

تاثیر پارامترهای عملیاتی و طراحی در طبقه بندی پودر با استفاده از سیکلون و مخزن ته نشینی

محمد صادق ترکش اصفهانی^۱، سیروس شفیعی^{۲*}، حسین عجمین فهادان^۳، میلاد ایلچی زاده^۱

۱. کارشناس مهندسی شیمی، دانشگاه صنعتی سهند

۲. دانشیار دانشکده مهندسی شیمی، دانشگاه صنعتی سهند، (shafiei@sut.ac.ir)*

۳. کارشناس مهندسی شیمی، دانشگاه صنعتی سهند

چکیده

انتقال هوایی به جابجایی مواد توسط هوا درون لوله گفته می شود. سرعت هوا در این سیستم ها یک عامل حیاتی می باشد. در این پروژه از انتقال در فاز رقیق با سرعت 10 m/s استفاده شده است. مواد از درون هاپرها توسط شیرهای گردان وارد خط لوله شده و توسط جدا کننده های خاصی از قبیل سیکلون ها در مکانهای مورد نظر جدا می شوند. جدا کننده ها بسته به اینکه چگونه طراحی شده باشند، قدرت جدا سازی مواد تا یک حد مشخص از لحاظ اندازه ذره را دارند. در این پروژه از این اصل برای طبقه بندی مواد از نظر اندازه ذره استفاده شده است. به این ترتیب که مواد پس از ورود به لوله وارد یک مخزن ته نشینی وزنی می شوند. در این مخزن با توجه به نوع طراحی آن و پارامترهای عملیاتی مثل سرعت هوا و خواص فیزیکی ذره، مواد درشت تر از $74 \mu\text{m}$ جدا شده، مواد ریزتر وارد سیکلون گردیده و در آن از هوا جدا می گردند. این سیستم با تالک، کائولن و سیلیس آزمایش شد که تاثیر عوامل پیش گفته روی راندمان جداسازی آورده شده است.

حقوق ناشر محفوظ است.

مشخصات مقاله

تاریخچه مقاله :

دریافت ۵ شهریور ۱۳۸۷

دریافت پس از اصلاحات ۲۸ مهر ۱۳۸۸

پذیرش نهایی ۳۰ مهر ۱۳۸۸

کلمات کلیدی :

طبقه بندی پودرها

انتقال نئوماتیکی

سیکلون

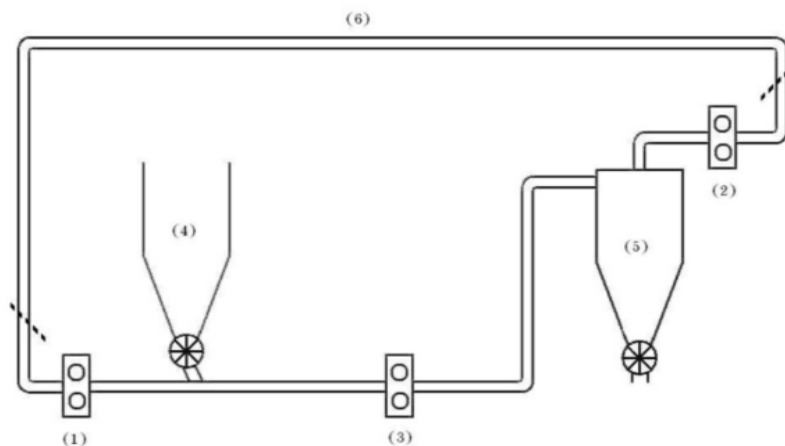
مخزن ته نشینی

* عهده دار مکاتبات

۱- مقدمه

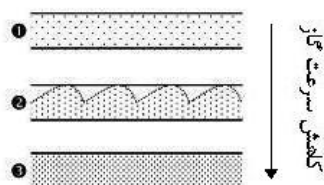
سیستم های نئوماتیکی را می توان از لحاظ نوع، تجهیزات و شکل جریان تقسیم بندی کرد. از نظر نوع این سیستم ها به انواع فشار مثبت، منفی و ترکیبی قابل تقسیم اند که در این میان سیستم های ترکیبی مزایای هر دو نوع دیگر را داراست و معایب هیچ کدام را ندارند. از نظر تجهیزاتی این سیستم ها به انواع باز و بسته تقسیم می شوند که انتقال باز در مواردی که آلودگی اهمیت چندانی ندارد مورد استفاده قرار می گیرد. سیستم های ترکیبی معمولاً در مورد مواد سمی و مواردی که از گاز خنثی به جای هوا استفاده شده، به کار برده می شود [۱]. نمایی از انواع این حالات در شکل (۱) آورده شده است.

انتقال هوایی (نئوماتیکی)، به انتقال مواد جامد درون لوله ها توسط هوا گفته می شود. در این فرآیند مواد به صورت سوسپانسیون مواد درون هوا (فاز رقیق)، یا غیر سوسپانسیونی (فاز غلیظ)، منتقل می شوند. از مزایای این فرآیند می توان به اشغال فضای بسیار کمتر نسبت به نوار های نقاله (لوله های انتقال را می توان از کنار دیوار ها، نزدیک سقف و یا حتی زیر زمین انتقال داد)، آلودگی ناچیز و قدرت کار با مواد سمی و منفجره را نام برد. معایب این سیستم ها محدودیت آنها در مسافت و دبی مواد جامد به دلیل محدودیت های کمپرسور می باشد که این مشکلات با پیشرفت کمپرسور ها روز به روز کمتر می گردد [۱].



شکل (۱): انواع انتقال (۱) انتقال فشار مثبت (۲) فشار منفی (۳) ترکیبی (۴) مخزن خوراک دهی (۵) مخزن دریافت (۶) سیستم بسته [۱]

حالت بیشتر برای انتقال پودر و گرانول با نرخ زیاد مورد استفاده قرار می گیرد. [۲،۳،۴]

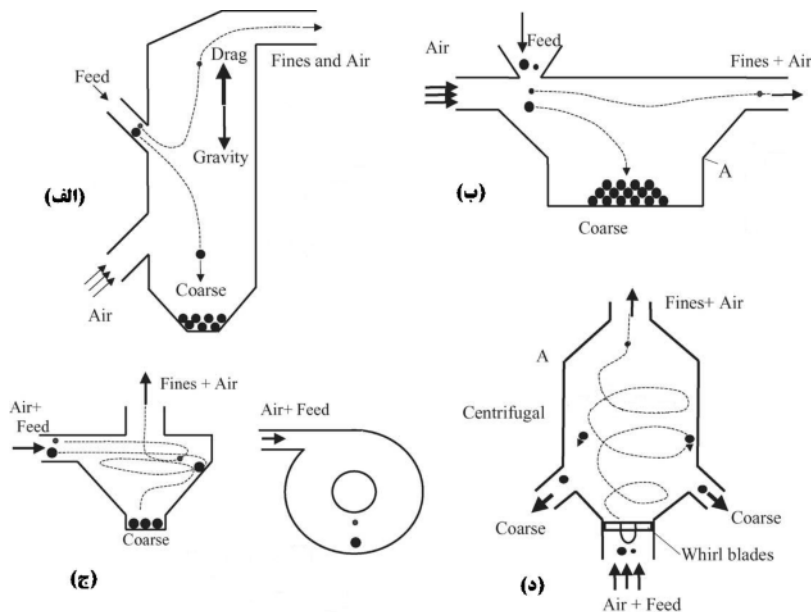


شکل (۲): انواع شکل جریان مواد، (۱) فاز رقیق،

(۲) توده ای، (۳) فاز غلیظ [۲،۳،۴]

از نظر شکل جریان مواد را می توان در فاز غلیظ و رقیق منتقل کرد. در حالت رقیق ذرات جامد به عنوان ذراتی مجزا عمل می نمایند که به صورت کامل توسط گاز احاطه شده اند. نیروی اعمالی بر این ذرات نیروی آیرودینامیکی محلی از طرف گاز است و می توان از نیروهای حاصل از برخورد ذرات چشم پوشی نمود. این حالت بیشتر برای مواردی که هدف جداسازی ذرات می باشد، کاربرد دارد. اما در طرف مقابل در حالت غلیظ ذرات بطور کامل توسط گاز احاطه نشده اند و نقش نیروهای بین ذرات پررنگ تر می باشد. این

مورد پودرها و گرانول ها استفاده می نمایند، جداسازها نقش مهمی دارند. تجهیزات جداساز هوایی به چهار دسته تقسیم می شوند: گرانشی با جریان غیر همسو، گرانشی با جریان متقاطع، سانتریفیوژی با جریان غیر همسو و سانتریفیوژی با جریان متقاطع که در شکل (۳) نمای کلی از این دستگاهها آورده شده است. [۵]



شکل (۳): انواع تجهیزات جداساز هوایی، (الف) گرانشی با جریان غیر همسو، (ب) گرانشی با جریان متقاطع، (ج) سانتریفیوژی با جریان غیر همسو، (د) سانتریفیوژی با جریان متقاطع [۵]

و سرامیک کاربردهای فراوانی دارند. همچنین در زمینه طراحی و ساخت و مدلسازی تجهیزات جداساز هوایی به خصوص سیکلون ها تحقیقات زیادی انجام شده است [۱۰، ۱۱، ۱۲]. ژیاویان وانگ در سال ۱۹۹۸ به بررسی جداکننده های هوایی سانتریفیوژی از نوع جریان متقاطع [۱۳] و کیانپو وانگ به مطالعه جداکننده های هوایی با جریان متقاطع [۱۴] پرداختند. اما در زمینه مخازن طبقه بندی کننده گرانشی تحقیقات کمی صورت گرفته است. اخیراً کولایتیس در سال ۲۰۰۲ به مدلسازی یک نوع خاص از این مخازن پرداخته است [۱۵].

علی رغم مطالعات گسترده ای که در زمینه های مختلف و روش های گوناگون طبقه بندی ذرات و گرانول ها با استفاده از جداسازهای هوایی انجام یافته است، ولی در بیشتر این موارد مواد مورد استفاده عمدتاً سیلیس،

مرز مشخصی بین فاز غلیظ و رقیق نمی توان یافت. برای یک نسبت ثابت از بار جامد در گاز وقتی سرعت جریان گاز کاهش یابد حالت جریان از پایدار (فاز رقیق) به ناپایدار (توده ای) و در نهایت دوباره به حالت پایدار (فاز غلیظ) تبدیل می شود [۴، ۳، ۲]. در بین تجهیزاتی که از روش های انتقال هوایی در

در زمینه جداسازی هوایی تحقیقات متنوعی صورت گرفته است. در سال ۱۹۹۲ پان به بررسی اثر خواص فیزیکی مواد بر کارایی سیستم های انتقال هوایی پرداخت [۶]. او در سال ۱۹۹۹ کار خود را با بررسی انواع حالات جریان که در این سیستم ها روی می دهد کامل نمود [۷]. کلرک در سال ۱۹۹۹ به دلیل اهمیت زغال سنگ و محصولات جانبی آن و کاربرد فراوان انتقال نئوماتیکی در صنایع مربوط به زغال سنگ به بررسی شرایط عملیاتی و پارامترهای طراحی برای انتخاب ساخت یک واحد هوایی جهت انتقال و جداسازی خاکستر بادی پرداخت [۸]. در مورد طبقه بندی پودرهای خیلی ریز نیز در سال ۲۰۰۳ تحقیقاتی توسط موریموتو برای طراحی یک سیستم هوایی جدید صورت گرفت [۹]. این ذرات در صنایع مختلف همچون صنایع آرایشی بهداشتی

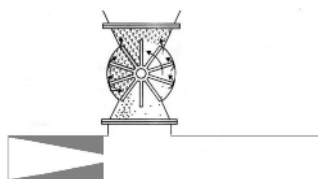
مخزن نگهداری: این تجهیزات معمولاً برای نگهداری و تخلیه پودر ها مورد استفاده قرار می گیرند. برای طراحی این مخزن از روش جنیک^۱ برای داشتن یک جریان جرمی یکنواخت استفاده شد که در پیوست ۱ خلاصه روش جنیک توضیح داده شده است [۱۷، ۱۸]. مشخصات مخزن در جدول (۱) آورده شده است.

جدول (۱): مشخصات مخزن نگهداری

قطر دهانه ورودی	7cm
قطر دهانه خروجی	2cm
ارتفاع قسمت سیلندر	27cm
ارتفاع قسمت هابر	13cm
ارتفاع کل	40cm

شیر گردان

این دستگاه رایج ترین وسیله برای خوراک دهی پودر ها می باشد. دبی مواد جامد در این وسیله توسط سرعت چرخش مواد جامد کنترل می گردد. از معایب این شیرها می توان به نشت هوا و ایجاد گرد در سیستم های فشار مثبت اشاره کرد. در ابتدا از یک شیر گردان از جنس آلومینیم با ۱۵ پره استفاده شد که به دلیل فاصله پره ها با دیواره (در حدود ۱ mm) و نزدیکی دیواره های هر پره، مشکل نشت زیاد هوا و عدم تخلیه مواد از دیواره وجود داشت. به همین دلیل از یک شیر با پره هایی از جنس تفلون با ۸ پره و فاصله پره ها از محفظه در حدود ۰/۰۵ mm استفاده شد که توسط یک موتور الکتریکی با سرعت ۲۷ rpm می چرخد. این شیر هنوز کمی با مشکل نشت مواجه بود. که دلیل آن کار کردن دستگاه در فشار مثبت بود. در نهایت با قراردادن یک نازل زیر شیر درون خط لوله و ایجاد یک خلاء اندک این مشکل برطرف گردید. در شکل (۴) نحوه قرارگیری نازل در خط لوله نمایش داده شده است.



شکل (۴): شماتیک ترکیب نازل و شیر گردان

کائولن، پودر زغال و یا گرانول های شیشه ای و رزین بوده اند و تحقیقاتی در خصوص طبقه بندی اندازه ذرات تالک صورت نگرفته است. این امر در حالی است که با توجه با اینکه مواد ریزتر از $100 \mu\text{m}$ در ناحیه مرزی جداسازی با الک می باشند [۱۶]، در صورت وجود مقدار کمی رطوبت و یا استفاده از مواد چسبنده الک کاملاً بسته می شود. همچنین پروژه هایی در زمینه اثر عوامل و پارامترهای عملیاتی و طراحی برای یک سیستم جامع جداساز هوایی که شامل تجهیزات مختلفی باشد صورت نگرفته است. به همین دلیل در این تحقیق از انتقال هوایی به عنوان یک روش ته نشینی برای جدا سازی پودر های نرم و چسبنده نظیر تالک استفاده شده است. همچنین شرایط و پارامترهای عملیاتی موثر در کارایی سیستم های هوایی جداساز مورد بررسی قرار گرفته است.

۲- مواد و تجهیزات

۲-۱- مواد شیمیایی

در این تحقیق به منظور بررسی شرایط و عوامل عملیاتی موثر بر جداسازی ذرات از سه نوع ماده تالک، کائولن و سیلیس که هر سه دارای دانسیته نزدیکی هستند، استفاده گردید. با وجود استفاده از این سه ماده تمامی طراحی بر اساس تالک انجام گرفت.

۲-۲- تجهیزات

تجهیزات به کار رفته در این پایلوت شامل کمپرسور، خوراک دهنده، مخزن ته نشینی وزنی، سیکلون و فیلتر می باشد. لازم به ذکر است که به دلیل تنوع مواد مورد آزمایش و وابستگی طراحی به نوع ماده، طراحی ها برای تالک به عنوان یکی از مشکل ترین مواد از لحاظ نگهداری و انتقال، انجام گرفت. برای تامین هوای فشرده از یک کمپرسور اسکرو و برای فیلتر هوایی از ابر به صورت چند لایه استفاده شده است.

خوراک دهنده

خوراک دهنده ساخته شده شامل سه قسمت می باشد، مخزن نگهداری، شیر گردان، نازل.

¹ Jenike

مخزن ته نشینی وزنی

این مخازن ساده ترین دستگاه های جداسازی ذرات جامد از هوا و از انواع گرانثی با جریان متقاطع هستند که بر اساس سقوط ذرات به دلیل کاهش سرعت ناشی از افزایش سطح مقطع کار می کنند. بطوریکه ذرات درشت تر در دهانه ورودی و ذرات کوچکتر در دهانه خروجی می افتند. در نهایت نیز ذرات ریزتر از ۷۴µm از دهانه خروجی عبور می کنند. از آنجا که نقطه جدایش ۷۴µm در نظر گرفته شده بود و با توجه به معادلات مربوطه [۱۹]، که در پیوست (ب) آورده شده است، مخزن ته نشینی وزنی مطابق جدول (۲) ساخته شد.

جدول (۲): مشخصات مخزن ته نشینی وزنی

طول (cm)	عرض (cm)	ارتفاع (cm)
51	10	20

سیکلون

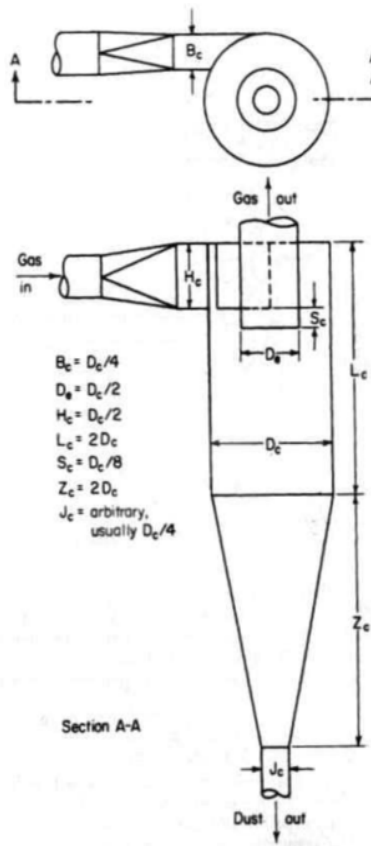
این وسیله رایج ترین دستگاه برای جداسازی ذرات جامد می باشد که بر اساس نیروی گریز از مرکز ناشی از چرخش هوا درون سیکلون کار می کند. نمای کلی یک سیکلون در شکل (۵) آورده شده است.

دو روش برای طراحی سیکلون ها وجود دارد. در روش اول یک سیکلون استاندارد معرفی شده، سپس روش هایی برای افزایش بازده آن معرفی می گردد

[۱۹،۲۰]. اولین فاکتوری که در طراحی سیکلون ها اثر گذار است قطر خود سیکلون می باشد. در یک افت فشار ثابت هر چه قطر سیکلون کاهش یابد بازده آن افزایش می یابد. در این پروژه نیز برای رسیدن به بازدهی بیشتر قطر سیکلون کاهش یافت. کاهش قطر دهانه خروجی معمولاً بازده و افت فشار سیکلون را افزایش می دهد. وقتی دهانه خروجی کاهش یابد جریان گردابی مرکزی به طول بیشتری برای تولید و هماهنگ شدن نیازمند است در نتیجه در صورت کاهش دهانه خروجی طول سیکلون باید افزایش یابد. بنابراین به دلیل کاهش قطر دهانه خروجی مارپیچ داخلی طول قسمت استوانه ای بر خلاف معمول که می بایست دو برابر قطر باشد، به ۴ برابر قطر تغییر یافت. دلیل دیگر این کار محدودیت تغییر در زاویه قسمت مخروطی بود. زاویه قسمت مخروطی باید حداقل ۶۰ درجه و برای ذرات چسبنده بیشتر باشد. همچنین با افزایش سرعت ورودی بازده افزایش می یابد که این پارامتر نیز در ادامه کار اعمال گردید. در روش دوم انواع سیکلون ها برای مقاصد خاص طبقه بندی شده و به صورت جدولی ارائه می شوند [۲۱]. در این پروژه از روش اول برای طراحی سیکلون مورد نظر استفاده شده که مشخصات سیکلون اولیه و نهایی در جدول (۳) آورده شده است.

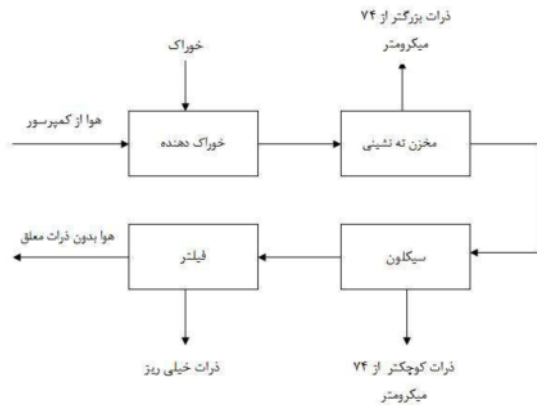
جدول (۳): مشخصات سیکلون قبل و بعد از اعمال فاکتورهای افزایش بازده

	قبل از اعمال پارامترهای افزایش بازده	بعد از اعمال پارامترهای افزایش بازده
Bc	4 cm	4 cm
Hc	8 cm	8 cm
De	6.5 cm	8 cm
Lc	60 cm	32 cm
Sc	22 cm	2 cm
Zc	32 cm	32 cm
Jc	3 cm	4 cm
Dc	16 cm	14.7cm



شکل (۵): نمای یک سیکلون استاندارد [۱۹]

از آنجا که سیکلون ها بازدهی کمتر از ۱۰۰٪ دارند برای جلوگیری از آلودگی محیط در پایان از یک فیلتر استفاده شد. طرحواره پایلوت در شکل (۶) نشان داده شده است.



شکل (۶): طرحواره پایلوت

این پایلوت برای نقطه جدایش $74\mu\text{m}$ طراحی گردیده است. خط لوله با قطر 51mm در نظر گرفته شد که قبل از مخزن ته نشینی در یک مرحله افزایش سطح پیدا کرده به 60mm می رسد. علت این امر بازگردانی سرعت به شرایط طراحی می باشد.

با وجود اعمال فاکتور های افزایش بازده سیکلون بازده مطلوبی نداشت بنابراین با توجه به اینکه یوشیدا و همکارانش در ۲۰۰۴ با اضافه کردن یک جریان جانبی به ورودی سیکلون و افزایش سرعت آن توانست بازده سیکلون را افزایش دهد [۱۰]، این نظریه نیز مورد آزمایش قرار گرفت. به همین دلیل با تزریق هوای اضافی قبل از سیکلون سرعت در ورودی از 6m/s به 30m/s افزایش یافت.

۳- طراحی پایلوت

برای ساخت پایلوت از انتقال در فاز رقیق در حالت فشار مثبت استفاده شده است. در ابتدا فرآیند به این ترتیب در نظر گرفته شد که مواد توسط یک خوراک دهنده به درون سیستم تزریق شده در یک مخزن ته نشینی مواد درشت تر از $74\mu\text{m}$ جدا شده مواد ریزتر وارد سیکلون می گردند.

استفاده شد و توسط یک آنومیتزر کالیبره گردید. در نهایت این سیستم با کائولن، تالک و سیلیس آزمایش گردید. نمایی از پایلوت در شکل (۷) آورده شده است.

سرعت درون خط لوله 10 m/s در نظر گرفته شده که قبل از سیکلون با تزریق هوا به 30 m/s می رسد. برای اندازه گیری سرعت هوا از همان نازل زیر شیر گردان



شکل (۷): نمای کلی پایلوت
a سیکلون، b مخزن ته نشینی، c فیلتر، d هاپر، e شیر گردان

حاصل از مواد مختلف در جداول (۴ تا ۶) آورده شده است. همچنین نمودار هیستوگرام مربوط به کائولن برای حالت سه گانه در شکل‌های (۸ و ۹) و یک نمونه از تصاویر گرفته شده با میکروسکوپ برای مقایسه عملکرد سیستم در شکل (۱۰) آورده شده است.

به دلیل اینکه سرعت 10 m/s نقطه مرزی سرعت در فاز رقیق است مقداری از مواد درون خط لوله ته نشین می شوند که در جداول (۴ و ۵) قابل رویت است. با افزایش سرعت به حدود 12 m/s می توان بر این مشکل غلبه کرد. باید توجه داشت که مخزن ته نشینی طراحی شده قابلیت کاربری در سرعت‌های بالاتر از 12 m/s متر بر ثانیه را ندارد زیرا دامنه دانه بندی ذرات جمع آوری شده در این حالت توسط مخزن ته نشینی در حدود $150 \mu\text{m}$ و بالاتر می باشد که الک ها نیز قادر به جداسازی این ذرات می باشند.

۴- آنالیز ذرات

برای بررسی نتایج، به دلیل ناکار آمدی الک در این اندازه ذرات، از یک میکروسکوپ نوری مدل (Leica) مجهز به دوربین (Leica 320 FDC) در بزرگنمایی های $40\times$ و $200\times$ استفاده شد. به این ترتیب که در هر آزمایش سه نمونه تصادفی تهیه و از هر نمونه پنج عکس تصادفی گرفته می شد و سپس توسط نرم افزارهای آنالیزر همراه میکروسکوپ (Image management) دانه بندی بررسی می گردید. پس از آنالیز داده های میکروسکوپ داده ها به نرم افزار آماری SPSS منتقل شده و نمودارهای هیستوگرام کشیده شد.

۵- ارائه نتایج و تحلیل یافته ها

در این تحقیق پایلوت ساخته شده برای ماده تالک طراحی شده و سپس مورد آزمایش قرار گرفت. نتایج

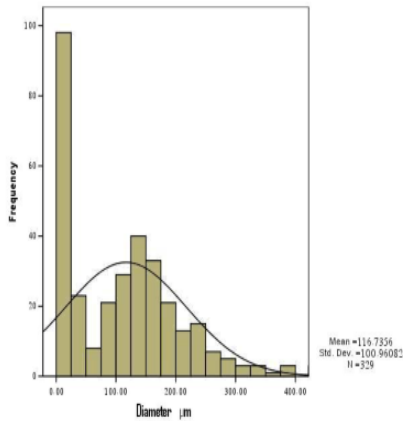
جدول (۴): نتایج مربوط به تالک

10±0/5	سرعت هوای ورودی (m/s)	10±0/5	سرعت هوای ورودی (m/s)
8/5±0/5	افت فشار کل (kPa)	8/5±0/5	افت فشار کل (kPa)
100	وزن اولیه (gr)	50	وزن اولیه (gr)
30	وزن مواد جمع آوری شده در سیکلون (gr)	40	وزن مواد جمع آوری شده در سیکلون (gr)
65	وزن مواد جمع آوری شده در مخزن (gr)	10	وزن مواد جمع آوری شده در مخزن (gr)

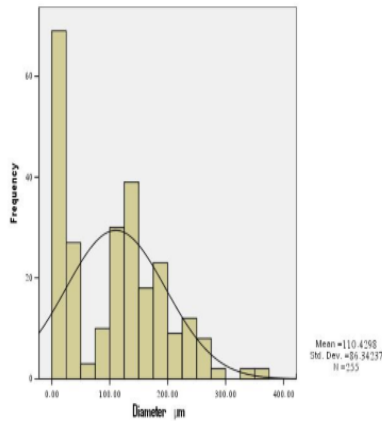
جدول (۵): نتایج مربوط به سیلیس

جدول (۶): نتایج مربوط به کائولن در سه آزمایش

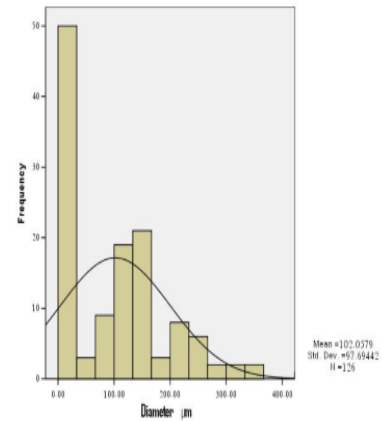
	آزمایش 1	آزمایش 2	آزمایش 3
سرعت هوای ورودی (m/s)	9.5±0.5	10±0.5	10.5±0.5
افت فشار کل (kPa)	8.2±0.5	8±0.5	8.5±0.5
وزن اولیه (gr)	50	50	50
وزن مواد جمع آوری شده در سیکلون (gr)	14	13	15
وزن مواد جمع آوری شده در مخزن (gr)	35	35	34



آزمایش ۱

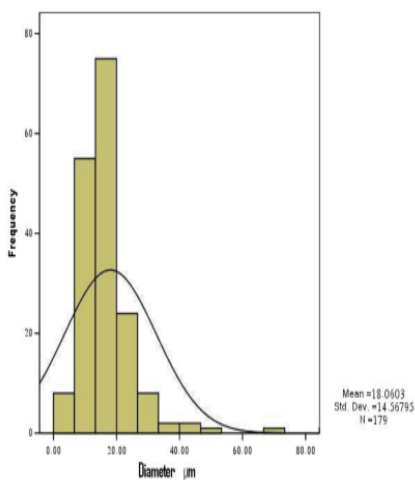


آزمایش ۲

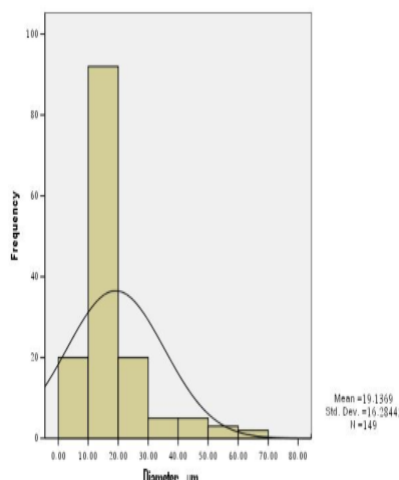


آزمایش ۳

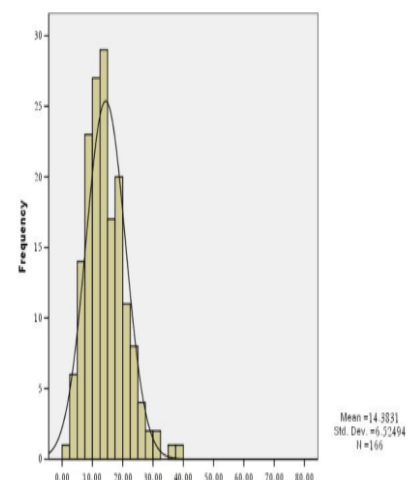
شکل (۸): نمودار هیستوگرام مخزن ته نشینی برای ذرات کائولن در آزمایش های ۱ و ۲ و ۳ (تعداد ذرات بر حسب قطر)



آزمایش ۱



آزمایش ۲



آزمایش ۳

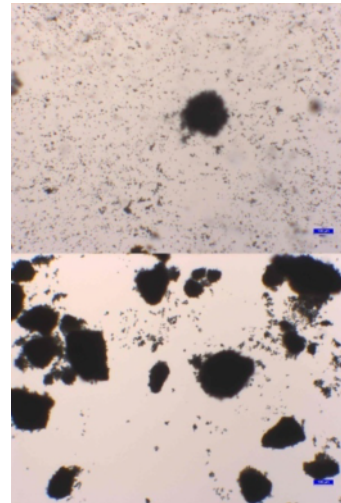
شکل (۹): نمودار هیستوگرام سیکلون برای ذرات کائولن در آزمایش های ۱ و ۲ و ۳ (تعداد ذرات بر حسب قطر)

همان نسبت مقدار پودر وارد شده به مقدار هوا در خط لوله می باشد. زیرا با انجام آزمایشات متعدد با مقادیر مختلف درصد بارگذاری میزان این ذرات ریز با افزایش درصد بارگذاری افزایش یافت. می توان نتیجه گرفت که اگر این نسبت از ایتیم خود بالاتر باشد باعث می گردد تا ذرات درشت تر در هنگام نشست در مخزن ته نشینی به همراه خود مقداری از ذرات ریزتر را به پایین بکشند که این مورد در تصویر ذرات مخزن ته نشینی به وضوح قابل مشاهده است. در یک مورد بخصوص برای نشان دادن این خاصیت از سیلیس در سه بازه اندازه ذرات با نسبت مساوی استفاده شده است که همانطور که در شکل (۱۱) مشاهده می شود در ورودی به مخزن اکثر ذرات در بازه ۱۰۰ میکرومتر و یا بزرگتر می باشند اما در خروجی مخزن به شکل جالبی اکثر ذرات بسیار ریزتر از ۱۰۰ میکرومتر می باشند.

اکنون اگر شکل (۸) که بیانگر نمودار هیستوگرام مخزن ته نشینی در سه آزمایش با سرعت های مختلف می باشد، را دقیق تر مشاهده گردد به این مطلب پی برده می شود که میله اول هر سه نمودار که نشان دهنده ذرات با اندازه کمتر از ۲۵ میکرون است، مقدار قابل توجهی از آن را نشان می دهد که بیانگر همان مطلبی است که در بالا به آن اشاره شد که در طراحی مخزن های ته نشینی که تا بحال منتشر گردیده، ذکر نشده است. همچنین از این نمودار می توان فهمید تغییر سرعت نقش موثری در این پدیده نداشته زیرا در سرعت های مختلف قابل اجرا در این پایلوت این پدیده مشاهده شده است. جایی که سرعت تاثیر خود را نشان داده مربوط به بازه مواد بین ۲۵ تا ۷۵ میکرون است که این مواد در بازه ته نشینی نیستند و البته اندازه آنها بزرگتر از آن است که با ذرات درشت تر از خود ته نشین شوند بنابراین مقدارشان در مخزن کم است و هر چه سرعت بالاتر برده شود مقدار کمتری از این مواد مشاهده می گردد.

با توجه به نمودار هیستوگرام سیکلون در سه سرعت آزمایش شده در شکل (۹) می توان به این نکته پی برد که هر چه سرعت افزایش می یابد بازده سیکلون نیز افزایش می یابد و سیکلون مواد را در بازه طراحی شده

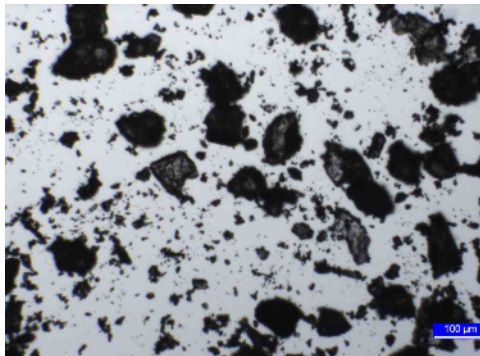
با توجه به جداول ارائه شده در مورد بازدهی سیستم برای مواد مختلف بازده سیکلون برای کائولن، تالک و سیلیس به ترتیب برابر ۳۰، ۸۰ و ۳۰ درصد و بازده مخزن ته نشینی برای این مواد برابر ۶۸، ۲۰ و ۶۵ درصد می باشد که این نتایج با واقعیت نیز سازگار است زیرا تالک ماده ای نرم تر و با دانه بندی ریزتر نسبت به کائولن و سیلیس می باشد بنابراین تالک بیشتر در سیکلون جمع آوری می شود در حالیکه کائولن و سیلیس بیشتر در مخزن ته نشینی جمع آوری می شوند. همچنین تلفات مواد که در زانو ها و خم ها باقی می مانند برای موادی همچون تالک که دارای دانه بندی ریزتری می باشند کمتر از موادی با دانه بندی درشت تر و دانسیته بیشتر مانند کائولن و سیلیس می باشند. بنابراین پیشنهاد می شود که برای این گونه مواد با دانه بندی درشت تر و دانسیته بیشتر از سرعت های بیشتر که در این طراحی برابر ۱۲ m/s می باشد، استفاده گردد.



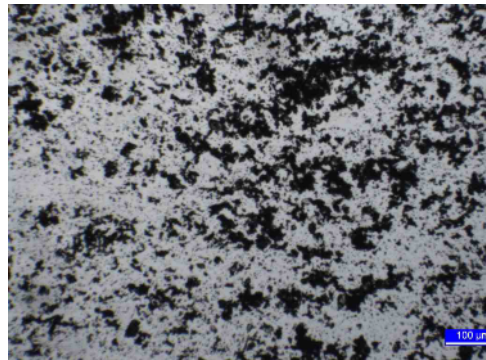
شکل (۱۰): مقایسه ذرات گرفته شده در مخزن و سیکلون (بالایی مربوط به سیکلون و پایینی مربوط به مخزن است و خط شاخص $100 \mu\text{m}$ می باشد).

مخازن ته نشینی بر خلاف قواعد طراحی مربوطه [۱۹] که مدعی به جمع آوری تنها ذرات درشت تر از مقدار طراحی را داشته اند، قدرت جمع آوری ذرات ریزتر از $30 \mu\text{m}$ را دارند. این امر در شکل ۹ قابل رویت است. به نظر می رسد یکی از عواملی که بر این پدیده موثر است، درصد بارگذاری بر روی خط لوله است، که این پارامتر

اندازه $30-60 \mu m$ در سیکلون بسیار کم دیده می شوند. البته مقداری از ذرات در این بازه در مخزن ته نشینی جدا شده اند ولی مقدار آنها در مقایسه با مقدار در خوراک ناچیز می باشد.



از جریان بالک مواد جدا می سازد. البته با افزایش سرعت همانطور که دنگ و همکارانش نیز اشاره کرده اند، مواد خرد شونده مانند تالک در زانو ها به شدت تغییر دانه بندی می دهند [۲۲]. به طوری که دانه هایی با



شکل (۱۱): مقایسه اندازه ذرات سیلیس در ورودی و خروجی مخزن ته نشینی (از چپ به راست ذرات در ورودی و خروجی)

ایجاد نمود. زیرا هر چقدر فاصله بین پره ها و بدنه کم باشد به دلیل کار در فشار مثبت نشستی بوجود می آید.

۶- جمع بندی

در این پروژه اعمال فاکتورهای افزایش بازده اثر چندانی بر روی بازده سیکلون نداشت. بنابراین یک جریان کمکی برای افزایش سرعت هوای ورودی سیکلون افزوده شد که بازده سیکلون را افزایش داد. مخازن ته نشینی بر خلاف قواعد طراحی مربوطه قدرت جمع آوری ذرات ریزتر از $30 \mu m$ را دارند. به نظر می رسد یکی از عواملی که بر این پدیده موثر است درصد بارگذاری بر روی خط لوله است، که این پارامتر همان نسبت مقدار پودر وارد شده به مقدار هوا در خط لوله می باشد. استفاده از مخزن ته نشینی به دلیل طراحی منحصر بفردش امکان تغییرات زیاد در سرعت را نمی دهد. در طراحی سیستم های هوایی می توان علاوه بر ماده مورد نظر در طراحی از پودرهای با دانسیته مشابه نیز استفاده نمود. که در این تحقیق نیز علاوه بر تالک که طراحی بر اساس آن صورت یافته بود، از سیلیس و کائولن نیز استفاده گردید. هرگونه افت فشار به شدت بر سیستم های هوایی تاثیر خواهد داشت بطوریکه در بعضی موارد مانع از ایجاد کشش مناسب برای ورود مواد از هاپر به درون خط لوله می شود. در زمان استفاده از شیر گردان جهت جلوگیری از نشت می بایست در ورودی مواد از شیر به خط لوله خلایی را

مراجع

- [1] D. Mill; "Pneumatic Conveying Design Guide", Elsevier (2003).
- [2] S. Fokeer; S. Kingman; I. Lowndes; A. Reynolds;" Characterisation of the cross sectional particle concentration distribution in horizontal dilute flow conveying—a review", Chemical Engineering and Processing, 43(2004), 677-691.
- [3] L. Sanchez; N. Vasquez; G.E. Klinzing; S. Dhodapkar;" Characterization of bulk solids to assess dense phase pneumatic conveying", Powder Technology, 138(2003), 93-117.
- [4] A.D. Salmana; D.A. Gorhamb; M. Szabo; M.J. Hounslow;" Spherical particle movement in dilute pneumatic conveying", Powder Technology, 153(2005), 43-50.
- [5] M. Shapiro; V. Galperin;"Air classification of solid particles: a review", Chemical Engineering and Processing, 44(2005), 279-285.

- (1999).
- [17] A. W. Jenike; "Storage and flow of solids", Bulletin 123, Engineering Experiment Station, University of Utah, (1964).
- [18] R. A. Kulwicz; "Material handling handbook", 2nd Edition, John Wiley, (1985).
- [19] R. H. Perry; Don W. Green; "Perry's chemical engineering handbook", 7th Edition, McGraw Hill, (1997).
- [20] J. McKetta; "Encyclopedia of chemical processing and design", Marcel Dekker, (1980).
- [21] R. Darby, "Chemical engineering fluid mechanics", Marcel Dekker, Newyork, USA, (2001).
- [22] T. Deng; A.R. Chaudhry; M. Patel; I. Hutchings; M.S.A. Bradley; "Effect of particle concentration on erosion rate of mild steel bends in a pneumatic conveyor", Wear, 258(2005), 480-487.
- [6] R. Pan; "Scale up procedure for the design of pneumatic conveying system", PhD Thesis, Department of Mechanical Engineering, University of Wollongong, Australia, (1992).
- [7] R. Pan; "Material properties and flow modes in pneumatic conveying", Powder Technology, 104(1999), 157-163.
- [8] L. Clerc; M.A. Minoux; A. Benhassaine; "Pneumatic selection of fly ash: selection methods — influence of the operating parameters", Powder Technology, 105(1999), 172-178.
- [9] H. Morimoto; T. Shakouchi; "Classification of ultra fine powder by a new pneumatic type classifier", Powder Technology, 131(2003), 71-79.
- [10] H. Yoshida; K. Fukui; K. Yoshida; E. Shinoda; "Particle separation by Iinoya's type gas cyclone", Powder Technology, 118(2001), 16-23.
- [11] H. Yoshida; K. Ono; K. Fukui; "The effect of a new method of fluid flow control on submicron particle classification in gas-cyclones", Powder Technology, 149(2005), 139-147.
- [12] A. C. Hoffmann; L. E. Stein; "Gas Cyclones and Swirl Tubes", Springer-Verlag, Berlin, (2002).
- [13] X. Wang; X. Ge; X. Zhao; Z. Wang; "A model for performance of the centrifugal countercurrent air classifier", Powder Technology, 98(1998), 171-176.
- [14] Q. Wang; M. C. Melaaen; S. R. De Silva; "Investigation and simulation of a cross-flow air classifier", Powder Technology, 120(2001), 273-280.
- [15] D. I. Kolaitis; M. A. Founti; "Modeling of the gas-particle flow in industrial classification chambers for design optimization", Powder Technology, 125(2002), 298-305.
- [16] E. E. Ludwig; "Applied process design for chemical and petrochemical plants", Vol 1, Third Edition, Gulf Professional Publishing,

پیوست الف : طراحی هاپر به روش جنیک

روشی که در این جا بیان می شود روش جنیک می باشد^۲ می باشد. که در دهه ۶۰ برای اولین بار ارائه نمود و انقلابی در این صنعت ایجاد کرد. این روش امروزه متداول ترین روش برای طراحی هاپرها می باشد.

زاویه دیواره برای جریان جرمی

زاویه مورد نیاز برای جریان جرمی تابع اصطکاک مواد با دیواره و شکل هاپر می باشد. برای ضریب اصطکاک بالاتر شیب تندتری مورد نیاز است. این اصطکاک توسط فاکتور زاویه اصطکاکی دیواره ϕ قابل محاسبه می باشد.

این فاکتور تابعیت فشار نرمال بر سطح را دارد. سه نوع از انواع متداول این فشار نرمال در شکل (الف-۱) نشان داده شده است. این نمودارها تغییرات شماتیک فشار را در طول بین نشان می دهند. در این میان به دو نکته مهم باید توجه کرد اول این که در نیمه پایینی هاپر

² Jenike

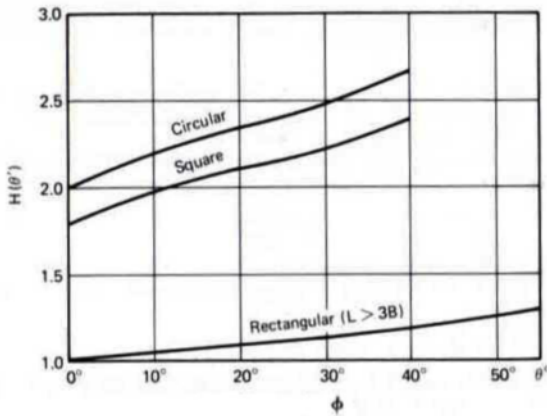
۳- از معادله الف-۱، σ_1 برای تمامی مقادیر B محاسبه شود.

۴- برای هر مقدار از σ_1 یک مقدار برای زاویه اصطکاکی دیواره محاسبه شود.

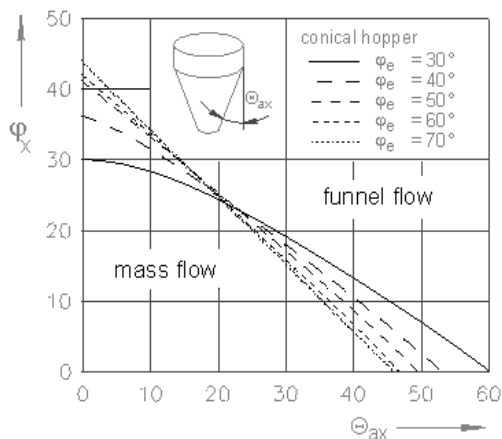
۵- با استفاده از ϕ' در نمودار الف-۳ مقدار ماکزیمم زاویه دیواره به دست می آید. برای مثال با $\phi'=20$ و $\phi=50$ حداکثر زاویه برای مخروطی ۲۳ درجه و برای گوشه دار ۳۳ درجه می باشد.

۶- این فرآیند برای تمامی B ها تکرار می شود. به دلیل این که با افزایش فشار دیوار زاویه اصطکاکی کاهش می یابد معمولا با یک طراحی درست می توان در فضای بالادستی هاپر تا اندازه زیادی صرفه جویی کرد.

[۱۶]



شکل الف-۲: $H(\theta)$ بر حسب ϕ

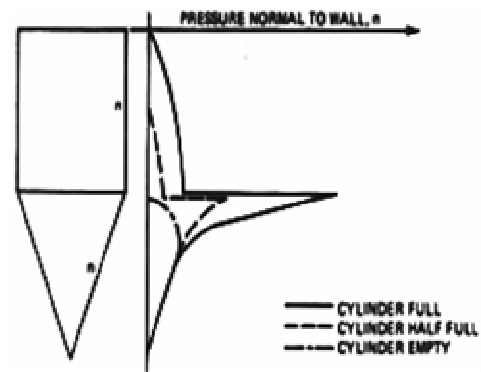


شکل الف-۳: محاسبه زاویه هاپر با استفاده از ϕ و δ برای حالت مخروطی

جریان جرمی، فشار نرمال تقریباً مجزا از میزان مواد درون سیلندر می باشد به عبارت بهتر ارتفاع و قطر سیلندر تاثیر اندکی روی این فشار دارند. در نیمه پایینی هاپر با ثابت بودن قطر خروجی فشار کاهش می یابد. به صورت تئوری این فشار در نوک به صفر می رسد و با عرض هاپر رابطه زیر را دارد:

$$\sigma_1 = \frac{ff \cdot B \cdot \gamma}{H(\theta)} \quad (\text{الف-۱})$$

$H(\theta)$ تابعی که وابسته به نوع هاپر و زاویه آن است و در شکل (الف-۲) نشان داده شده است. این تابع بزرگترین فشار متراکم شدن (استرس اولیه) σ_1 را تعریف می کند. فشاری که به صورت عمود بر دیواره عمل می کند متفاوت با این مقدار است. از آن جا که σ_1 در یک نقطه خاص محاسبه می شود گرافی برای پیدا کردن زاویه اصطکاکی دیواره می تواند به کار رود. محدودیت های هاپر جریان جرمی مخروطی که توسط جنیک محاسبه شده در شکل (الف-۳) و برای چهارگوش در شکل (الف-۴) نشان داده شده است. برای هاپرهای گوشه دار محدودیت ها به طور واضحی تعریف نشده اند. به عنوان یک اصل θ_p حداکثر ۱۰ درجه بیشتر از حالت مخروطی در نظر گرفته می شود.



شکل الف-۱: توزیع فشار عمودی در هاپر ها

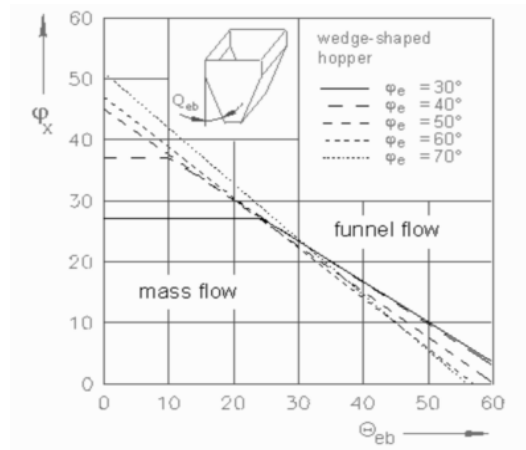
طریقه عمل با این نمودارها به این ترتیب است:

- ۱- انتخاب نوع هاپر (مخروطی یا گوشه دار)
- ۲- انتخاب عرض خروجی هاپر به صورت B. این کمیت به عنوان قطر خروجی نیز خوانده می شود که در این مرحله از فرآیند هنوز اندازه گیری نشده است. به همین منظور یک سری از B ها باید انتخاب شوند.

$$Q = \frac{\mu \cdot A}{D \cdot \rho} \cdot [(14.42 + 1.827 \sqrt{N_{Ar}})^{1/2} - 3.798]^2 \quad (\text{ب-۳})$$

که در آن

$$N_{Ar} = \frac{d^3 \cdot \rho \cdot g \cdot \Delta P}{\mu^2} \quad (\text{ب-۴})$$



شکل الف-۴: محاسبه زاویه هاپر با استفاده از ϕ و δ برای حالت چهار گوش

پیوست ب: طراحی مخزن ته نشینی [۱۹]

این دستگاهها معمولاً به صورت یک مکعب مستطیلی دراز و تو خالی ساخته می شوند که ورودی در یک طرف و خروجی در طرف دیگر و یا بالای آن می باشد. با فرض پایین بودن آشفتگی درون مخزن بازده آنها به صورت زیر بیان می شوند.

$$\eta \leq 1 \quad (\text{ب-۱})$$

$$\eta = \frac{u_t \cdot L_s}{H_s \cdot V_s} = \frac{u_t \cdot L_s \cdot B_s}{q}$$

که در آن V_s سرعت متوسط گاز، u_t اندازه ذرات (قطر کره معادل)، L_s طول مخزن، B_s عرض مخزن، H_s ارتفاع مخزن می باشد.

کوچکترین ذره ای که با بازده ۱۰۰٪ جدا می شود از قانون استوک برابر زیر خواهد بود:

$$D_{P \min} = \sqrt{\frac{18 \cdot \mu \cdot H_s \cdot V_s}{g_l \cdot L_s \cdot (\rho_s - \rho)}} = \sqrt{\frac{18 \cdot \mu_s \cdot q}{g_l \cdot L_s \cdot B_s \cdot (\rho_s - \rho)}} \quad (\text{ب-۲})$$

که در آن ρ دانسیته گاز، ρ_s دانسیته ذرات، μ ویسکوزیته گاز، g_l ثابت گرانش محلی می باشد برای محاسبه بیشترین ذره ای با قطر d می تواند درون مخزن برای جداسازی وارد شود باید از معادله دلاوال^۳ استفاده کرد. [۱۸]

³ Dallavale

Effect of operational and design parameters on size classification of powder in cyclones and settling chambers

M.S.Tarkesh Esfahani¹, S. Shafiei², H.Ajamein Fahadan³, M.Ichizadeh⁴

1. B.S. Chemical Engineering, Sahand University of Technology.

2. Associate professor Chemical Engineering, Sahand University of Technology.

3. B.S. Chemical Engineering, Sahand University of Technology.

4. B.S. Chemical Engineering, Sahand University of Technology.

ARTICLE INFO

Article history :

Received 26 August 2008

Received in revised form 20 October 2009

Accepted 22 October 2009

Keywords:

Classifying of powder

Pneumatic conveying

Cyclone

Settling chamber

ABSTRACT

Solid handling by air inside pipeline is called pneumatic conveying. In solid handling the velocity of air is the vital parameter. In this project dilute phase with air velocity of about 10 m/s was used. Powder materials were injected to the pipeline from a bin by a rotary valve and were classified by cyclone. Classifiers depending on their design, operational parameters such as air velocity and powder properties can separate a vast range of powders with respect to their size. After injecting to the pipe, materials are fed to the gravity settling chamber. In this project the objective was to separate powder particles larger than 74 μm . The experiments were carried out for talc and kaolin and the effect of parameters on separation efficiency were investigated.

All rights reserved.
