دانشگاه تهران

دانشکده بهداشت

پایان نامه

برای دریافت درجه فوق لیسانس علوم بهداشتی M.S.P.H

دررشته مهندسی بهسازی

موضوع

طرح سیکلون وبررسی آن درکنترل ذرات معلق

براهنمائی آقای دکترمنصورغیاث الدین

نگارش

فاضل خندان

سال تحصیلی ۶۲-۶۱

۱۰۶۴۱

تقدیم به:

خانواده‌ام بخصوص مادرم که در تربیت و ادامه تحصیلاتم سهم بزرگی دارند.

۱۰۶۴۱

تقـــدیم به :

همسرعزیزم که درتهیه این نوشته زحمات زیادی کشیدند .

تقدیم به :

آقای مهندس خلیلی با تشکر از زحمات بی دیغ ایشان .

با تشکر از:

کارگران و مسئولین سیلوی تهران .

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
۱- فصل اول " کلیات "	
۱-۱- مقدمه	۱-۳
۱-۲- سیکلون	۳-۶
۱-۳- مکانیزم عمل سیکلون	۶-۷
۱-۴- توزیع سرعت وفشاردرسیکلون	۷-۱۳
۱-۵- حرکت مارپیچی (Vortex) دردرون سیکلون	۱۳-۱۹
۲- فصل دوم " مبانی طرح "	
۲-۱- اندازه‌وابعاد سیکلون	۱۹-۲۴
۲-۲- طراحی ورودی	۲۴-۲۵
۲-۳- طراحی مخروط سیکلون	۲۵-۲۷
۲-۴- طراحی خروجی هوای تصفیه‌شده	۲۷-۲۹
۲-۵- طراحی خروجی گردوغبار	۲۹-۲۹
۲-۶- تخلیه‌گردوغبارجمع آوری شده	۲۹-۳۳
۳- فصل سوم (افت فشاروبازدهی درسیکلون)	
۳-۱- رابطه‌بین پارامترهای سیکلون وافت فشار	۳۳-۳۴
۳-۲- محاسبه‌افت فشار	۳۴-۴۵
۳-۳- محاسبه‌اندازه‌ذرات گردوغبارجداشده‌توسط سیکلون	۴۶-۵۰
۳-۴- بازدهی ورابطه‌آن باپارامترهای مختلف	۵۰-۵۶
۳-۵- فرمولهای محاسبه‌بازدهی سیکلون	۵۶-۵۷
۳-۶- اپتیمم طراحی وانتخاب	۵۸-۶۱
۴- فصل چهارم (اثرپارامترهای مختلف روی عمل سیکلون)	
۴-۱- خصوصیات فیزیکی جریان ورودی	۶۲-۶۳
۴-۲- میزان جریان ورودی	۶۴-۶۵
۴-۳- خصوصیات گردوغبار	۶۵-۷۰
۴-۴- اثربارگردوغبارورودی روی عمل سیکلون	۷۱-۷۳

۴-۵- فرسایش وسائیدگی ۷۴-۷۵
۴-۶- انسداد سیکلون ۷۵-۷۶
۴-۷- ناهمواری دیواره داخلی ۷۶-۷۷
۵- فصل پنجم (انواع سیکلون ها)
۵-۱- سیکلونهای با بازدهی زیاد ۷۸-۷۸
۵-۲- سیکلونهای طبقه‌ای ۷۸-۸۲
۵-۳- سیکلونهای سری ۸۲-۸۵
۵-۴- سیکلونهای آزمایشگاهی ۸۵-۸۶
۵-۵- مخارج لازم برای کنترل آلودگی ناشی ازگردوغبار ۸۶-۹۱
۶- فصل ششم (روشها ووسایل اندازه‌گیری)
۶-۱- توزیع ذرات گردوغبار درکانال انتقال هواوتعیین محل و موقعیت نمونه‌برداری ۹۲-۹۲
۶-۲- تعیین محل نقاط نمونه‌برداری ازهوا درمقاطع انتخاب شده ۹۳-۹۵
۶-۳- اوریفیس ۹۶-۹۷
۶-۴- پیتو ۹۷-۱۰۰
۶-۵- استفاده ازسوزن زیرجلدی بجای اوریفیس محدودکننده درنمونه‌برداری ۱۰۰-۱۰۳
۶-۶- روشهای نمونه‌برداری ۱۰۳-۱۱۰
۷- فصل هفتم (کارهای عملی)
۷-۱- شرح مختصرمراحل کاروبراحل کنترل آلودگی‌گردوغبار در سیلوی تهران ۱۱۱-۱۱۵
۷-۲- روشهای پیشنهادی برای کنترل بهترگردوغبار ۱۱۵-۱۱۷
۷-۳- اندازه‌گیری عملی کارهای بازدهی وزنی‌سیکلون سیلوی‌تهران ۱۱۷-۱۲۶
۷-۴- محاسبه‌تئوری بازدهی سیکلون سیلوی تهران ۱۲۷-۱۲۹
۷-۵- نتیجه‌گیری ۱۲۹-۱۳۰
خلاصه فارسی ۱۳۱-۱۳۲
خلاصه لاتین
ماخذ

۱-۱ مقدمه :

رشد وپیشرفت صنعت درجهان باعث شده است که تولید مواد زائد به سرعت افزایش یابد واگربرای کنترل آنها فکری نشود اثرات نامطلوب وجبران ناپذیری برمحیط زیست وذخایر طبیعی خواهد گذاشت . بعلاوه اثرمتقابل صنایع وتکنولوژی برمحیط زیست ازیک طرف تسهیلات لازم برای تشکیل قطبهای صنعتی رادراختیار گذاشته وباعث تشکیل شهرهای چند میلیونی گردیده . وازطرف دیگر این خود نیازبه توسعه صنایع راتشدید نموده است .

یکی ازمهمترین ذخایر طبیعی که مورد حمله صنایع قرارگرفته است هوا ، یعنی این مهمترین وبزرگترین ماده مورد نیازبشر میباشد. ماده‌ای که بطور متوسط روزانه ۱۲ مترمکعب ازآن مورد استفاده هرفرد قرارمی گیرد ومضافا " هیچ جانداری بدون آن قادربه ادامه حیات نیست .

هوادارای ناخالصیهای زیادی میباشد وهنگامی که غلظت آن به مقدارمعینی می رسد بطور مستقیم یا غیرمستقیم اثراتی روی سلامتی انسان می گذارد ، مطالعات زیادی درزمینه حداکثر غلظت مجاز مواد مختلف موجود درهواشده وبرای آنها حد معینی درنظرگرفته شده است مثلا" برای ذرات میزان حداکثر مجاز برای مدت کوتاه (۲۶۰) میکروگرم درمترمکعب برای یک روزدرسال و ۷۵ میکروگرم درمترمکعب متوسط مجاز سالیانه تعین شده‌است . (۱۲)

زیانهای اقتصادی واثرات نامطلوب گردوغبار درهواردرمثال زیرنشان داده شده است.درسال (۱۹۰۳) دریک ماه بیست میلیون تن خاک قرمز توسط باد ازجنوب افریقا به انگلستان برده شده . مقدار گردوغباری که دریک سال بریک متروم‌ربع شهر پاریس رسوب می کند ۱۵۰ گرم میباشد. سرعت رسوب ذرات با قطرکمتر ازیک میکرون بسیار کم است وتوسط جریان هوا نقل مکان میکنند وذرات درشت با سرعت بیشتری ته نشین میشوند.معمولا" ذرات بزرگتر از ۵ میکرون بیشتر درقسمتهای فوقانی دستگاه تنفسی وذرات ۲ میکرون درانشعابات ثانوی برنشی ها تحت تاثیر وزن رسوب وبرخورد میکنند . (۱۳)

بعضی ازذرات گردوغبار بعلت خصوصیاتشان باعث بیماریهای متعدد تنفسی میگردند مانند بیماری سیلیکوز ، آمفیزیم وآسم وغیره

برای جلوگیری ازتخلیه ذرات به هوا ازسالهای قبل وسایل مختلف ابداع شده اند که یکی ازساده ترین آنها ودرعین حال موثر سیکلون میباشد.

عموما" درذرات با اندازه های بین (10^{-8} تا 10^{-3}) متر که ازنظرما مهم اند وباآنها سروکار داریم خصوصیات ایرودینامیکی خیلی متغیر است. برای ذرات کوچک نیروی مقاوم هوا حتی درسرعتهای پائین مساوی نیروی جاذبه میباشد وبصورت شناور در هوا باقی می ماند حتی ذراتی که دارای شتاب هستند بعد ازمدت زمانی کوتاه بعلت تعادل نیروهای جاذبه واصطکاک به سرعت نهائی (تعادل) خود میرسند.

مثلا" یک ذره‌ای به اندازه دومیکرون ودارای دانسیته نسبی یک با سرعت (2.28×10^{-4} متر درثانیه سقوط میکند سرعت نهائی (Terminal velocity.) ذرات حتی برای ذراتی تا اندازه ۶۰ میکرون بامربع قطر آنها زیاد میشود. برای ذرات بزرگ بعلت بزرگی قطر آنها زمان طولانی لازم است تا به سرعت نهائی برسند.(۲)

نیروهای موثر برذره عبارتند از نیروی اصطکاک دراگ (Drag force.) و نیروی شناوری (Bouyancy.) ونیروی جاذبه که نیروی دراگ با مجذور سرعت ذره ، سطح مقطع ووزن مخصوص ذره نسبت مستقیم دارد.

$$F_D = \frac{C}{2} A \rho_p v^2$$

C : ضریب دراگ وبه عدد رینولد بستگی دارد

A : سطح مقطع ذره

ρ_p : دانسیته ذرات

v : سرعت ذرات

برحسب قانون استوک (برای ذرات با قطر ۱ تا ۲۰۰ میکرون کاملا" صدق میکند)داریم:

$$F_s = 3.0.46 \rho_p d^2$$

d : قطر ذرات

چون نیروی دراگ تابع مجذور سرعت ذره ونیروی شناوری تابع قوه سوم قطرمیباشد

نتیجه گرفته میشود که هرچه قطر ذره بیشتر شود به‌همان نسبت نیروی شناوری (جداشدن ذرات ازجریان حامل) افزایش میابد .همچنین نیروی فوق تابع‌وزن ذره میباشد بنابراین ذرات سنگین تر را بهتر وبراحتی می توان جدا وجمع آوری نمود. اصولا" دستگاههای جداسازی ذرات با استفاده ازیک نیروی خارجی ذرات را ، براساس خواص فیزیکی وبدون توجه به خواص شیمیائی آنها ازجریان حامل جداکرده وبه‌محل مخصوصی برای جمع آوری هدایت میکنند. عمل این نیرو بصورت زیر انجام میگیرد:

۱- تغییر لحظه‌ای جهت جریان حامل مانند دستگاههای Fibers filter. و internal sparator.

۲- اثر نیروی گریز ازمرکز برذرات مانند دستگاههای سیکلون

۳- بکاربردن ولتاژ بالا مانند جداکننده‌های الکترواستاتیک

بعلت متغیربودن خصوصیات دینامیکی ذرات درصنعت نمی توان با بکاربردن یک نوع جداکننده مشخص عمل جداسازی را انجام داد بلکه این کاربا استفاده ازچند نوع جداکننده صورت می گیرد. یکی ازمعروفترین دستگاههای کنترل ذرات سیکلون می‌باشد وبطور وسیع مورد استفاده قرارگرفته . وتئوری سیکلون بعنوان اساس و ایده‌ای برای طراحی وبوجود آمدن انواع زیادی ازجداکننده‌های ذرات استفاده شده است .

۱-۲ سیکلون :

سیکلون یک دستگاه ساده ، ارزان ، بدون اجزاء متحرک ومیتوان آنرا ازانواع مختلف مواد ساخت . دارای بازدهی خوب‌که درآن جریان حامل ذرات گردوغبار وارد وبعلت شکل ورودی جریان خطی را به یک جریان مارپیچی (vortex .)درامتداد طول آن وبطرف پائین تبدیل میشود وبراثر نیروی گریزازمرکز اعمال شده توسط حرکت هوا درون سیکلون برذرات موجود درجریان که چند هزار برابر نیروی وزنی ذرات میباشد باعث رانده شدن ذرات ازجریان بطرف دیواره داخلی سیکلون وبراثر وزن ذرات درامتداددیواره بطرف پائین سیکلون که محل جمع آوری ذرات میباشد هدایت میشوند. بعد ازجداشدن ذرات وتغییر جهت جریان مارپیچی که بعلت طرح

قسمت پائین سیکلون بوجود می آید ، جریان اصلی ، ذرات را درپائین دستگاه جاگذاشته وبسوی بالا حرکت میکند وازمحل خروجی هوای تمیزشده خارج میگردد.

عموما" سیکلون برای ذرات مانند دوده ، خاکاره ، سیمان ، پلاستیک ، کودو مواد غذائی وغیره بکاربرده میشود.

درواقع سیکلون دربیشتر مواردی که پودرهای خشک تولید میشوند مورد استفاده قرارمی گیرند.

واحدهای تشکیل دهنده یک سیکلون ساده عبارتند از ورودی هوای حامل ذرات که باعث تشکیل جریان مارپیچی هوایی می گردد ، خروجی محوری جریان هوای تصفیه شده وجمع آورنده گردوغبار.

بطورکلی سیکلونها باشکلهای زیر متداول است.

۱- ورودی مماسی وخروجی محوری .

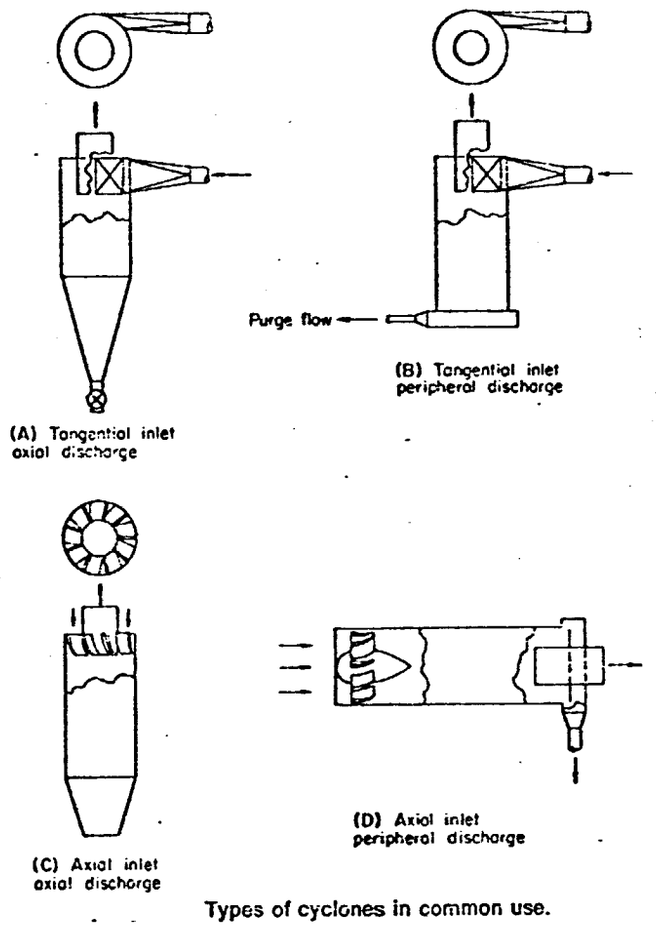
۲- ورودی مماسی وخروجی محیطی

۳- ورودی محوری وخروجی محوری

۴- ورودی محوری وخروجی محیطی

قطرسیکلون بین ۱۰ میلیمتر (برای نمونه برداری) تا ۵ متر وسرعت ورودی بین (۳×۱۰^{-۵}) متر تا ۳۰ متر درثانیه میباشد. سیکلونها می توانند تاحرارت (۱۰۰۰) درجه سانتیگراد وتافشار (۵۰۰) آتمسفر مورد استفاده قرارگیرند. (۱)

شکل ورودی معمولا" مانند شکل (۱) میباشد . سیکلونهای باورودی مماسی بااندازه های مختلفی بکاربرده میشود اما سیکلونهای باورودی محوری عموما" دارای قطری بین ۳ تا ۴ اینچ میباشند. وبعلت کوچک بودن قطر آنها دارای بازدهی بالایی نسبت به سیکلونهای باورودی‌مماسی میباشند وعموما" بصورت موازی بکار برده میشوند. سیکلونهای موازی برای یک جریان معین دارای ۵۰% مخارج کمتر از سیکلونهای بزرگ باورودی مماسی برای همان مقدار جریان ورودی میباشند. علت اینکه سیکلونهای باقطر کوچک دارای بازدهی بیشتری نسبت به سیکلونهای بزرگ این است که فاصله ذره تادیواره‌ایکه درآنجا ذره جدا میشودکم است وسطح نسبتا"



Types of cyclones in common use.

شکل (۱): انواع مختلف سیکلون با ورودیهای معمولی .

زیادی جهت جمع آوری وجود دارد بعلت وسعت عمل سیکلون ومخارج اولیه کم ، احتمالا" دربیشتر کاربردهای کنترل گردوغبار ازآن استفاده میشود.(۵،۳،۱)

۱-۳ مکانیزم عمل سیکلون :

برای جداسازی ذرات گردوغبار بقطر ۵ میکرون وبیشتر ازجریان هوا ، ازسیکلون استفاده میشود . عمل جداسازی سیکلون توسط نیروی گریز ازمرکز انجام میگیرد. جریان هوای حامل ذرات گرد وغبار از ورودی مماسی وبا یک زاویهٔ چرخشی حول سیلندر وارد سیکلون میگردد.

یک سیکلون ساده ازقسمتهای زیرتشکیل شده است :

۱- ورودی مماسی باطول وعرض b و a

۲- سیلندر باقطر D

۳- مخروط که درقسمت پائین سیلندر واقع است .

۴- خروجی گردوغبار که درانتهای مخروط قراردارد.

۵- کانال خروجی هوای تصفیه شده درامتداد محور سیکلون ودربالای سیلندر به قطر D_o وکوچکتراز قطر سیلندر میباشد.

سرعت خطی هوای ورودی درون سیلندر به سبب شکل ورودی به سرعت چرخشی گریزازمرکز تبدیل شده وهوای حامل ذرات گردوغبار بصورت یک مارپیچ (مارپیچ بیرونی) مماس با دیواره داخلی سیلندر وبطرف پائین حرکت میکند.این حرکت سبب میگردد که یک نیروی گریز ازمرکز برذرات وارد شود ووقتی مارپیچ بیرونی به پائین سیکلون که مخروطی شکل است می رسد جهت مارپیچ ازپائین به سمت بالا تغییرمیکند وبصورت یک مارپیچ کوچکتر (درونی) ودرداخل مارپیچ بیرونی بسوی بالا به حرکت درآمده وبطرف خروجی هوا پیش میرود.

بعلت جدا شدن ذرات گرد وغبار ازمارپیچ بیرونی ، مارپیچ درونی حامل مقدارکمی گردوغبار است ولذا ذرات گردوغبار درجریان خروجی به حداقل ممکن تقلیل می-یابد. ذرات گردوغبار جدا شده ازمارپیچ باسرعت شعاعی بطرف دیواره داخلی سیلندر رانده میشوند وبوسیله نیروی وزنی،ذرات روی دیواره بطرف خروجی گرد و

غبار که درپائین مخروط میباشد حرکت میکنند ،

مارپیچ درونی عموما" با قطر کوچکتر ازقطر خروجی هوا ودرداخل مارپیچ بیرونی قراردارد. (۱،۴،۵)

عمل جداسازی ذرات درسیکلون عمل پیچیده‌ای است و تحت تاثیرعوامل مختلفی قرار می گیرد. کل نیروهای موثر برذرات دردرون سیکلون عبارتند از:

۱- نیروی گریزمرکز که تابعی ازوزن ذرات ، فاصله‌ذرات ازمحور سیکلون وسرعت ورودی میباشد وبصورت زیربیان میگردد.

$$F = \frac{\pi}{6} d^3 (\rho_p - \rho_g) w^2 R$$

d : قطرذرات

ρ_p و ρ_g: دانسیته ذرات ودانسیته هوا

w^2 : سرعت‌زاویه‌ای که برابراست با $\frac{V_e}{R}$ (V_e : سرعت ورودی)

R: فاصله‌ذرات ازمحور سیکلون .

۲- نیروی مقاوم (Drag .) ، وعبارتست ازنیروی مقاومی که ازطرف هوای حامل برذرات جهت ممانعت ازجداشدن ذرات آن ، وبرعکس جهت نیروی گریزازمرکز اثر میکند وتابعی ازاندازه ذارت ، ویسکوزیته ونوع ذرات میباشد.

۳- نیروی وزنی ذرات که تابعی ازجرم ذرات میباشد. (۷)

نسبت نیروی گریزازمرکز به نیروی وزنی ($\frac{m V_e^2/R}{mg}$) فاکتورمهمی درجداسازی ذرات وجمع آوری آنها وهمچنین تابعی ازسرعت ورودی وفاصله ذرات ازمحورمیباشد.

اندازهٔ این نسبت ازمقدار ۵ برای سیکلونهای قطور با افت‌فشارکم تا ۲۵۰۰ برای سیکلونهای کوچک وافت‌فشار زیاد متغیراست .(۸)

دریک سیکلون خوب مقدار گردوغبار جداشده دریک گردش مارپیچ زیاد ودرمارپیچ درونی باید به حداقل برسد.

۱-۴ توزیع سرعت‌وفشار درسیکلون :

علیرغم اینکه سیکلون دارای ساختمان ساده ای است ولی شکل توزیع فشار وسرعت هوا درمارپیچ وهمینطور محاسبه تئوری افت‌فشار ، توزیع ذرات وبازدهی عمل

بسیار پیچیده‌ای است .

تا بحال یک تئوری کامل درباره سیکلون بیان نشده است ، مطالعات زیادی درباره توزیع فشار ومیزان جریان انجام شده است . ازجمله مطالعات Shepherd و VanTongern درسال (۱۹۳۸) ، Lapple درسال (۱۹۳۹)و Ter Linden. درسال ۱۹۴۸ میباشد.

شکل توزیع جریان وفشار درشکل شماره (۲)نشان داده شده است .

سرعت جریان هوا درسیکلون ازسه مولفه تشکیل شده‌است وعبارتند از: سرعت مماسی سرعت عمودی درامتداد محور سیکلون وسرعت شعاعی درامتدا شعاع سیکلون .

درمنطقه فضای داخلی سیکلون بین دیواره داخلی وکانال خروجی هوا مولفه محوری سرعت کوچک بوده ومقدار آن به سمت محور به‌جزء درمنطقه خیلی نزدیک به محور که قطر آن تقریبا " $(\frac{1}{4})$ تا $(\frac{2}{3})$ قطرخروجی هوا است ، افزایش پیدا میکند.

شکل توزیع این سرعت تقریبا " درتمام طول سیکلون یکی میباشد. سرعت مماسی در نزدیکی دیواره که جریان مارپیچی بطرف پائین میباشد کم است ودرنزدیکی محور که جریان مارپیچی بطرف بالاست حداکثراست .

حداکثر سرعت مماسی درسطح دایره‌ای بقطر ($\frac{1}{4}$) تا ($\frac{2}{3}$) قطرخروجی هواکه در مرکز سیکلون واقع است میباشد . اما سرعت شعاعی نسبت به سرعت مماسی درتمام سطح مقطع سیکلون تقریبا " ثابت بوده ومقدارآن خیلی کم است .

درنزدیکی محور سیکلون که مقدار سرعت مماسی وسرعت محوری حداکثراست مقدار سرعت شعاعی نزد یک به صفر میباشد.

فشار درسیکلون دارای مقداری مثبت است ودرنزدیکی دیوارهٔ داخلی به حداکثر مقدار خود میرسد. وتقریبا " همان مقدار فشار درورودی سیکلون رادارد ، و در نزد یکی محور فشار دارای مقداری منفی است .

نوع دیگری ازحرکت هوا درون سیکلون غیرا ازحرکت مارپیچی درونی وبیرونی وجود دارد که دارای اهمیت وتاثیرات زیادی روی بازدهی سیکلون میباشد وخود این حرکت روی پارامترهای طراحی اثرات فراوانی دارد . عموما " این جریان درقسمت