Petroleum industry— Process design of separators, vessels, towers and reactors Part 2-2: Technical requirements of solid-liquid separators

صنعت نفت- طراحی فرایندی جداکننده‌ها، ظروف، برج‌ها و راکتورها- قسمت ۲-۲: الزامات فنی جداکننده‌های جامد-مایع

ویرایش اول

خرداد ۱۴۰۲

استاندارد ملی ایران شماره ۲-۲-۲۳۳۸۳ (چاپ اول): سال ۱۴۰۲

پیش‌گفتار صنعت نفت

استانداردهای نفت ایران (IPS) منعکس‌کننده دیدگاه‌های وزارت نفت ایران است و برای استفاده در تأسیسات تولید نفت و گاز، پالایشگاه‌های نفت، واحدهای شیمیایی و پتروشیمی، تأسیسات انتقال و فراورش گاز، فرآورده‌های نفتی و سایر تأسیسات مشابه تهیه شده است.

استانداردهای نفت، براساس استانداردهای قابل قبول بین‌المللی و داخلی تهیه شده و شامل گزیده‌هایی از استانداردهای مرجع می‌باشد. همچنین براساس تجربیات صنعت نفت کشور و قابلیت تأمین کالا از بازار داخلی و نیز برحسب نیاز، مواردی به طور تکمیلی و یا اصلاحی در این استاندارد لحاظ شده است. مواردی از گزینه‌های فنی که در متن استانداردها آورده نشده است در داده برگ‌ها به صورت شماره‌گذاری شده برای استفاده مناسب کاربران آورده شده است.

استانداردهای نفت، به شکلی کاملاً انعطاف پذیر تدوین شده است تا کاربران بتوانند نیازهای خود را با آن‌ها منطبق نمایند. با این حال ممکن است تمام نیازمندی‌های پروژه‌ها را پوشش ندهند. در این گونه موارد باید الحاقیه‌ای که نیازهای خاص آن‌ها را تامین می‌نماید تهیه و پیوست شوند. این الحاقیه همراه با استاندارد مربوطه، مشخصات فنی آن پروژه و یا کار خاص را تشکیل خواهند داد.

استانداردهای نفت هر پنج سال یکبار مورد بررسی قرارگرفته و روزآمد می‌گردند. در این بررسی‌ها ممکن است استانداردی حذف و یا الحاقیه‌ای به آن اضافه شود و بنابراین همواره آخرین ویرایش آن‌ها ملاک عمل می‌باشد.

در اجرای قانون تقویت و توسعه نظام استاندارد ابلاغی ریاست محترم جمهوری، این استاندارد در تاریخ ۱۴۰۲/۰۳/۲۰ با شماره (INSO 23383-2-2) توسط سازمان ملی استاندارد ملی اعلام گردید.

از کاربران استاندارد، درخواست می‌شود نقطه نظرها و پیشنهادهای اصلاحی و یا هرگونه الحاقیه‌ای که برای موارد خاص تهیه نموده‌اند، به نشانی زیر ارسال نمایند. نظرات و پیشنهادهای دریافتی در کارگروه‌های فنی مربوطه بررسی و در صورت تصویب در تجدید نظرهای بعدی استاندارد منعکس خواهد شد.

ایران، تهران، خیابان کریمخان زند، خردمند شمالی، کوچه چهاردهم، شماره ۱۷
استانداردها و ضوابط فنی
کدپستی : ۱۵۸۵۸۸۶۸۵۱
تلفن : ۶۰ - ۸۸۸۱۰۴۵۹ و ۶۶۱۵۳۰۵۵
دور نگار : ۸۸۸۱۰۴۶۲
پست الکترونیک: Standards@nioc.ir

استاندارد ملی ایران شماره ۲-۲-۲۳۳۸۳ (چاپ اول): سال ۱۴۰۲

به نام خدا

آشنایی با سازمان ملی استاندارد ایران

سازمان ملی استاندارد ایران به موجب بند یک مادهٔ ۷ قانون تقویت و توسعه نظام استاندارد ، ابلاغ‌شده در دی ماه ۱۳۹۶، وظیفهٔ تعیین، تدوین، به‌روزرسانی و نشر استانداردهای ملی را بر عهده دارد.

تدوین استاندارد در حوزه‌های مختلف در کمیسیون‌های فنی مرکب از کارشناسان سازمان، صاحب‌نظران مراکز و مؤسسات علمی، پژوهشی، تولیدی و اقتصادی آگاه و مرتبط انجام می‌شود و کوششی همگام با مصالح ملی و با توجه به شرایط تولیدی، فناوری و تجاری است که از مشارکت آگاهانه و منصفانهٔ صاحبان حق و نفع، شامل تولیدکنندگان، مصرف‌کنندگان، صادرکنندگان و واردکنندگان، مراکز علمی و تخصصی، نهادها، سازمان‌های دولتی و غیردولتی حاصل می‌شود. پیش‌نویس استانداردهای ملی ایران برای نظرخواهی به مراجع ذی‌نفع و اعضای کمیسیون‌های مربوط ارسال می‌شود و پس از دریافت نظرها و پیشنهادها در کمیتهٔ ملی مرتبط با آن رشته طرح و در صورت تصویب، به‌عنوان استاندارد ملی (رسمی) ایران چاپ و منتشر می‌شود.

پیش‌نویس استانداردهایی که مؤسسات و سازمان‌های علاقه‌مند و ذی‌صلاح نیز با رعایت ضوابط تعیین شده تهیه می‌کنند درکمیته ملی طرح، بررسی و درصورت تصویب، به‌عنوان استاندارد ملی ایران چاپ و منتشر می‌شود. بدین ترتیب، استانداردهایی ملی تلقی می‌شود که بر اساس مقررات استاندارد ملی ایران شمارهٔ ۵ تدوین و در کمیتهٔ ملی استاندارد مربوط که در سازمان ملی استاندارد ایران تشکیل می‌شود به تصویب رسیده باشد.

سازمان ملی استاندارد ایران از اعضای اصلی سازمان بین‌المللی استاندارد (ISO)[1]، کمیسیون بین‌المللی الکتروتکنیک (IEC)[2] و سازمان بین‌المللی اندازه‌شناسی قانونی (OIML)[3] است و به‌عنوان تنها رابط[4] کمیسیون کدکس غذایی (CAC)[5] در کشور فعالیت می‌کند. در تدوین استانداردهای ملی ایران ضمن توجه به شرایط کلی و نیازمندی‌های خاص کشور، از آخرین پیشرفت‌های علمی، فنی و صنعتی جهان و استانداردهای بین‌المللی بهره‌گیری می‌شود.

سازمان ملی استاندارد ایران می‌تواند با رعایت موازین پیش‌بینی شده در قانون، برای حمایت از مصرف‌کنندگان، حفظ سلامت و ایمنی فردی و عمومی، حصول اطمینان از کیفیت محصولات و ملاحظات زیست‌محیطی و اقتصادی، اجرای بعضی از استانداردهای ملی ایران را برای محصولات تولیدی داخل کشور و/یا اقلام وارداتی، با تصویب شورای عالی استاندارد، اجباری کند. سازمان می‌تواند به‌منظور حفظ بازارهای بین‌المللی برای محصولات کشور، اجرای استاندارد کالاهای صادراتی و درجه‌بندی آن را اجباری کند. همچنین برای اطمینان بخشیدن به استفاده‌کنندگان از خدمات سازمان‌ها و مؤسسات فعال در زمینهٔ مشاوره، آموزش، بازرسی، ممیزی و صدور گواهی سیستم‌های مدیریت کیفیت و مدیریت زیست‌محیطی، آزمایشگاه‌ها و مراکز واسنجی (کالیبراسیون) وسایل سنجش، سازمان ملی استاندارد این‌گونه سازمان‌ها و مؤسسات را بر اساس ضوابط نظام تأیید صلاحیت ایران ارزیابی می‌کند و در صورت احراز شرایط لازم، گواهینامهٔ تأیید صلاحیت به آن‌ها اعطا و بر عملکرد آن‌ها نظارت می‌کند. ترویج دستگاه بین‌المللی یکاها، واسنجی وسایل سنجش، تعیین عیار فلزات گرانبها و انجام تحقیقات کاربردی برای ارتقای سطح استانداردهای ملی ایران از دیگر وظایف این سازمان است.

1- International Organization for Standardization
2- International Electrotechnical Commission
3- International Organization of Legal Metrology (Organisation Internationale de Metrologie Legals)
4- Contact point
5- Codex Alimentarius Commission

استاندارد ملی ایران شماره ۲-۲-۲۳۳۸۳ (چاپ اول): سال ۱۴۰۲

کمیسیون فنی تدوین استاندارد

«صنعت نفت- طراحی فرایندی جداکننده‌ها، ظروف، برج ها و راکتورها- قسمت ۲-۲: الزامات فنی جداکننده‌های جامد-مایع»

رئیس:	**سمت و/یا محل اشتغال:**
شیری، محسن (دکتری مهندسی شیمی)	وزارت نفت - معاونت مهندسی، پژوهش و فناوری
دبیر:	
بصیری، فرشید (کارشناسی ارشد مهندسی شیمی)	اداره کل استاندارد استان مازندران
اعضا: (اسامی به ترتیب حروف الفبا)	
اتابک، مجید (کارشناسی ارشد مهندسی نفت)	شرکت پالایش نفت بندر عباس
اسدی آبگرمکان، حشمت (کارشناسی مهندسی شیمی)	شرکت پتروشیمی شهید تندگویان- مدیریت انرژی
بریعیان، جعفر (کارشناسی ارشد مهندسی شیمی)	شرکت پتروشیمی بندر امام
بخشوده نیا، یاسر (دکتری مهندسی شیمی- فرایند)	پالایشگاه گاز بید بلند خلیج‌فارس
جمشیدی شادباد، مهدی (کارشناسی ارشد مهندسی شیمی)	شرکت نفت و گاز اروندان
حاجوی، داوود (کارشناسی ارشد مهندسی سیستم‌های انرژی)	شرکت ملی مناطق نفت‌خیز جنوب- شرکت بهره‌برداری نفت و گاز گچساران
حامدی، منصوره (دکتری مهندسی شیمی)	شرکت ملی صنایع پتروشیمی- طرح‌های پلیمری مهندسی
خدائیان، داریوش (کارشناسی مهندسی شیمی- پالایش)	شرکت نفت فلات قاره
ربیعی، حسین (دکتری شیمی آلی)	پژوهشگاه استاندارد- گروه پژوهشی پتروشیمی و پلیمر

استاندارد ملی ایران شماره ۲-۲-۲۳۳۸۳ (چاپ اول): سال ۱۴۰۲

اعضا: (اسامی به ترتیب حروف الفبا)	**سمت و/یا محل اشتغال:**
رشیدی جویباری، سعید (کارشناسی ارشد مکانیک)	اداره کل استاندارد استان مازندران
رمضانی، مصطفی (کارشناسی مهندسی شیمی)	شرکت ملی صنایع پتروشیمی- طرح‌های الفین و آروماتیک
زارعیان، شایان (کارشناسی ارشد مواد- جوشکاری)	شرکت پالایش نفت لاوان- بازرسی فنی و خوردگی فلزات
سبحان منش، علی (کارشناسی ارشد مهندسی شیمی)	شرکت مهندسی و توسعه نفت- مدیریت مهندسی نفت
صداقت آهنگری حسین زاده، علی (دکتری مهندسی مواد)	پژوهشگاه مواد و انرژی
طباطبائی، زینب (کارشناسی ارشد مهندسی شیمی- طراحی فرایند)	شرکت پتروشیمی کرمانشاه- مهندسی فرایند
عابدی، نگین (کارشناسی ارشد مهندسی شیمی- فرایند)	وزارت نفت- معاونت مهندسی- پژوهش و فناوری
علایی، رضا (کارشناسی ارشد مدیریت پروژه)	شرکت نفت و گاز پارس- مهندسی پروژه
عسکری، سید علی (کارشناسی ارشد مهندسی شیمی- فرایند)	شرکت مارون کاران- مهندسی فرایند
قلی پور زنجانی، نوشین (دکتری مهندسی شیمی)	پژوهشگاه استاندارد- گروه پژوهشی پتروشیمی و پلیمر
ماجدی اصل، زهره (کارشناسی ارشد مهندسی شیمی)	شرکت ملی صنایع پتروشیمی- مهندسی فرایند
متشکر، ابوالفضل (دکتری مهندسی مواد)	شرکت ملی نفت ایران- مناطق نفت خیز جنوب
مختار زاده، فریبا (کارشناسی ارشد مهندسی شیمی)	وزارت نفت - معاونت مهندسی، پژوهش و فناوری

ویراستار:

خالقی‌مقدم، ماهرو (دکتری شیمی آلی)	پژوهشگاه استاندارد- گروه پژوهشی پتروشیمی و پلیمر

استاندارد ملی ایران شماره ۲-۲-۲۳۳۸۳ (چاپ اول): سال ۱۴۰۲

فهرست مندرجات

عنوان	صفحه
پیش‌گفتار	ز
مقدمه	ح
۱ هدف و دامنه کاربرد	۱
۲ مراجع الزامی	۱
۳ اصطلاحات و تعاریف	۱
۴ نمادها و کوته‌نوشت‌ها	۳
۵ اصول کلی جداسازی	۳
۶ فیلترهای مایع	۸
۷ سانتریفیوژها	۱۸
۸ هیدروسیکلون‌ها	۲۴
۹ جداکننده‌های چند سیکلونی	۲۷
پیوست الف (آگاهی‌دهنده) مشخصات بستر فیلتر	۳۰
پیوست ب (آگاهی‌دهنده) خصوصیات افت فشار در فیلترها	۳۴
پیوست پ (آگاهی‌دهنده) مشخصات سانتریفیوژها و بررسی ظرفیت هیدروسیکلون	۳۶
پیوست ت (آگاهی‌دهنده) فیلترهای مایع و بسترهای آن	۳۹
کتاب‌نامه	۴۳

استاندارد ملی ایران شماره ۲-۲-۲۳۳۸۳ (چاپ اول): سال ۱۴۰۲

پیش‌گفتار

استاندارد «صنعت نفت- طراحی فرایندی جداکننده‌ها، ظروف، برج ها و راکتورها- قسمت ۲-۲: الزامات فنی جداکننده‌های جامد-مایع» که پیش‌نویس آن در کمیسیون‌های مربوط تهیه و تدوین شده است، در دویست و هشتاد و دومین اجلاسیه کمیتهٔ ملی استاندارد تجهیزات و فراورده‌های نفتی مورخ ۱۴۰۲/۰۳/۲۰ تصویب شد. اینک این استاندارد به استناد بند یک مادهٔ ۷ قانون تقویت و توسعه نظام استاندارد، ابلاغ‌شده در دی ماه ۱۳۹۶، به‌عنوان استاندارد ملی ایران منتشر می‌شود.

استانداردهای ملی ایران بر اساس استاندارد ملی ایران شمارهٔ ۵ (استانداردهای ملی ایران- ساختار و شیوهٔ نگارش) تدوین می‌شوند. برای حفظ همگامی و هماهنگی با تحولات و پیشرفت‌های ملی و جهانی در زمینهٔ صنایع، علوم و خدمات، استانداردهای ملی ایران در صورت لزوم تجدیدنظر خواهند شد و هر پیشنهادی که برای اصلاح و تکمیل این استانداردها ارائه شود، هنگام تجدیدنظر در کمیسیون‌های مربوط مورد توجه قرار خواهد گرفت. بنابراین، باید همواره از آخرین تجدیدنظر استانداردهای ملی ایران استفاده کرد.

منابع و مآخذی که برای تهیه و تدوین این استاندارد مورداستفاده قرار گرفته به شرح زیر است:

1- IPS- E- PR- 895: 2015; Engineering standard for process design of solid-liquid separators
2- Filters and Filtration Handbook, by Christopher Dickenson: 1997,4th (ed: 2015)

مقدمه

این استاندارد یک قسمت از مجموعه استاندارد ملی ایران شماره ۲۳۲۸۳ است، سایر قسمت‌های این استاندارد به شرح زیر است:

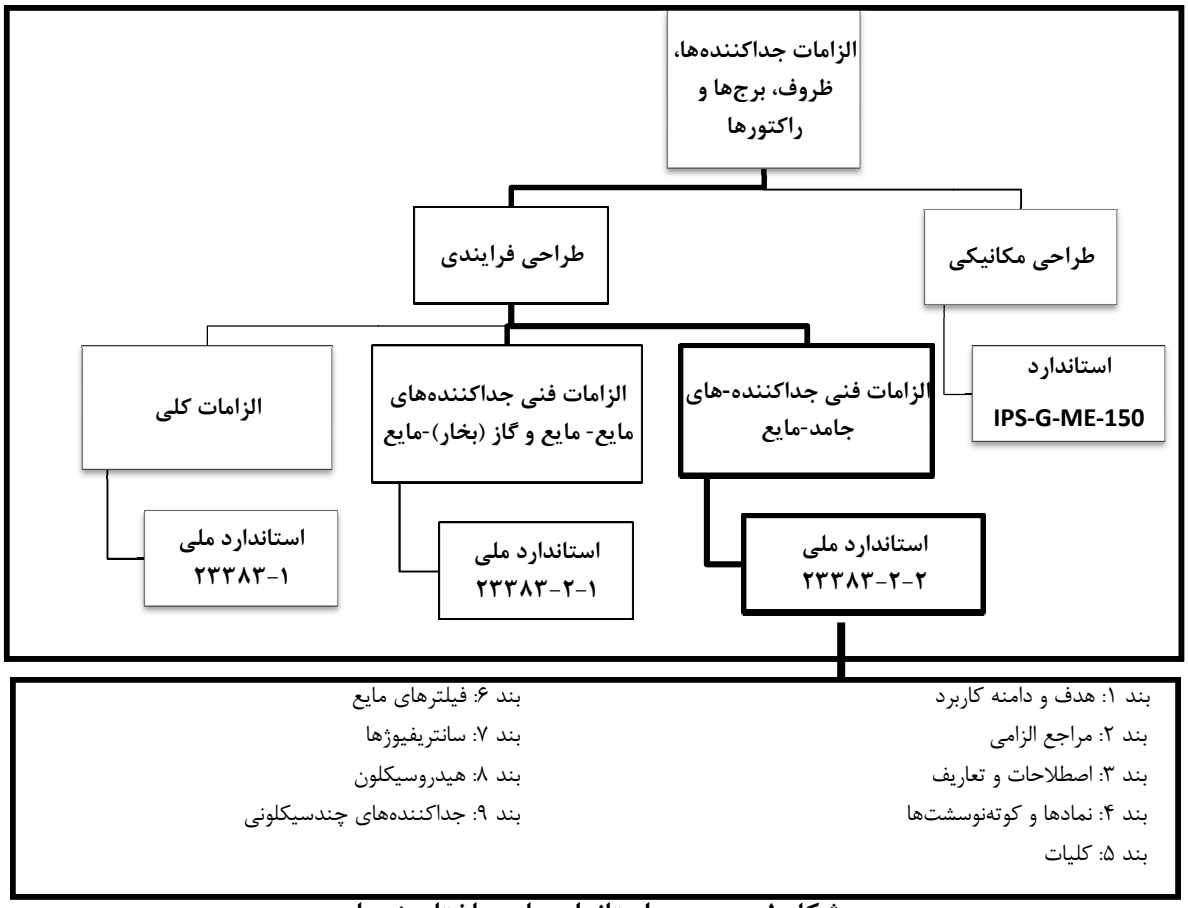
– قسمت ۱: الزامات کلی

– قسمت ۲-۱: الزامات فنی جداکننده‌های مایع-مایع و گاز(بخار)- مایع

در این استاندارد، الزامات فنی طراحی فرایندی جداکننده‌های مایع-جامد ارائه می شود و سایر الزامات و معیارهای طراحی، به استانداردهای مرتبط ارجاع داده می‌شود.

برای سایر الزامات طراحی مکانیکی، مواد، ساخت، بازرسی، آزمون و آماده‌سازی برای حمل ظروف تحت‌فشار شامل برج‌ها، راکتورها، جداکننده‌ها و اجزای داخلی مرتبط به استاندارد IPS-G-ME-150 مراجعه شود، مگر به‌صورت دیگری در این استاندارد مشخص‌شده باشد.

شکل ۱، قسمت‌های استاندارد ملی ایران شماره ۲-۲-۲۳۳۸۳، ساختاربندهای آن‌ها و ارتباط آن ها با مجموعه استانداردهای مربوط به حوزه‌های کاربرد صنعت نفت را نشان می‌دهد.



شکل ۱- مجموعه استانداردها و ساختار بندها

استاندارد ملی ایران شماره ۲-۲-۲۳۳۸۳ (چاپ اول): سال ۱۴۰۲

صنعت نفت- طراحی فرایندی جداکننده‌ها، ظروف، برج ها و راکتورها- قسمت ۲-۲: الزامات فنی جداکننده‌های جامد-مایع

۱ هدف و دامنهٔ کاربرد

هدف از تدوین این استاندارد، تعیین الزامات فنی طراحی فرایندی جداکننده‌های جامد-مایع مورداستفاده در صنعت نفت می‌باشد.

یادآوری ۱- الزامات کلی برای طراحی فرایندی جداکننده ها شامل جداکننده‌های مایع- مایع، گاز-مایع و جامد-مایع، ظروف، برج‌ها و راکتورهای مورداستفاده در استاندارد ملی ایران شماره ۱-۲۳۳۸۳ و الزامات فنی مربوط به طراحی فرایندی جداکننده‌های مایع-مایع، گاز(بخار)-مایع و جامد-مایع در استاندارد ملی ایران شماره ۱-۲-۲۳۳۸۳ ارائه شده است.

یادآوری ۲- الزامات طراحی مکانیکی برج‌ها، راکتورها، ظروف تحت‌فشار و اجزای داخلی در استاندارد IPS-G-ME-150 ارائه شده است.

۲ مراجع الزامی

در مراجع زیر ضوابطی وجود دارد که در متن این استاندارد به‌صورت الزامی به آن‌ها ارجاع داده شده است. بدین‌ترتیب، آن ضوابط جزئی از این استاندارد محسوب می‌شوند. درصورتی‌که به مرجعی با ذکر تاریخ انتشار ارجاع داده شده باشد، اصلاحیه‌ها و تجدیدنظرهای بعدی آن برای این استاندارد الزام‌آور نیست.

در مورد مراجعی که بدون ذکر تاریخ انتشار به آن‌ها ارجاع داده شده است، همواره آخرین تجدیدنظر و اصلاحیه‌های بعدی برای این استاندارد الزام‌آور است.

استفاده از مراجع زیر برای کاربرد این استاندارد الزامی است:

۲-۱ استاندارد ملی ایران شماره ۱-۲۳۳۸۳، صنعت نفت- طراحی فرایندی جداکننده‌ها، ظروف، برج‌ها و راکتورها- قسمت۱: الزامات کلی

۲-۲ استاندارد ملی ایران شماره ۲-۲-۲۳۳۸۳، طراحی فرایندی جداکننده‌ها، ظروف، برج‌ها و راکتورها- قسمت۲-۱: الزامات فنی جداکننده‌های مایع-مایع و گاز (بخار)-مایع

2-3 ASME BPVC Section VIII Division1, Rules for construction of pressure vessel

۳ اصطلاحات و تعاریف

در این استاندارد، علاوه بر اصطلاحات و تعاریف ارائه شده در استاندارد ملی ایران شماره ۱-۲۳۳۸۳، اصطلاحات و تعاریف زیر نیز به‌کار می‌رود:

۳-۱

فیلتر

صافی‌توری

filter
strainer

تجهیزی است که برای جداسازی ذرات از سیالات (صاف‌کردن) [1] مورداستفاده قرار می‌گیرد.

۳-۲

بستر فیلتر

filter medium

«عامل فیلتر» یا «صفحه فیلتر» مانعی است که با نگهداری اکثر مواد جامد اجازه عبور جریان را می‌دهد و می‌تواند یک غربال، پارچه، کاغذ یا بستری از مواد جامد باشد.

۳-۳

سطح باز

open area

سطح باز به عنوان درصدی از کل سطح صافی سیمی بافته شده تعریف می شود و با F_o نشان داده شده و از معادله زیر محاسبه می شود:

$$F_o = \frac{W^2}{(W+d)^2} \times ۱۰۰ \qquad (۱)$$

که درآن:

W قطر منفذباز سیم بافته‌شده، برحسب میلی‌متر (mm)؛

d قطر سیم، برحسب میلی‌متر (mm).

۳-۴

سرریز

overflow

جریانی شامل توده مایع خوراک با مواد جامد بسیار ریز است که از بالای هیدرو سیکلون و از طریق لوله برآمده خارج می شود.

1- Filtration

۳-۵

ته‌ریز

underflow

جریانی حاوی مایع باقیمانده و مواد جامد درشت تر است که از یک مقطع دایره‌ای در رأس هسته هیدروسیکلون تخلیه می‌شوند.

۴ نمادها و کوته‌نوشت‌ها

نماد یا کوته‌نوشت	عنوان فارسی	عنوان انگلیسی
BG	اندازه‌گیر استاندارد بیرمنگهام برای سنجش ورق و تسمه فولادی	Standard Birmingham Gage for sheet and hoop metal
SWG	اندازه‌گیر استاندارد سیم	Standard Wire Gage
HEPA	فیلتر هوا با بازدهی بالا حذف ذرات	High Efficiency Particulate Air (Filter)
PVC	پلی‌وینیل کلرید	Polyvinyl Chloride
PTFE	پلی تترا فلوئورو اتیلن	Polytetraflouroethylene

۵ اصول کلی جداسازی

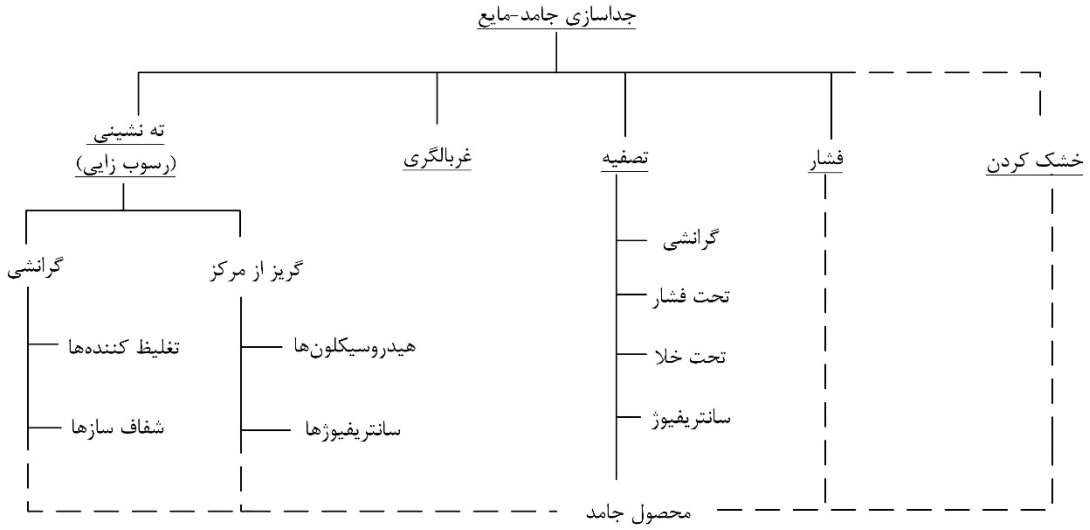
انواع روش‌های جداسازی جامد-مایع در شکل ۲ فهرست شده‌اند. در این استاندارد، جنبه‌های فرایندی برای چهار نوع از پرکاربردترین جداکننده‌های جامد-مایع به‌تفصیل تشریح می‌شوند. انواع جداکننده جامد-مایع که غالباً در صنعت نفت به‌کار می‌روند و در این استاندارد مورد بحث قرار می‌گیرند، عبارتند از:

- صافی‌ها (فیلترها و صافی‌های توری)؛
- سانتریفیوژها (به بند ۷ مراجعه شود)؛
- هیدروسیکلون‌ها (به بند ۸ مراجعه شود)؛
- ته‌نشین‌کننده‌های گرانشی (برای اطلاعات بیشتر به استاندارد IPS-E-PR-310 مراجعه شود).

فرایندهای جداسازی جامد-مایع عموماً بر اساس یک یا ترکیبی از اصول «ته‌نشینی گرانشی»، «صاف‌کردن» و «گریز از مرکز» صورت می‌پذیرند.

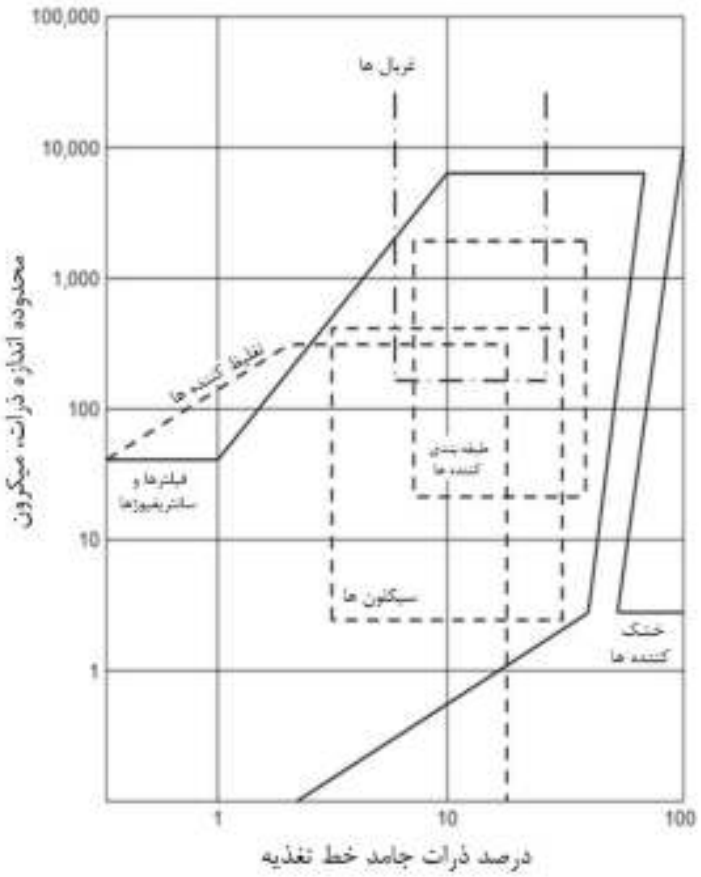
به‌عنوان یک قاعده کلی باید توجه داشت جداسازی مکانیکی هنگامی اتفاق می‌افتد که چندین فاز امتزاج‌ناپذیر با چگالی‌های متفاوت موجود باشند.

انواع جداکننده‌های مکانیکی در استاندارد ملی ایران شماره ۱-۲-۲۳۳۸۳ نشان داده شده‌اند.



شکل ۲- انواع روش‌های جداسازی جامد-مایع

محدوده اندازه ذرات جداشده در روش‌های جداسازی جامد-مایع در شکل ۳ ارائه شده است.



شکل ۳-محدوده اندازه ذرات در روش‌های جداسازی جامد-مایع

۵-۱ جداسازی مکانیکی از طریق گرانش

درصورتی‌که نیروی گرانشی اعمال‌شده به ذره یا قطره بیشتر از نیروی کشش سیال جاری در اطراف ذره باشد، ذرات جامد در فاز مایع ته‌نشین می‌شوند (رسوب‌زایی). همین پدیده برای قطره مایع موجود در فاز گاز و قطره مایع امتزاج‌ناپذیر در مایع دیگر اتفاق می‌افتد.

بالا آمدن حباب‌های ریز مایع یا گاز در یک فاز مایع نیز از همین قانون تبعیت می‌کند، به این معنی که نتیجه‌ای از اثر نیروی گرانشی (شناوری) خواهد بود.

قانون استوک[1] بر فرایند ته‌نشینی آزاد ذرات جامد در فاز مایع اعمال می‌شود.

استفاده از این ته‌نشین کننده‌ها در بیش‌تر موارد معمول نیست.

قطر یا سطح مقطع جداکننده برای عبور هر چیزی به جز شدت جریان‌های بسیار کم بخار، بسیار بزرگ می‌شود. به‌طورکلی استفاده از ته‌نشین کننده‌های گرانشی روباز یا طرح مخزن برای جدا کردن ذرات کوچک‌تر از مش ۳۲۵ یا ۴۳۱٫۱ از لحاظ اقتصادی توصیه نمی شود.

۵-۲ جداسازی مکانیکی از طریق اندازه حرکت[2]

فازهای سیال با چگالی متفاوت، اندازه حرکت‌های متفاوتی دارند. اگر یک جریان دوفازی بخواهد به‌تندی تغییر جهت دهد، اندازه حرکت بیش‌تر ایجاد شده، اجازه نخواهد داد که ذرات فاز سنگین‌تر به‌سرعت به سمت فاز سبک‌تر بچرخند، بنابراین جداسازی رخ می‌دهد.

اندازه حرکت معمولاً در جداسازی توده‌ای جریان دوفازی مورداستفاده قرار می‌گیرد. جداسازی به روش گریز از مرکز متداول‌ترین روش در این زمینه است.

۵-۳ جداسازی مکانیکی از طریق صاف‌کردن

در این فرایند مخلوط سیال-جامد یا گاز-مایع از طریق عبور دادن قسمت عمده مایع از یک مانع متخلخل که در هنگام عبور بسیاری از ذرات جامد یا مایع موجود در مخلوط را در خود نگه می‌دارد، صاف می‌شود.

فرایندهای صاف‌کردن مکانیکی را می‌توان به سه دسته کلی تقسیم کرد: صاف‌کردن کیکی، صاف‌کردن عمقی و صاف‌کردن سطحی.

با توجه به مشخصه‌های فرایند صاف‌کردن، این فرایند را می‌توان به با سه الگوی زیر انجام داد:

الف- صاف‌کردن با فشار ثابت؛ سازوکار اجرایی این روش با گاز فشرده‌ای است که در فشار ثابت نگهداری می‌شود؛

---

1 - Stokes' law
2- Momentum

ب- صاف‌کردن با شدت جریان ثابت؛ در این روش از انواع مختلف پمپ‌های جابه‌جایی مثبت استفاده می‌شود؛

پ- صاف‌کردن با فشار متغیر- نرخ متغیر؛ این الگو با استفاده از پمپ گریز از مرکز حاصل می‌شود.

جدول ۱- مقایسه عملکرد تجهیزات جداسازی جامد-مایع

نوع عملیات	شاخص‌های محصول			مشخصه‌های ورودی خط خوراک‌دهی			ویژگی‌های تجهیز			هزینه مستقیم		
	مواد جامد در محصول مایع	مایع در محصول جامد	قابلیت شستشو[الف]	غلظت مواد جامد	چگالی مواد جامد	اندازه ذره	توان	فضا	میزان گرفتگی	اولیه	عملیاتی	تعمیراتی
صاف‌کردن												
فیلتر خلأ بشکه ای	مناسب	خوب	عالی[ب]	زیاد تا متوسط	-----	متوسط	زیاد	متوسط	متوسط	زیاد	زیاد	متوسط
فیلتر دیسکی	مناسب	خوب	ضعیف تا مناسب	متوسط	-----	ریز	زیاد	متوسط	متوسط	متوسط تا زیاد	زیاد	متوسط
فیلتر افقی	مناسب	خوب	خوب تا عالی[ب]	زیاد تا متوسط	-----	درشت	زیاد	متوسط	متوسط	متوسط	زیاد	متوسط
فیلتر پیش‌پوشش	عالی	ضعیف [پ]	ضعیف تامناسب[ب]	خیلی کم	-----	لجن آلود	زیاد تا متوسط	متوسط	متوسط	زیاد	خیلی زیاد	متوسط
فیلتر ورقه‌ای	خوب تا عالی[ب]	مناسب	مناسب تا خوب	کم	-----	ریز، لجن آلود	متوسط تا کم	متوسط	متوسط	متوسط	خیلی زیاد	متوسط
رسوب زایی												
تغلیظ‌کننده‌ها	خوب تا عالی	ضعیف	ضعیف	متوسط	چگالی	متوسط	کم	خیلی زیاد	خیلی زیاد	متوسط تا کم	کم	خیلی کم
شفاف‌کننده‌ها	خوب	ضعیف	خیلی ضعیف	کم	چگالی متوسط	ریز	خیلی کم	خیلی زیاد	خیلی زیاد	متوسط تا کم	کم	خیلی کم
طبقه‌بندی‌کننده‌ها	ضعیف	ضعیف	ضعیف تا مناسب	متوسط	چگال	درشت	کم	زیاد	زیاد	متوسط تا کم	کم	کم
فرایند گریز از مرکز												
دیسک	خوب تا عالی	ضعیف	ضعیف	کم تا متوسط	متوسط	ریز	زیاد	کم	کم	زیاد	زیاد	زیاد
ظرف جامد	ضعیف	مناسب	ضعیف تا مناسب	متوسط تا زیاد	متوسط	متوسط تا ریز	زیاد	کم	کم	متوسط تا زیاد	زیاد	زیاد
سبد	ضعیف تا مناسب	عالی	عالی	متوسط تا زیاد	-----	درشت	زیاد	کم	کم	متوسط	زیاد	زیاد
سیکلون‌های مایع												
بزرگ	ضعیف	ضعیف تا مناسب	ضعیف	کم تا متوسط	زیاد	متوسط	متوسط تا کم	کم	کم	خیلی کم	متوسط	زیاد
چندگانه کوچک	ضعیف تا مناسب	ضعیف	خیلی ضعیف	کم	متوسط تا زیاد	ریز	متوسط تا کم	کم	کم	کم	متوسط	متوسط
غربال‌ها	ضعیف	ضعیف تا مناسب	ضعیف	متوسط تا زیاد	-----	درشت تا متوسط	کم	خیلی کم	خیلی کم	خیلی کم	متوسط	متوسط تا زیاد
تصفیه با دور بالا	ضعیف	ضعیف تا مناسب	ضعیف	کم	-----	خیلی ریز	متوسط تا زیاد	زیاد	زیاد	زیاد	زیاد	خیلی زیاد

[الف] شستشو سرریزی همیشه امکان‌پذیر است.
[ب] شستشو همراه با جابه‌جایی امکان‌پذیر است.
[پ] محصول جامد آلوده به مواد پیش پوشش

۶ فیلترهای مایع

۶-۱ کلیات

صاف‌کردن به جداسازی ذرات جامد از سیال (مایع یا گاز) یا مایع از مخلوط گاز و مایع به‌وسیله یک بستر متخلخل گفته می‌شود. الزامات مربوط به جداسازی ذرات جامد از مایع یعنی «صاف‌کردن مایع»در این بخش ارائه می‌شود.

۶-۱-۱ مکانیسم[1] صاف‌کردن

صاف‌کردن کیکی، صاف‌کردن عمقی و صاف‌کردن سطحی سه مکانیسم اصلی صاف‌کردن محسوب می‌شوند. در روش صاف‌کردن کیکی، مواد جامد یک سطح کیک مانند بر روی محیط فیلتر تشکیل می‌دهند. در صاف‌کردن عمقی، ذرات جامد با استفاده از کارتریج[2] یا بسترهای دانه‌ای مثل ماسه یا آنتراسیت[3] به دام می‌افتند. صاف‌کردن سطحی[4] به‌طور گسترده با مسدودسازی مستقیم عمل می‌کند. ذرات با اندازه بزرگ‌تر از منافذ بستر، در بالای سطح فیلتر باقی می‌مانند.

۶-۱-۲ درجه‌بندی[5] فیلترها

۶-۱-۲-۱ فیلترها بر اساس توانایی خود در حذف ذرات با اندازه خاص از یک سیال درجه‌بندی می‌شوند، اما مشکل در اختلاف بین روش‌های متفاوتی است که برای تعیین کارایی به‌کار می‌روند. ارقام کمی فقط برای شرایط عملیاتی یا آزمایشی خاص معتبر هستند. انواع مختلف فیلترهای مایع و بسترهای متداول آن در پیوست **ت** ارائه شده است.

۶-۱-۲-۲ درجه‌بندی مطلق

درجه‌بندی مطلق یا مرز جداسازی یک فیلتر به قطر بزرگ‌ترین ذره‌ای که از فیلتر عبور می‌نماید اشاره داشته و معمولاً برحسب μm بیان می‌شود. این پارامتر نشان‌دهنده اندازه بازشوندگی دهانه منفذ[6] بستر فیلتر است. بنابراین بسترهای فیلتر با اندازه منفذ ثابت یا اندازه بازشوندگی دقیق، از نظر تئوری دارای درجه‌بندی مطلق هستند.

انواع خاصی از بسترهای فیلتر، مانند کاغذها، نمدها و پارچه‌ها دارای اندازه دهانه منفذ متغیر هستند، بنابراین بدون درجه مطلق می‌باشند. مرز جداسازی مؤثر تا حد زیادی توسط آرایش تصادفی وابسته و عمق فیلتر تعیین می‌شود.

1- Mechanism
2- Cartridge
3- Anthracite
4- Surface filtration (straining)
5- Rating
6- Pore size

۶-۱-۲-۳ درجه‌بندی اسمی

درجه‌بندی اسمی فیلتر یک مقدار قراردادی بوده که توسط سازنده فیلتر تعیین و برحسب درصد باقی‌ماندن جرم یک آلاینده مشخص (معمولاً دانه‌های شیشه‌ای) با اندازه معین بیان می‌شود. به‌عبارت‌دیگر بازده اسمی، درجه‌ای از عمل صاف‌کردن را نشان می‌دهد.

۶-۱-۲-۴ درجه‌بندی میانگین

درجه میانگین در فیلترها، یک اندازه‌گیری بر اساس میانگین اندازه منفذ یک بخش از فیلتر است. این درجه‌بندی، اندازه ذراتی که فیلتر بالاتر از آن اندازه موثر است، را تعیین می‌کند.

۶-۱-۲-۵ نسبت بتا

نسبت بتا یک سیستم درجه‌بندی است که باهدف تعیین یک مقایسه دقیق و گویا بین انواع بسترهای فیلتر جهت ارائه به سازنده فیلتر و کاربر آن تعریف شده است. بتا نسبتی است بین [تعداد ذرات بر واحد حجم بالاتر از یک اندازه مشخص] در سوسپانسیون بالادست فیلتر به همین پارامتر در جریان پایین‌دست فیلتر، که با استفاده از یک دستگاه آزمایشگاهی که شمارش دقیق ذرات در دو منطقه جریان را ممکن می‌سازد، تعیین می‌شود. بنابراین نسبت بتا مطابق با فرمول۲ تعیین می‌شود.

$$\boldsymbol{\beta_x = N_u / N_d} \qquad (۲)$$

که در آن:

β_x نسبت بتا (بدون بعد) برای ذرات بزرگ‌تر از میزان x (µm)؛

N_u تعداد ذرات بر واحد حجم بزرگ‌تر از میزان x (برحسب µm) در جریان بالادست؛

N_d تعداد ذرات بر واحد حجم بزرگ‌تر از میزان x (برحسب µm) در جریان پایین‌دست.

درنتیجه هر چه مقدار نسبت بتا بالاتر باشد، ذرات بیشتری با اندازه مشخص شده یا بزرگ‌تر بر روی فیلتر باقی می‌مانند. بازده فیلتر در این اندازه ذره مطابق با فرمول۳ تعیین می‌شود:

$$E_x = 100\,(\beta_x - 1)/\beta_x \qquad (۳)$$

که در آن:

E_x بازده فیلتر برای ذره با اندازه قطر x(µm) ؛ برحسب ٪؛

β_x نسبت بتا (بدون بعد) برای ذرات بزرگ‌تر از میزان x (µm)؛

۶-۱-۲-۶ تعیین بازده فیلتر برای یک ذره با اندازه معین

بازده برای یک ذره با اندازه معین (x) را می‌توان مستقیماً از نسبت موجود مطابق با فرمول۴ تعیین می‌شود:

$$E_x = \frac{\beta_{x-1}}{x} \times 100 \qquad (۴)$$

که در آن:

E_x بازده فیلتر برای ذره با اندازه قطر x(µm) ؛ برحسب ٪؛

β_x نسبت بتا (بدون بعد) برای ذرات بزرگ‌تر از میزان x (µm)؛

x اندازه ذره، بر حسب میکرومتر (**µm**) است.

۶-۱-۲-۷ بازده فیلتر (بازده جداسازی)

همان‌طور که قبلاً اشاره شد درجه‌بندی اسمی برحسب عدد بازده بیان می‌شود. بازده که معمولاً به‌صورت درصد بیان می‌شود را می‌توان مستقیماً از نسبت بتا نیز استخراج کرد، زیرا با تعریف اصلی بازده فیلتر که بر اساس فرمول ۵ است، مطابقت دارد:

$$\text{بازده جداسازی} = \left(1 - \frac{\text{تعداد ذرات خارج شده از فیلتر}}{\text{تعداد ذرات ورودی به فیلتر}}\right) \times 100\ (\%) \qquad (۵)$$

نسبت بتا و بازدهی متناظر آن در آزمونی که در آن فیلتر با یک میلیون ذره در واحد حجم مورد بررسی قرار گرفته، در جدول ۲ نشان داده شده است.

جدول ۲- بازده فیلتر بر اساس میزان نسبت بتا و بازدهی متناظر آن

نسبت β اندازه ذره (**µm**)	بازده انباشته (٪) اندازه ذرات (**µm**)	تعداد ذره تثبیت‌شده در جریان پایین‌دست زمانی که فیلتر در جریان بالادست با یک میلیون ذره مورد آزمون قرار گرفته اندازه ذره (**µm**)
۱/۰	صفر	۱۰۰۰۰۰۰
۱/۵	۳۳	۶۷۰۰۰۰
۲/۰	۵۰	۵۰۰۰۰۰
۱۰	۹۰	۱۰۰۰۰۰
۲۰	۹۵	۵۰۰۰۰
۵۰	۹۸/۰	۲۰۰۰۰
۷۵	۹۸/۷	۱۳۰۰۰
۱۰۰	۹۹/۰	۱۰۰۰۰
۲۰۰	۹۹/۵	۵۰۰۰
۱۰۰۰	۹۹/۹۰	۱۰۰۰
۱۰۰۰۰	۹۹/۹۹	۱۰۰
مثال: اگر یک فیلتر با نسبت β_5 دارای درجه ۱۰۰ باشد، این به این معناست که فیلتر قادر به حذف ٪ ۹۹ از تمام ذرات با اندازه بزرگ‌تر از µm ۵ است.		

۶-۱-۲-۸ نفوذپذیری فیلتر

نفوذپذیری بیانی متقابل از مقاومت نشان داده شده یک فیلتر در برابر جریان است. معمولاً برحسب ضریب نفوذپذیری بیان می‌شود، اما در عمل نفوذپذیری یک فیلتر معمولاً با منحنی‌هایی بیان می‌شود که افت فشار را در برابر نرخ جریان نشان می‌دهند.

۶-۲ انتخاب فیلتر

۶-۲-۱ عوامل مؤثر در انتخاب فیلتر

سه عامل اصلی که در انتخاب فیلتر باید در نظر گرفته شوند عبارتند از: عملکرد، سرمایه و هزینه‌های عملیاتی و در دسترس بودن. عملکرد و برخی عوامل مهم دیگر برای انتخاب فیلتر در زیربندهای زیر مورد بحث قرار می‌گیرند.

۶-۲-۱-۱ عملکرد

عملکرد فیلتر ممکن است با «مرز جداسازی» به‌دست‌آمده توسط فیلتر (مطابق زیربند ۶-۱-۲-۲) و/ یا روش‌های دیگر شرح داده شده در زیربند ۶-۱-۲ تعیین شود. رایج‌ترین شکلی که اکنون به‌طور گسترده موردپذیرش قرار گرفته «درجه‌بندی نسبت بتا» است که وابسته به دو پارامتر اندازه ذرات و عدد بازده می‌باشد. (مطابق زیربند ۶-۱-۲-۶).

۶-۲-۱-۲ اندازه فیلتر

اندازه فیلتر باید با توجه به افت فشار قابل‌قبول و زمان لازم بین تمیز کردن یا تعویض اجزای آن انتخاب شود. این انتخاب ارتباط نزدیکی با نوع اجزا و بسترهای مورداستفاده در فیلتر دارد. در هنگامی‌که میزان فضای اشغال‌شده در اولویت قرار دارد، اندازه فیزیکی کلی نیز می‌تواند عامل مهمی در این انتخاب باشد.

۶-۲-۱-۳ فیلترهای نوع سطحی در مقابل نوع عمقی

فیلترهای نوع سطحی عموماً نفوذپذیری نسبتاً کمی دارند. برای دستیابی به یک افت فشار قابل‌قبول در فیلتر، میزان سطح باید به‌گونه‌ای افزایش یابد که سرعت جریان عبوری از فیلتر پایین نگه داشته شود.

۶-۲-۱-۴ سازگاری

دیگر الزامات ضروری برای اجزای سازنده فیلتر، سازگاری کامل آن با سیال و سامانه است. سازگاری با خود سیال به معنای جلوگیری از تخریب یا حمله شیمیایی یا سازگاری شیمیایی با اجزا است. اگرچه هم‌زمان به «سازگاری مکانیکی» نیز احتیاج بوده تا این اطمینان حاصل شود که اجزا به‌اندازه کافی برای کاربرد مورد نظر مناسب بوده و پدیده مهاجرت بین سیال و اجزای فیلتر روی نمی‌دهد.

۶-۲-۱-۵ میزان آلودگی

میزان آلودگی ممکن است بر نوع فیلتر انتخاب‌شده برای یک کاربری خاص تأثیرگذار باشد، به‌طور مثال: در یک

فضای پر گردوغبار مانند موتورهای احتراق داخلی، استفاده از یک فیلتر روغنی که دارای ظرفیت بالای جذب گردوغبار است نسبت به فیلتر خشک ترجیح داده می‌شود.

۶-۲-۱-۶ پیش صاف‌کردن

به‌طور خاص در مواردی که فرایند صاف‌کردن کامل موردنیاز است، توصیه می‌شود یک صاف کردن مقدماتی انجام شود. در واقع برای هر نوع فیلتر که کارایی ٪ ۱۰۰ را در اندازه ذرات بسیار کمتر از محدوده موردنیاز فیلتر نشان می‌دهد، فرایند پیش صاف‌کردن به‌عنوان یک اقدام موثر برای کاهش بار آلودگی رسیده به فیلتر متناسب با سطح آلودگی موجود است.

۶-۲-۲ راهنمای انتخاب فیلتر مایع

۶-۲-۲-۱ انتخاب بستر

انواع اصلی فیلترهای سیال در جدول ۳ به‌طور خلاصه بیان شده است درحالی‌که جدول ۴ یک راهنمای انتخاب پایه را ارائه می‌دهد. اگرچه باید تأکید کرد که موارد بیان شده تنها می‌تواند به‌عنوان یک راهنمای کلی در نظر گرفته شود.

کاربری‌های خاص نیازمند استفاده از نوع خاصی از فیلتر و جزء یا مجموعه‌ای از اجزا هستند. علاوه بر این، الزامات فرایند صاف‌کردن ممکن است به‌طور قابل‌توجهی متفاوت باشد. به‌طورمثال بقایای جمع‌آوری‌شده توسط فیلتر به‌جای اینکه یک آلاینده باشد، ممکن است بخش ارزشمندی بوده که باید به‌راحتی برداشته شود (مستلزم استفاده از نوعی فیلتر کیکی). به همین ترتیب درجایی که بقایای جمع‌آوری‌شده از نوع آلودگی باشد، سهولت تمیز کردن یا تعویض اجزای فیلتر ممکن است یک ویژگی ضروری برای طراحی و انتخاب فیلتر باشد.

به‌عنوان یک روش انتخاب اولیه یا تقریبی، می‌توان از گام‌های زیر تبعیت کرد:

۱- یافتن محدوده اندازه ذرات از داده‌های طراحی یا جدول ۵؛

۲- یافتن بستر فیلتر مناسب با استفاده از جدول‌های ۴ و ۶؛

۳- یافتن نوع فرایند صاف‌کردن مناسب و بسترهای فیلتر از جدول‌های ۳ و ۷ با درنظر گرفتن سایر عوامل فرایندی.

۶-۲-۲-۲ انتخاب نوع فیلتر

در زمانی‌که نوع بستر فیلتر ثابت است، انتخاب نوع فیلتر باید بر اساس الزامات فرایندی مانند افت‌فشار مجاز، اندازه فیزیکی، دوره تمیزکاری، روش تمیزکاری، ارزش مواد باقیمانده، اقداماتی که باید روی آن انجام شود، صورت پذیرد. این موارد عوامل تعیین‌کننده در انتخاب و استفاده از فیلتر نوع پیوسته یا ناپیوسته هستند. هزینه و قابلیت نگهداری فیلتر، عوامل مهم دیگری هستند که باید مدنظر قرار داده شوند.

برای آگاهی بیشتر در مورد فیلترهای مایع به پیوست‌های **الف** تا **پ** مراجعه شود.

جدول ۳- انواع اصلی بستر فیلتر سیال

نوع	لایه	ملاحظات
سطحی	۱-کاغذ آغشته به رزین (معمولاً چین‌دار) ۲-پارچه ریز بافته (شکل چین‌دار یا ستاره‌ای) ۳- غشاها ۴- توری سیمی و صفحه فلزی سوراخ‌دار	قابلیت صاف‌کردن ریز (اسمی) با نفوذپذیری کم مقاومت کمتر نسبت به کاغذ صاف‌کردن بسیار ریز صاف‌کردن درشت و سرند کردن
عمقی	۱- مواد فیبری تصادفی ۲- نمد ۳- اجزا متخلخل	مقاومت کم و ظرفیت آلایندگی بالا تخلخل را می‌توان در فرایند ساخت کنترل / درجه‌بندی کرد. هم صاف‌کردن سطحی و هم عمقی را ارائه می‌دهد. مقاومت کم عمدتاً فلزات متخلخل، اما سرامیک برای فیلترهای دمای بالا
لبه‌دار[1]	۱- صفحات عمودی جداکننده ۲- نوار مارپیچی	لایه‌های کاغذی قابلیت صاف‌کردن بسیار خوب را دارند. لایه‌های فلزی استحکام و صلبیت بالایی دارند
پیش پوششی[2]	خاک دیاتومه، سنگ آتشفشانی پودری پرلیت و مانند آن	تشکیل بسترهای فیلتر بر روی اجزای نیمه انعطاف‌پذیر یا صلب به‌ویژه مناسب برای شفاف‌کنندگی مایع
جاذب	۱- خاک رس فعال ۲- زغال چوب فعال	مؤثر برای حذف برخی از آلاینده‌های محلول در آب، روغن‌ها و غیره. همچنین مورداستفاده به‌عنوان پیش پوشش یا مواد بستر فیلتر به‌ویژه مورداستفاده به‌عنوان فیلتر آب آشامیدنی

1- Edge
2- Precoat

جدول ۴- راهنمای عمومی انتخاب فیلترها

ابعاد برحسب میکرومتر

فیلتر انتخابی	ریز-µm (کمتر از ۱)	فوق‌ریز (۲/۵ تا ۱)	خیلی ریز (۵ تا ۲/۵)	ریز (۵تا۱۰)	ریز/متوسط (۱۰تا۲۰)	متوسط (۲۰تا۴۰)	درشت (بالاتر از ۵۰)
فلز سوراخ‌دار							×
توری سیمی							×
تور (گازبافت) سیمی						×-×	×
کاغذ چین‌دار					×-×	×-×	
پارچه چین‌دار						×-×	
سیم‌پیچ					×	×-×	
پارچه سیمی				×	×-×	×-×	×
پارچه سیمی متخلخل				×	×-×		
نمد						×-×	
نمد فلزی			×	×-×	×-×		
کاغذ، نوع لبه‌دار	×	×-×	×-×	×-×			
روبان، نوع لبه‌دار						×	×
فلز، نوع لبه‌دار					×	×-×	×
پلی‌آمید (نایلون)، نوع لبه‌دار				×-×	×-×	×-×	×
میکرو شیشه	×	×-×	×-×				
پشم معدنی				کاربردهای محدود برای مایعات			
سرامیک	×	×-×	×-×	×-×			
فیلتر پارچه‌ای				×	×-×	×-×	×
غشایی	×	×-×	×-×				
فلز متخلخل		×	×-×	×-×	×-×	×-×	
PTFE متخلخل				×-×	×-×		
پلیتن متخلخل						×-×	×

یادآوری ۱- × نشان‌دهنده کاربرد مناسب فیلتر در حد پایین بازه تعیین شده است.

یادآوری ۲- ×-× نشان‌دهنده کاربرد مناسب فیلتر در تمامی بازه تعیین شده است.

جدول ۵- راهنمای عمومی برای اندازه ذرات آلاینده

نوع آلاینده	اندازه ذرات (µm)					
	کمتر از ۰/۰۱	۰/۱ تا ۰/۰۱	۱ تا ۰/۱	۱۰تا۱	۱۰۰تا۱۰	۱۰۰۰تا۱۰۰
گردوغبار داخلی	×	×-×	×-×	×-×	×	
گردوغبار اتمسفری				×-×	×-×	
گردوغبار صنعتی				×	×-×	×-×
گردوغبار معلق پایدار	×	×-×	×-×			
مه روغنی		×	×-×	×-×		
گازهای صنعتی			×-×			
آیروسل‌ها [1]	×	×-×	×-×	×		
آلودگی اتمسفری دائمی	×	×-×	×-×			
آلودگی اتمسفری موقتی				×-×	×-×	×-×
آلاینده‌های مضر برای ماشین‌آلات				×	×-×	×-×
حفاظت عادی از ماشین				×	×-×	×-×
حفاظت حداکثری از ماشین				×-×	×-×	×-×
کنترل لجن				× (3-5)		
کنترل جزئی لجن					×(10-15)	
تصفیه هوا، اولیه					×-×	×-×
تصفیه هوا، ثانویه				×-×		
تصفیه هوا، فوق‌ریز		×	×-×			
محدوده ذرات زنگار			×-×	×		

یادآوری ۱- × نشان‌دهنده کاربرد مناسب فیلتر در حد پایین بازه تعیین شده است.

یادآوری ۲- ×-× نشان‌دهنده کاربرد مناسب فیلتر در تمامی بازه تعیین شده است.

1- Aerosols

جدول ۶- نمایشگر محدوده حذف آلاینده‌ها

نوع فیلتر یا جداکننده	محدوده اندازه ذرات (µm) ۱۰۰۰	۱۰۰	۵۰	۲۰	۱۰	۱	۰٫۱	۰٫۰۱
غشا				۱۲				۰٫۰۰۵
الکترواستاتیک					۱۰		۰٫۰۱	۰٫۰۰۱
میکروشیشه					۱۰			۰٫۰۱
الیاف آزبست		۱۰۰					۰٫۱	
کاغذ		۱۰۰				۱		
فلز متخلخل		۱۰۰			۱۰	۱		
سیم بافته‌شده:								
بافت مربعی	۳۰۰			۲۰				
هلندی تخت		۱۰۰		۲۰				
هلندی معکوس	۱۱۵			۱۵				
هلندی جناغی		۱۰۰			۶			
پارچه سیمی:								
درشت	۹۵۰							
متوسط	۹۵۰	۱۸۰						
ریز	۲۰۰	۱۶۰						
صفحه سوراخ‌دار (صافی توری)	۱۰۰۰	۱۰۰						
مش سیمی (صافی توری)	۱۵۰		۴۰					
سرندها[1]	۲۵۰			۲۵				
مخزن ته‌نشینی	۱۰۰۰	۱۰۰						
سیکلون	۱۰۰۰				۱۰			
چند سیکلونی	۱۰۰۰					۵		
جمع کننده مرطوب		۱۰۰			۵	۱		
گازشوی ونتوری		۱۰۰					۰٫۱	۰٫۰۱
گردگیرهای پارچه‌ای		۱۰۰					۰٫۱	۰٫۰۱
فیلترهای پانلی		۱۰۰				۱		
پانل‌ها با گرانروی بالا (ویسکوز)	۱۰۰۰					۱		
سلول‌های فیلتر		۱۰۰					۰٫۱	

1-Screens

جدول ۷- خلاصه‌ای از ویژگی‌های بستر فیلتر

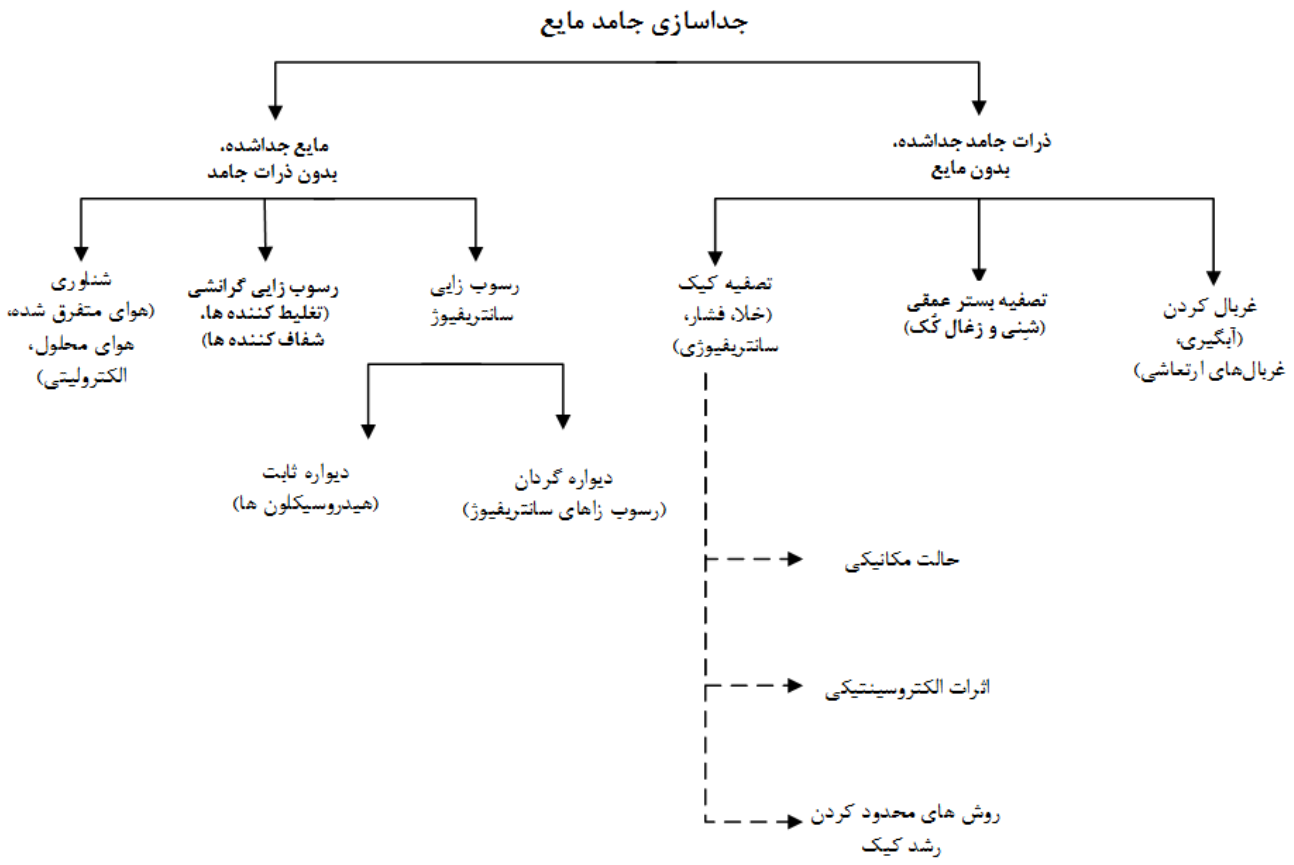
بستر	نوع عملکرد فیلتر	حداقل اندازه قطع نرمال μm	مزایا	نقطه قطع مطلق	معایب	ملاحظات/ کاربردهای عمومی
کاغذ (فرآوری نشده)	جذب سطحی	۱۰-۲۰	هزینه پایین	خیر	استحکام بسیار پایین	فیلترهای آزمایشگاهی ساده
کاغذ (فرآوری شده)	سطحی	۵-۲۰	هزینه پایین	خیر	استحکام پایین (با چین‌خوردگی بهبود می‌یابد) مقاومت ویژه بالا. فقط به‌عنوان فیلترهای سطحی مناسب است. مشروط به مهاجرت عنصر. مقاومت ویژه بالا غیرقابل تمیز کردن	فیلترهای فشرده برای گازها و مایعات باهدف عمومی، همچنین کاربرد محدود در پارچه فیلتر.
دیسک‌های کاغذی	لبه‌دار (عمقی)	کمتر از ۱	هزینه پایین. نقطه قطع قابل تنظیم (به‌وسیله فشار انباشته).	بله		تصفیه گازها و مایعات
پارچه‌ها	سطحی	کمتر از ۵	قابلیت تحمل فشارهای بیشتر نسبت به کاغذ. مناسب‌تر جهت استفاده در فیلترهای بزرگ‌تر	خیر	فاقد استحکام و نیازمند تکیه‌گاه و پشتیبانی شدن به‌وسیله صفحه‌ها و مش‌ها	پارچه‌ها طیف وسیعی از مواد را با ویژگی‌های متفاوت پوشش می‌دهند. پارچه‌ها می‌توانند در کاربردهای عمومی فیلترهای گاز و مایع و همچنین در جاذب‌های گردوغبار و پارچه‌های فیلتر به‌کاربرده شوند.
نمدها	عمقی	کمتر از ۱۰	خواص مکانیکی را می‌توان در طول فرایند ساخت به‌دقت کنترل کرد. در طیف وسیعی از مواد (بیشتر مصنوعی) موجود است.	خیر	فاقد استحکام و درنتیجه نیازمند تکیه‌گاه	نمدهای نازک‌تر به‌عنوان جایگزین کاغذ در اجزای چین‌دار. به‌عنوان پدهای فیلتر مورداستفاده در صنایع مختلف
سیم بافته‌شده	سطحی	کمتر از ۰/۱	عملکرد با بافت و مش کنترل می‌شود. استحکام بالا.	بله	گران‌تر از پارچه یا کاغذ	به‌طور گسترده در مش‌های درشت، متوسط و ریز استفاده می‌شود
پشم معدنی	عمقی	کمتر از ۱	خواص را می‌توان در طول ساخت کنترل و درجه‌بندی کرد. مناسب برای دماهای بالا			پدهای فیلتر برای فیلترهای هوا. ورق‌های میکروشیشه برای فیلترهای HEPA .
خاک دیاموته	عمقی		بسیار مؤثر در تصفیه ریز و با مقاومت پایین	خیر	معمولاً فقط برای استفاده به‌عنوان پیش پوشش مناسب است، اما می‌توان آن را به‌وسیله رنده به‌صورت ورقه‌ای در آورد.	فیلترهای پیش روکش، به‌ویژه مناسب برای شفاف‌کنندگی
پرلیت	عمقی		چگالی مرطوب کم. قابلیت تصفیه ریز با مقاومت جریان کم	خیر	معایب مشابه خاک دیاتومه، اما معمولاً باید در لایه‌های ضخیم‌تر از آن استفاده شود	فیلترهای پیش‌پوشش
زغال چوب فعال	جاذب		بخارات، بو و غیره را از بین می‌برد		محصول گرانولی، نیازهای نگهداری در محفظه مناسب	فیلتر نهایی هوا یا آب، تصفیه شیمیایی و غیره
پارچه زغال چوب	جاذب		بخارات، بو و غیره را از بین می‌برد		پرهزینه	اجزای فیلتر پیش‌ساخته برای کنترل رنگ، تهویه مطبوع، تصفیه آب و تصفیه شیمیایی و غیره
خاک فولر (رس فعال)	جاذب				فرم گرانولی- نیازمند محفظه مناسب. تأثیر کمتر نسبت به زغال چوب فعال	فیلتر نهایی برای حذف بو و بخار
آنتراسیت	عمقی		نرخ جریان بالا در بسترهای چندلایه با ماسه امکان‌پذیر است		برای حداکثر سختی نیاز به فرآوری دارد	مورداستفاده در فیلترهای گرانشی و فشاری برای تصفیه آب، روغن‌ها، اسیدها، قلیاها و غیره
فلز متخلخل	عمقی	کمتر از ۲	خواص را می‌توان در طول ساخت کنترل کرد. اجزا با استحکام بالا. مناسب برای دماهای بالا	بله	امکان تعویض اجزا. هزینه بالا. غیرقابل شستشو	برنز متخلخل برای کاربردهای عمومی. فولاد زنگ‌نزن و آلیاژهای خاص برای کاربردهای فشار بالا دما بالا و مقاوم در برابر خوردگی
سرامیک	عمقی	کمتر از ۱	خواص را می‌توان در طول فرایند ساخت کنترل کرد. مناسب برای سیالات خورنده. مناسب برای دماهای بالا	بله	پرهزینه -غیرقابل شستشو	بسیار مناسب برای محیط‌های اسیدی، قلیایی و خورنده
غشا	سطحی	کمتر از ۰/۰۰۵	در طیف گسترده‌ای از مواد موجود است	بله	به منبع خلاء یا فشار نیاز دارد. دبی پایین. مسدود شونده توسط آلاینده‌های فیبری یا لزج	تصفیه بسیار ریز و شفاف‌کنندگی در کاربردهای خاص

۷ سانتریفیوژها

۷-۱ کلیات

جداسازی گریز از مرکز، روشی مکانیکی برای جداسازی اجزای یک ترکیب از طریق شتاب دادن مواد در یک میدان گریز از مرکز است.

سانتریفیوژهای تجاری را می‌توان به دو نوع عمده سانتریفیوژهای رسوب‌زا (ته‌نشین‌کننده) و فیلترهای گریز از مرکز تقسیم‌بندی کرد. در شکل ۴ انواع سانتریفیوژها بر اساس هدف جداسازی، شامل جدایش ذرات جامد بدون مایع و جدایش مایع بدون ذرات جامد طبقه‌بندی شده‌اند.



شکل ۴- طبقه‌بندی فرایندهای جداسازی با سانتریفیوژها

مکانیسم ته‌نشینی گریز از مرکز بر مبنای اختلاف چگالی بین جامدات و مایعات (یا بین دو فاز مایع) است. در این روش ذرات در معرض نیروهای گریز از مرکز قرار گرفته که این موضوع بسته به اینکه این ذرات سنگین‌تر یا سبک‌تر از مایع باشند، سبب حرکت مواد به‌صورت شعاعی در مایع به سمت بیرون یا داخل می‌شود. بنابراین سانتریفیوژکردن را می‌توان به‌عنوان یک افزایش‌دهنده رسوب‌سازی گرانشی به اندازه ذرات ریزتر در نظر گرفت و همچنین می‌تواند امولسیون‌هایی را که معمولاً در میدان گرانش پایدار هستند، جدا کند.

یک سانتریفیوژ رسوب‌ساز شامل یک کاسه سوراخ نشده است که یک سوسپانسیون در آن تغذیه‌شده و با سرعت بالایی می‌چرخد. مایع از طریق یک لوله سرباره یا روی سرریز خارج می‌شود درحالی‌که مواد جامد یا در کاسه باقی می‌مانند یا به‌طور متناوب یا مداوم از کاسه تخلیه می‌شوند.

هنگامی‌که یک ذره کروی با قطر d در یک مایع با گرانروی بالا تحت نیروی گرانش زمین (g) قرار می‌گیرد، سرعت حد (Vs) با وزن شناوری متعادل‌کننده ذرات و نیروی درگ با گرانروی بالا روی ذره مطابق با قانون استوک و مطابق با فرمول ۶ تعیین می‌شود.

$$V_s = \frac{1}{18\mu}\omega^2 r(\rho_s - \rho_l)d^2 \qquad (۶)$$

که در آن:

Vs نرخ حجمی جریان مایع از ظرف ته‌نشین‌کننده گریز از مرکز، برحسب درصد (٪)؛

μ گرانروی دینامیکی در فاز پیوسته، برحسب مگا پاسکال ثانیه (سانتی‌پواز) (mPa.s)؛

ω سرعت زاویه‌ای، برحسب رادیان بر ثانیه (rad/s)؛

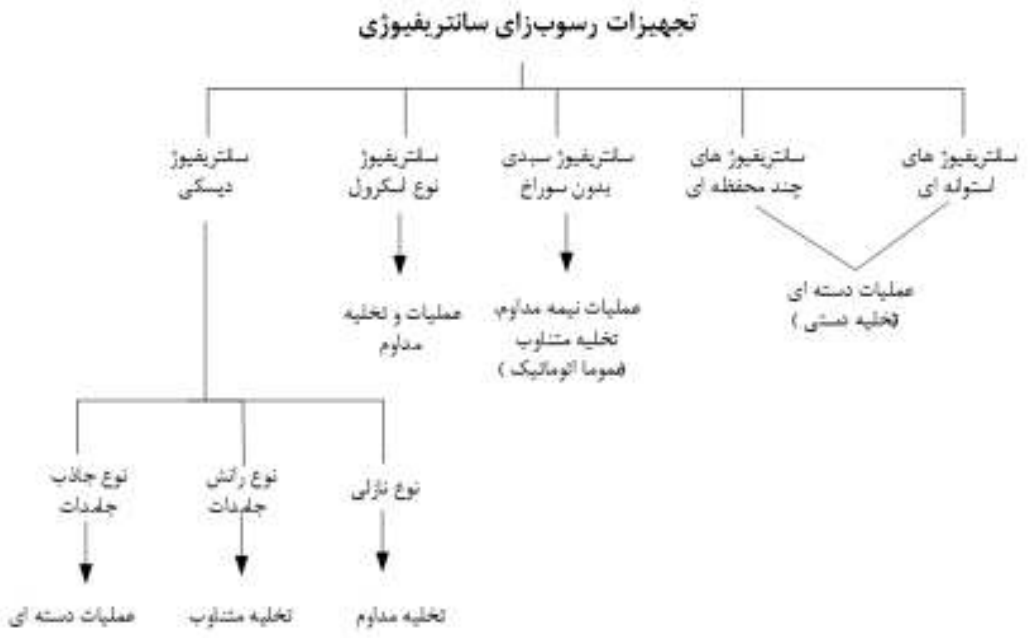
r فاصله شعاعی از مرکز (در سانتریفیوژ)، برحسب متر (m)؛

ρ_s چگالی ذره، برحسب کیلوگرم بر مترمکعب (kg/m^3)؛

ρ_l چگالی فاز مایع، برحسب کیلوگرم بر مترمکعب (kg/m^3)؛

d قطر ذره بر حسب میکرومتر (μm) است.

پنج نوع اصلی از تجهیزات سانتریفیوژهای رسوب‌زای صنعتی را می‌توان با توجه به طراحی ظرف و مکانیسم تخلیه جامدات در یک طبقه‌بندی شماتیک به شرح شکل ۵ نشان داد؛ حالت تخلیه و عملکرد برای هر نوع از این تجهیزات ذکر شده است.



شکل ۵- طبقه‌بندی تجهیزات رسوب‌زای سانتریفیوژی

۷-۱-۱ مفهوم Σ

فرمول ۷ از قانون استوک به‌دست می‌آید:

$$Q_c = 2V_g \times \Sigma \qquad (۷)$$

که در آن:

Q_c نرخ حجمی جریان مایع از ظرف ته‌نشین‌کننده گریز از مرکز، برحسب درصد (٪)؛

V_g سرعت حد ته‌نشینی یک ذره پراکنده در میدان گرانشی؛ برحسب متر بر ثانیه (m/s)؛

$\sum$ فاکتور ظرفیت نظری یک ته‌نشین‌کننده گریز از مرکز بر حسب (m^2) است.

فرمول ۷ ضریب ظرفیت نظری را تعریف می‌کند که دارای بعد مساحت است و به‌سادگی می‌توان آن را به‌عنوان مساحت یک مخزن رسوب ساز گرانشی که عملکرد جداسازی برابر با عملکرد سانتریفیوژ دارد تفسیر کرد، مشروط بر اینکه ضریب V_g برای هر دو یکسان باشد.

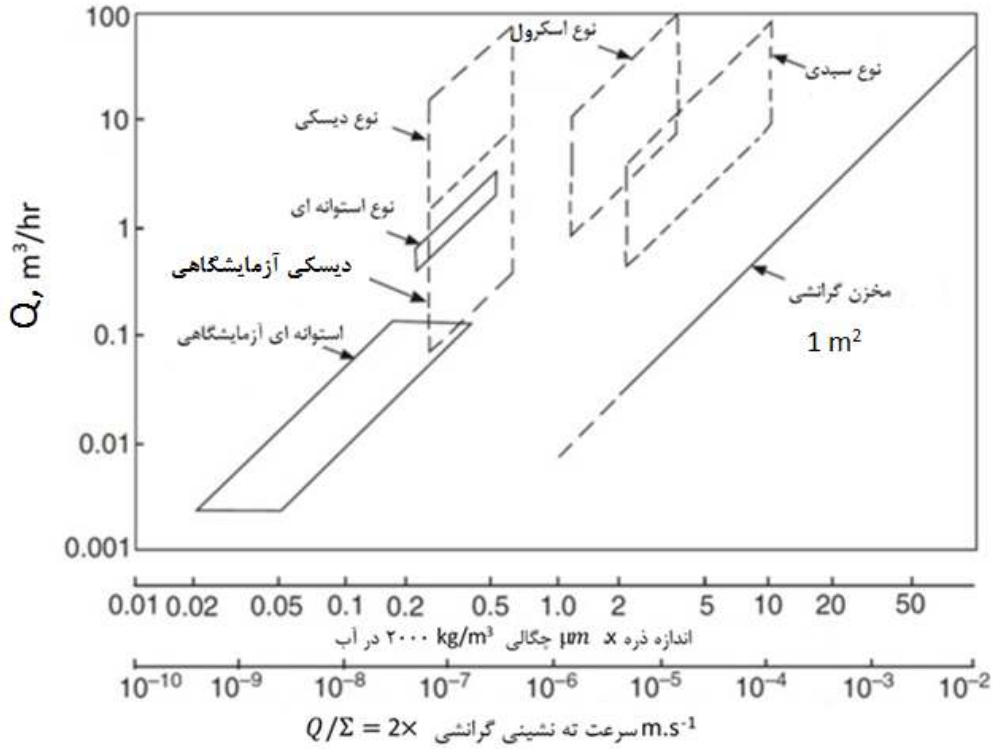
از لحاظ نظری، این مفهوم اجازه مقایسه بین سانتریفیوژهای مشابه هندسی و هیدرودینامیکی که بر روی خوراک ورودی یکسان کار می‌کنند، را می‌دهد؛ به‌این‌ترتیب، اگر کمّیت Q_c/Σ برای آن‌ها با هم برابر باشد، نتیجه عملکرد ته‌نشین‌سازی هر کدام از دو سانتریفیوژ مشابه که بر روی یک سوسپانسیون عملیات انجام می‌دهند یکسان خواهد بود.

در عمل، اغلب یک ضریب بازدهی برای گسترش استفاده از Σ به‌منظور مقایسه سانتریفیوژهای غیرمشابه معرفی می‌شود. مفهوم Σ اجازه افزایش مقیاس بین سانتریفیوژهای مشابه را تنها بر اساس عملکرد ته‌نشین‌سازی می‌دهد.

در جدول پ-۱، مشخصات عملکردی برخی از سانتریفیوژهای معمول بیان شده است.

۷-۱-۲ عوامل مؤثر بر انتخاب تجهیزات گریز از مرکز

شکل ۶ نرخ جریان محدودکننده و قابلیت ته‌نشین‌سازی انواع مختلف تجهیزات را نشان می‌دهد. انتخابی که با استفاده از این راهنما انجام می‌شود ممکن است توسط سایر ویژگی‌های مواد و الزامات فرایندی دچار محدودیت شود. این ویژگی‌ها عبارتند از محتوای ذرات جامد ترکیب مواد ورودی به فیلتر، ماهیت جامدات (چسبنده، فیبری یا سخت)، ماهیت مایع (خورنده یا حساس به تماس با هوا)، خطرات انفجار و همچنین لزوم مداوم، متناوب یا دسته‌ای عملکرد. انتخاب نوع تجهیزات باید بر اساس استانداردهای مربوط صورت پذیرد.



شکل ۶- عملکرد تجهیزات مختلف رسوب‌زای گریز از مرکز

۷-۱-۳ فیلترهای گریز از مرکز

فیلتر گریز از مرکز، فاز جامد ذرات را روی یک صفحه فیلتر متخلخل (معمولاً در مقطع دایره‌ای که فاز مایع آزادانه تحت تأثیر نیروی گریز از مرکز از آن عبور می‌کند) پشتیبانی می‌کند. چگالی فاز جامد فقط برای محاسبه بارگذاری

جرمی در حجم موجود سبد مهم است. پارامتر مهم‌تر، نفوذپذیری کیکِ فیلتر تحت نیروی گریز از مرکز اعمال شده است.

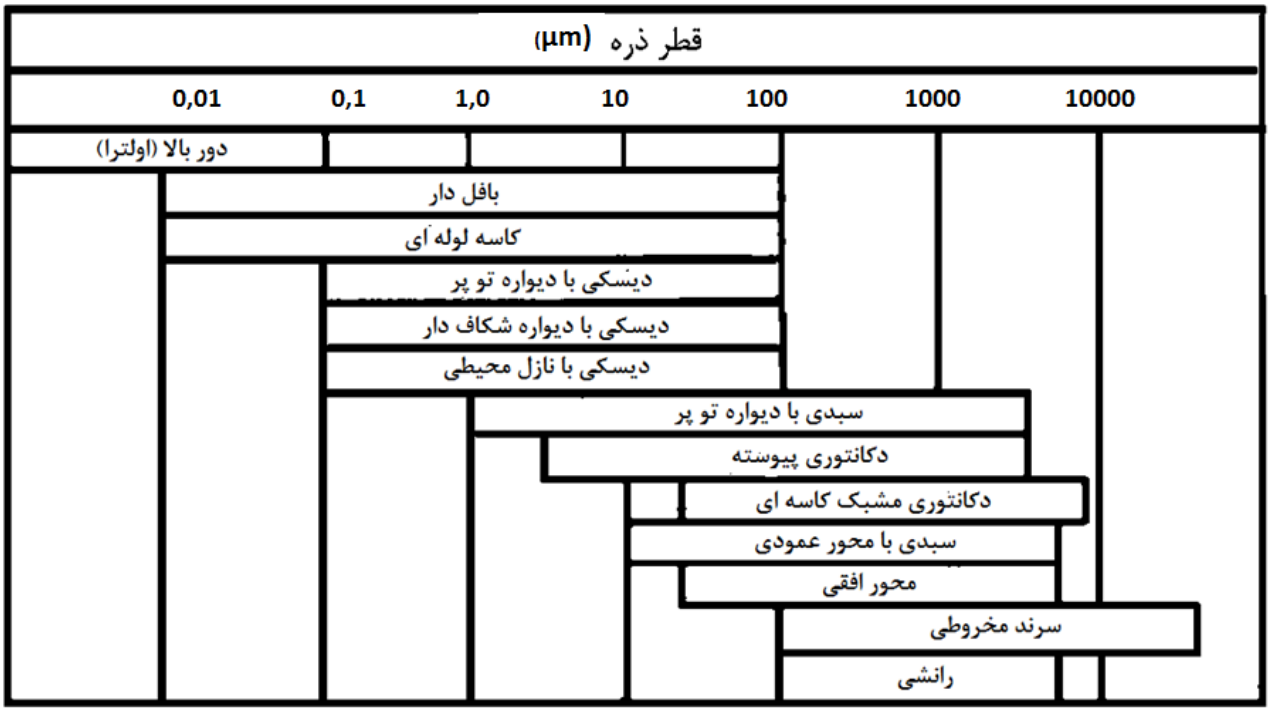
روش صاف‌کردن گریز از مرکز غالباً برای تولید ناپیوسته جامدات ریز و با تخلیه آهسته اعمال می‌شود، اما بهتر آن است که از ذرات با اندازه متوسط تا درشت که نیاز به شستشوی مناسب و محتوای مایع باقیمانده کم دارند به‌کاربرده شـود. جدول پ-۲ طبقه‌بندی فیلترهای گریز از مرکز و مشخصه‌های عملکردی آن‌ها را نشان می‌دهد.

۷-۲ انتخاب سانتریفیوژها

شکل ۷ محدوده اندازه ذراتی که انواع سانتریفیوژها برای آن قابل‌استفاده هستند را نشان می‌دهد.

سانتریفیوژهای چرخه‌ای یا ناپیوسته غالباً در فرایندهای پیوسته که منجر به ظرفیت موج مناسب در بالادست و پایین‌دست می‌شود مورداستفاده قرار می‌گیرند.

اگر داده‌های عملیاتی در مورد مواد مشابه از منابع دیگر در دسترس باشد، سانتریفیوژهای پیوسته باید تنها پس از آزمون بر روی یک سانتریفیوژ با پیکربندی یکسان انتخاب و اندازه‌بندی شوند.



شکل ۷- طبقه بندی سانتریفیوژها بر اساس اندازه ذرات جداشده

۷-۲-۱ الزامات انرژی

انرژی موردنیاز برای رساندن سانتریفیوژ دوار به‌سرعت عملیاتی، یا تغییر سرعت آن، و توان موردنیاز برای غلبه بر تلاطم هوا و اصطکاک و شتاب دادن به جریان فرایند تغذیه‌شده به سانتریفیوژ، همه باید در انتخاب اندازه مناسب موتور برای راه‌اندازی و ارزیابی هزینه‌های عملیاتی آن در نظر گرفته شوند. توان P مصرف‌شده جهت شتاب دادن به جریان مایع با دبی Q و چگالی ρ از حالت سکون به‌سرعت زاویه‌ای مشخص و تخلیه در شعاع r مطابق با فرمول ۸ تعیین می‌شود:

$$P = Q\rho\omega^2 r^2 \qquad (۸)$$

که در آن:

P توان مصرف‌شده جهت شتاب دادن به جریان مایع؛

Q نرخ حجمی جریان مایع، برحسب درصد (٪)؛

ρ چگالی جریان مایع، برحسب کیلوگرم بر مترمکعب (kg/m^3)؛

ω سرعت زاویه ای، برحسب رادیان بر ثانیه (rad/s)؛

r فاصله شعاعی از مرکز، برحسب متر (m).

۷-۲-۲ داده‌های موردنیاز برای انتخاب

برای غربال‌گری اولیه در مورد مناسب بودن روش جداسازی گریز از مرکز و انتخاب آزمایشی انواع سانتریفیوژ مناسب، اطلاعات زیر موردنیاز است.

- **ماهیت فاز مایع (ها):**

الف- دما؛

ب- گرانروی در دمای عملیاتی؛

پ- چگالی در دمای عملیاتی؛

ت- فشار بخار در دمای عملیاتی؛

ث- مشخصه‌های خورندگی؛

ج-بخارات مضر، سمی، اشتعال ناپذیر هستند یا خیر؛

چ-تماس با هوا اهمیت ندارد، نامطلوب است یا باید از آن اجتناب کرد.

- **ماهیت فاز جامد:**

الف- اندازه و توزیع ذرات؛

ب- ذرات بی‌شکل، لخته‌ساز، نرم، شکننده، کریستالی یا ساینده هستند؛

پ- تخریب اندازه ذرات بی‌اهمیت، نامطلوب یا بسیار حیاتی است؛

ت- غلظت مواد جامد در خط خوراک‌دهی؛

ث- چگالی ذرات جامد؛

ج- محتوای سیال مادر باقی‌مانده، (مقدار درصد قابل قبول، مقدار درصد مورد نظر)؛

چ- شستشو برای کاهش بیشتر «ناخالصی‌های سیال مادر» [1] غیرضروری یا ضروری است.

- **مقدار مواد مورداستفاده در هر دسته یا در واحد زمان.**

۸ هیدروسیکلون‌ها

۸-۱ کلیات

هیدروسیکلون‌ها در شرایط تحت‌فشار کار می‌کنند و درجایی که فشار کافی در خط خوراک‌دهی وجود ندارد، پمپاژ موردنیاز است.

هزینه‌های سرمایه و عملیاتی برای این تجهیزات عموماً کم است و هیدروسیکلون‌ها به‌ویژه برای طبقه‌بندی و همچنین وظایف اصلی جداسازی مناسب هستند.

در هیدروسیکلون، مواد فرایندی به یک کنسانتره جامد و یک سوسپانسیون رقیق‌شده از ذرات ریز جدا می‌شود. تغلیظ با ترکیبی از عمل گریز از مرکز و گرانشی به دست می‌آید.

هیدروسیکلون‌ها قطعات متحرک ندارند و می‌توانند از موادی که هم در برابر سایش و هم در برابر خوردگی مقاوم هستند ساخته شوند.

هیدروسیکلون‌ها به فشار عملیاتی نسبتاً کمی، بین ۱ bar تا ۲ bar نیاز دارند که معمولاً با یک پمپ گریز از مرکز تهیه می‌شود.

هیدروسیکلون‌ها برای کارکردهایی ازجمله طبقه‌بندی، شفاف‌کنندگی، تغلیظ، شستشوی جریان مخالف، شن‌زدایی، لایه‌برداری و بازیابی مواد جامد استفاده می‌شوند.

هیدروسیکلون‌ها معمولاً برای حذف جامدات درشت با اندازه بزرگ‌تر از ۰٫۵ mm استفاده نمی‌شوند، اگرچه برخی استثناها وجود دارد.

1- Liquor impuritie

یک سیکلون نمی‌تواند به‌طور کامل تمام مایع را از سوسپانسیون جامدات غلیظ خارج کند، وجود مقداری مایع برای رسیدن به تخلیه جامدات ضروری است.

۸-۲ متغیرهای مؤثر بر عملکرد هیدروسیکلون

۸-۲-۱ تأثیر متغیرهای فرایندی

توانایی هیدروسیکلون، که یک ماشین نیرو-گرانشی است، در جداسازی مناسب جامد/مایع توسط قانون استوک قابل‌کنترل است. به‌طور خاص، سهولت جداسازی با قطر ذرات معلق، مجذور چگالی نسبی (وزن مخصوص) و اختلاف بین فاز جامد و مایع نسبت مستقیم و با گرانروی فاز مایع پیوسته نسبت معکوس دارد.

۸-۲-۲ تأثیر ویژگی‌های طراحی مکانیکی

توانایی یک هیدروسیکلون در برآوردن نیازهای جداسازی جامد/مایع موردنیاز توسط متغیرهای طراحی خود تجهیزات قابل‌کنترل است. این متغیرها شامل قطر مخروط، طول کلی بدنه و همچنین ابعاد دهانه‌های ورودی بار، خروجی ته‌ریز و گلوگاه خروجی سرریز می‌باشد. صرف‌نظر از داده‌های «استوک» و فرمول‌های مورداستفاده در طراحی تجهیز که ممکن است در دسترس باشند، مناسب بودن یک هیدروسیکلون برای استفاده در یک فرایند معین باید به اطلاعات موجود شناخته‌شده از تجربیات گذشته یا نتایج حاصل از آزمون‌های آزمایشگاهی یا میدانی بستگی داشته باشد.

۸-۳ تخمین اندازه هیدروسیکلون

مراحل زیر می‌تواند در تخمین اندازه هیدروسیکلون موردنیاز برای یک کاربرد خاص استفاده شود:

۱- قطر ذره انتخاب‌شده (d_p) [یعنی ذرات با قطر d_p (بسته به بازدهی) و بزرگ‌تر، (برحسب μm) که باید جداسازی شوند] را با توجه به الزامات فرایند تخمین بزنید.

۲- میزان d_{50} را با استفاده از فرمول ۹ به دست آورید.

$$\left(d_p/d_{50} - 0.115\right)^3 = -\ln\left(1 - \frac{\eta}{100}\right) \qquad (۹)$$

که در آن:

d_p قطر ذره انتخاب‌شده که باید جداسازی شوند، بر حسب میکرومتر(μm) ؛

d_{50} قطر ذره جداشده به‌وسیله هیدروسیکلون با بازدهی ٪ ۵۰ ، بر حسب میکرومتر(μm) ؛

η بازدهی هیدروسیکلون در جداسازی هر ذره با قطر d_p، برحسب درصد (٪).

قطر ذره d_{50} در واقع قطر آن ذره‌ای است که ٪ ۵۰ آن از طریق سرریز و ٪ ۵۰ آن از طریق ته‌ریز هیدروسیکلون خارج می‌شود.

۳- قطر محفظه هیدروسیکلون را از طریق فرمول ۱۰ محاسبه کنید.

$$D_c = \frac{d_{50} \times L^{1.2} (\rho_p - \rho_l)^{1/3}}{4.5 \times 10^9 \times \mu} \qquad (۱۰)$$

که در آن:

D_c قطر محفظه هیدروسیکلون برحسب متر(m)؛

d_{50} قطر ذره جداشده به‌وسیله هیدروسیکلون با بازدهی ٪ ۵۰ ، بر حسب میکرومتر(μm)؛

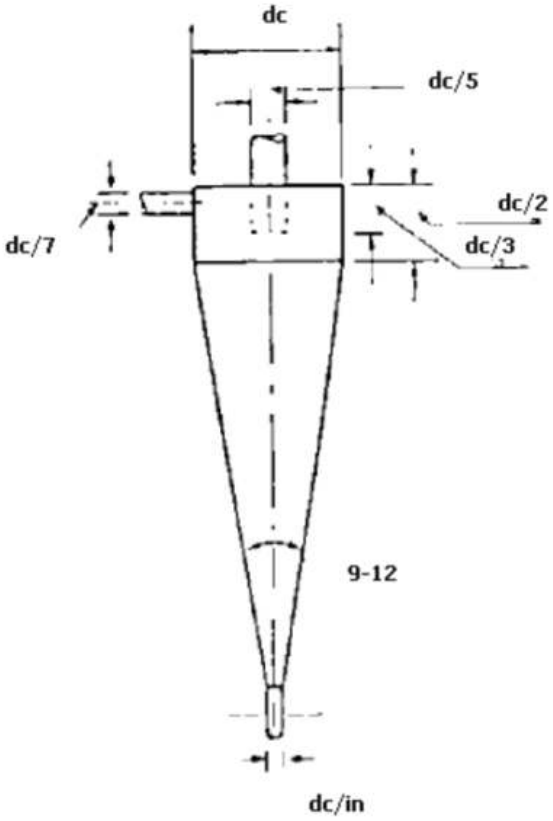
ρ_p چگالی ذرات جامد، برحسب کیلوگرم بر مترمکعب (kg/m^3)؛

ρ_l چگالی مایع، برحسب کیلوگرم بر مترمکعب (kg/m^3)؛

μ گرانروی مایع، برحسب مگا پاسکال ثانیه (سانتی‌پواز) (mPa.s)؛

L دبی جریان خوراک‌دهی، برحسب لیتر بر دقیقه (l/min) .

سایر ابعاد هیدروسیکلون را می‌توان با استفاده از شکل ۸ تخمین زد.



شکل ۸- مشخصات هیدروسیکلون متداول

۸-۴ فشار خوراک ورودی (بار ورودی)

به‌طورمعمول، یک پمپ گریز از مرکز، فشار موردنیاز برای عملکرد هیدروسیکلون را تولید می‌کند. حداقل فشار خوراک باید در ورودی هیدروسیکلون به‌منظور حفظ یک میدان گریز از مرکز در داخل دستگاه، و جبران تلفات فشار استاتیکی (تلفات اصطکاک و سر گریز از مرکز[1]) فراهم شود.

حداقل فشار خوراک‌دهی مجاز، P_{min}، با استفاده از فرمول ۱۱ تعیین می‌شود.

$$P_{min} = 190.7 - 21.26 \ln(1000\, D_c) \qquad (۱۱)$$

که در آن:

P_{min} حداقل فشار برحسب کیلو پاسکال (kPa)؛

D_c قطر محفظه هیدروسیکلون، برحسب متر (m).

به‌منظور جلوگیری از مصرف بیش‌ازحد انرژی، نباید اجازه داد که فشار خوراک‌دهی، به‌طورکلی، بالاتر از مقدار معینی، P_{max} ، باشد. P_{max} را می‌توان از فرمول ۱۲ تخمین زد.

$$P_{max} = 533.3 + 31.04D_c - 66.93 \ln(1000D_c) + 2.088/D_c \qquad (۱۲)$$

که در آن:

P_{max} حداکثر فشار برحسب کیلوپاسکال (kPa)؛

D_c قطر محفظه هیدروسیکلون، برحسب متر (m).

اگر اختلاف فشار موجود و دبی یک هیدروسیکلون توسط فرایند تثبیت شود، می‌توان تناسب واحد انتخاب‌شده را با نمودار ارائه‌شده در پیوست **پ** بررسی کرد. (به شکل پ-۱ مراجعه شود).

۹ جداکننده‌های چند سیکلونی

جداکننده چند سیکلونی گاز یک راه اقتصادی برای جداسازی جامدات و مایعات با بازدهی بالا می‌باشد. می‌توان از موارد زیر به‌عنوان مزیت‌های جداکننده چند سیکلونی نام برد:

- در کاربردهای فشار بالا، قطر کاهش‌یافته چند سیکلونی کمتر از نوع پره‌ای و مشخصاً کوچک‌تر از نوع قطره‌گیر است. این به معنی دیواره‌های نازک‌تر، فضای کمتر و مهم‌تر از همه، هزینه کمتر (مخصوصاً در مقادیر بالای جریان) می‌باشد.

1- Centrifugal head

– جداکننده چند سیکلونی قادر به پذیرش و حذف ذرات جامد است برعکس نوع پره‌ای و نوع قطره‌گیر اساساً بدون این توانایی می باشند.

یادآوری– جداکننده‌های پره‌ای و قطره‌گیر، جامدات کوچک معلق در مایع را حذف می‌کنند.

– جداکننده چند سیکلونی به‌صورت خود تمیزکن است و فقط به تخلیه دوره‌ای برای حذف مواد جمع شده نیاز دارد.

– در محدوده وسیعی از شرایط عملیاتی دارای بازدهی بالایی است.

۹-۱ بازدهی حذف

عموماً، بازدهی جداکننده به عوامل زیر بستگی دارد (به شکل ۹ مراجعه شود).

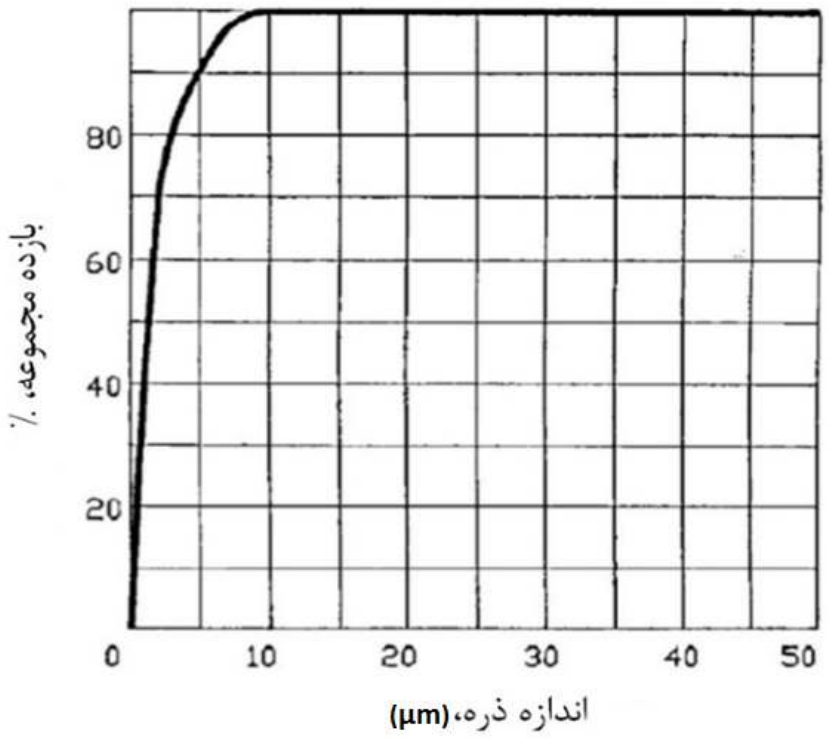
- اندازه ذره؛
- توزیع ذرات؛
- بار مایع.

۹-۲ بازدهی مایع

گاز خروجی از جداکننده باید کمتر از یک مترمکعب مایع در $۷۴٫۸۱\times۱۰^{۶}\ m^3$، گاز داشته باشد (بر اساس نسبت مایع به گاز کمتر یا مساوی ٪ ۵). علاوه براین مطابق با همان فرض در ورودی، تمام ذرات مایع μm و بالاتر نیز باید حذف شوند.

۹-۳ بازدهی مواد جامد

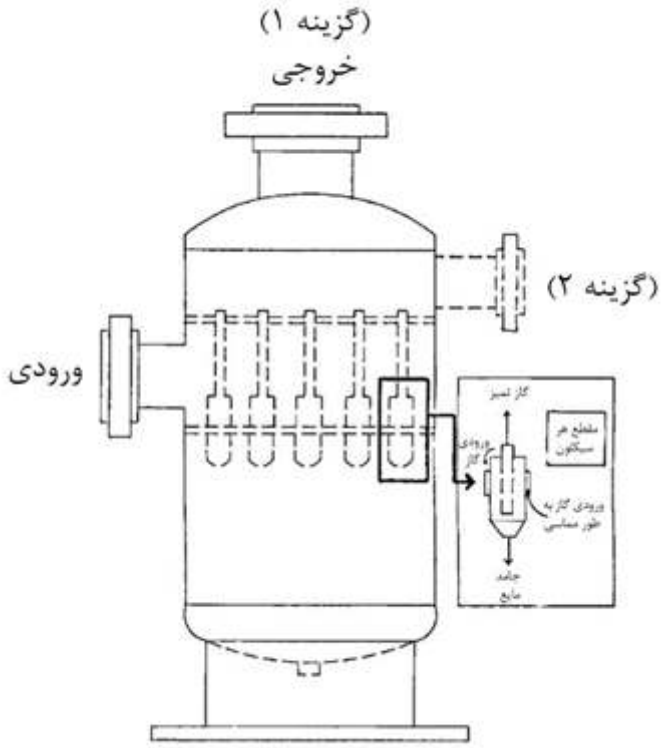
بر اساس بار فرضی جامد $۲۲٫۸۸\ g/m^3$ جداکننده چند سیکلونی عموماً ٪ ۱۰۰ ذرات جامد با اندازه μm ۸ و بزرگ‌تر و ٪ ۹۹ ذرات جامد با اندازه μm ۵ تا μm ۸ را حذف می‌کند (به شکل ۹ مراجعه شود).



شکل ۹- منحنی بازده حذف ذرات جامد برای جداکننده چند سیکلونی

۹-۴ عملیات

شکل ۱۰ جزئیات کلی از فرایند عملیاتی جداکننده چند سیکلونی را نشان می‌دهد.



شکل ۱۰- جداکننده چند سیکلونی

۹-۵ مشخصات مواد و نحوه ساخت

جداکننده‌های چند سیکلونی بر اساس بخش یک استاندارد ASME VIII طراحی و ساخته می‌شوند. مواد و نحوه ساخت مطابق با مشخصات درخواستی خریدار از فولاد کربنی تا فولاد زنگ‌نزن و سایر آلیاژهای فولاد می‌باشد. لوله‌های سیکلون مطابق استاندارد از فولاد پُرآلیاژ ریخته‌گری ساخته می‌شود.

پیوست الف

(آگاهی‌دهنده)

مشخصات بستر فیلتر

جدول‌های الف-۱ تا الف-۵ مشخصات انواع بستر فیلتر را نشان می‌دهند.

جدول الف- ۱- ویژگی‌های عمومی برای فیلترهای با بستر فلزی

حداکثر اندازه منفذ فیلترها (قطر برحسب mm)	مساحت منفذ باز بر هر dm^2 (مقادیر تقریبی)	مدل‌های موجود	
		دیسک‌ها (حداکثر قطر برحسب mm)	چهارضلعی‌ها (حداکثر ضلع برحسب mm)
۲٫۰	۴٫۶ mm^2	۱۴۰	۱۵۰
۳٫۰	۱۰٫۵ mm^2	۱۴۰	۱۵۰
۵٫۰	۲۹٫۰ mm^2	۱۴۰	۳۰۰
۸٫۰	۷۴٫۰ mm^2	۱۴۰	۳۰۰
۱۰٫۰	۱٫۲ cm^2	۱۴۰	۳۰۰
۱۵٫۰	۳٫۳ cm^2	۱۴۰	۵۰۰
۲۰٫۰	۵٫۸ cm^2	۱۴۰	۵۰۰
۲۵٫۰	۹٫۰ cm^2	۱۴۰	۵۰۰
۳۰٫۰	۱۳٫۰ cm^2	۱۴۰	۵۰۰
۴۰٫۰	۲۳٫۶ cm^2	۱۴۰	۵۰۰
۵۰٫۰	۳۹٫۰ cm^2	۱۴۰	۵۰۰
۷۰٫۰	۳۲٫۰ cm^2	۱۴۰	۵۰۰
۸۰٫۰	۳۸٫۰ cm^2	۱۴۰	۵۰۰
۹۰٫۰	۴۸٫۰ cm^2	۱۴۰	۵۰۰
۱۰۰٫۰	۴۴٫۰ cm^2	۱۴۰	۵۰۰

جدول الف-۲- انواع بافت‌های اصلی مربوط به منسوجات بافته‌شده

نوع بافت	ویژگی‌ها	دامنه نرخ مطلق	ملاحظات
چهارضلعی ساده یا جناغی	بیشترین سطح باز و کمترین مقاومت جریان. اندازه روزنه‌ها در هر دو جهت یکسان است	۲۰ تا ۳۰۰ و بیشتر	معمول‌ترین نوع بافت می‌باشد. قابل ساخت در تمامی رده‌ها از ریز تا درشت
تک بافت هلندی ساده	جذب آلودگی مناسب در کنار مقاومت جریان کم	۲۰ تا ۱۰۰	روزنه‌ها سه‌ضلعی هستند
بافت هلندی معکوس ساده	استحکام بالا با قابلیت جذب آلودگی خوب	۱۵ تا ۱۱۵	
بافت جناغی هلندی دولا	اندازه دهانه منفذ منظم و پایدار	۶ تا ۱۰۰	مناسب برای استفاده صاف‌کردن ریز و فوق‌ریز

جدول الف-۳- فهرست مشخصات عمومی پارچه‌های سیم بافته‌شده

مش	سطح باز (٪)	قطر سیم (in)	قطر سیم (mm)	منفذ mm	منفذ µm
500	25	0,0010	0,025	0,025	25
480	28	0,0010	0,025	0,028	28
425	28	0,0010	0,028	0,032	32
460	36	0,0011	0,025	0,038	38
425	31	0,0012	0,032	0,04	40
400	29	0,0014	0,036	0,042	42
350	31	0,0014	0,036	0,045	45
325	34	0,0014	0,036	0,05	50
115	34	0,0016	0,040	0,056	56
300	47	0,0016	0,040	0,063	63
270	46	0,0014	0,036	0,075	75
250	36	0,0021	0,053	0,075	75
230	38	0,0020	0,050	0,08	80
200	46	0,0016	0,040	0,085	85
200	41	0,0020	0,050	0,09	90
200	46	0,0018	0,045	0,095	95
180	38	0,0025	0,063	0,1	100
180	46	0,0020	0,05	0,106	106
150	34	0,0032	0,08	0,112	112
165	34	0,0035	0,09	0,125	125
130	31	0,0045	0,112	0,14	140
120	36	0,0040	0,10	0,15	150
100	38	0,0040	0,10	0,16	160
100	32	0,0055	0,14	0,18	180
100	38	0,0050	0,125	0,2	200
80	35	0,0055	0,14	0,2	200
80	34	0,0065	0,16	0,224	224
75	37	0,0065	0,16	0,25	250
65	31	0,009	0,22	0,25	280
60	37	0,008	0,20	0,315	315
50	42	0,009	0,22	0,4	400
50	38	0,010	0,25	0,4	400
40	36	0,011	0,38	0,425	435
40	51	0,008	0,20	0,5	500
36	44	0,010	0,25	0,5	500
36	37	0,012	0,32	0,5	500
33	44	0,011	0,28	0,56	560
30	37	0,014	0,36	0,56	560
30	51	0,010	0,25	0,63	630
28	48	0,011	0,28	0,63	630
30	37	0,016	0,40	0,63	630
28	48	0,012	0,32	0,71	710
25	37	0,018	0,45	0,71	710
25	51	0,012	0,32	0,8	800
22	38	0,020	0,5	0,8	800
22	54	0,0014	0,36	1	---
20	38	0,0025	0,61	1	---
18	57	0,0016	0,4	1,25	---
16	58	0,0020	0,5	1,6	---
16	61	0,0022	0,56	2	---
12	61	0,0028	0,71	2,5	---
10	64	0,0022	0,8	3,15	---
8	64	0,04	1,0	4	---
6	64	0,05	1,25	5	---
5	70	0,05	1,25	6,3	---
4	70	0,055	1,4	7,1	---
3	64	0,08	2	8	---
3	64	0,10	2,5	10	---
2	67	0,11	2,8	12,5	---
---	69	0,12	1,2	16	---

جدول الف-۴- غربال‌های سوراخ‌دار

عرض اسمی روزنه‌ها (وجه چهارضلعی)		ضخامت صفحه	رواداری‌های منافذ			
			میانگین		حداکثر	
mm	in.	BG	٪	واحد	٪	واحد
101,60	4	10	0,20	80	0,50	200
88,90	3½	10	0,20	70	0,49	170
76,20	3	12	0,20	60	0,50	150
69,85	2¾	12	0,20	55	0,51	140
63,50	2½	14	0,20	50	0,52	130
57,15	2¼	14	0,20	45	0,53	120
50,80	2	16	0,20	40	0,50	100
47,63	17/8	16	0,21	40	0,53	100
44,45	1¾	16	0,20	35	0,51	90
41,28	15/8	16	0,21	35	0,55	90
38,10	1½	16	0,20	30	0,53	80
34,93	13/8	16	0,22	30	0,58	80
31,75	1¼	16	0,24	30	0,56	70
28,58	11/8	16	0,26	30	0,62	70
25,40	1	16	0,25	25	0,60	60
22,23	7/8	16	0,23	20	0,69	60
19,05	¾	16	0,27	20	0,80	60
15,88	5/8	16	0,32	20	0,80	50
12,70	½	16	0,40	20	1,00	50
9,53	3/8	18	0,53	20	1,06	40
7,94	5/16	18	0,58	18	1,16	36
6,35	¼	18	0,60	15	1,20	30
4,76	3/16	20	0,64	12	1,33	25
یک واحد = ۰٫۰۰۰۱ inch یا ۲٫۵۴ µm						

جدول الف-۵- مشخصات فلز سوراخ‌دار

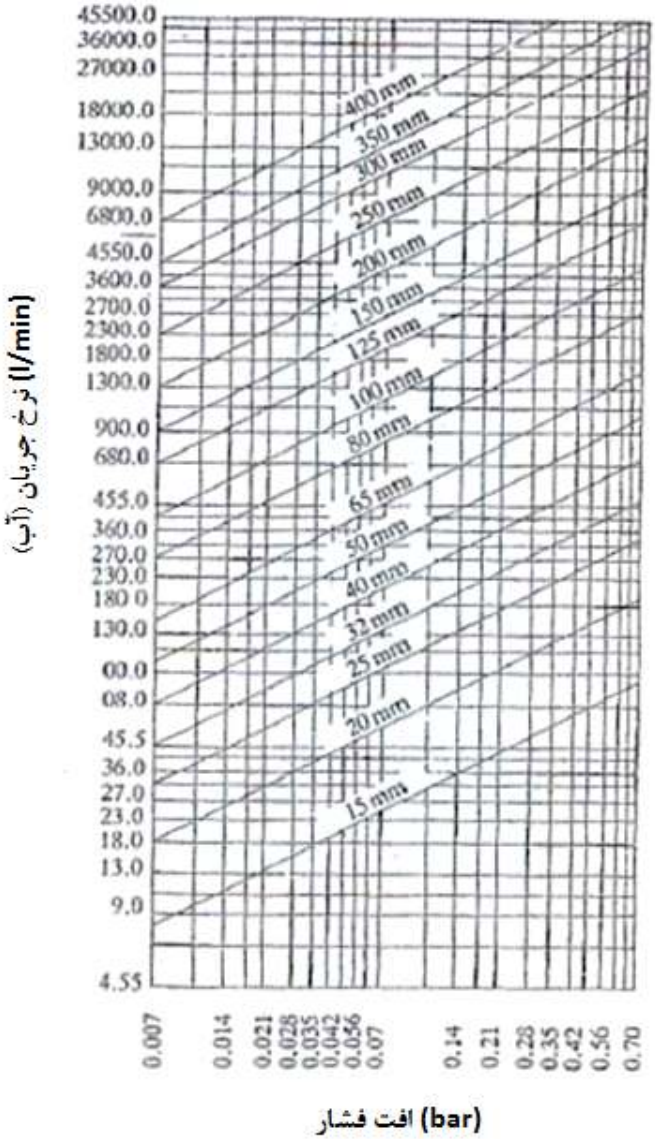
سطح باز (٪)	اندازه سوراخ in.	اندازه سوراخ mm	سطح باز (٪)	اندازه سوراخ in.	اندازه سوراخ mm
	شکاف ته‌گرد			سوراخ گرد	
13	0,394×0,019	10,00×0,50	10	0,015	0,38
23	0,394×0,039	10,00×1,00	20	0,0215	0,55
32	0,394×0,059	10,00×1,50	30	0,0275	0,70
34	0,787×0,059	20,00×2,00	32	0,0315	0,80
30	0,394×0,079	10,00×2,00	25	0,043	1,09
30	0,787×0,079	30,00×2,00	25	0,049	1,40
28	0,518×0,098	13,00×2,50	32	0,055	1,50
31	0,787×0,098	20,00×2,50	37	0,059	1,5
38	0,427×0,118	12,00×3,00	36	0,065	1,64
47	0,787×0,118	20,00×3,00	19	0,069	1,75
38	0,984×0,117	25,00×3,50	33	0,085	2,16
			36	0,097	2,45
			50	0,112	2,85
	شکاف ته‌مربعی (موازی)			**حفره چهارضلعی (موازی)**	
14	0,394×0,016	10,00×0,40			
19	0,394×0,022	10,00×0,56	44	0,059	1,50
25	0,394×0,03	10,00×0,76	44	0,125	3,17
33	0,812×0,043	20,00×1,10	54	0,236	6,00
29	0,800×0,057	20,32×1,44	44	0,256	6,35
27	0,730×0,0625	19,05×1,59	41	0,273	7,00
37	0,511×0,089	13,00×3,50	44	0,375	9,52
41	0,787×0,128	20,00×3,35	49	0,437	11,00
41	0,781×0,150	19,84×1,96	44	0,500	12,70
45	0,730×0,187	19,05×4,75	56	0,750	19,05
47	0,625×0,250	15,87×6,35	44	1,00	25,40
49	0,787×0,314	20,00×8,00			
	شکاف‌های قطری			**حفره چهارضلعی(متناوب)**	
14	0,484×0,020	12,29×0,50			
19	0,484×0,024	12,29×0,62	32	0,069	1,75
12	0,469×0,029	11,91×0,73	32	0,125	3,17
25	0,469×0,042	11,91×1,07	44	0,187	4,75
27	0,812×0,043	20,62×1,09	44	0,250	6,75
27	0,390×0,093	9,90×2,38	64	0,312	7,93
37	0,469×0,125	11,91×3,17	56	0,375	9,53
36	0,500×0,156	12,70×1,96	60	0,437	11,10
28	0,500×0,041	12,70×1,04	53	0,500	12,70
29	0,787×0,078	20,00×2,00	56	0,750	19,05
24	0,454×0,059	11,50×1,50	57	1,0	25,40
40	0,750×0,059	19,05×3,17			
	حفره سه‌ضلعی			**چهارضلعی الماس‌گون**	
26	0,125	3,17	36	0,178	4,75
15	0,197	5,00	49	0,375	9,52
26	0,256	6,50	48	0,500	12,70
16	0,375×0,437	9,52×11,11	42	0,625	15,87
			44	0,750	19,05
			43	1,0	25,40
	حفره‌های زبانه‌ای				
32	0,276×0,118	7,00×3,00			
38	0,354×0,167	9,00×4,25			
45	0,354×0,197	9,00×5,00			
46	0,551×0,236	14,00×6,00			
45	0,531×0,276	13,50×7,00			

پیوست ب

(آگاهی‌دهنده)

خصوصیات افت فشار در فیلترها

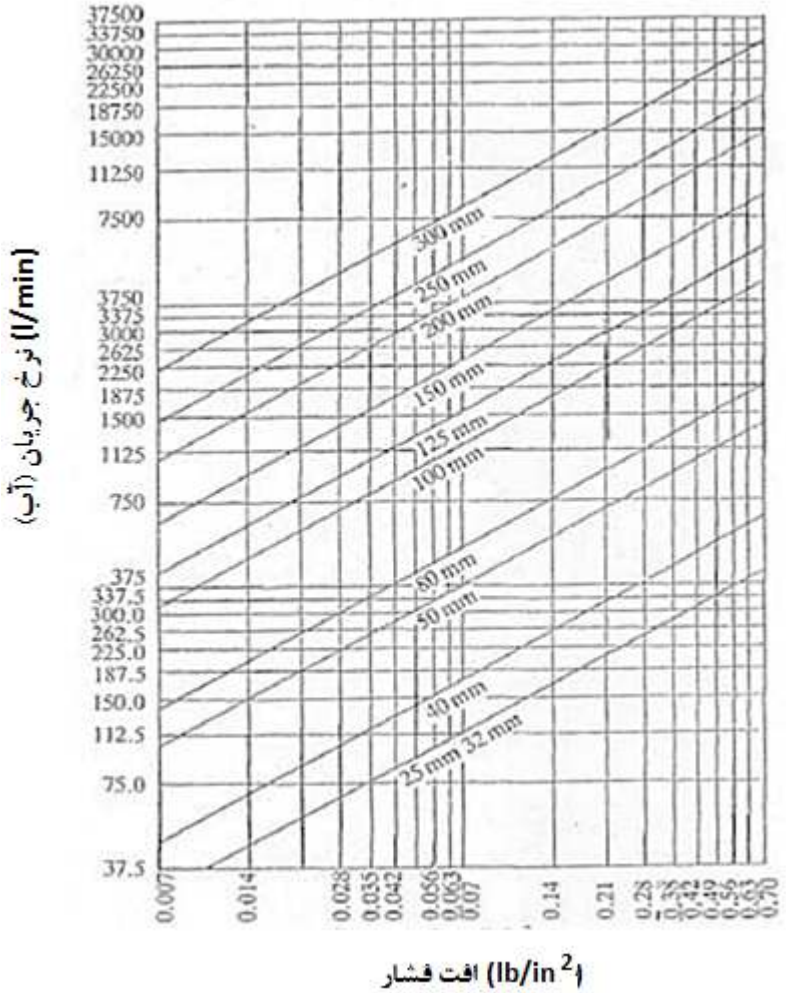
نمودارهای ارائه شده در شکل‌های ب-۱ و ب-۲ ، راهنماهایی برای محاسبات افت فشار در فیلترها هستند.



یادآوری ۱- این نمودار بر اساس آب با چگالی نسبی (وزن مخصوص)یک و گرانروی ۲تا۳ سانتی‌استوک تهیه شده است.

یادآوری۲- سرندها تمیز و با مش سیمی ۴۰×۴۰ بافته‌شده‌اند.

شکل ب- ۱- نمودار مقدار تخمینی افت فشار در فیلترهای نوع Y شکل



شکل ب- ۲- نمودار ویژگی‌های معمول افت فشار در سبدهایی با سوراخ‌هایی به قطر ۳ mm

استاندارد ملی ایران شماره ۲-۲-۲۳۳۸۳ (چاپ اول): سال ۱۴۰۲

پیوست پ

(آگاهی‌دهنده)

مشخصات سانتریفیوژها و بررسی ظرفیت هیدروسیکلون‌ها

جدول پ- ۱- مشخصات و ویژگی‌های عملکردی سانتریفیوژهای رسوب زا

نوع	قطر کاسه (mm)	سرعت (r/min)	حداکثر مقدار گریز از مرکز	خروجی		اندازه موتور برحسب kW [الف]
				مایع (m^3/l)	جامد (kg/h)	
لوله‌ای	۴۵	۵۰٫۰۰۰	۶۲٫۴۰۰	۰٫۰۲۱ تا ۰٫۰۵۶		۱٫۴۹
	۱۰۵	۱۵٫۰۰۰	۱۳٫۲۰۰	۰٫۰۲۳ تا ۲٫۳		۲٫۲۴
	۲۵	۱۵٫۰۰۰	۱۵٫۹۰۰	۰٫۰۴۵ تا ۴٫۵		
دیسکی	۱۷۸	۱۲٫۰۰۰	۱۴٫۳۰۰	۰٫۰۲۳تا ۲٫۳		۰٫۲۴۶
	۳۳۰	۷٫۵۰۰	۱۰٫۴۰۰	۱٫۱۴تا ۱۱٫۴		۴٫۷۴
	۶۱۰	۴٫۰۰۰	۵٫۵۰۰	۴٫۵ تا ۴۵		۵٫۶
	۲۵۴	۱۰٫۰۰۰	۱۴٫۲۰۰	۴٫۳ تا ۹	۹۱ تا ۹۱۰	۱۴٫۹
تخلیه نازل	۴۰۶	۶٫۲۵۰	۸٫۹۰۰	۵٫۶۸ تا ۳۴	۳۶۰ تا ۳۶۰۰	۲۹٫۸
	۶۸۵	۴٫۲۰۰	۶٫۷۵۰	۹ تا ۹۰	۹۱۰ تا ۱۰٫۰۰۰	۹۳٫۲
	۷۶۲	۳٫۳۰۰	۴٫۶۰۰	۹ تا ۹۰	۹۱۰ تا ۱۰٫۰۰۰	۹۳٫۲
مارپیچی پیش رونده	۱۵۲	۸٫۰۰۰	۵٫۵۰۰	تا ۴٫۵	۲۷ تا ۲۲۷	۳٫۷۳
	۳۵۶	۴٫۰۰۰	۳٫۳۸۰	تا ۱۷	۴۵۳ تا ۱۳۶۰	۱۴٫۹
	۴۵۷	۳٫۵۰۰	۳٫۱۳۰	تا ۱۱٫۴	۴۵۳ تا ۱۳۶۰	۱۱٫۲
	۶۳۵	۳٫۰۰۰	۳٫۱۹۰	تا ۵۰٫۸	۲۲۷۰ تا ۱۱۰۰۰	۱۱۲
	۸۱۳	۱٫۸۰۰	۱٫۴۷۰	تا ۵۶٫۸	۲۷۲۰ تا ۹۱۰۰	۴۴٫۷
	۱۰۱۶	۱٫۶۰۰	۱٫۴۵۰	تا ۵۸	۹۱۰۰تا ۱۶۳۰۰۰	۷۴٫۶
	۱۳۷۲	۱٫۰۰۰	۷۷۰	تا ۱۷۰	۱۸۱۵۰تا ۵۴۴۰۰	۱۱۲
تخلیه تیغه‌ای	۵۰۸	۱٫۸۰۰	۹۲۰	ب	۰٫۰۲۸ [پ]	۱۴٫۹
	۹۱۵	۱٫۲۰۰	۷۴۰	ب	۰٫۱۱۵ [پ]	۲۲٫۴
	۱۷۲۷	۹۰۰	۷۸۰	ب	۰٫۵۷۴ [پ]	۲۹٫۸

[الف] پیشران توربینی.

[ب] به‌طور گسترده متغیر است.

[پ] حداکثر حجم جامداتی که کاسه می‌تواند داشته باشد.

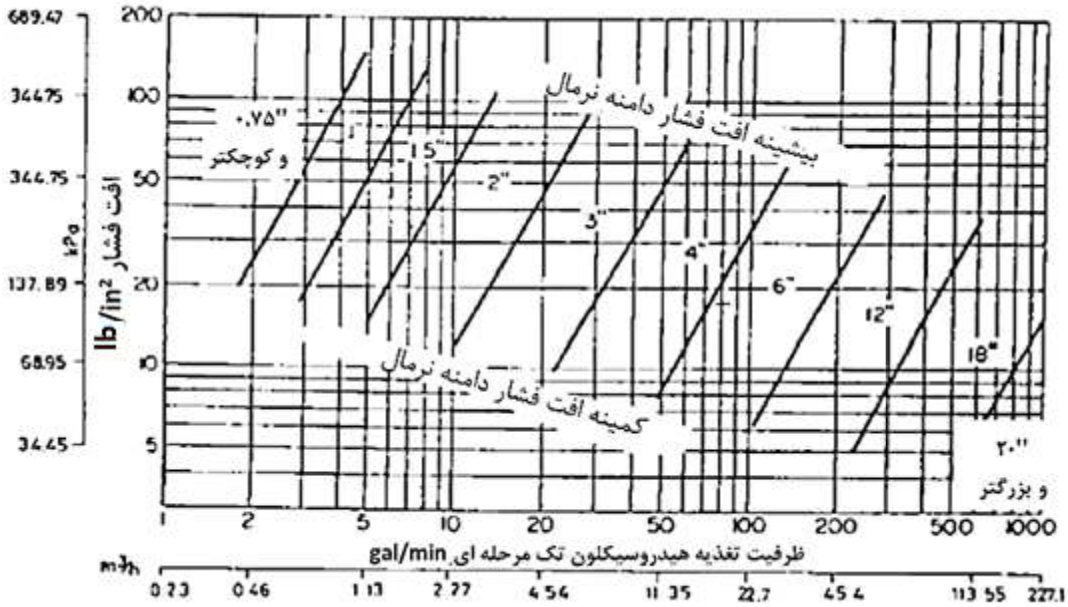
جدول پ- ۲- دسته‌بندی فیلترهای سانتریفیوژی بر اساس الگوی جریان

الگوی جریان	نیروی نوع بستر-ثابت	نیروی گریز از مرکز	ظرفیت سبد[الف] (m^3)
مایع: پیوسته (زمان تخلیه مواد جامد قطع می‌شود) جامدها: دوره‌ای	تخلیه دستی محور عمودی تخلیه بشکه‌ای تخلیه تیغه‌ای تخلیه تیغه‌ای محور افقی	۱۲۰۰ ۵۵۰ ۱۸۰۰ ۱۰۰۰	۰٫۴۵۳ ۰٫۵۵۶ ۰٫۴۵۳ ۰٫۵۵۶
الگوی جریان	**نیروی نوع بستر- متحرک**	**نیروی گریز از مرکز [ب]**	**ظرفیت جامدها [پ] (kg/h)**
مایع: پیوسته جامدها: پیوسته	سرند مخروطی زاویه گسترده اسکرول دیفرانسیلی ارتعاش محوری ارتعاش پیچشی نوسانی	۲۴۰۰ ۱۸۰۰ ۶۰۰ ۶۰۰ ۶۰۰	۶۸۰۰ ۱۳۶۰۰۰
	سرند استوانه‌ای دیفرانسیلی رفت و برگشتی	۶۰۰ ۶۰۰	۳۶۰۰۰ ۲۷۰۰۰

[الف] حجم جامدات فرآوری شده آماده تخلیه را به میزان یک‌سوم کاهش دهید
[ب] حداکثر نیروی توسعه‌یافته گریز از مرکز اسمی ($w^2.r/g$) که معمولاً در اندازه‌های بزرگ‌تر، مقدار آن کمتر است
[پ] حداکثر ظرفیت اسمی بزرگ‌ترین اندازه‌ها، مشروط به کاهش در موارد لزوم، جهت برآورده کردن عملکرد موردنیاز در کاربردهای خاص

پ-۱ بررسی ظرفیت هیدروسیکلون‌ها با اندازه‌های مشخص

اگر اختلاف فشار در یک واحد جداسازی هیدروسیکلون توسط شرایط فرایندی تثبیت شده باشد و یک دستگاه با اندازه مناسب انتخاب شود، ظرفیت واحد را می‌توان مطابق شکل پ-۱ تعیین کرد. درصورتی‌که یک هیدروسیکلون در محدوده فشار مشخص شده، ظرفیت کافی برای رفع مشکل معینی را نداشته باشد، چندین هیدروسیکلون به‌صورت موازی به هم متصل می‌شوند.



یادآوری- اگر اختلاف فشار موجود و دبی جریان یک هیدروسیکلون توسط فرایند تثبیت شود، می‌توان تناسب واحد انتخاب‌شده را با این نمودار بررسی کرد.

شکل پ- ۱- ظرفیت هیدروسیکلون

پیوست ت

(آگاهی‌دهنده)

فیلترهای مایع و بسترهای آن

ت-۱ انواع فیلتر

همان‌طور که در زیربند ۵-۳ اشاره شد، با در نظر داشتن مشخصه‌های جریان سه نوع از فرایندهای صاف‌کردن وجود دارد، فشار ثابت، جریان ثابت و فشار متغیر-جریان متغیر، از نظر نحوه عملکرد، صاف‌کردن را می‌توان به دو دسته پیوسته و ناپیوسته تقسیم‌بندی کرد.

فیلترهای فشاری و فیلترهای استوانه‌ای تحت خلا به ترتیب از شناخته‌شده‌ترین فیلترهای ناپیوسته و پیوسته هستند.

پرکاربردترین انواع فیلترهای مایع با نام‌های زیر شناخته می‌شوند:

— فیلترهای متخلخل[۱]
— فیلترهای صفحه‌ای دوار[۲]
— فیلترهای تسمه‌ای[۳]
— صافی‌های توری
— سرندها
— فیلترهای کارتریجی[۴]
— فیلترهای شمعی[۵]
— فیلترهای پیش پوششی
— فیلترهای فشاری[۶]
— فیلترهای بشکه‌ای دوار[۷]
— فیلترهای ورقه‌ای[۸]
— فیلترهای کف ثابت[۹]

---

1 -Sintered filters
2- Rotary disk filters
3- Belt filters
4- Cartridge filters
5- Candle Filters
6- Filter presses
7- Rotary drum filters
8- Leaf Filters
9- Tipping pan Filters

ت-۲ بستر فیلتر

انواع مختلفی از بسترهای فیلتر موجود است و همه آن‌ها نقش مهمی در فرایند صاف‌کردن دارند.

این مجموعه شامل: کاغذ، الیاف طبیعی و مصنوعی، پودرها، نمد، ورق و فیلم پلاستیکی، سرامیک، کربن، نخ پنبه، پارچه، سیم بافته‌شده، پارچه بافته‌شده، غشاهای آلی و معدنی، فلز سوراخ‌دار، فلزات متخلخل و بسیاری مواد دیگر است. این موارد به‌طورکلی به چهار گروه تقسیم می‌شوند، بسترهای نوع عمومی، بسترهای نوع غشایی، سیم بافته‌شده و بستر ورقه‌ای -انبساطی (آکاردئونی)[1].

ت-۲-۱ انواع بستر رایج فیلترها

کاغذهایی با قابلیت حذف ذرات ریزتر به‌عنوان یک مزیت و مقاومت مکانیکی محدود به‌عنوان عیب اصلی، ورق‌های فیلتر، پارچه‌های طبیعی، پارچه‌های مصنوعی اعم از تک‌رشته‌ای یا چند رشته‌ای، نمدهای سوزنی، بستر کراندار، رزین پشمی الکترواستاتیک، پشم‌های معدنی، خاک دیاتومه، پرلیت، هیدروژل‌های سیلیکایی، الیاف شیشه، پارچه زغالی، فیبر کربن، آنتراسیت و محیط‌های سرامیکی از انواع بستر فیلتر در این گروه هستند. کاربردهای فیلترهای پارچه‌ای به همراه برخی از مزایا و معایب این نوع بستر در جدول ت-۱ نشان داده شده است.

ت-۲-۲ فیلترهای غشایی

ذرات با قطرهای کوچک‌تر از ۰٫۰۰۱ µm تا ۱ µm را می‌توان از طریق فرایندهای میکروفیلتراسیون، اولترافیلتراسیون، اسمز معکوس، دیالیز (تراکافت)، الکترودیالیز (تَراکافت برقی) با استفاده از غشاهای متخلخل، میکرو متخلخل و غیر متخلخل صاف کرد. غشاها ممکن است از پلیمرها، سرامیک و فلزات ساخته شوند. مشخصات معمول برای غشاهای فلزی در جدول الف-۱ نشان داده شده است.

ت-۲-۳ توری سیمی بافته‌شده[2]

از توری سیمی به‌طور گسترده‌ای برای فرایند صاف‌کردن استفاده می‌شود و در طیف گسترده‌ای از مواد و اندازه‌های مش در دسترس است. می‌توان آن را تقریباً از هر فلزی که به‌اندازه کافی انعطاف‌پذیر باشد تا به شکل سیم کشیده شود و ترجیحاً از موادی با جنس برنز فسفر، فولاد زنگ‌نزن از نوع نیکل/ کروم- ۳۰۴ ANSI، ۳۱۶ و L۳۱۶ و مونل بافت، توری سیمی به‌صورت اسمی از طریق شماره مش و اندازه سیم، یعنی N مش M میلی‌متر (یا اندازه‌گیر استاندارد سیم) توصیف می‌شود. اعداد مش ممکن است از محدوده ۲ (۲ سیم در هر ۲۵٫۴ mm یا یک اینچ) تا ۴۰۰ متغیر باشد، توری منفذ ریز با بیش از ۱۰۰ سیم در

1- Expanded sheet media
2- Woven wire

هر mm ۲۵/۴، گازبافت (یا پارچه تور) نامیده می‌شود. توری‌های سیمی ممکن است بر اساس میزان بازشوندگی دهانه منفذ نیز توصیف شوند، به‌عنوان‌مثال:

– توری منفذ درشت با اندازه منافذ باز mm ۱ تا mm ۱۲؛

– توری منفذ متوسط با اندازه منافذ باز mm ۰/۱۸ تا mm ۰/۹۵ (µm ۱۸۰ تا µm ۹۵۰).

– توری منفذ ریز با اندازه منافذ باز mm۰/۰۲۰ (µm ۲۰ تا µm ۱۶۰).

مشخصات بافت‌های مختلف برای توری‌های سیم بافته‌شده و مشخصات توری سیمی به ترتیب در جدول‌های الف-۲ و الف-۳ نشان داده شده است.

ت-۲-۴ فیلتر فلزی بافته نشده[1] و ورق آکاردئونی

ورق‌های فلزی سوراخ‌دار، صفحات سوراخ شده، صفحات نورد شده و فیلتر فلزی آکاردئونی نمونه‌هایی از این نوع بسترهای فیلتر هستند. اکثر سرند ها، فیلترهای هوا و گاز و غیره معمولاً با استفاده از این نوع بستر فیلتر ساخته می‌شوند. عملکرد قابل پیش‌بینی و یکپارچه، ویژگی اصلی آن است که از کنترل‌پذیری اندازه بازشوندگی منفذ فیلتر توسط سازنده ناشی می‌شود. برخی از داده‌های مفید برای صفحات سوراخ‌دار در جدول-های الف-۴ و الف-۵ نشان داده شده است.

1- Non-woven metal mesh

جدول ت-۱- کاربردهای انواع بافت‌ها به‌عنوان لایه فیلتر

نوع مواد	کاربرد	بیشترین دمای عملیاتی (°C)	مزایای عمده	معایب عمده
کتان	محلول‌های آبی، روغن‌ها، چربی‌ها، واکس‌ها، اسیدهای سرد و اسیدهای آلی فرار	۹۰	ارزان	در معرض حمله کپک‌ها و قارچ‌ها
نخ‌پشم کنفی	محلول‌های آبی	۸۵	درزبندی آسان اتصالات در زمان پرس فیلتر	انقباض زیاد. در معرض حمله حشرات در انبار
	محلول‌های آبی و اسیدهای رقیق	۸۰	درزبندی آسان اتصالات در زمان پرس فیلتر	انقباض زیاد. در معرض حمله حشرات در انبار
پلی‌آمید (نایلون)	اسیدها، مواد پتروشیمیایی، محلول‌های آلی، سوسپانسیون‌های قلیایی	۱۵۰	استحکام یا انعطاف‌پذیری بالا، تخلیه آسان کیک، عمر طولانی	جذب آب، نامناسب برای محیط قلیایی
پلی‌استر (تریلین)	اسیدها، محلول‌های آلی رایج، عامل اکسیدکننده	۱۰۰	استحکام و انعطاف‌پذیری خوب، انقباض اولیه	نامناسب برای محیط قلیایی
پلی وینیل کلرید	اسیدها و قلیاها	تا ۹۰		امکان ترد شوندگی. مقاومت گرمایی ضعیف.
پلی تترا فلورواتیلن	تقریباً تمام مواد شیمیایی	۲۰۰	مقاومت شیمیایی بسیار بالا. تخلیه عالی کیک	هزینه بالا
پلی‌اتیلن	اسیدها و قلیاها	۷۰	تخلیه کیک آسان	نرم شوندگی در دمای متوسط
پلی‌پروپیلن	اسیدها، قلیاها، محلول‌ها (به‌جز آروماتیک‌ها و هیدروکربن‌های کلردار)	۱۳۰	جذب رطوبت کم	
دینز[1]	اسیدها، قلیاها، محلول‌ها، مواد پتروشیمیایی	۱۱۰		
اورلون	اسیدها (شامل کرومیک اسید)، مواد پتروشیمیایی	بیش از ۱۵۰		
وینیون [الف]	اسیدها، قلیاها، محلول‌ها، مواد پتروشیمیایی	۱۱۰		
الیاف شیشه	اسیدهای گرم غلیظ، محلول‌های شیمیایی	۲۵۰	مناسب برای گستره وسیعی از محلول‌های شیمیایی، گرم یا سرد (به‌جز قلیاها)	وارفتگی در زمان خم‌شدگی. مقاومت سایشی ضعیف

[الف] وینیون نوعی فیلتر چندلایه از جنس کوپلیمر کلروینیل با وینیل استات است

1- Dynes

کتاب‌نامه

[1] Chemical Process Equipment, Selection and Design, by Stanly M,Walas, 1988.

[2] Filters for removing particles from hydroprocesser feeds, Type selection and design rules, Shell Company Manual, DEP 31,27,21,10-Gen., March 2001.

[3] Filter and Filtration Handbook, by Ken Sutherland, fifth edition, 2008, Perry's Chemical Engineer's Handbook, 5th edition, section 19, page 100

[4] IPS-E-PR-310, Engineering standard for process design of water systems

[5] IPS-G-ME-150, General standard for towers, reactors, pressure vessels and internals.