



بررسی نقش فاکتورهای آئرودینامیکی - هندسی سیکلون در حذف ذرات

رسول یاراحمدی^۱، مریم برهانی جبلی^۲، پروین مریدی^۳

تاریخ پذیرش: ۹۲/۰۵/۱۷

تاریخ ویرایش: ۹۲/۰۲/۲۸

تاریخ دریافت: ۹۱/۰۸/۲۱

چکیده

زمینه و هدف: از مهم‌ترین منابع تولید گرد و غبار، فعالیت‌های گسترده تولیدی و صنعتی می‌باشد که اغلب این صنایع به منظور جمع‌آوری و کنترل این ذرات گرد و غبار از سیکلون‌ها استفاده می‌کنند. راندمان حذف در این دستگاه‌ها به عوامل مختلفی از جمله پارامترهای طراحی مثل ابعاد سیکلون، دانسیته ذرات، درجه حرارت عملیاتی، خصوصیات فیزیکی سیال یعنی دانسیته جریان گاز، ویسکوزیته و سرعت ورودی سیال به سیکلون، بستگی دارد. پژوهش‌های متعددی بر روی هر یک از این پارامترهای تأثیرگذار به صورت مطالعه و بررسی محاسباتی انجام شده است. هدف پژوهش حاضر بررسی و ارزیابی بر هم کنش فاکتورهای اصلی بر راندمان حذف و هم چنین اثر فاکتورهای مورد بحث بویژه ویژگی‌های ساختاری سیکلون بصورت کاملاً تجربی و آزمایشگاهی بوده است.

روش بررسی: روش ASTM D3۶۸۵ به دلیل مطابقت شرایط نمونه برداری، قطربری و هندسی با سیکلون به منظور نمونه برداری و ارزشیابی در این مطالعه مورد استفاده قرار گرفته است. برای انجام این تحقیق و انجام مراحل نمونه برداری در محل آزمایشگاه، سیکلونی با قابلیت تغییر در زاویه ورودی و ارتفاع ایجادکننده گرداب ساخته شد. با ایجاد تغییر در هر یک از پارامترهای طراحی سیکلون، راندمان حذف گردوغبار در این دستگاه مورد بررسی و آزمایش قرار گرفت. **یافته‌ها:** نتایج تأثیر همزمان زاویه ورودی سیکلون و افت فشار بر حذف ذرات نشان می‌دهد که در محدوده زاویه ورودی ۹۰-۶۰ درجه و فشار ۸-۹/۵ میلی متر آب راندمان مطلوب معادل ۹۰-۶۰ درصد ذرات کل زیر ۱۰ میکرون در طرح سیکلون جدید حاصل شده است.

نتیجه‌گیری: یافته‌های این مطالعه نشان می‌دهد استفاده و بکارگیری این مدل سیکلون می‌تواند بطور امیدوار کننده ای در کنترل مسائل و مشکلات مربوط به فرایند انتشار ذرات با قطر آئرودینامیکی ۱۰-۱ میکرومتر موثر و کمک کننده باشد.

کلیدواژه‌ها: سیکلون، فاکتورهای آئرودینامیکی، پارامترهای هندسی، حذف ذرات، ایجاد کننده گرداب، زاویه ورودی.

مقدمه

ساخت آنها متناسب با شرایط و همچنین نگهداری راحت و ساده‌ی این دستگاه‌ها به جهت نداشتن قطعات متحرک می‌باشد [۴]. سیکلون‌ها غالباً در جایی که هدف، جمع‌آوری ذرات بزرگ باشد، به عنوان جمع‌کننده‌های نهایی مورد استفاده قرار می‌گیرد. راندمان این دستگاه‌ها معمولاً برای ذرات بزرگتر از ۵μm خوب ارزیابی شده است، همچنین برای دستیابی به راندمان بیشتر به عنوان پیش تمیزکننده (پیش فیلتر)، قبل از رسوب‌دهنده‌های الکترواستاتیکی، اسکرابرها و فیلترهای فیبری مورد استفاده قرار می‌گیرند [۱۵].

طرح‌های تحقیقاتی متعددی توسط پژوهشگران داخلی و خارجی انجام شده است. از جمله مطالعات

جداکننده‌های سیکلونی یکی از مهم‌ترین دستگاه‌های حذف ذرات هوابرد می‌باشند. این دستگاه‌ها از جمله قدیمی‌ترین دستگاه‌ها و تجهیزات کنترل ذرات صنعتی می‌باشند. از این دستگاه‌ها در حوزه‌های مختلف علمی و مهندسی استفاده می‌شود [۱].

جداکننده‌های سیکلونی به‌طور گسترده در زمینه‌های کنترل آلودگی هوا و جداسازی ذرات - گاز برای نمونه برداری آئروسول‌ها و کاربردهای صنعتی، به کاربرده می‌شوند [۲ و ۳]. سیکلون‌ها هنوز هم یکی از گسترده‌ترین دستگاه‌های تمیزکننده‌ی گاز صنعتی می‌باشند. علت اصلی استفاده‌ی گسترده از این دستگاه‌ها خرید ارزان قیمت، سهولت در طراحی و

۱- (نویسنده مسئول) عضو مرکز تحقیقات بهداشت کار، استادیار گروه بهداشت حرفه‌ای، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی ایران، تهران، ایران.

rasoulpch@yahoo.com

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد بهداشت حرفه‌ای، دانشگاه علوم پزشکی ایران، تهران، ایران.

۳- دانشجوی دکتری محیط زیست، واحد علوم و تحقیقات تهران، تهران، ایران.

بطور معمول ورودی سیکلون‌ها به صورت مماسی، پیچشی، حلزونی و محوری ساخته می‌شود. رایج‌ترین مدل طراحی سیکلون، طرح‌های جریان معکوس با ورودی مماسی می‌باشند. معمولاً مهندسان و طراحان از هفت پارامتر تعیین کننده هندسه‌ی سیکلون (نسبت قطر بدنه‌ی سیکلون) به منظور تعیین: راندمان جمع‌آوری، افت فشار و قطر برشی استفاده می‌کنند. از بین موارد ذکر شده اندازه‌ی ایجادکننده گرداب یک بعد بسیار مهم و ویژه است (جریان گرداب بیرونی و گرداب درونی)، که اثرات قابل توجهی روی عملکرد سیکلون دارد [۱۰ و ۱۱].

بر اساس نتایج تحقیقات انجام شده ارتفاع، قطر و شکل سیکلون (مثل استوانه یا مربع) قطر و شکل ایجادکننده گرداب و هندسه‌ی ورودی می‌تواند به طور قابل ملاحظه‌ای بر عملکرد سیکلون اثر گذار باشد [۱۲ و ۱۳].

لی و کیم در مطالعه‌ای چگونگی نسبت قطرهای بدنه‌ی سیکلون (D) و ایجادکننده گرداب (D_x) را تحت تأثیر راندمان جمع‌آوری و افت فشار سیکلون‌ها مورد مطالعه قرار دادند. این دو پژوهشگر با مقایسه‌ی داده‌های تجربی و تئوری‌های موجود، تئوری بارس (Barth) را تئوری مناسب‌تری برای پیش‌بینی رفتار و عملکرد سیکلون پیشنهاد کرده‌اند [۱۴].

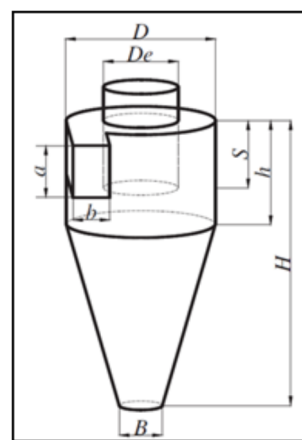
اثر (D_x) قطر ایجادکننده گرداب، برروی پروفایل سرعت با استفاده از شبیه‌سازی دو بعدی تقارن محور توسط هکسترا مورد بررسی قرار گرفته است [۱۵]. موور و مکفارلند به بررسی اثر قطر ایجادکننده گرداب در ۶ سیکلون با قطرهای مختلف با استفاده از شبیه‌سازی محاسباتی پرداخته‌اند [۱۶].

از آنجایی که عمده‌ی پژوهش‌های انجام شده با استفاده از شبیه‌سازی‌های محاسباتی و نرم‌افزاری به بررسی جداگانه‌ی اثر هر یک از فاکتورهای هندسی و یا آئرو دینامیکی مثل سرعت‌های مختلف ورودی سیکلون بر راندمان حذف ذرات در این دستگاه پرداخته‌اند. مطالعه حاضر قصد دارد تا با کمک ترکیب کردن و هم‌زمان نمودن تغییر در چند فاکتور هندسی و یا

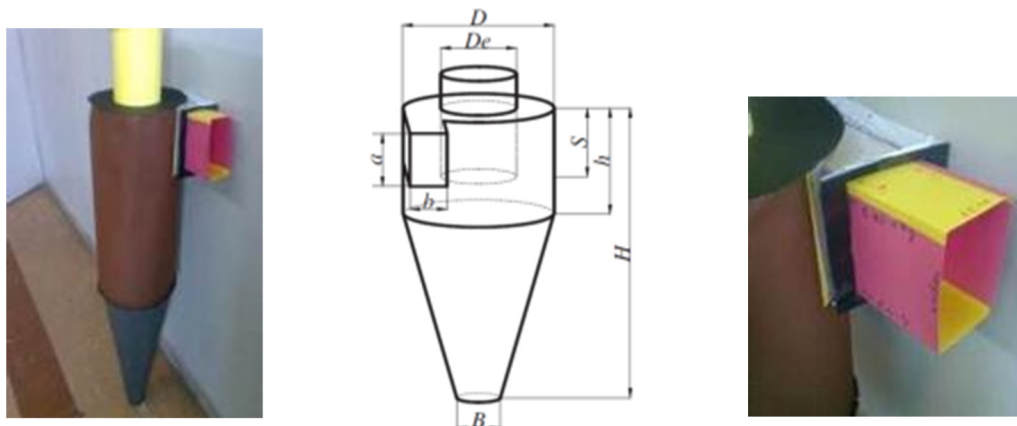
انجام شده توسط پژوهشگران داخلی می‌توان به مطالعه‌ی آقای بهرامی و همکارانش که به مطالعه‌ی اثر سرعت و بار ذرات بر راندمان حذف سیکلون در یک واحد سنگ خردکنی و مطالعه‌ی آقایان پیش‌بین و مقیمیان جهت بهینه‌سازی هم‌زمان پارامترهای مختلف سیکلون با استفاده از الگوریتم ژنتیک اشاره کرد [۵ - ۷].

از مطالعات خارجی انجام شده می‌توان به مطالعات شاو و فالکنر اشاره کرد، در این مطالعه، روش طراحی سیکلون TCD: Texas A&M Cyclone Design که یک روش طراحی ساده براساس سرعت ورودی سیکلون است، جهت تأیید سرعت ایده آل و یا دستیابی به سرعت‌های جدیدتر جهت کسب راندمان بالاتر در نظر گرفته شده است [۸].

در طراحی هندسی سیکلون‌ها و ارزیابی عملکرد آنها علاوه بر راندمان جداسازی، افت فشار نیز به‌عنوان یک معیار اصلی مورد توجه است. شکل هندسی سیکلون‌ها بر الگوی جریان و عملکرد سیکلون اثرگذار است. هندسه‌ی سیکلون بوسیله‌ی ۷ پارامتر هندسی مانند: ارتفاع ورودی (a)، ارتفاع ایجاد کننده‌های گرداب (s)، ارتفاع استوانه (h)، ارتفاع کلی سیکلون (H)، و قطر نوک مخروط (B) تعریف می‌شود. اثرات ابعاد بخش ورودی سیکلون روی عملکرد آن در بسیاری از مطالعات مورد بررسی قرار گرفته است [۹].



شکل ۱- ابعاد هندسی سیکلون



شکل ۲ - تکمیل طراحی و ساخت مدل اولیه‌ی سیکلون.

$H-h$ = ارتفاع مخروط سیکلون: $۶۰/۹۲$ سانتیمتر
 Φ = محدوده زاویه ورودی = $۹۰ - ۱۲/۵$ درجه
 h = ارتفاع بدنه ی سیکلون: $۶۰/۹۶$ سانتیمتر
 D = قطر بدنه ی سیکلون: $۳۰/۴۸$ سانتیمتر
 S = حداکثر ارتفاع ایجادکننده گرداب: 38 سانتیمتر
 De = قطر ایجادکننده گرداب: $۱۵/۲۴$ سانتیمتر
 قطر های مخروط :

B = قطر کوچک: $۷/۶۲$ سانتیمتر

D = قطر بزرگ: $۳۰/۴۸$ سانتیمتر

پس از کنترل تمامی فاکتورهای هندسی قابلیت های تغییر مورد نظر در فاکتورهای: ارتفاع ایجادکننده گرداب در گستره‌ی ۷ تا ۳۰ سانتیمتر و زاویه ورودی در گستره‌ی $۱۲/۵$ تا ۹۰ درجه (شکل ۲ الف و ج) در مدل ساخته شده، ایجاد گردید. پس از تکمیل مدل اولیه مطابق با طرح مورد نظر و رفع نقایص و بازمینی نهایی، مدل ساخته شده به یکی از کارگاه‌های صنعتی (بیرون از آزمایشگاه) برده شد تا مطابق با مدل طراحی شده با استفاده از ورق آلومینیومی به ضخامت ۱۰۰ (۱ میلی‌متر) ساخته شود (شکل ۳).

پس از ساخت سیکلون و انتقال به آزمایشگاه، سیکلون در سیستم تونل باد قرار گرفته تا سیستم به طور کامل بسته شده تا این مدل جدید از سیکلون مطابق با استاندارد متد (ASTM D3685: American Society for Testing and materials) مورد آزمایش و

آئرو دینامیکی، نقش برخی فاکتورهای هندسی و دیمانسیون را بر به طور هم‌زمان بر راندمان سیکلون مورد بررسی قرار دهد. لذا ضمن تعیین فاکتورها و شناخت بیشتر عوامل مختلف سیکلون تلاش شد تا با تغییر در مهمترین فاکتورهای هندسی - آئرو دینامیکی این دستگاه، سیکلونی طراحی گردد تا بتواند ذرات هوا برد را در مقیاس‌های بسیار کوچکتر (سایز و مقدار) جمع آوری کند. بر این اساس ضمن طراحی و ساخت سیکلونی با زاویه ورودی و ارتفاع ایجادکننده گرداب متغیر و با تأثیر سطوح مختلفی از فاکتورهای آئرو دینامیکی راندمان سیکلون ترکیبی در شرایط واقعی در آزمایشگاه مورد مطالعه قرار گرفت.

روش بررسی

الف: راه اندازی (set up)

به منظور انجام آزمایشات و اجرای طرح پیشنهادی ابتدا محاسبات هندسی لازم جهت دستیابی به سیکلونی با ابعاد واقعی انجام شد و سپس هندسه به دست آمده بر روی یک مدل پایه و اولیه با استفاده از مواد موجود (مقوا)، در آزمایشگاه محل انجام پژوهش، ساخته شد. ابعاد هندسی سیکلون ساخته شده به شرح زیر می‌باشد:

a = ارتفاع ورودی سیکلون: $۱۵/۲۴$ سانتیمتر

b = پهنای ورودی سیکلون: $۷/۶$ سانتیمتر



شکل ۳- ساخت سیکلون با ورق آلومینیومی و استقرار روی سیستم تونل باد.

الف: نمای ورودی سیکلون در مقیاس واقعی با ورق آلومینیوم، ب: نمای ورودی و خروجی سیکلون، ج: نمای ورودی سیکلون بدون اتصال به کانال

نمونه برداری قرار گیرد.

ب: کالیبراسیون سیستم و شرایط ایزوکنتیک

با توجه به اینکه عملیات تحقیق در مقیاس واقعی و در محل آزمایشگاه انجام شده است به دلیل استفاده از دستگاه ها و تجهیزات آزمایشگاهی موجود، کالیبراسیون فاکتورهای سرعت، دبی و ... برای دستگاه های مورد نیاز، الزامی به نظر می رسد. لذا به منظور کالیبراسیون پمپ های نمونه برداری از روتامترهای مجهز به گیج های فشار (که قبلا با گاز متر خشک کالیبره شده بود) استفاده شد. هم چنین گواهی کالیبراسیون پیتوتیوب ها توسط شرکت های سازنده ملاک قرائت در هر مرحله از آزمایش این تحقیق قرار گرفت. مطابق استاندارد متد شرایط ایزوکنتیک با شرایط سرعت معادل در هر دو ست نمونه برداری قبل و بعد از سیکلون مطابق روش استاندارد و محاسبات مربوطه، انجام گرفته است.

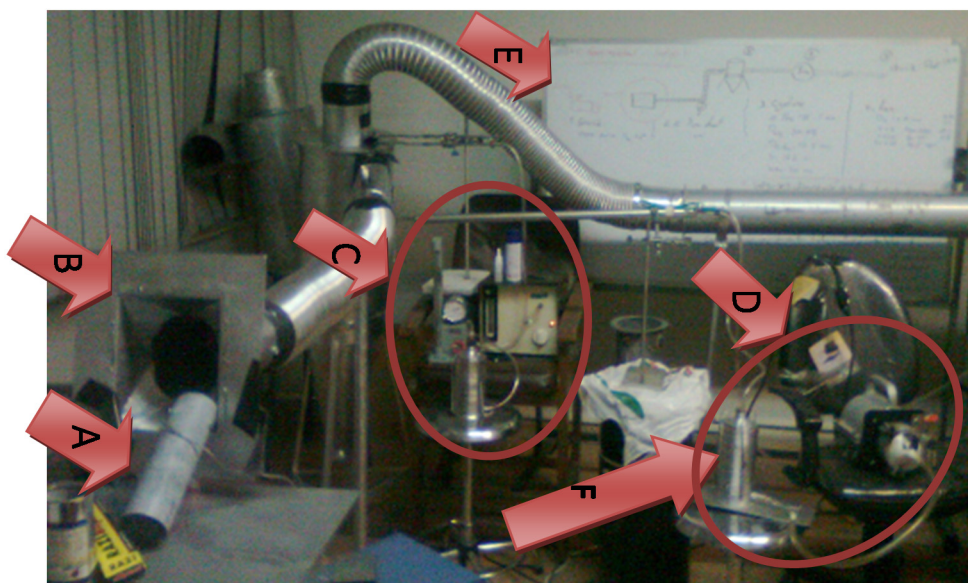
ج: شیوه انجام کار

روش نمونه برداری و آنالیز در این مطالعه مطابق با روش ASTM D3685 می باشد. این روش تست، شیوه ای را برای تعیین میزان جرم ذرات خارج شده و باقیمانده در جریان گاز بوسیله نمونه برداری در داخل و خارج دودکش (stack) بیان می کند. همچنین این روش به منظور اندازه گیری غلظت ذرات منتشر شده و باقیمانده از اعتبار بالایی برخوردار می باشد. سیستم

نمونه برداری در این روش شامل گازمتر خشک، پمپ نمونه برداری، فیلتر، فیلتر هولدر، روتامتر، پیتوت نوع S، مانومتر، ترازوی بسیار حساس می باشد. تمامی دستگاه ها و تجهیزات مورد استفاده مطابق با روش استاندارد انتخاب شده، کالیبره شده و صحت عملکردشان مورد آزمایش و تست قرار گرفته است. روش آنالیز انتخاب شده برای فیلترهای نمونه برداری، مطابق روش گراویمتری انتخاب شده است [۱۷].

جهت اجرای پروژه مورد نظر ابتدا سیکلون با مدل جدید را طراحی، سپس با استفاده از مواد موجود در محل آزمایشگاه مدل اولیه ای از سیکلون ترکیبی با هدف شناسایی نقایص و اشکالات احتمالی، ساخته شد. پس از تکمیل مدل اولیه و ارزیابی تمام پارامترها سیکلون ترکیبی در ابعاد واقعی با ورق آلومینیومی ساخته شد. سیکلون ساخته شده در سیستم تونل باد به منظور ارزیابی و انجام تست های مورد نظر قرار گرفت. تجهیزات لازم جهت نمونه برداری شامل دو ست کامل نمونه برداری تهیه و میزان دقت هریک از تجهیزات مورد آزمایش قرار گرفت.

پس از تایید دقت دستگاه های نمونه برداری، این دستگاه ها توسط گازمتر کالیبره شدند. و سپس سیستم نمونه برداری در دو محل قبل و بعد از سیکلون با رعایت شرایط ایزوکنتیک نصب و اجرا شد. فلوی مکشی تونل باد و دمای سیستم با کمک تجهیزات مربوطه هر کدام



شکل ۴- تصویری از نصب و راه اندازی نهایی سیستم و آماده بودن آن جهت انجام نمونه برداری ها.
 A= مولد گردو غبار از اکسید روی، B= هود مکشی سیستم تونل باد، C= ایستگاه نمونه برداری قبل از سیکلون، D= ایستگاه نمونه برداری بعد از سیکلون،
 E= کانال ورودی به فن مکند، F= کاسکت ایمپکتور

تحلیل و بررسی قرار گرفت.

یافته‌ها

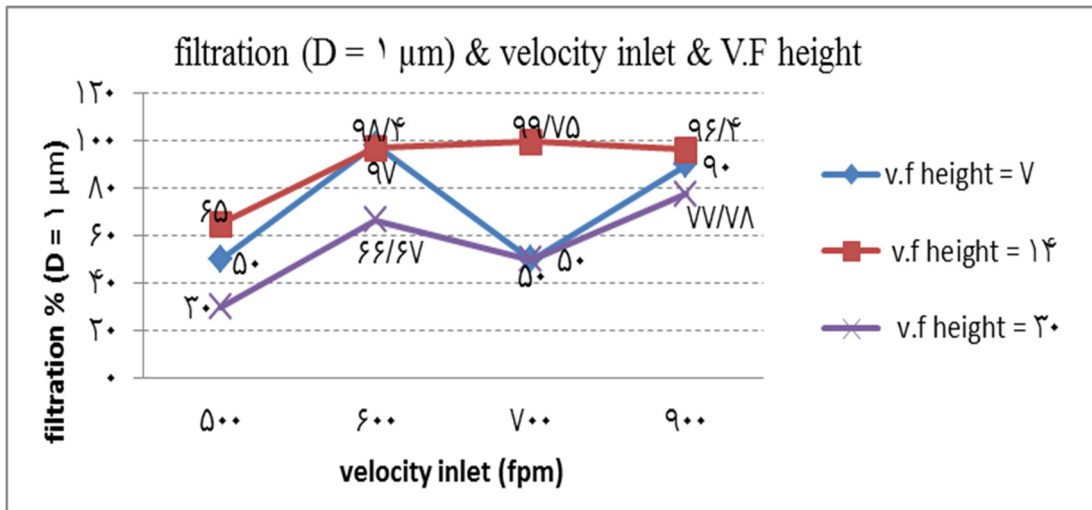
نتایج آزمایشات مربوط در شکل‌های ۵ - ۱۲ بیان شده است. در طی مراحل تحقیق راندمان حذف به تفکیک قطر برشی ذرات (در سه محدوده μm ۱۰ و ۴/۷ و $D_{cut\ point\ 50\%} = 1$) توسط ایمپکتور به عنوان متغیر پاسخ ارزیابی شده است. راندمان سیکلون متأثر از ارتفاع ایجادکننده گرداب (V.F height) و زمان ماند و سرعت ورودی به تفکیک قطر ذرات (شکل‌های ۵، ۶، ۷ و ۸). تعیین راندمان سیکلون متأثر از زمان ماند به تفکیک قطر ذرات (شکل‌های ۹، ۱۰، ۱۱ و ۱۲). نقش زاویه‌ی ورودی و ارتفاع ایجادکننده گرداب بر راندمان تصفیه و افت فشار در سیکلون (شکل ۱۳).

بحث و نتیجه‌گیری

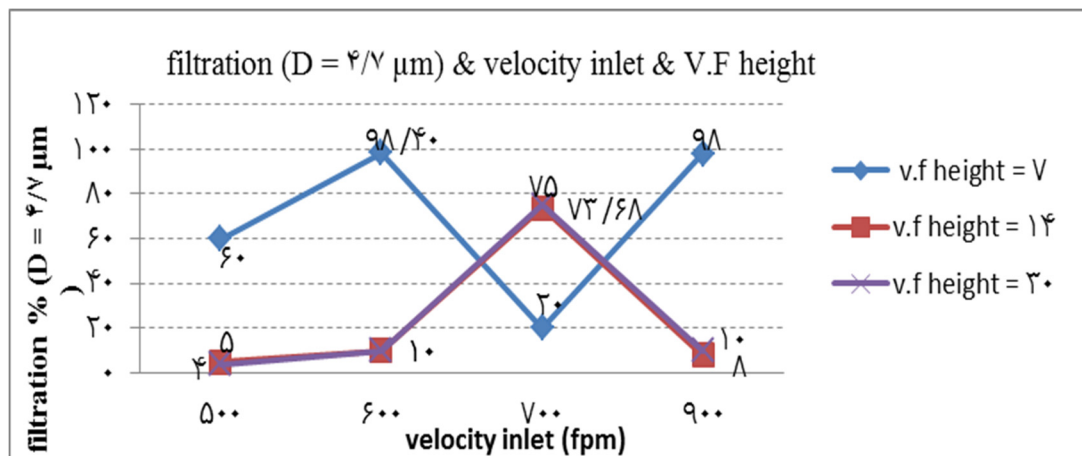
تأثیر همزمان سرعت مماسی ورودی سیکلون و ارتفاع ایجادکننده گرداب در سه مرحله بر راندمان جداسازی

در سه محدوده به عنوان متغیرهای آئروپینامیکی با کمک واریاب و مولد حرارت تعیین و کنترل شد.

نمونه‌برداری در ۲ نقطه از سیستم (قبل و بعد از سیکلون) به مدت ۵ دقیقه از گردوغبار اکسید روی (به دلائل نزدیکی دانسیته با گروغبارهای صنعتی مانند فرایندهای سند بلاست - سیمان صنایع آلومینا و همچنین در دسترس بودن ذرات مش‌بندی شده آن) با دانسیته $5/6\text{ gr/cm}^3$ توسط کاسکد ایمپکتور (به دلائل آنالیز چند مرحله‌ای به تفکیک قطرهای مختلف) مجهز به فیلترهای فایبر گلاس جمع‌آوری شد. میزان فشار سیستم در حین نمونه‌برداری با کمک پیتوت نوع S و مانومتر شیب‌دار شرکت AIR FLOW اندازه‌گیری و ثبت گردید. نمونه‌ها با ترازوی حساس (۰/۰۰۰۱ گرم) گراویمتری شده و اختلاف وزنی پلیت‌ها و فیلترها در هر مرحله به عنوان داده‌های هر مرحله از آزمایش ثبت شد. با تغییر در تک تک پارامترهای مورد نظر تمامی مراحل آزمایش انجام و نتایج لازم کسب شد. پس از پایان نمونه برداری‌ها نتایج به دست آمده وارد نرم-افزار Minitab و Excel شده و نتایج مورد تجزیه،



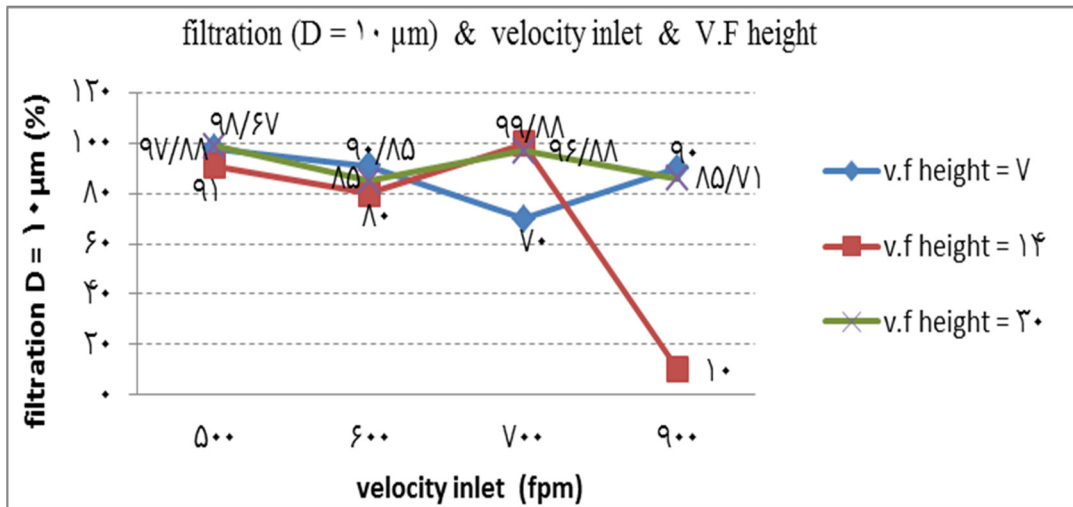
شکل ۵- نقش سرعت ورودی (velocity inlet) و ارتفاع ایجادکننده گرداب (V.F height) بر راندمان حذف ذرات (filtration) با قطر ۱ میکرومتر



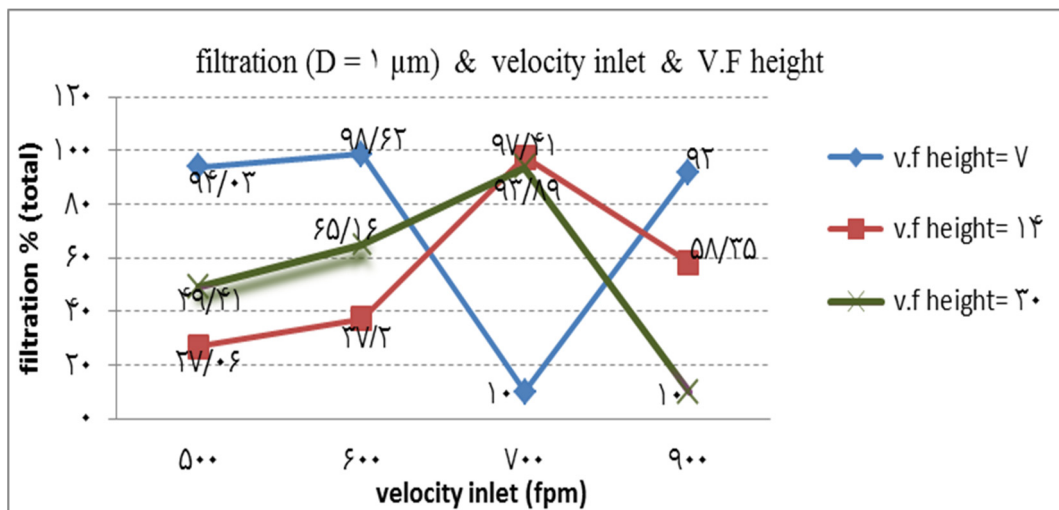
شکل ۶- نقش سرعت ورودی و ارتفاع ایجادکننده گرداب بر راندمان حذف ذرات با قطر ۴/۷ میکرومتر

آقای لی و همکارانش در سال ۲۰۰۸ عدم یکنواختی عرضی و طولی ذرات در فضای داخل سیکلون و وابستگی نرخ جداسازی ذرات و نشست آلودگی متأثر از سرعت خطی در سیکلون گزارش شده است [۱۴]. از آنجائیکه زمان ماند تابع سرعت ورودی سیکلون می باشد کاهش ارتفاع ایجادکننده گرداب و افزایش زمان ماند تغییرات قابل توجهی را در نتایج نشان می دهند. این روند به گونه ای است که کاهش ارتفاع ایجاد کننده گرداب باعث افزایش زمان ماند و افزایش راندمان تصفیه ذرات ۱ میکرونی شده است اما

ذرات با قطر یک میکرومتر نتایج نشان می دهد که سیکلون مورد آزمایش در ارتفاع ۱۴ سانتیمتر از ایجاد کننده گرداب با سرعت ورودی FPM (feet per minute) ۷۰۰ دارای بیشترین عملکرد جداسازی می باشد (شکل ۵). جریان پس از ورود به سیکلون به علت لامینار بودن فرصت کافی جهت سقوط ذرات را فراهم نموده است. ذرات با قطر یک میکرومتر به دلیل پایین بودن عدد رینولدز ($\geq Re$) متأثر از نیروی جاذبه و نیروی اینرسی ملایم جریان، درون سیکلون در شرایط ته نشینی و تسریع در نشست قرار می گیرد. در مطالعه



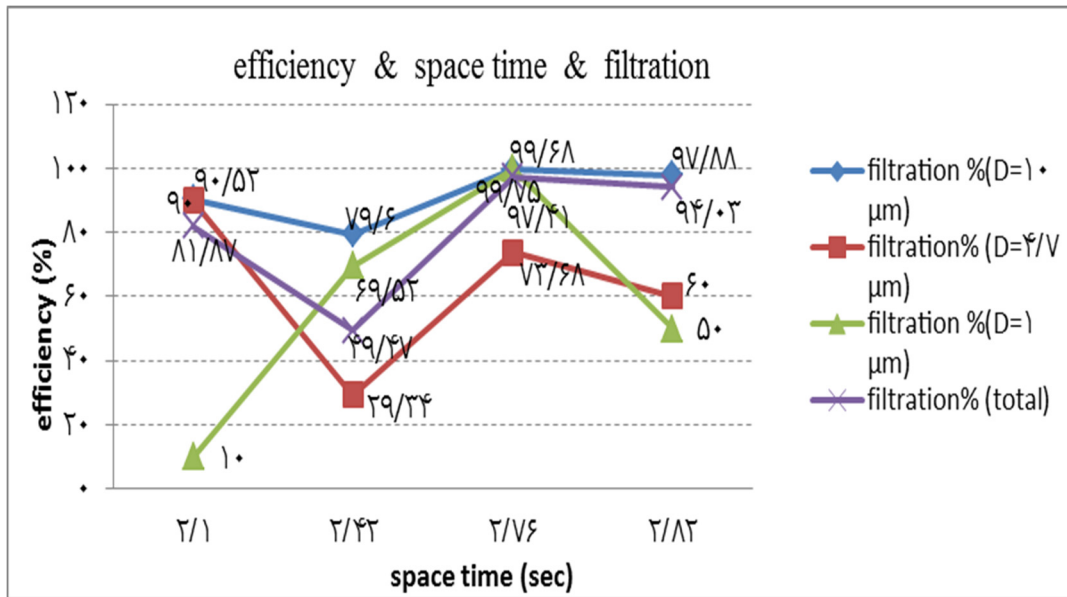
شکل ۷- نقش سرعت ورودی و ارتفاع ایجادکننده گرداب بر راندمان حذف ذرات با قطر ۱۰ میکرومتر



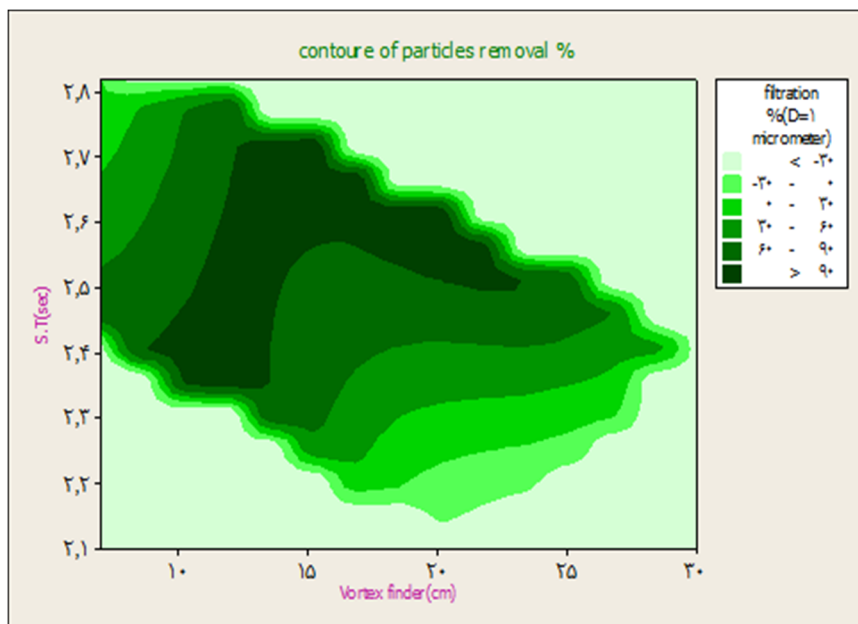
شکل ۸- نقش سرعت ورودی و ارتفاع ایجادکننده گرداب بر راندمان حذف کل

تأثیر سرعت ورودی و ارتفاع ایجادکننده گرداب بر راندمان حذف ذرات به ترتیب در قطر ۴/۷ میکرومتر و قطر ۱۰ میکرومتر و راندمان ذرات (particulate matter PM_{10}) در شکل‌های ۶ و ۷ و ۹ آمده است. منحنی راندمان حاصل از عملکرد سیکلون در دو ارتفاع منحنی ۱۴ و ۳۰ در سرعت‌های برابر برای ذرات ۴/۷ میکرومتر رفتار یکسانی نشان داده است. در این شرایط جریان پس از ورود به سیکلون و تشکیل گرداب به علت تأثیر بیشتر نیروی اینرسی بر مدل چرخشی ذرات ۴/۷ میکرومتری در مقایسه با ذرات با قطر برشی ۱

هنگامی که روند کاهش ارتفاع به کمتر از ۱۴ سانتیمتر می‌رسد راندمان مجدداً کاهش پیدا خواهد کرد. روند ذکر شده می‌تواند به دلیل تغییر مدل چرخشی جریان در سیکلون و تبدیل آن به جریان‌های غیر ملایم و همچنین افزایش افت فشار مکشی و برگشت ذرات ته‌نشینی ریز ($1 \mu\text{m}$) ناشی از اغتشاش باشد (شکل ۵، ۹ و ۱۰). مطالعه آقایان خیری و لاکور تأثیر فاکتورهای هندسی و دینامیکی سیکلون را در راندمان جداسازی ذرات ریز نقش و برگشت آلاینده‌ها به داخل جریان به خوبی اشاره نموده است [۱۸-۲۰].



شکل ۹- نقش و تاثیر زمان ماند بر راندمان حذف ذرات به تفکیک قطر

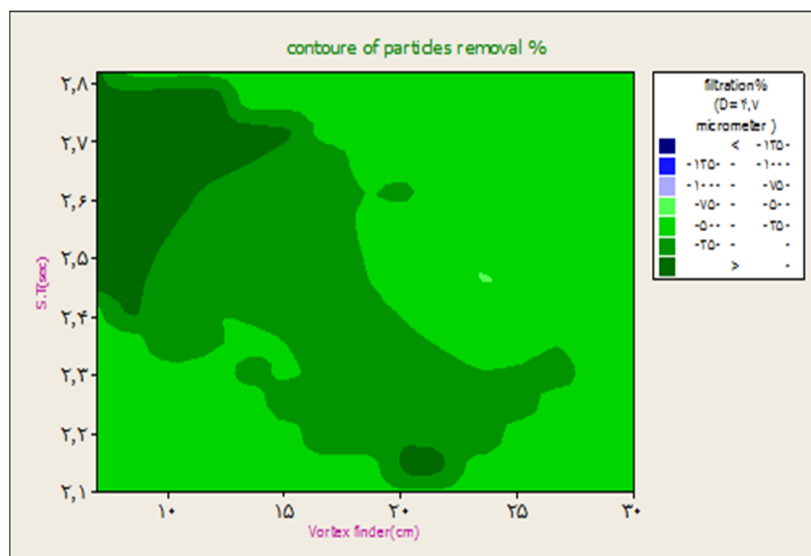


شکل ۱۰- اثر فاکتور ایجادکننده گرداب و زمان ماند بر حسب ضریبی از راندمان حذف ذرات با قطر ۱ میکرومتر

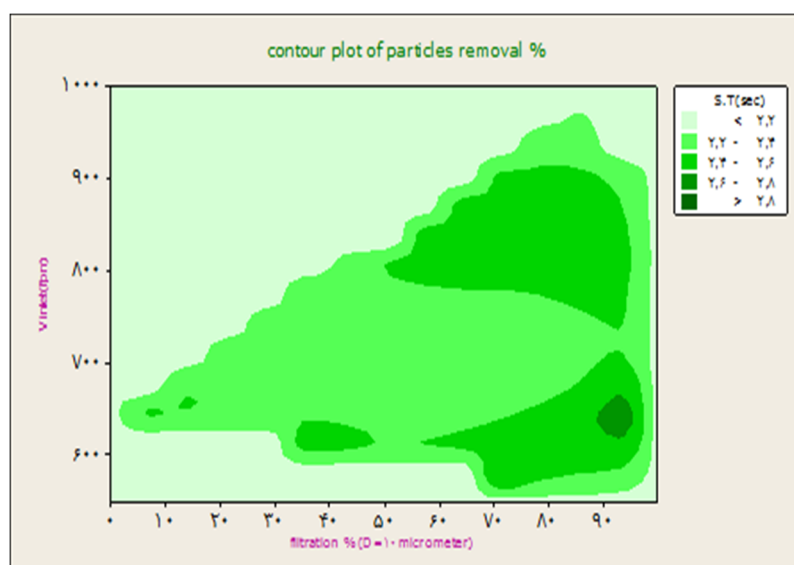
است (شکل ۶).

بررسی و آنالیز نتایج دیگر تحقیق نشان داد (شکل ۹) که راندمان جداسازی ذرات با قطر برشی ۱۰ میکرون و سرعت مماسی زیر ۶۰۰ FPM همانند ذرات ۴/۷ و ۱ = ۵۰٪ D از پتانسیل خوبی برخوردار بوده است. اگرچه در ارتفاع‌های بزرگتر از ایجادکننده گرداب به دلیل زمان

میکرومتر، ارتفاع ایجادکننده گرداب تأثیر کمتری بر راندمان جداسازی دارد. بر همین اساس راندمان جداسازی برای ارتفاع ایجاد کننده گرداب معادل ۷ سانتیمتر (D به دلیل زمان ماند بیشتر و فرصت کافی برای جداسازی ذرات کوچک قابل استنشاق در سرعت مماسی ۶۰۰ FPM افزایش قابل توجهی را نشان داده



شکل ۱۱- اثر فاکتور ایجادکننده‌ی گرداب و زمان ماند بر حسب ضریبی از راندمان حذف ذرات با قطر ۴/۷ میکرومتر

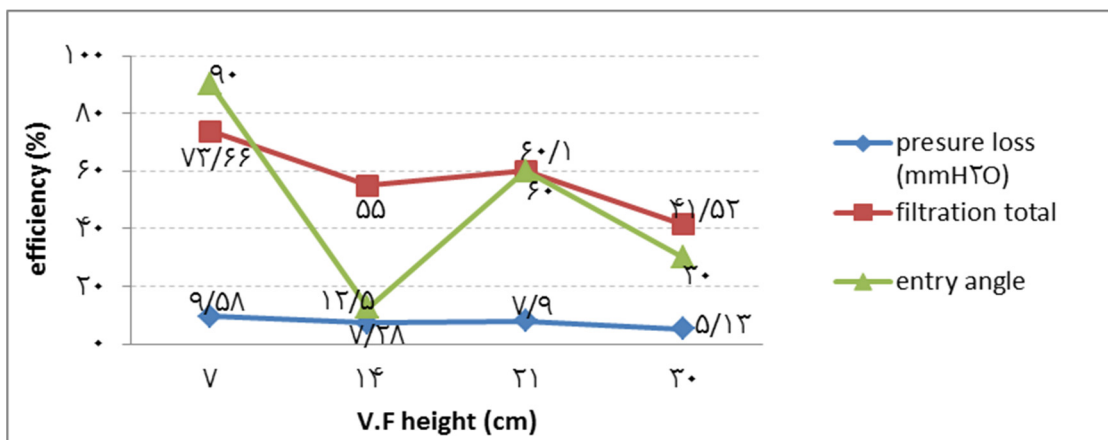


شکل ۱۲- تاثیر سرعت ورودی سیکلون و هم‌چنین زمان ماند سیستم بر راندمان حذف ذرات با قطر ۱۰ میکرومتر

ماند دارای نتایج بهتری می‌باشد. از طرفی نتایج حذف ذرات ۱۰ میکرومتر متأثر از سرعت مماسی و زمان ماند (شکل ۱۲) بیانگر این واقعیت است که به دلیل سنگین بودن ذرات ۱۰ میکرومتر در مقایسه با سایزهای کوچکتر ۴/۷ میکرومتر باعث تأثیر بیشتر سرعت مماسی و نیروی اینرسی اولیه در سطح بدنه داخلی سیکلون شده است. سرعت مماسی ۸۰۰ FPM با زمان ماند کمتر از ۲/۸ ثانیه ($2/8 > S.T$)

ماند کمتر فقط در سرعت مماسی ۷۰۰ FPM شرایط بهینه حاصل شده است. نتایج اشاره شده در این قسمت با یافته‌های پارک و همکارانش هم‌گرایی نزدیکی نشان می‌دهند [۱۲].

با دقت در نمودار و مقایسه‌ی آن با نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل نتایج نرم افزار Minitab (شکل‌های ۱۰ و ۱۱) نشان می‌دهد راندمان حذف ذرات با کوچک شدن ارتفاع ایجادکننده گرداب و افزایش زمان



شکل ۱۳- نقش ارتفاع ایجادکننده گرداب بر راندمان تصفیه و افت فشار در سیکلون.

برخورد ناچیز حداقل راندمان جداسازی را فراهم نموده است. مطالعه آقای ماریبل و همکارانش در سال ۲۰۱۱ این ارتباط را تأیید می‌کنند [۲۲].

در پایان بحث می‌توان از نتایج تحقیق نتیجه‌گیری نمود که:

۱. با توجه به مشخصات آئرو دینامیکی و هندسی سیکلون در تحقیق حاضر و ثابت بودن مؤلفه حجم، به منظور حذف ذرات زیر ده میکرون، زمان ماند جریان هوا ۲/۷۶ ثانیه با راندمان جداسازی ۹۹/۷ درصد به دست آمده است. این شرایط می‌تواند در مقیاس صنعتی به عنوان شرایط بهینه حذف ذرات مورد استفاده قرار گیرد.

۲. دو شاخص اصلی، قابلیت جداسازی ذرات PM₁₀ و ذخیره انرژی به دلایل نوع ساختار هندسی و افت فشار کم در سیستم پالایش این تحقیق باعث سازگاری آن با محیط زیست "به‌عنوان تکنولوژی سبز" می‌باشد.

۳. با توجه به نتایج به دست آمده از تحقیق می‌توان محدوده سرعت ۸۰۰ - ۶۰۰ FPM زمان ماند کمتر از ۲/۷۶ ثانیه، و افت فشار حداکثر ۱۰ mmH₂O با (D= ۰/۲۵ - ۰/۵ height vortex finder) ارتفاع ایجادکننده گرداب ۰/۲۵ - ۰/۵ برابر قطر سیکلون را شرایط بهینه حذف ذرات زیر ده میکرون بیان نمود.

۴. از طرح سیکلون با مشخصات ذکر شده می‌توان با رویکرد زیست محیطی در حذف ذرات PM₁₀ به عنوان یک بسته تصفیه‌کننده اصلی (نه پیش تصفیه کننده)

راندمان ۷۰-۸۰٪ را فراهم نموده است. در حالیکه سرعت مماسی کمتر از ۸۰۰ FPM این محدوده از ذرات مورد مطالعه از پتانسیل جداسازی قابل توجهی برخوردار نیست.

با توجه به رویکرد تحقیق در حذف ذرات زیر ده میکرون ($D_{50} \geq 10 \mu m$) نتایج نشان می‌دهد افزایش حجم سیکلون (تابع قطر و یا طول) باعث زمان ماند بیشتر و نتیجتاً افزایش راندمان جداسازی ذرات در طرح جدید سیکلون شده است. نتایج تحقیق خیری و لاکور با موضوع نقش ارتفاع سیکلون بر عملکرد حذف ذرات، ارتباط کاهش راندمان جداسازی ذرات و Dcut point را متأثر از افزایش طول سیکلون گزارش داد. این موضوع وجه تفاوت بین نتایج مطالعه حاضر با نتایج ارائه شده در مطالعه خیری و همکارانش به دلیل سایز انتخابی ذرات در دو تحقیق می‌باشد [۲۱].

نقش ارتفاع ایجادکننده گرداب بر افت فشار و زاویه ورودی در شکل ۱۳ آمده است. نتایج بیانگر رابطه عکس بین راندمان جداسازی ذرات کل (PM₁₀) با افت ایجاد شده بر حسب میلیمتر آب می‌باشد. همچنین به دلیل برخورد مستقیم جریان ملایم با زاویه ورودی ۹۰ درجه و عدم تأثیر نیروی اینرسی ناشی از سرعت مماسی ورودی حداکثر راندمان جداسازی در ذرات مورد مطالعه در این زاویه ورودی حاصل شده است. از طرفی زاویه ورودی ۱۲/۵ درجه به دلایل ذکر شده و تأثیر

10. Cortés C, and Gil A. Modeling the gas and particle flow inside cyclone separator, center of research of energy resources and consumptions (CIRCE), Department of Mechanical Engineering, University of Zaragoza, Spain.

11. Khairy E, & Chris L. The effect of vortex finder diameter on cyclone separator performance and flow field, V European Conference on Computational Fluid Dynamics, ECCOMAS CFD 2010.

12. Kyoungwoo P, and et al, The effect of cyclone shape and dust collector on gas-solid flow and performance, World Academy of Science, Engineering and Technology 2012;61.

13. Khairy E, and Chris L. Investigation of the Geometrical Parameters Effects on the Performance and the Flow-Field of Cyclone Separators using Mathematical Models and Large Eddy Simulation, 13th International Conference on Aerospace Sciences & Aviation Technology, Paper: 2009;ASAT-13-MO-12.

14. Kim J.C. and Lee K.W. Experimental study of particle collection by small cyclones, Aerosol Science and Technology, 1990.

15. Hoekstra A.J. Gas flow field and collection efficiency of cyclone separators. PhD thesis, Technical University Delft, 2000.

16. Moore M.E. and McFarland A.R. Performance modeling of single-inlet aerosol sampling cyclones, Environmental Science and Technology, 1993 .

17. ASTM International, Designation: D 3685/D 3685M – 98.

18. Khairy E, and Chris L. Numerical study on the effect of cyclone inlet height on the flow pattern and performance, International Congress of Fluid Dynamics, 2010.

19. Khairy E, and Chris L. The effect of vortex finder diameter on cyclone separator performance and flow field, V European Conference on Computational Fluid Dynamics, ECCOMAS CFD 2010.

20. Khairy E, and Chris L. The effect of cyclone dustbin on the flow pattern and performance, International Congress of Fluid Dynamics, 2010.

21. Khairy E, and Chris L. The Effect of Cyclone Height on the Flow Pattern and Performance Using LES, International Congress of Fluid Dynamics, December 16-19, 2010.

22. Maribel R, et al. Modeling the effects of the vortex finder height on pressure drop in the cyclone using computational fluid dynamics, Asociacion Argentina, Mecánica Computacional 2011;525-533.

استفاده نمود.

تقدیر و تشکر

در طی انجام این پروژه شورای پژوهشی مرکز تحقیقات بهداشت کار ایران همکاری و مساعدت فراوانی داشته‌اند لذا از تک‌تک اعضای محترم و همچنین کمیته تحقیقاتی و کارشناسان آن مرکز نهایت تشکر و قدردانی می‌گردد.

منابع

1. Khairy E, and Chris L. Application of response surface methodology for modeling and optimization of the cyclone separator for minimum pressure drop, V European Conference on Computational Fluid Dynamics, ECCOMAS CFD, 2010.

2. Bingtao Z. Prediction of gas-particle separation efficiency for cyclones: A time-of-flight model, Separation and Purification Technology Journal, 2012;85:171-177.

3. Bingtao Z. Development of a Dimensionless Logistic Model for Predicting Cyclone Separation Efficiency, Aerosol Science and Technology 2010;44:1105-1112.

4. Wang LK, Pereira NC, Hung YT. Air Pollution Control System, Totowa, New Jersey-Human Press Inc. 2004.

5. Bahrami A, et al. Effects of Velocity and Particles Load on Efficiency of Cyclone in the Stone Crushing Units at Azendarian Area, J Res Health Sci, 2008;8(1):12-17.

6. Pishbin S. I. and Moghiman M. Optimization of Cyclone Separators Using Genetic Algorithm, International Review of Chemical Engineering (I.RE.CH.E.) 2010; Vol. 2.

7. Raoufi A & Shams M. Numerical simulation and optimization of fluid flow in cyclone vortex finder. Chemical Engineering and Processing, 2008.

8. Faulkner W.B. and Shaw B.W. Efficiency and pressure drop of cyclones across a range of inlet velocity, Applied Engineering in Agriculture, 2005;22(1):155-161.

9. Khairy E & Chris L. The Effect of Cyclone Inlet Width on the Flow Pattern and Performance, International Congress of Fluid Dynamics 2010.

Survey of Aerodynamic-Geometric factors role on particles filtration efficiency of Cyclone

R. Yarahmadi¹, M. Borhani jebeli², P. Moridi³

Received: 2012/11/11

Revised: 2013/05/18

Accepted: 2013/08/08

Abstract

Background and aims: Extensive industrial and production activities are one of the major sources of dust. In many cases, cyclones are used as the control measure. The removal efficiency of dust in cyclones depends on different factors. Some of these factors are, the design parameters, e.g. cyclone diameter, particle density, operating temperature and fluid physical properties, density of gas flow, viscosity and inlet velocity of fluid. There are some studies by parameters simulation approach as mathematical models. The purpose of this study was to evaluate the interaction of the main factors on the particle removal efficiency and other discussed factors, particularly the structural properties of a cyclone completely in experimental scale.

Methods: The ASTM D3685 method was used in which sampling condition and duct's size and geometric diameter was in accordance with the cyclone. For conducting different stages of sampling in the laboratory, a cyclone (as physical model) with the flexibility of changing the inlet angle and vortex finder height was constructed. The removal efficiency of dust in the cyclone was examined with changing the design parameters.

Results: The effect of cyclone inlet angle changes and pressure loss on dust removal was observed simultaneously in the new designed cyclone. It indicates that optimized efficiency of 60 – 90% was obtained in pressure of 8 - 9.5 mm H₂O and inlet angle of 60 - 90 degree for total particle below 10 micron (PM₁₀).

Conclusion: The findings of this study suggest that utilizing this cyclone model may assist in controlling the problems involving emission processes with the potential of particle generation which have 1-10 micron aerodynamic diameter.

Keywords: Cyclone, Aerodynamic factors, Geometrical parameters, Dust removal, Vortex finder, Inlet angle.

1. (Corresponding author) Occupational Health Research Center, Department of Occupational Health, School of public Health, Iran University of Medical Sciences, Tehran, Iran. rasoulpch@yahoo.com

2. Student of MSC Occupational Health, Iran University of Medical Sciences, Tehran, Iran.

3. PhD Student of Environment Management in Research and Science Azad University, Tehran, Iran.