی برای سنگ آهن خرد شده که شامل ١٠ درصد رطوبت است در شکل (٦-١٤) نشان داده شده است. حداقل اندازه خروجی باید چقدر باشد، در صورتی این سنگ معدن در یک مخزن فولادی با قیف کره ای شکل ذخیره شود؟

حل:

جهت حداقل کردن ارتفاع مورد نیاز برای حجم مورد نظر، بالاترین زاویه قیف ممکن انتخاب می‌شود.

با توجه به شکل زاویه های بحرانی برای جریان توده ای در قیف های مخروطی (شکل ٦-١٧) زاویه قیف بزرگتر از ٢٠ درجه باید برای این مواد استفاده شود. اگر هم ٢٠ درجه انتخاب شود، جنس بدنه مخزن باید فولاد نو باشد.

به همین دلیل زاویه قیف ۱۰ درجه انتخاب می شود.

داده ها: $\theta_n = 10° \;; \theta_{f_i} = 46° \;; \theta_{fw} = 25°$

برای طراحی قیف در ابتدا باید مقداری برای θ_{f_e} فرض شود. با توجه به شکل (٦a-١٤) که در آن محدوده θ_{f_e} ۵۵ تا ۷۰ درجه است، مقدار ٦٠ درجه انتخاب می‌شود.

از شکل (٦a-١٩) برای $\theta_{fw} = 25°$ و $\theta_{f_e} = 60°$، $f_f = 1.08$ است.

$$f_f = \left(\frac{\sigma_1}{\sigma_y}\right) = 1.08$$

خط $f_f = 1.08$ روی شکل (٦c-١٤) رسم می‌شود. این خط منحنی خواص جریان شوندگی را در نقطه $\sigma_1 = 10kP_a$ و $\sigma_y = 9kP_a$ قطع می‌کند. که مطابق با $\theta_{f_e} = 66°$ است که با فرض اولیه برابر نیست.

حال با فرض $\theta_{f_e} = 66°$ دو مرحله قبل تکرار می‌شود. در این حالت $\rho_f = 1.06$که منحنی را در $\sigma_1 = 9kP_a$ که مطابق با $\theta_{f_e} = 67°$ قطع می‌کند. در نتیجه فرض اولیه قابل قبول است.

$$\sigma_y = 8.5\ kP_a \quad , \quad \rho_b = 2120\frac{kg}{m^3}$$

برای کنترل شرایط محدود کننده طاق زنی: حداقل عرض شکاف جهت جلوگیری از طاق زنی برابر است با:

$$B_a \geq \frac{8500}{2120 \times 9.8} = 0.41m$$

برای کنترل شرایط محدود کننده لوله ای شدن، از شکل (٦b-١٨) برای $\theta_{fi} = 46°$, $\theta_{f_e} = 66°$ عامل جریان برای لوله‌ای شدن $f_f = 3.6$ است.

با رسم $f_f = 3.6$ روی شکل (٦c-١٤) و با بیرون یابی داریم:

$$\rho_b = 2500\,\frac{kg}{m^3} \text{ و } \sigma_y = 25kP_a$$

از شکل مربوط به فاکتور لوله ای شدن (شکل ٦-٢٠) برای $\theta_{fi} = 46°$ و $k_p = 1.1$.

حداقل قطر شکاف برای جلوگیری از لوله ای شدن برابر است با:

$$D_p \geq 4 \times \frac{2500}{2500 \times 9.8} \times 1.1 = 0.45m$$

حداقل عرض شکاف که باید استفاده شود ۰,٤۱ متر است. لوله ای شدن با هر شکافی که طول آن بزرگتر از عرض آن باشد، جلوگیری خواهد شد.

محاسبه دبی خروجی از قیف

در طراحی مخازن باید توجه داشت تا علاوه بر جلوگیری از طاق زنی و لوله ای شدن دبی لازم از خروجی قیف فراهم گردد. زمانی که ذرات توده جامد بزرگتر از ۲۵ میکرون باشند، دبی تابعی از خواص توده‌ای و هندسه قیف است.

رابطه زیر برای خروجی پایدار از قیف نوع شکافی ارائه شده است.

$$O_V = BL\left(\frac{Bg}{2tan\theta_{ch}}\right)^{0.5}\left(1-\frac{f_f}{f_{f,a}}\right)^{0.5}$$

B: عرض شکاف، L: طول شکاف ، f_f: فاکتور جریان عرض بر طاق

θ_{ch}: نصف زاویه کامل جریان ، O_V: نرخ حجمی توده خروجی

برای قیف از نوع مخروطی، دبی خروجی از رابطه زیر قابل محاسبه است:

$$O_V = \frac{\pi B^2}{4}\left(\frac{Bg}{4tan\theta_{ch}}\right)^{0.5}\left(1-\frac{f_f}{f_{f,a}}\right)^{0.5}$$

B: قطر دهانه

فاکتور جریان واقعی در خروجی قیف برابر است با:

$$f_{f,a} = \frac{\sigma_1}{\sigma_y}$$

که فشار تحکیم کننده در خروجی از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$\sigma_1 = \rho_b B g f_f$$

مثال: با توجه به اطلاعات زیر، برای حداکثر خروجی $\frac{m^3}{min}$ ۵۰ طول دهانه شکافی در زمانی که عرض آن ۵۰ cm است چه مقدار باید باشد؟ (شکل ٦-١٤)

$$f_f = 1.06 \ , \ \sigma_y = 8.5kPa \ , \sigma_1 = 9kPa \ , \ \rho_b = 2120\ \frac{kg}{m^3}$$

حل: فشار تحکیم کننده برابر است با:

$$\sigma_1 = \rho_b B g f_f = 2120 \times 0.5 \times 9.8 \times 1.06 = 11kPa$$

در فشار تحکیم کننده $11kPa$دانسیته توده ای با توجه به شکل (٦b-١٤) برابر با $2180\ \frac{kg}{m^3}$ در نتیجه فشار تحکیم کننده تصحیح شده برابر است با :

$$\sigma_1 = 2180 \times 0.5 \times 9.8 \times 1.06 = 11.3kPa$$

تنش تسلیم غیر محبوس (شکل ٦-١٤) برابراست با $\sigma_y = 9.5kPa$

فاکتور جریان واقعی از خروجی برابر است با: $f_{f,a} = \frac{11.3}{9.5} = 1.2$

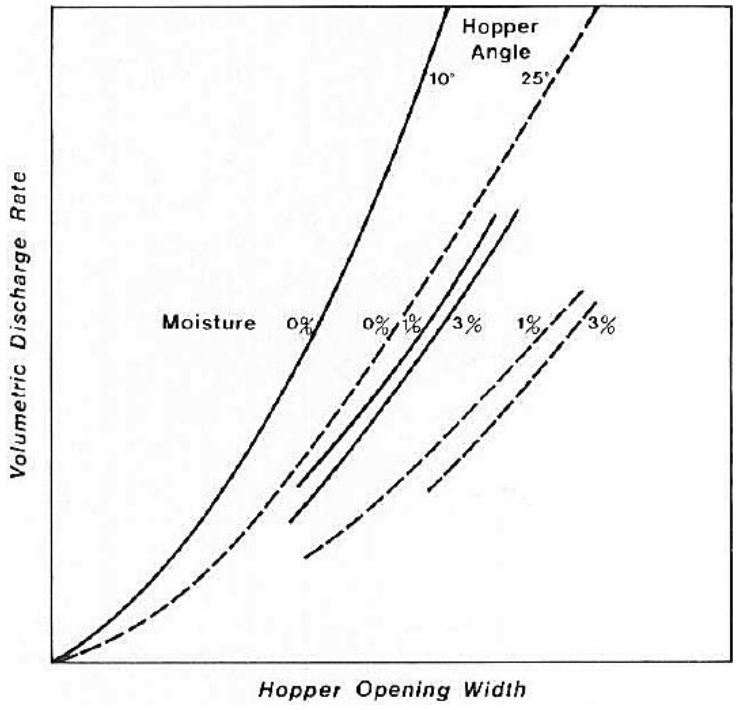
طول شکاف مورد نیاز برای دبی خروجی $50\ \frac{m^3}{min}$:

$$\frac{50}{60} = 0.5 \times L \times \left[\frac{0.5 \times 9.8}{2 \times \tan(10)}\right]^{0.5} \left[1 - \frac{1.06}{1.2}\right]^{0.5}$$

$$L = 1.31$$

برای مخزن جریان توده ای، زاویه کامل جریان مانند زاویه قیف است.

تاثیر زاویه قیف و میزان رطوبت بر دبی خروجی در شکل زیر آمده است.



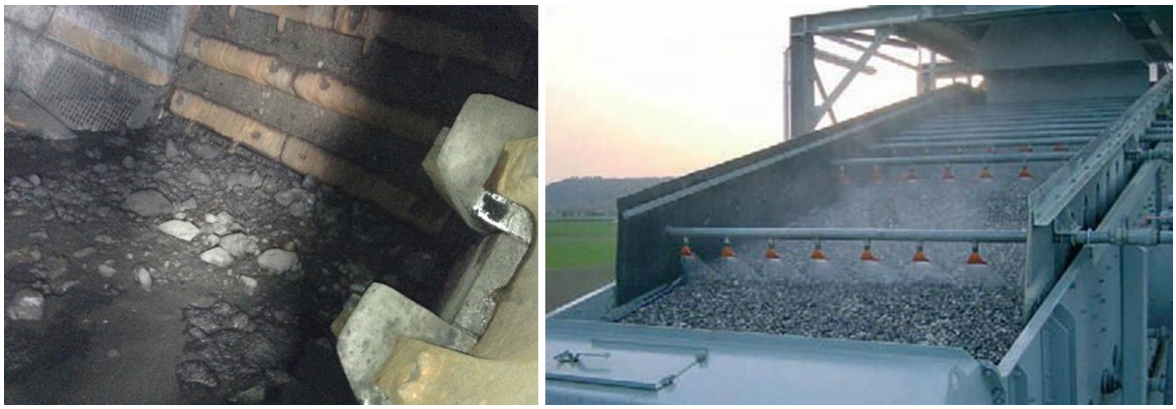
شکل ٦-٢٢: تاثیر زاویه قیف و میزان رطوبت بر دبی خروجی

فصل هفتم

انتقال پالپ

مقدمه

اکثر کارخانه های فرآوری به صورت تر کار می کنند. آب نه تنها محیط مناسب برای انجام اکثر فرایندهای پرعیار کنی است، بلکه آن مناسب ترین محیط برای اکثر عملیات آسیا کنی و طبقه بندی است.



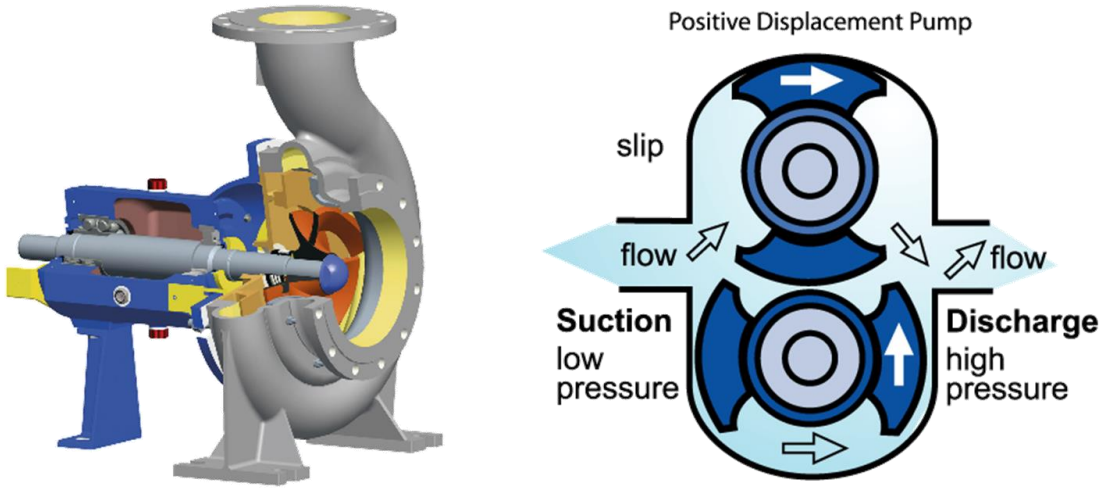
شکل ۷-۱: استفاده از آب در کارخانه های فرآوری

پمپ ها و پمپ کردن

پمپ ها: پمپ ها به دو گروه تقسیم می شوند:

۱) پمپ های جابجایی- مثبت

۲) پمپ های گریز از مرکز



الف ب

شکل ۷-۲: پمپ های انتقال مواد الف) جابجایی- مثبت ب) پمپ های گریز از مرکز

پمپ های جابجایی مثبت در هر ضربه مستقل از ارتفاع خروجی و یا مکش مقدار معینی (حجم) پالپ را جا به جا می کند. در حالی که پمپ های گریز از مرکز حجمی که وابسته به ارتفاع خروجی است را تحویل می دهد.

معمولاً پمپ های جابجایی مثبت در جاهایی که ارتفاع بالایی مورد نیاز است کاربرد دارد و پمپ های گریز از مرکز زمانی که دبی بالا و ارتفاع (ایستایی) پایین باشد مورد استفاده قرار می‌گیرند.

پمپ های جابجائی مثبت به طور متناوب کار می‌کنند و به همین دلیل نیاز به شیرهای یک طرفه است که معمولاً نگهداری آنها مشکل است.

پمپ های گریز از مرکز بطور وسیعی در صنایع فرآوری از دبی های کم تا $\frac{m^3}{s}$ ۱۰۰۰ مورد استفاده قرار می گیرند.کارآیی این پمپ ها نسبت به پمپ های جابجایی مثبت کمتر می باشند ولی کار آنها ساده و هزینه های عملیاتی و سرمایه‌ای کمتری دارند.

برای پمپ های گریز از مرکز زمانی که پالپ پمپ می شود از پروانه های بزرگ تر استفاده می شود تا در اثر سرعت پایین تر سایش آن ها کمتر باشد.

شکل ۷-۳: سایش در پمپ های انتقال مواد

برای کاهش سایش، بدنه پمپ با آستر قابل تعویض پوشیده می شود و از به کارگیری پیچ ها و خم های تند باید اجتناب کرد.

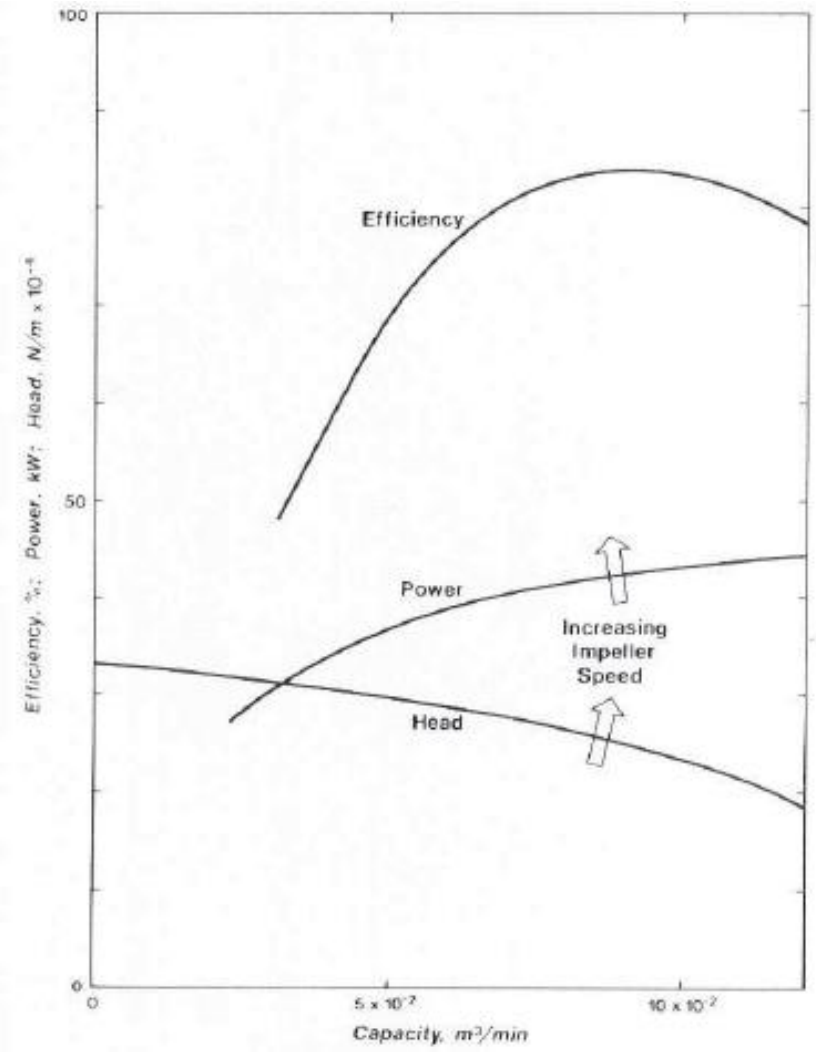
شکل ۷-٤: استفاده از آستری قابل تعویض برای کاهش سایش در پمپ های انتقال مواد

مناسب ترین شیر برای خطوط پالپ فشاری (pinch) است که تماس مستقیم با پالپ ندارد.

شکل ۷-۵: شیر فشاری (Pinch Valve)

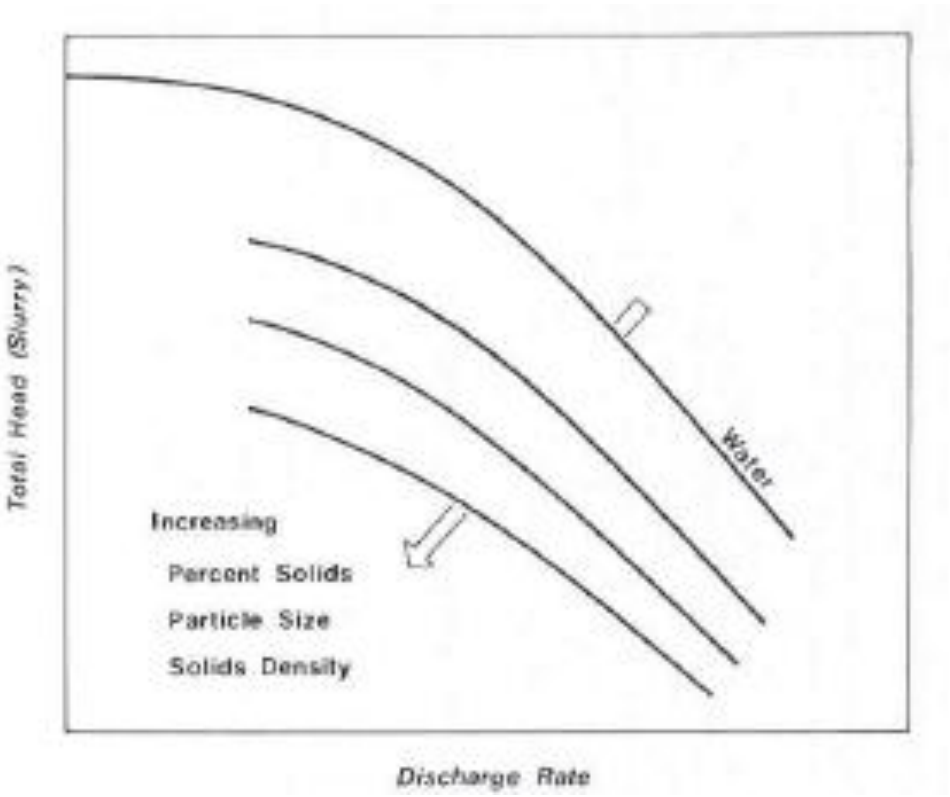
انتخاب پمپ

منحنی های معمول عملیاتی پمپ برای آب در شکل زیر آمده است.



شکل ۷-٦: منحنی های معمول عملیاتی پمپ برای آب

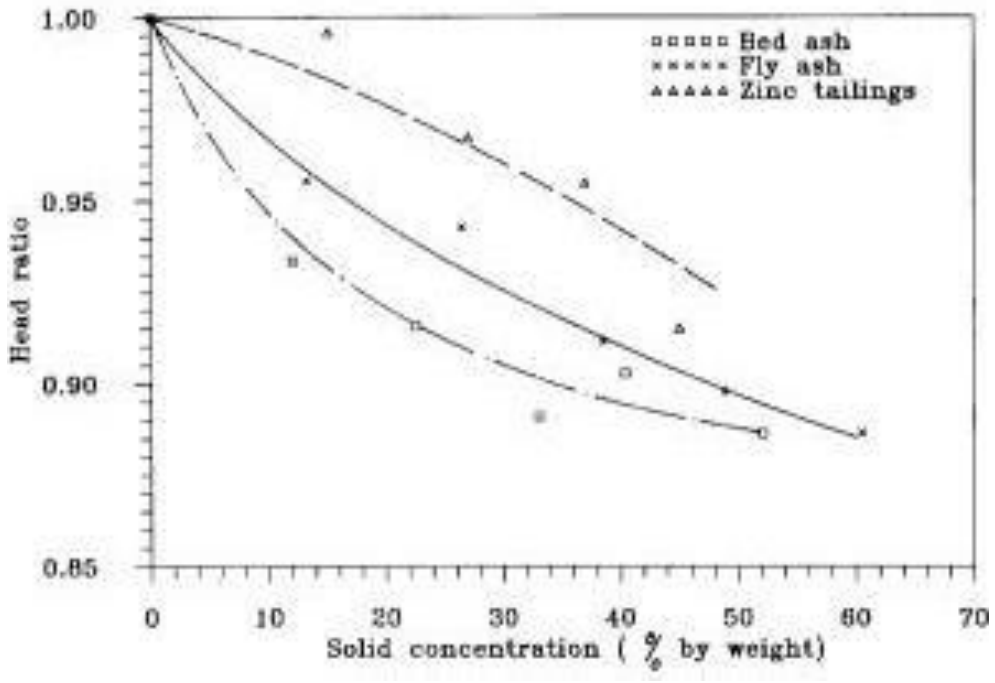
برای پالپ، منحنی های کارآیی تغییر می کند.



شکل ۷-۷: تاثیر ماده جامد در **منحنی های کارآیی پمپ**

با افزایش درصد جامد، اندازه ذرات و دانسیته جامد یک دبی معین تا ارتفاع کمتری قابل پمپ کردن می باشد.

عملیات پایدار پمپ گریز از مرکز فقط برای یک مقدار معین دبی به هر مقدار ایستایی امکان پذیر است.



شکل ۷-۸: ارتفاع پمپ کردن مواد در درصد جامد های مختلف

اگر پمپ گریز از مرکز با دبی که نزدیک حداکثر دبی است کار کند، فشار در ورودی پروانه یا در نوک پره می تواند کمتر از فشار بخار سیال کهک پمپ می شود، گردد. حباب های بخار تشکیل می شود که به منطقه فشار بالا حرکت می کنند و از هم می پاشند. این پدیده به کاویتاسیون معروف است که در چنان سرعتی اتفاق می افتد که باعث کنده شده قسمت فلزی از پروانه می شود.

شکل ۷-۹: سایش در پمپ در اثر پدیده کاویتاسیون

کاویتاسیون می تواند با کاهش نرخ پمپ کردن از بین رود. البته بهتر است این مسئله در زمان طراحی در نظر گرفته شود.

برای سیال غیرقابل تراکم مانند آب یا پالپ، موازنه انرژی کلی برای واحد جرم برابر است با:

$$\Delta\left(\frac{1}{2}\bar{v}^2\right) + g\Delta H + \frac{1}{\rho_f}\int_{p_1}^{p_2} dp + \frac{1}{\rho_f}\sum p = -W_p$$

ΔH: تفاوت در ارتفاع

$\sum p$: اتلاف اصطکاک در لوله

W_p:کار انجام شده بر واحد جرم

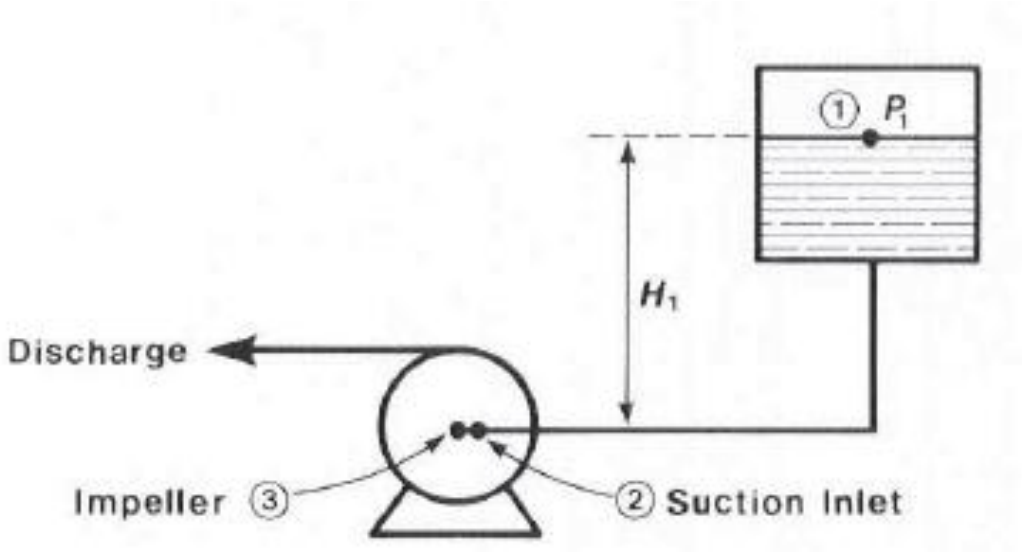
ρ_f: دانسیته سیال

برای یک سیستم ساده لوله کشی مانند شکل زیر، موازنه انرژی برابر خواهد بود با:

$$\frac{1}{2}\bar{v}_1{}^2 + gH_1 + \frac{1}{\rho_f}P_1 = \frac{1}{2}\bar{v}_2{}^2 + gH_2 + \frac{1}{\rho_f}P_2 + \sum p$$

$P_1, H_1, \bar{v}_1$ خواص در نقطه۱

$P_2, H_2, \bar{v}_2$ خواص در نقطه۲



شکل ۷-۱۰: یک سیستم ساده پمپ

اگر صفحه مبنا در نقطه ۲ در نظر گرفته شود، $H_2 = 0$ و اگر $\bar{v}_1$ در مقایسه با $\bar{v}_2$ قابل صرف نظر کردن باشد، کل فشار هیدرواستاتیکی در نقطه ۲ برابر است با:

$$\frac{1}{2}\bar{v}_2{}^2 + \frac{1}{\rho_f}P_2 = gH_1 + \frac{1}{\rho_f}P_1 - \sum p$$

در نتیجه فشار در نقطه مکش برابر است با:

$$P_2 = \rho_f g H_1 + P_1 - \sum p - \frac{1}{2}\rho_f \bar{v}_2{}^2$$

فشار خالص مکش مثبت برابر است با تفاوت بین فشار در ورودی مکش و فشار بخار سیال در ورودی پروانه:

$$P_{nsp} = \left(\frac{1}{2}\rho_f \overline{V_2}^2 + P_2\right) - P_v = \left(\rho_f g H_1 + P_1 - \rho_f \sum P\right) - P_v$$

P_{nsp}: فشار خالص مکش مثبت

P_v: فشار بخار سیال

فشار در ورودی به پروانه کمتر از ورودی مکش خواهد بود و اختلاف فشار می تواند فرض شود که وابسته به تفاوت سرعت در ورودی (نقطه ۳ در شکل) است:

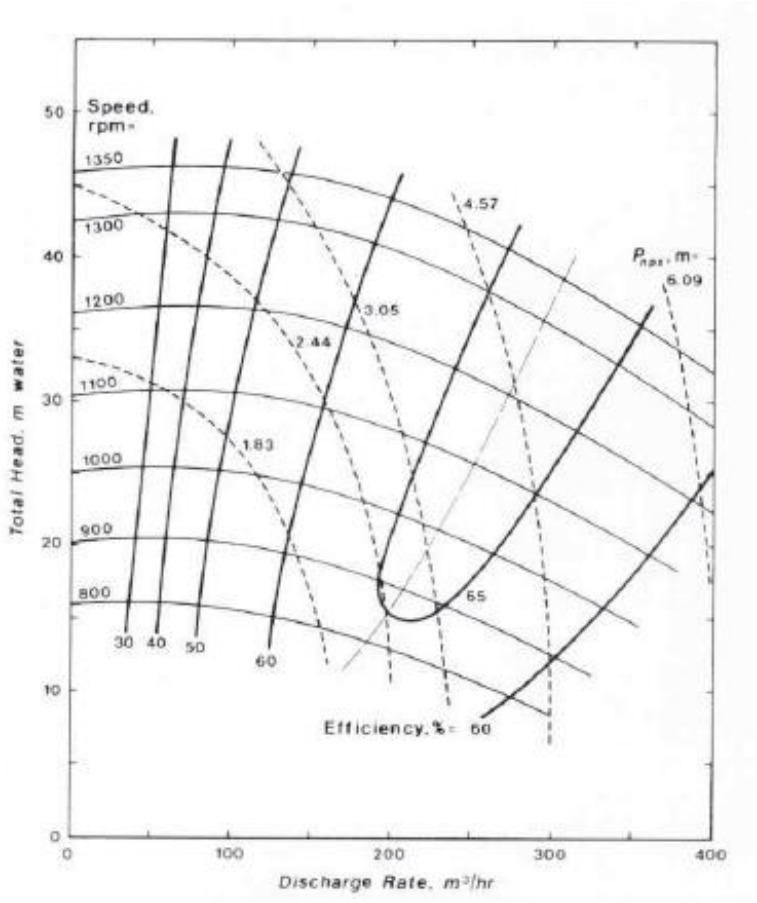
$$P_2 - P_3 = k_1\left(\frac{1}{2}\rho_f \overline{V_3}^2\right)$$

k_1: ثابت، مشخصه پمپ

کاویتاسیون روی خواهد داد اگر فشار کلی در ورودی پروانه کمتر با فشار بخار باشد.

$$P_3 \leq P_v$$

برای جلوگیری از کاویتاسیون، فشار خالص مکش مثبت باید بزرگتر از یک مقدار معین باشد که بستگی به سرعت در ورودی پروانه و طراحی پمپ (K_1) دارد. این مقدار توسط سازندگان پمپ ها فراهم می شود.



شکل ۷-۱۱: اطلاعات طراحی برای کارآیی پمپ ها

داده های سازندگان معمولا برای پمپ کردن مایعات است و برای به کارگیری با پالپ باید تصحیحاتی انجام شود. برای این کار از ضریب پمپ پالپ استفاده می شود:

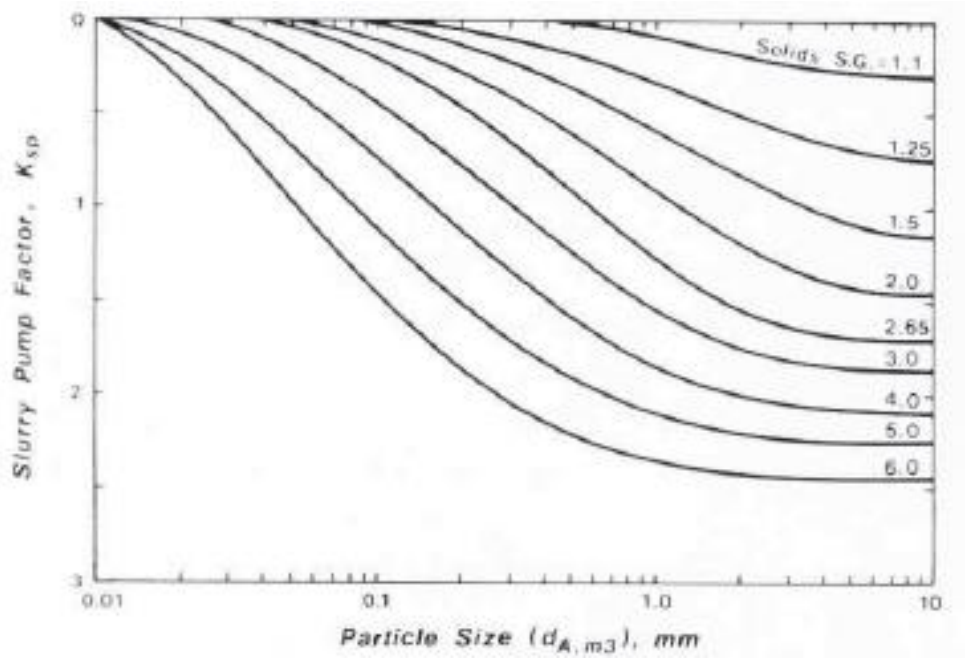
$$R_{sp} = 1 - K_{sp}\varepsilon_v$$

R_{sp}: $\frac{\text{فشار(پالپ)}}{\text{فشار(آب)}}$، $\frac{\text{کار آبی پمپ(پالپ)}}{\text{کار آبی پمپ(آب)}}$

ε_v: کسری حجمی جامد در پالپ

مثال: پمپی را انتخاب کنید تا $۲۰۰\frac{m^3}{h}$ پالپ باطله را با ۱۵ درصد حجمی جامد (دانسیته جامد: $۲۷۰۰\frac{kg}{m^3}$) را در مقابل فشار کل ۲۲ متر پالپ (متوسط اندازه ذرات: ۱۵۰ میکرون) پمپ نماید.

حل: دبی $۲۰۰\frac{m^3}{h}$ با استفاده از نمودار مربوط به عامل پمپ پالپ: (شکل ۷-۲۱).



شکل ۷-۱۲: عامل پمپ پالپ

برای ابعاد ذرات ۱۵ میکرون و دانسیته جامد ۲,۷، عامل پمپ پالپ (K_{sp}) برابر است با: $K_{sp} = 0.35$

با استفاده از:

$$R_{sp} = 1 - K_{sp}\varepsilon_v$$

$$R_{sp} = 1 - 0.35 \times 0.15$$

$$R_{sp} = 0.95$$

مقاومت (فشار) پالپ= ۲۲ متر

$$R_{sp} = \frac{\text{فشارپالپ}}{\text{فشارآب}} \Rightarrow \text{فشار آب} = \frac{22}{0.95} = 23.2\ \text{m}$$

$$\text{فشار آب} = 23.2\text{m}$$

با استفاده از نمودار انتخاب پمپ (پیوست H)

برای دبی ۲۰۰$\frac{m^3}{h}$ و فشار کلی آب ۲۳,۲ متر پمپ 6k$_1$ DAM مناسب خواهد بود.

از منحنی کارایی پمپ (شکل ۷-۱۱)، کارایی و سرعت انتخاب می شود.

برای فشار کلی آب ۲۳,۲ متر و خروجی ۲۰۰$\frac{m^3}{h}$

کارایی (آب): ٦٤ درصد

سرعت پمپ: ۱۰۲۵ rpm

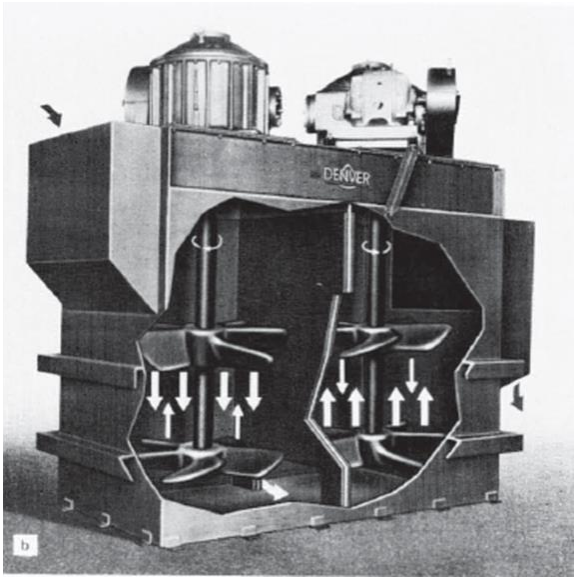
کارایی (پالپ): $64 \times 0.95 = 61\%$

$$\text{توان} = 200\frac{m^3}{min} \times \frac{1min}{60s} \times 23.2\ m\ water \times \frac{977.1\frac{N}{m^2}}{1\ m\ water} \times \frac{1kw}{1000w} = 75.6kw$$

$$\text{توان پمپ} = \frac{75.6}{0.61} = 124kw$$

تانک های آماده ساز

- در کارخانه های فرآوری اغلب تانک ها نیاز به همزن دارند به جز تانک های مربوط به پمپ ها.
- دو تانک آماده ساز یکی برای فلوتاسیون و دیگری تانک شستشو



شکل ۷-۱۳: تانک های آماده ساز

انتخاب تانک های آماده ساز

- برای تعلیق کامل در تانک معمولاً فرض می شود که توان بر واحد حجم ثابت است.

$$\frac{P}{V_T} = 0.092\ g\ V_\infty \frac{D_T}{D_a}\left(\frac{1-\varepsilon}{\varepsilon}\right)^{\frac{1}{2}} \exp(5.3\frac{H_a}{D_T})(\rho_s - \rho_l)$$

P: توان V_T: حجم تانک V_∞: سرعت حدی ذرات

D_a: قطر همزن D_T: قطر تانک H_a: فاصله همزن از کف تانک

ε : کسر حجمی آب

در فراوری در زمان تاثیر مواد شیمیایی ذرات در حالت تعلیق نگه داشته می شوند و به ندرت تعلیق کامل که به توان بیشتری نیاز دارد، بکار گرفته می شود.

به طور تجربی مشخص شده است که درجه پراکندگی ذرات در دو تانک از نظر هندسی مشابه، یکسان می باشند اگر توان ورودی بر واحد حجم آنها یکسان باشد.

$$\frac{N_1}{N_2} = \left(\frac{D_{a_2}}{D_{a1}}\right)^{\frac{2}{3}}$$

N_1 و N_2: سرعت همزن در تانک اول و دوم

D_{a1} و D_{a2}: قطر همزن در تانک اول و دوم

توان مورد نیاز برای تعلیق ذرات در تانک با عدد توان که بر واحد حجم است، نیز بیان می شود.

$$P_0 = \frac{P}{\rho_f N^3 D_a^5}$$

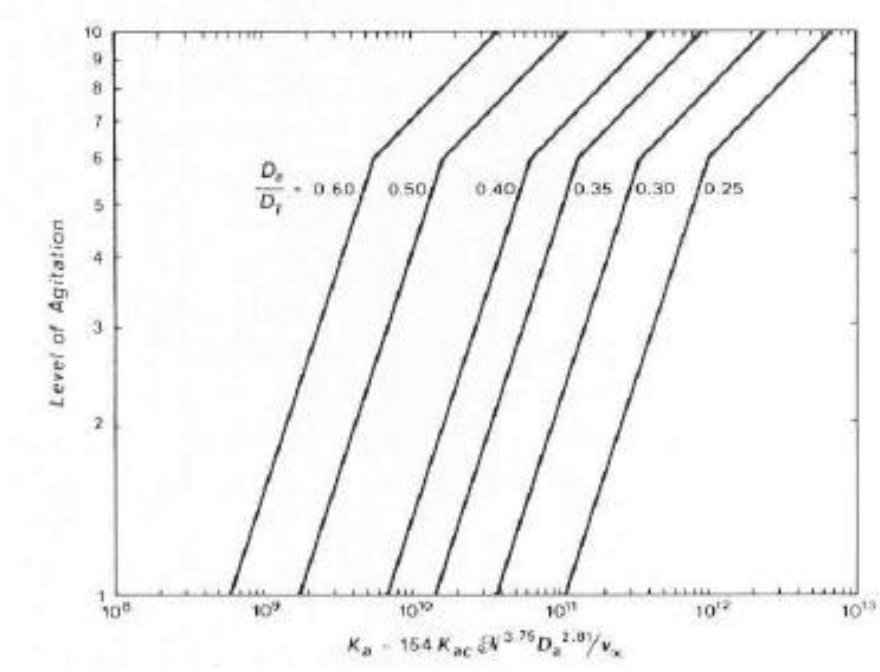
با ترکیب دو معادله بالا:

$$\frac{P_1}{P_2} = \left(\frac{D_{a1}}{D_{a2}}\right)^5 \left(\frac{N_1}{N_2}\right)^3 = \left(\frac{D_{a1}}{D_{a2}}\right)^3$$

P_1 و P_2 توان مورد نیاز در تانک های ۱ و ۲ می باشند.

- استفاده از رابطه بالا معمولاً منجر به نتایج محافظه کارانه می شود. به همین دلیل رویکرد "مقیاسی همزنی" ارائه شد که در آن دانه همزن از سطح ۱ که در آن همه ذرات در حال حرکتند و متناوباً در حال تعلیق‌اند شروع تا به سطح ۳ که همه ذرات همواره به حالت تعلق درآمده اند تا نقطه ای که پراکندگی یکنواختی حاصل شده (سطح ۱۰) در نوسان است.
- نقطه وسط (سطح ۵) مطابق با نقطه ای است که همه ذرات کاملاً در حال تعلق اند و پالپ یکنواخت در نیمه پایین حجم مواد هم زده شده، حاصل شده است.
- در این رویکرد نمودار تجربی (شکل ۹-۲۱) ارائه شده که مقادیر مقیاس همزن که به طور چشمی بدست می آید را به پارامترهای طراحی تانک و خواص پالپ با رابطه زیر به هم مربوط می کند:

$$k_a = \frac{154\, k_{ac} N^{3.75} D_a^{2.81}}{V_\infty}$$



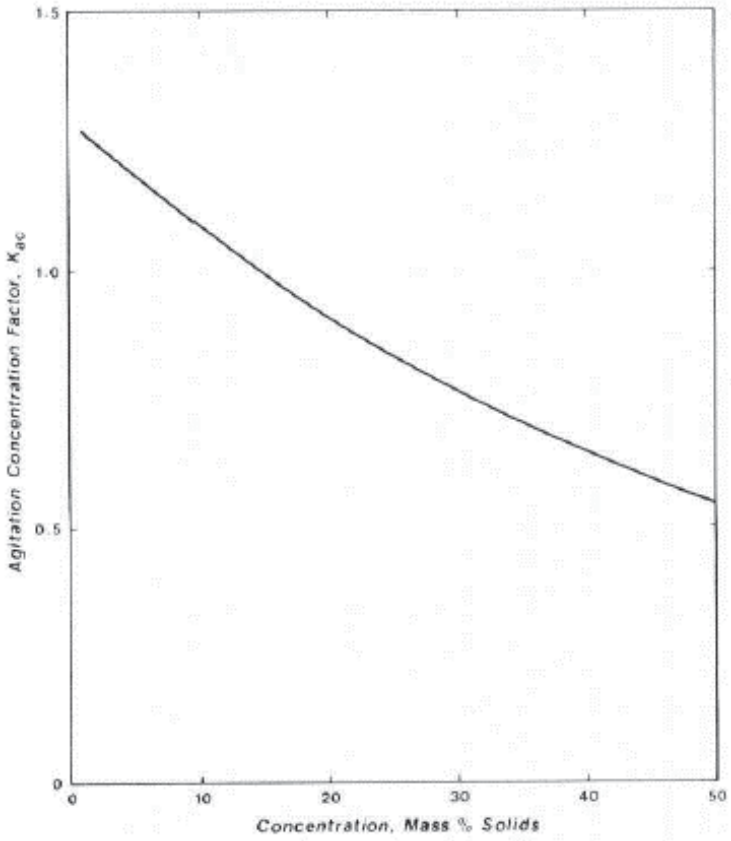
شکل ۷-۱۴: نمودار ارتباط بین مقادیر مقیاس همزن و پارامترهای طراحی تانک و خواص پالپ

k_a: فاکتور همزنی

k_{ac}: فاکتور غلظت همزنی که از شکل ۱۰-۲۱ بدست می آید

N: سرعت چرخش

V_∞: سرعت حدی ذرات



شکل ۷-۱۵: فاکتور غلظت همزنی

فاکتور غلظت همزنی نشان می دهد که با افزایش درصد جامد به توان بیشتری نیاز است

مثال: سرزیر هیدروسیکلون قرار است قبل از سلول های فلوتاسیون در یک تانک آماده سازی شود. تانک دارای تیغه بوده و قطر آن ۳ متر و عمق پالپ در آن نیز ۳ متر است. همزن دارای تیغه پیچ دار و قطر آن ۹۰ سانتی متر است. همزن در ٤٥ سانتی متری بالای کف تانک نصب شده است.

$$\rho_s = 3.45\frac{kg}{m^3}\ , C_V = 15.3\%\ , f_d = 0.44\ \ , d = 150\ \mu m$$

حل: محاسبه سرعت حدی: $$V_\infty = [\frac{4}{3}\frac{gd_0}{f_d}(\frac{\rho_s-\rho_f}{\rho_f})]$$

f_d: ضریب درگ برای زمانی که عدد رینولدز آن بیش از ۵۰۰ است، مستقل از عدد رینولدز است و مقدار آن

$$f_d \approx 0.44$$

$$V_\infty = \left[\frac{4}{3}\times\frac{9.81\times 150\times 10^{-6}}{0.44}\left(\frac{3.45-1000}{1000}\right)\right]^{0.5}$$

$$V_\infty = 0.098\frac{m}{s}$$

$$\frac{P}{V_T} = 0.092 g V_\infty \left(\frac{D_T}{D_a}\right)\left(\frac{1-\varepsilon}{\varepsilon}\right)^{0.5} \exp\left(\frac{5.3\,H_a}{D_T}\right)(\rho_s-\rho_l)$$

$$\frac{P}{V_T} = 0.092\times 9.81\times 0.098\times\frac{3}{0.9}\left(\frac{0.153}{0.845}\right)^{0.5}\exp\left(\frac{5.3\times 0.45}{3}\right)(3145-1000)$$

$$\frac{P}{V_T} = 595, \quad P = 595\times 3\times\pi\times(1.5)^2\ W \quad ,P = 12.6\ kW$$

مثال: مسئله قبل را از روش "مقیاس همزدن" حل کنید.

حل: با فرض سطح ۵ برای مقیاس همزدن:

$$\frac{D_a}{D_T} = \frac{0.9}{3} = 0.3$$

با استفاده از شکل مربوط به رابطه بین میزان همزدن و خواص پالپ و پارامترهای طراحی تانک (۹-۲۱).

$$k_a = 2.8\times 10^{11}$$

درصد حجمی ۱۵,۳ معادل ۳۶,۲ درصد وزنی است.

با استفاده از نمودار رابطه بین فاکتور غلظت همزدن و درصد جامد (شکل ۷-۱۵)

$$k_{ac} = 0.69$$

از رابطه:

$$k_a = \frac{154\ k_{ac}\ N^{3.75}\ D_a^{2.81}}{V_\infty}$$

$$2.8\times 10^{11} = \frac{154\times 0.69\times N^{3.75}\times 0.9^{2.81}}{0.0193}$$

$$N^{3.75} = 6.84\times 10^7 \rightarrow N = 123\ rpm$$

برای محاسبه R_{ea}:

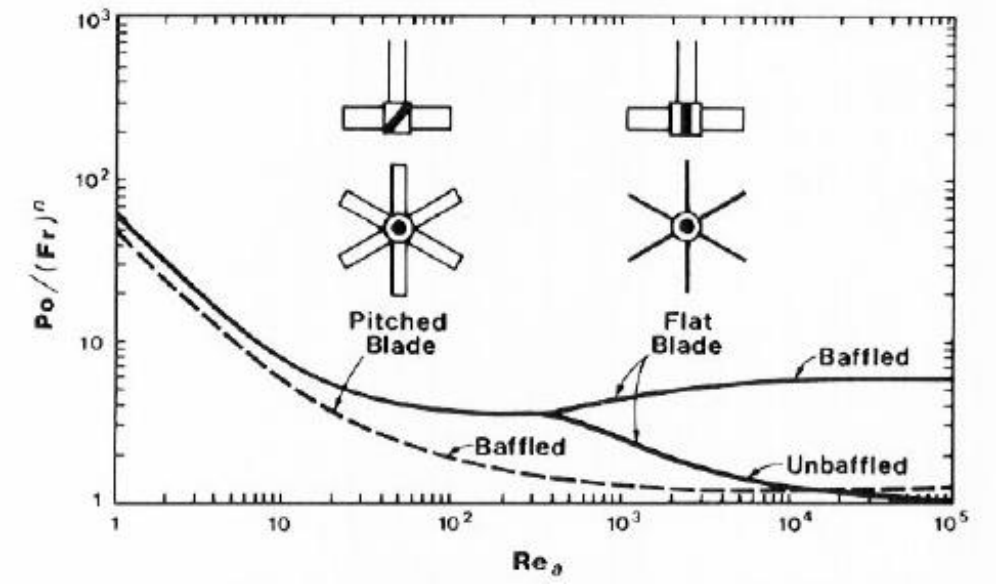
$$R_{ea} = \frac{D_a^2 N\rho_f}{\mu}$$

$$R_{ea} = \frac{0.9^2\left(\frac{123}{60}\right)\times 1000}{10^{-3}} = 1.7\times 10^6$$

عدد فروید که نسبت نیروی اینرسی به نیروی ثقل است برای تانک های دارای تیغه برابر ۱ است:

$$Fr = \frac{N^2 D_a}{g} = 1$$

با استفاده از نمودار فاکتور اصطکاک برای انواع تیغه ها $P_0 = 1.1$



شکل ۷-۱۶: نمودار فاکتور اصطکاک برای انواع تیغه ها

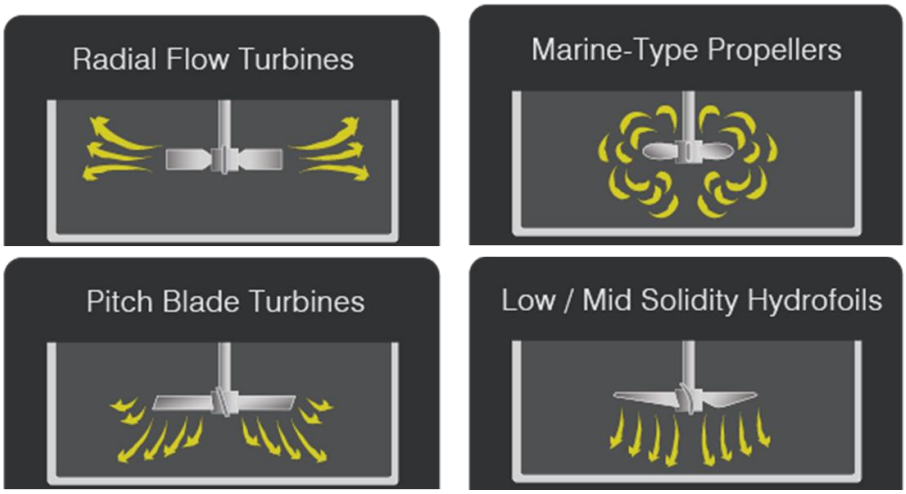
$$P_0 = \frac{P}{\rho_f N^3 D_a^5} \qquad \text{از طرفی}$$

$$1.1 = \frac{P}{1000 \times \left(\frac{123}{60}\right)^3 (0.9)^5} \rightarrow P = 5596\,W \quad \rightarrow \quad P = 5.6W$$

مشاهده می شود که میزان همزدن پایین تر (سطح ۵) توان کمتری را نیاز دارد. در صورتی که همزدن بالاتر (سطح ۱۰) انتخاب شود توان لازم تقریبا ۱۰kW بدست می آید.

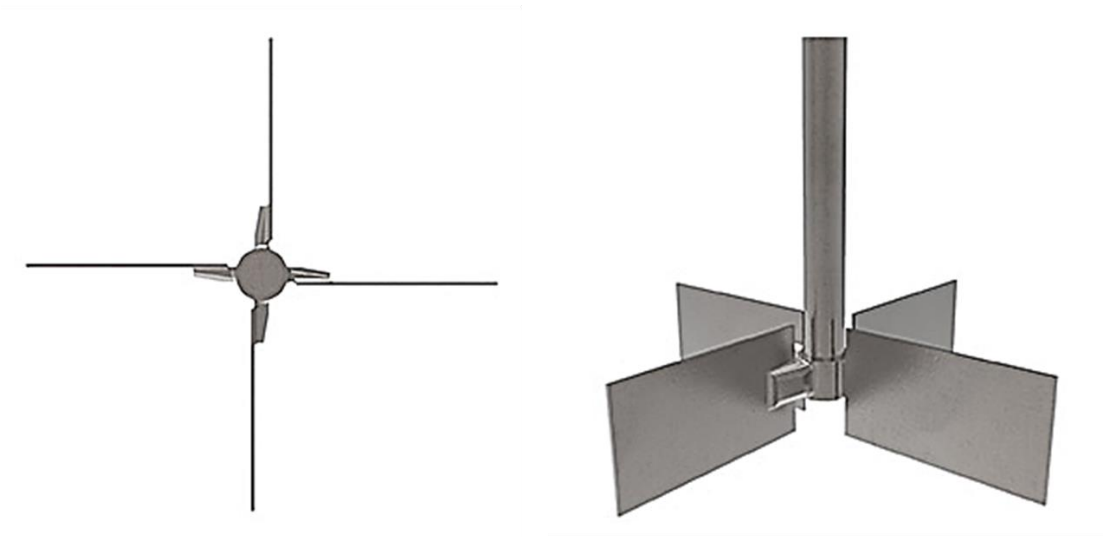
همزن ها

گستره وسیعی از همزن ها برای مخلوط سازی استفاده می شود. متداول ترین نوع همزن توربینی با تیغه های صاف یا پیچ‌دار است.



شکل ۷-۱۷: انواع مختلف همزن ها

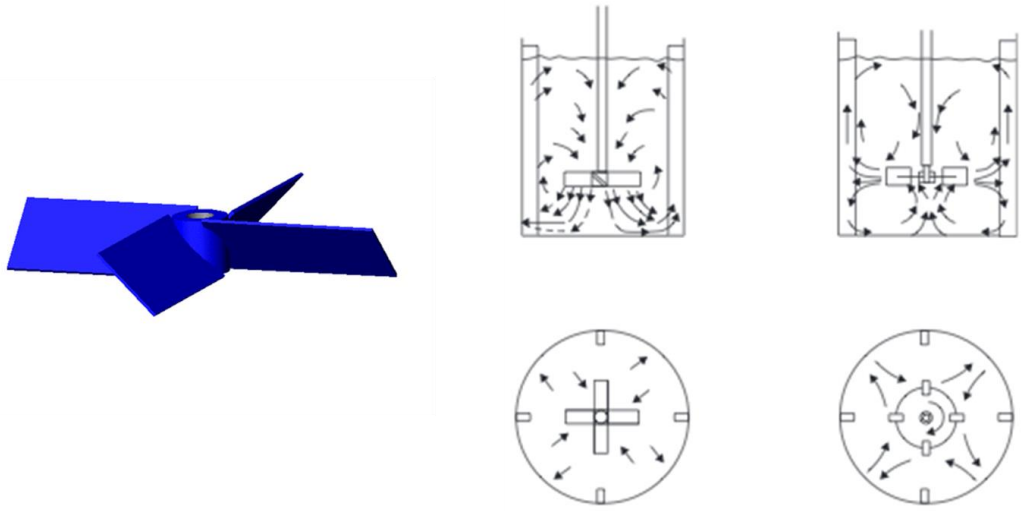
زمانی که همزن دارای تیغه های صاف است الگوی جریان شعاعی تولید می شود که در آن جریان اصلی سیال از همزن به بیرون است.



شکل ۷-۱۸: همزن دارای تیغه های صاف

تیغه های پیچ دار الگوی جریان محوری ایجاد می کند که باعث در حالت تعلیق نگه داشتن ذرات می شود.

تفاوت در کارایی این دو تیغه همزن در شکل زیر دیده می شود.

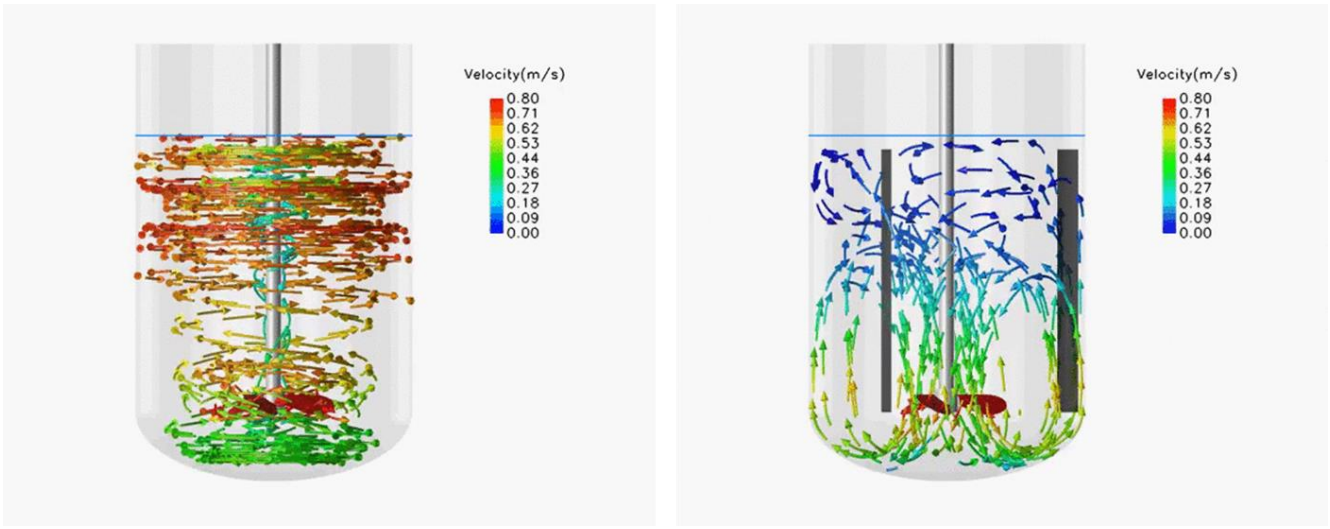


شکل ۷-۱۹: همزن دارای تیغه های پیچ دار

برای در حالت تعلیق نگه داشتن جامد، همزن ها در فاصله یک چهارم عمق پالپ از کف تانک نصب می شوند.

تیغه در تانک های آماده ساز

- تاثیر وجود تیغه در تانک های آماده ساز در شکل ۷-۱۶ آمده است.
- برای تعلیق ذرات معمولاً چهار صفحه (تیغه) عمودی با فاصله یکسان در تانک نصب می شود. عرض این صفحات معمولا $\frac{1}{12}$ قطر تانک است.



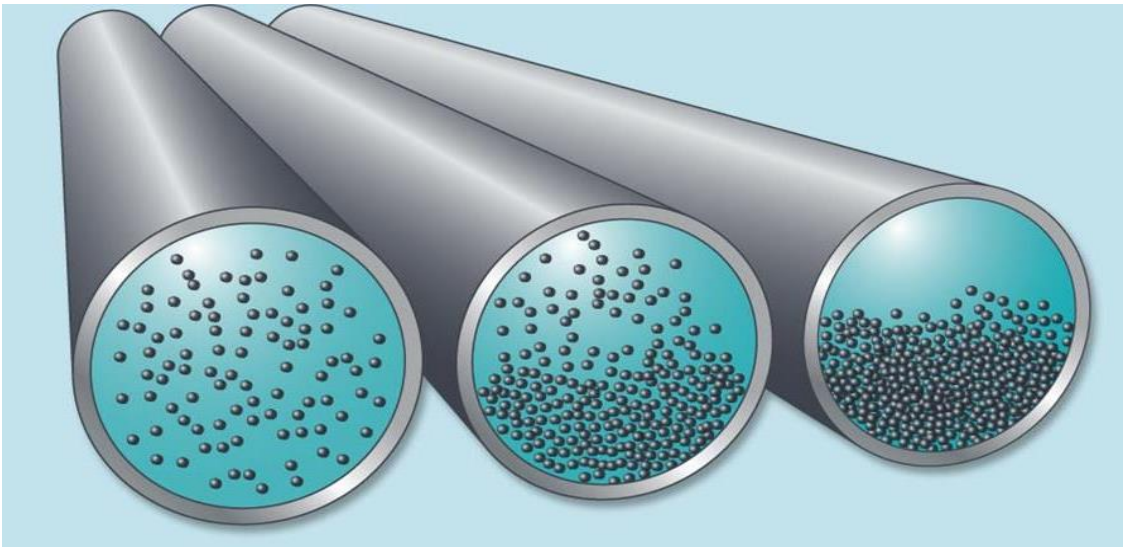
شکل ۷-۲۰: تیغه های عمودی در تانک های آماده ساز برای کمک به تعلیق بهتر ذرات

انتقال پالپ

امروز از لوله های بسیار طولانی (تا ۵۰۰ کیلومتر) برای انتقال کنسانتره آهن، مس و ذغال استفاده می شود.

شکل ۷-۲۱: لوله های بسیار طولانی (تا ۵۰۰ کیلومتر) برای انتقال کنسانتره آهن، مس و ذغال

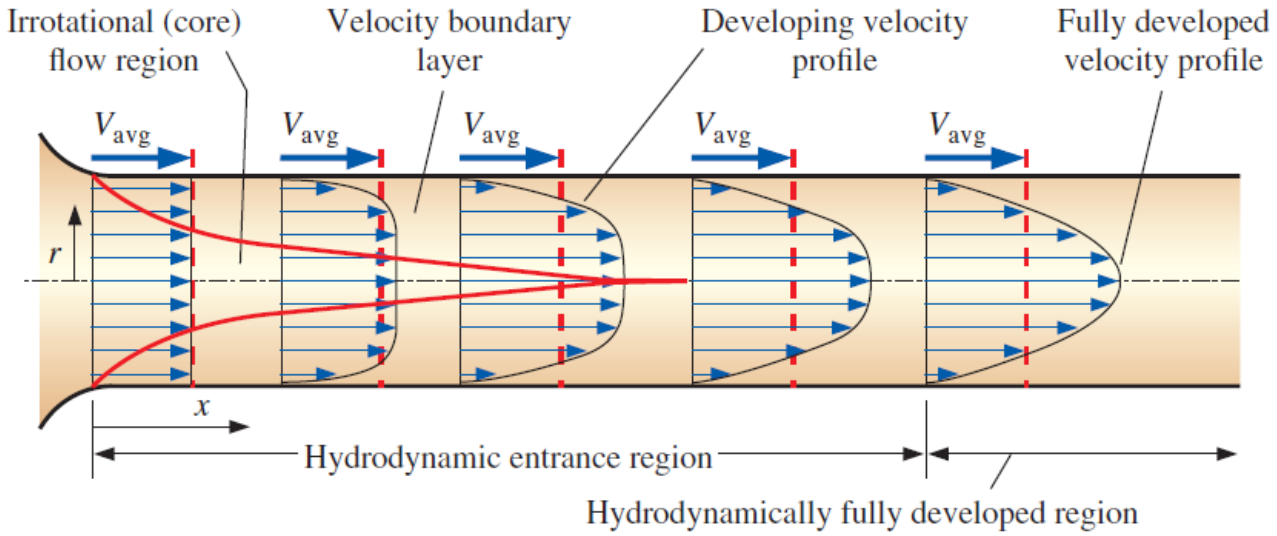
جریان در لوله ها می تواند همگن باشد. به عبارتی دیگر ذرات به طور یکنواختی در سطح مقطع لوله پراکنده است.
جریان ناهمگن به حالتی گفته می شود که در سطح مقطع لوله غلظت ذرات متفاوت است.



شکل ۷-۲۲: حالات مختلف جریان در لوله های انتقال مواد

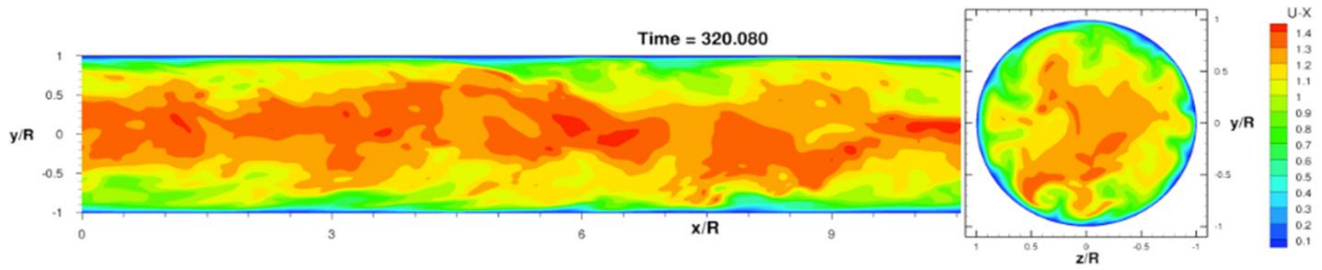
جریان همگن در لوله ها فقط برای ذرات بسیار ریز (رس و سنگ آهک ریز) مشاهده می شود.

معمولاً برای اینکه ذرات در حالت تعلیق باقی بمانند، الگوی جریان مغشوش است و جریان آرام فقط برای ذرات ریز ممکن است مناسب باشد.



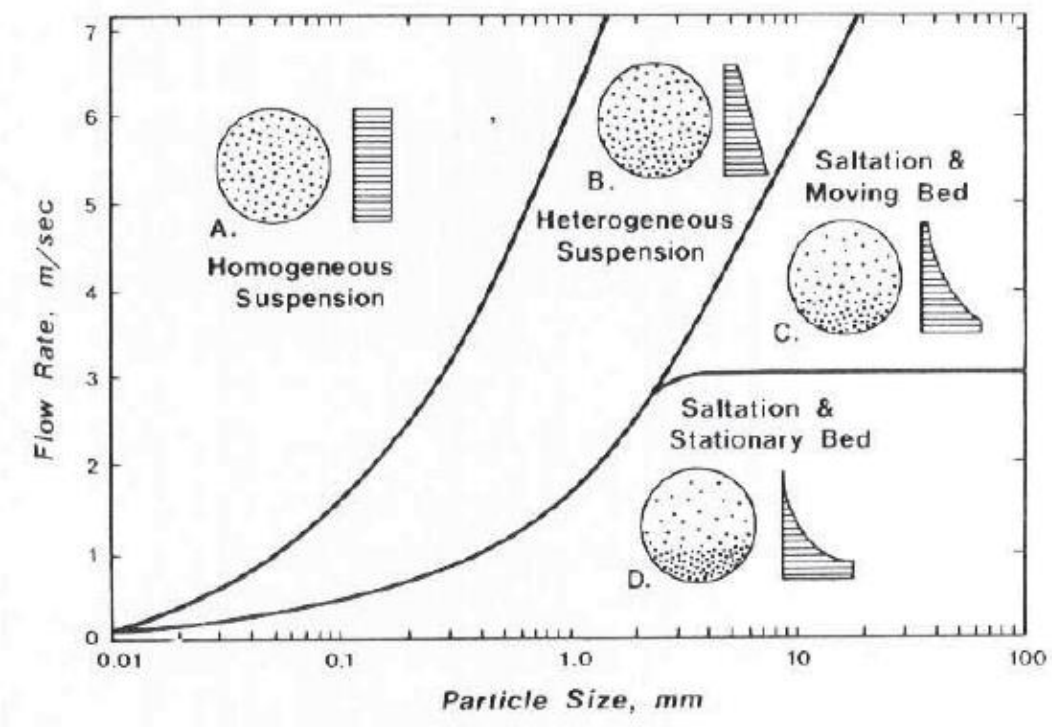
شکل ۷-۲۳: الگوی جریان آرام در لوله

به دلیل ناهمگن بودن مخلوط های مورد استفاده در کانه آرایی، الگوی جریان باید مغشوش باشد.



شکل ۷-۲٤: الگوی جریان مغشوش در لوله

با توجه به دبی جریان در ابعاد ذرات مختلف با تعلیق ذرات از حالت همگنی کامل به بستر ثابت و به همراه ذرات در حال تعلیق می تواند تغییر کند که در شکل زیر آمده است.



شکل ۷-۲۵: تاثیر دبی جریان و ابعاد ذرات در همگنی و یا ناهمگنی ذرات در لوله ها

برای تعیین حداقل سرعت مورد نیاز برای انتقال از رابطه زیر استفاده می شود:

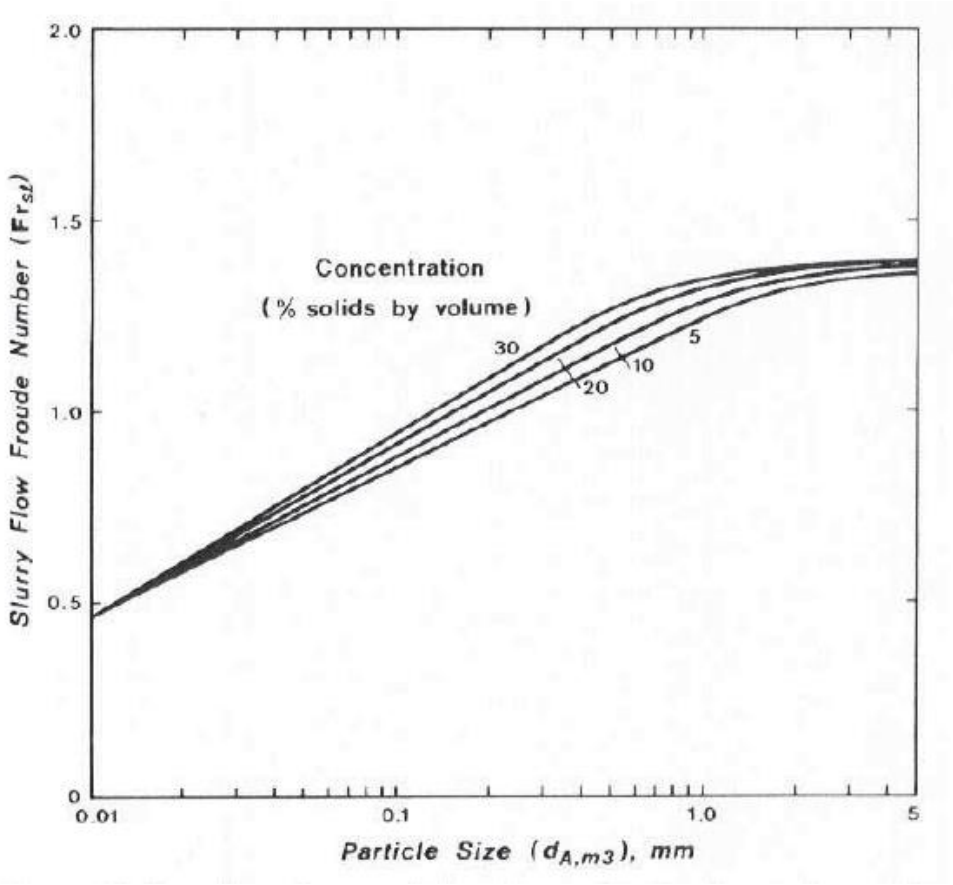
$$V_d = F_{rsl}\left[2gD(\frac{\rho_s - \rho_l}{\rho_l})\right]^{0.5}$$

F_{rsl}: عدد فروید برای پالپ

V_d: سرعت ته نشینی (حداقل سرعت برای جلوگیری از ته نشینی)

ρ_s و ρ_l: دانسیته جامد و سیال

- رابطه بین عدد فروید پالپ با اندازه ذرات و درصد جامد حجمی تعیین شده که در شکل زیر نشان داده شده است.



شکل ۷-۲۶: رابطه بین عدد فروید پالپ با اندازه ذرات و درصد جامد حجمی

- رابطه قبل برای توزیع دانه بندی وسیع، سرعت ته نشینی بیش از حد بالا بدست می دهد.
- برای پالپ فاکتور اصطکاک نسبت به آب افزایش پیدا می کند و با استفاده از رابطه زیر قابل محاسبه است.

$$\frac{f_{sl}-f_p}{f_p(1-\varepsilon)} = 82\left[\frac{\bar{V}^2}{gD}.\left(\frac{\rho_l}{\rho_s-\rho_l}\right)\sqrt{f_d}\right]^{-1.5}$$

f_{sl}: فاکتور اصطکاک برای پالپ

f_p: فاکتور اصطکاک برای لوله

$$f_p = \frac{1}{2}\left(\frac{D}{L}\right)\frac{\Delta P}{\rho_f \bar{V}^2}$$

فاکتور اصطکاک لوله (f_p) با توجه به عدد رینولند و میزان زبری لوله از نمودار ۷-۲۷ قابل محاسبه است.

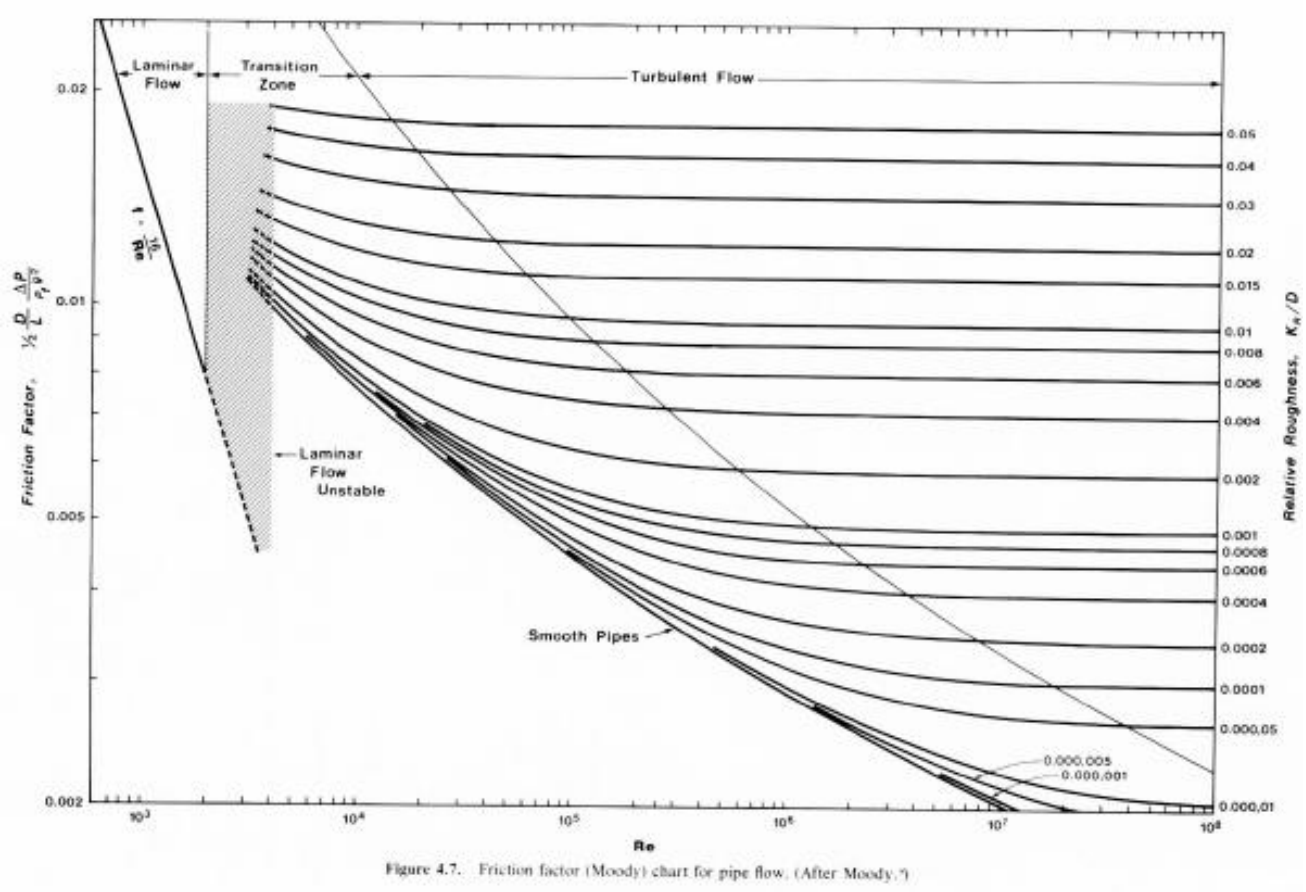
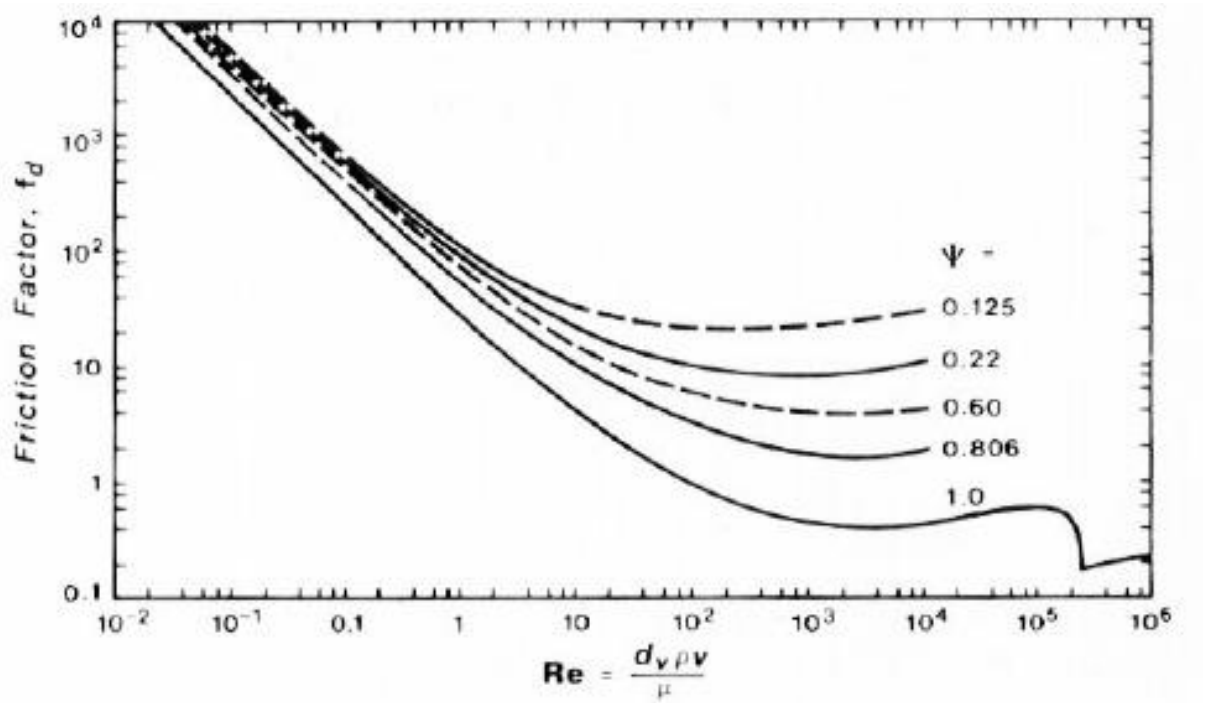


Figure 4.7. Friction factor (Moody) chart for pipe flow. (After Moody.[7])

شکل ۷–۲۷: فاکتور اصطکاک لوله (f_p) با توجه به عدد رینولند و میزان زبری لوله

فاکتور اصطکاک (f_d) ذرات با توجه به عدد رینولند و شکل ذرات از نمودار ۷–۲۸ قابل تعیین است (دانسیته و ویسکوزیته سیال باید در رابطه رینولدز استفاده شود).



شکل ۷–۲۸: فاکتور اصطکاک (f_d) ذرات با توجه به عدد رینولند و شکل ذرات

محاسبه افت فشار به دلیل اصطکاک در لوله ها

افت فشار معادل طول لوله نسبت به قطر لوله ها به شیرها و تبدیل ها در جدول زیر آمده است.

جدول ۷-۱: افت فشار معادل طول لوله نسبت به قطر لوله ها به شیرها و تبدیل ها

Item	Equivalent Lengths in Pipe Diameters (L/D)
Gate Valves (Conventional)	
Fully open	13
¾ open	35
½ open	160
¼ open	900
Globe Valves (Conventional)	
Fully open	340-450
Elbows	
90° standard	30
90° large radius	20
45° standard	16
Tees	
Flow straight through	20
Flow through branch	60

افت فشار بیشتر در اثر ورود و خروج از تانک نیز در جدول زیر آمده است.

جدول ۷-۲: افت فشار بیشتر در اثر ورود و خروج از تانک

Item	Equivalent Velocity Head ($2\rho\bar{v}^2$)
Pipe Exit	1.0
Pipe Entrance	
Well rounded	0.04
Slightly rounded	0.23
Sharp edged	0.50

طول کل موثر لوله به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$\sum L = L + L_e$$

L: طول لوله

L_e: طول معادله لوله شیرها و تبدیل ها

افت فشار در لوله به دلیل اصطکاک از رابطه زیر قابل محاسبه است.

$$\Delta P = f_{sl}(\frac{\sum L}{D})(2\rho_l \bar{V}^2)$$

ΔP: افت فشار به دلیل اصطکاک

اگر در مسیر، لوله وارد تانکی و یا از آن خارج شود افت فشاری نیز برای این دو باید در نظر گرفت که از جدول زیر می تواند تعیین شود (شکل ۷-۲).

مثال: قرار است آب مسافت ۸۰۰ متر را از سد باطله کارخانه فرآوری که ۲۰ متر بالاتر است پمپ شود. قطر لوله ۲۰cm و دبی ۲,۵ $\frac{m^3}{min}$ است. اگر کارآیی پمپ ٦٥ درصد باشد توان مورد نیاز را محاسبه کنید.

$\frac{k_R}{D} = 0.0003$; تبدیل های مورد استفاده معادل ۲۵ متر لوله است.

$$\mu = 10^{-3}\frac{kg}{m.s} \quad , \quad \rho_f = 1000\ \frac{kg}{m^3}$$

حل: پمپ باید توانی داشته باشد که بر ۲۰ متر فشار استاتیکی و افت فشار اصطکاک غلبه کند. به عبارت دیگر

$$\sum \mathrm{P} = \Delta P\left(\text{اصطکاک}\right) + \Delta P(\text{ایستایی})$$

اصطکاک $\bar{V} = 2.5\frac{m^3}{min} \times \frac{1}{(0.5\times 0.2m)^2} \times \frac{1min}{60s} = 1.326\frac{m}{s}$

$$R_e = \frac{D\bar{V}P}{\mu} = \frac{0.2 \times 1.326 \times 1000}{10^{-3}} = 2.7 \times 10^5$$

از شکل ۷-۲۷ زمانی که $\frac{k_R}{D} = 0.0003$ است f_p=0.00425

$$\mathrm{f_p} = \frac{1}{2}\left(\frac{D}{L}\right)\frac{\Delta P}{\rho_f \bar{V}^2}$$

$$\Delta P = 2 \times 0.00425 \times \frac{(800+25)m}{0.2m} \times \frac{1000kg}{m^3} \times 1.326\frac{m^2}{s^2}$$

$$\Delta P = 6.16 \times 10^4 \frac{kg}{m.s^2}$$

فشار ایستایی

$$\Delta P = 20m \times \frac{1000kg}{m^3} \times 9.81\frac{m^2}{s^2} \rightarrow \quad \Delta P = 1.96 \times 10^5 \frac{kg}{m.s^2}$$

$$\sum \Delta P = 1.96 \times 10^4 + 6.2 \times 10^4 = 25.8 \times 10^4 \frac{kg}{m.s^2}$$

$$\text{توان} = 2.58 \times 10^5 \frac{kg}{m.s^2} \times 2.5 \frac{m^3}{min} \times \frac{1min}{60s} \times \frac{kW}{1000W}$$

$$\text{توان} = 10.7kW$$

$$\text{توان پمپ} = \frac{10.7}{0.6s} = 16.5\ kW$$