مطالعه تجربی اثر دوران بدنه سیکلون بر روی بازده سیکلون‌ها

سید سامان صالح‌یار، منصور شیروانی، احد قائمی *+
دانشکده مهندسی شیمی، نفت و گاز، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران.

چکیده : در این پژوهش جداسازی ذره‌های سیلیس، با استفاده از یک جداساز سیکلونی دارای دو ورودی خوراک و با بدنه دوار به طور تجربی مورد بررسی قرار گرفت. برای انجام آزمایش‌های تجربی از یک دستگاه سیکلون آزمایشگاهی استفاده شد. در آزمایش‌های تجربی اثر پارامترهای عملیاتی شامل اندازه ذره‌ها در بازه ۱۵ تا ۴۰ میکرون، شدت جریان هوا ۳۰ تا ۷۰ مترمکعب و سرعت دوران بدنه سیکلون از صفر تا ۱۹۰۰ دور بر دقیقه بر بازده سیکلون مورد ارزیابی قرار گرفت. نتیجه‌های تجربی نشان داد بزرگ‌تر شدن ذره‌ها حدود ۱تا ۲٪ ، افزایش شدت جریان حدود ۳ تا ۵٪ و افزایش سرعت بدنه حدود ۱۰ تا ۱۳٪ منجر به بهبود بازده سیکلون می شود. همچنین نتیجه‌ها نشان داد که دوران بدنه در جهت وارون جریان ورودی حدود ۴۸ درصد از بازده سیکلون می کاهد. افت فشار سیکلون در حال دوران نشان داد این عدد در حالت دوار بیش‌تر از حالت ثابت بدنه می‌باشد ولی توزیع یکنواخت فشار باعث می‌شود تا اثر افت فشار روی بازده محسوس نباشد. نتیجه‌های آزمایشگاهی همچنین نشان می‌دهد افزایش شدت جریان و سرعت دوران بدنه سیکلون منجر به افزایش سرعت مماسی و در نتیجه افزایش نیروی گریز مرکز شده که نتیجه آن افزایش بازده سیکلون است.

واژه‌های کلیدی: ذره‌های سیلیس، سیکلون، بدنه دوار، بازده، سرعت دوران، سرعت هوا.

KEYWORDS: *Silica Particles, Cyclone, Rotating Body, Efficiency, Speed, Air velocity*

مقدمه

سیکلون دستگاهی برای غبارگیری و جمع‌آوری ذره‌های معلق در گازها می‌باشد. سیکلون‌ها بر اساس نیروی گریز از مرکز و نیروی گرانش عمل جداسازی را انجام می‌دهند. پارامترهای عملیاتی که بر طراحی و بازدهی سیکلون‌ها تأثیر گذارند عبارتند از سرعت گاز ورودی، اندازه ذره‌ها، طولانی‌ترین مسیر شعاعی، سرعت چرخش، دما و دیگر پارامترهای عملیاتی می‌باشند [۳-۱]. مطالعه‌های بسیاری در زمینه سیکلون‌ها ارایه شده است. در مطالعه های پیشین، نخست اثر هندسه سیکلون‌ها مورد بررسی قرار گرفت و هرکدام از پژوهشگران نسبتی از قطر را برای دیگر قطعه‌های سیکلون در نظر گرفتند [۶-۴]. نتیجه‌های مطالعه ها انجام شده نشان می‌دهد که اندازه‌های هندسی تأثیر مهمی بر هیدرودینامیک سیکلون‌ها دارد [۷،۸]. در این پژوهش سعی بر آن شد تا با الهام از مدل استایرماند با اندکی تغییر سیکلون ساخته شود. همچنین برخی پژوهشگران اثر پارامترهایی نظیر دما [۹]، مقدار بخار موجود درگاز ورودی و غیره را روی بازده سیکلون‌ها مورد بررسی قرار دادند [۱۰]. با ازدیاد دما بر گرانروی گازها افزوده می‌شود و در نتیجه بازدهی سیکلون کاهش می‌یابد. اگر دمای گاز زیاد باشد. (بیش‌تر از ۴۰۰ درجه سلسیوس) سطح داخلی بدنه سیکلون را باید به وسیله آستری از آجر نسوز، و قسمت‌های خروجی را به وسیله صفحات مقاوم در برابر

* عهده دار مکاتبات
+ E-mail: aghaemi@iust.ac.ir

گرما یا سرامیک پوشاند. هرگاه گاز دمای متوسطی داشته باشد، این دما باید حداقل ۲۰ تا ۲۵ درجه سلسیوس بیش‌تر از نقطه شبنم گاز باشد و به این منظور سطح خارجی سیکلون را به وسیله عایق گرمایی می‌پوشانند. با توجه به این‌که هوا نباید به داخل سیکلون و برعکس نفوذ کند، دریچه‌های بازدید باید در سرپوش قسمت خروجی تعبیه شوند و هرگز در روی بدنه سیکلون قرار نگیرند، تا به این ترتیب از ورود هوا جلوگیری شود. مقدار بخار موجود در گاز هم اثر خورندگی داشته و بر نقطه شبنم گاز مؤثرند. گرایش هم‌چسبی و چسبندگی ذره‌های غبار به جدار سیکلون و تناوب تخلیه غبار، ویژگی های خورندگی غبار و میزان سایش جداره‌های سیکلون نیز بعنوان پارامتر مؤثر روی بازده سیکلون‌ها بررسی شد [۱۱،۱۲].

در سال‌های بعد پژوهشگران روی مدل‌های ریاضی با درنظر گرفتن پارامترهای گوناگون به پژوهش پرداختند و مدل‌های ریاضی گوناگونی برای تعیین ژئومتری مناسب برای سیکلون‌ها ارایه شد که در آن‌ها عنصر اصلی در طراحی و ساخت سیکلون‌ها، قطر سیکلون اعلام شد و سایر مشخصه‌های هندسی سیکلون با توجه به نسبت مشخص آن‌ها با قطر بدنه تعیین شد [۱۳،۱۴].

سپس اثر افزایش شدت جریان و افزایش اندازه ذره‌ها روی بازده مطالعه شد و پژوهشگران نشان دادند که با افزایش شدت جریان می‌توان به بازده بالاتری دست یافت و هر چقدر ذره‌ها بزرگ‌تر باشند میزان بازده سیکلون بالاتر است. به تازگی اثر استفاده از دو ورودی متقارن برای خوراک مورد بررسی قرار گرفت و همه آزمایش‌های گذشته شامل افزایش شدت جریان و افزایش اندازه ذره‌ها که روی سیکلون‌های تک ورودی انجام شده بود دوباره برای این مدل از سیکلون‌ها نیز تکرار شد. نتیجه‌ها بیانگر آن بود که افزایش شدت جریان و اندازه ذره‌ها به مانند حالت پیشین منجر به افزایش بازده سیکلون می شود و همچنین نشان داده شد که استفاده از دو ورودی در مجموع منجر به افزایش بازده سیکلون می شود.

در این مطالعه سعی بر آن شد تا با الهام از مدل سیکلون‌های دارای دو ورودی خوراک با چرخاندن بدنه سیکلون و ایجاد نیروی گریز از مرکز بیش‌تر، اثر دوران بدنه سیکلون روی بازده بررسی شود. اثر دوران بدنه سیکلون روی بازده تاکنون مورد بررسی قرار نگرفته است و این مطالعه سعی بر آن دارد تا بازده سیکلون را در این حالت نسبت به حالت ثابت بدنه مورد مطالعه قرار دهد. همان گونه که بیان شد در این مطالعه اثر چرخش بدنه سیکلون روی بازده سیکلون‌ها مورد بررسی قرار می‌گیرد. در سیکلون‌ها عمل جداسازی ذره‌ها از هوا، در میدان گرانشی شدیدی انجام می‌شود که به طور مصنوعی تولید شده است. عمده‌ترین کار سیکلون‌ها، جداسازی غبار از جریان گاز است.

نظریه فرایند

از جمله پارامترهای مهم در این پژوهش میزان سرعت دوران بدنه سیکلون می‌باشد که اثر افزایش سرعت در آزمایش ها گوناگون روی بازده سیکلون مورد مطالعه قرار گرفته است و بازده سیکلون در سرعت‌های گوناگون دوران بدنه سیکلون محاسبه شده است. این آزمایش ها با شدت جریان‌های گوناگون و اندازه ذره‌های متفاوت نیز مورد بررسی قرار گرفت که به مانند مطالعه های گذشته و همان گونه که انتظار می‌رفت افزایش شدت جریان و اندازه ذره‌ها بر بازده می‌افزاید. به دلیل بررسی این متغیرها (شدت جریان و اندازه ذره) توسط پژوهشگران در این مطالعه تنها به نتیجه‌های به دست آمده در مقدمه اشاره شد و از تکرار مطالب پرهیز می شود. تنها نکته مهم این است که اثر افزایش شدت جریان و اندازه ذره روی بازده سیکلون‌های دارای دو ورودی مؤثرتر بوده و بازده بالاتری را نسبت به حالت تک ورودی در همان شدت جریان و اندازه ثابت ذره می‌دهد، ولی اثر افزایش پارامتر سرعت بدنه سیکلون به صورت ویژه مورد بررسی قرار گرفت و تأثیر افزایش سرعت بدنه سیکلون روی بازده آن مطالعه شد و نشان داده شد که این عمل به شدت منجر به افزایش بازده می شود.

بخش تجربی

شرح دستگاه

در این بخش توضیح مختصری در مورد دستگاه آزمایشگاهی ساخته‌شده و چگونگی عملکرد آن، طراحی آزمایش و عامل ایجاد خطای این دستگاه جداساز صورت خواهد گرفت. بخش‌های گوناگون این دستگاه به شرح جدول ۱ می‌باشد.

همان گونه که ذکر شد هدف از انجام این آزمایش اثر چرخش بدنه سیکلون به روی بازده سیکلون می‌باشد. برای به چرخش در آوردن بدنه از موتور استفاده شد. این موتور دارای حالت‌های گوناگون سرعت بوده که با چرخاندن شاسی می‌توان آن روی سرعت مورد نظر تنظیم کرد. از دیگر برتری‌های این موتور نیز می‌توان به چرخش در جهت خلاف نیز اشاره کرد که امکان مطالعه اثر چرخش وارون جریان ورودی را نیز می‌داد. برای یافتن دور دستگاه موتور را تنظیم کرده و از استروبوسکوپ کمک گرفته شد. اساس کار این دستگاه به این صورت است که با خاموش و روشن شدن سریع لامپ یک شی در حال دوران دستگاه به مانند یک پیچ تنها در یک نقطه دیده می‌شود. با چرخاندن شاسی تعبیه شده در پشت دستگاه سرعت خاموش وروشن شدن نور را تا جایی که تنها جسم در یک نقطه دیده شود، بالا می‌بریم. در لحظه ای که آن جسم را به صورت ساکن در یک نقطه دیدیم عدد روی شاسی میزان سرعت بر حسب دور بر دقیقه می‌باشد.

جدول ۱- قطعه‌ها و مواد مورد استفاده در دستگاه آزمایشگاهی

نام تجهیزات	
موتور	روتامتر
استروبوسکوپ	ترازو خمیر و چسب
بلبرینگ	صافی
دمنده	پودرها
مکنده	سیکلون و متعلقات

جدول ۲- مشخصه های دمنده

پمپ هوای HG-400SB			
توان	۴kW	ولتاژ (V)	۳۸۰
جریان	۸/۱۷A	فشار دمش (kpa)	۳۸
فشار مکش	-۲۸kPa	سرعت (r/min)	۲۸۰۰
فرکانس	۵۰Hz	حداکثر شدت جریان (m^3/h)	۲۵۰

لوله خروجی بالا و پایین سیکلون را برای این که بتوان درآن‌ها دوران ایجاد کرد به بلبرینگ وصل شد. نوع این بلبرینگ‌ها 2RS (برای مقاومت بیش‌تردر برابر نفوذ خاک) و مدل آن‌ها ۶۲۰۸ برای بالا که قطر لوله بیش‌تر است و ۳۲۰۶ برای پایین انتخاب شد. برای جلوگیری از ورود و نشستن غبار به روی بلبرینگ‌ها که منجر به عدم کارایی آن‌ها می‌شد در دو سمت بلبرینگ‌ها محفظه‌ای تعبیه شد و توسط یک شیلنگ به هرکدام از آن‌ها دمیده شد تا این امر جلوی ورود خاک به بلبرینگ‌ها را بگیرد. مشخصه‌های دمنده در جدول ۲ آورده شده است.

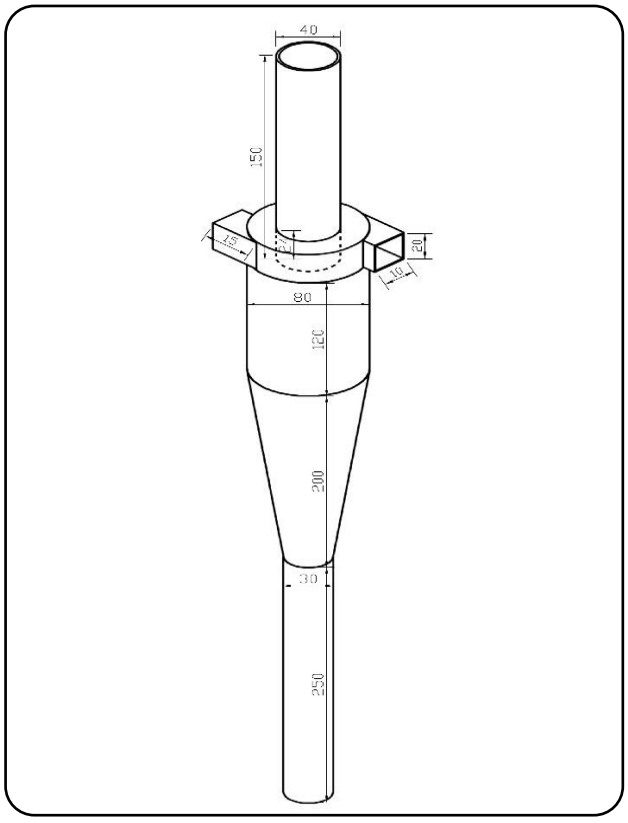
در این آزمایش برای دادن خوراک به سیکلون از مکش به جای دمش استفاده شد. در این نمونه مکنده به کار گرفته شده امکان تغییر شدت جریان وجود داشت. برای اطلاع و تنظیم مقدار شدت جریان مکش که یکی از پارامترهای آزمایش می‌باشد از روتامتر استفاده شد. در بالای سیکلون و بخش خروجی آن صافی نصب شد تا غبار فرار کرده از سیکلون جذب آن شده و با محاسبه تغییرهای وزن صافی میزان غبار فرار کرده از سیکلون مشخص شود. بدین منظور یک عدد صافی درون یک محفظه بزرگ‌تر قرارداده شد و بالا و پایین آن به صورت فلنج کار شد. سپس با کمک اتصال‌های فلنج به فلنج همه قطعه‌های دستگاه به هم وصل و آماده بهره برداری شد.

همان گونه که گفته شد سیکلون مورد استفاده در این آزمایش یک سیکلون با دو ورودی غبار می‌باشد. ابعاد و اندازه ورودی چنان در نظر گرفته شد که خیلی از مدل استایرماند خارج نشود. به دلیل این‌که *استایرماند* معادله های ژئومتری را بر اساس یک ورودی غبار در نظر گرفته بود و این سیکلون دارای دو ورودی است بدین صورت عمل شد که سطح مورد نیاز برای ورودی غبار که مدل استایرماند برای آن نسبتی در نظر گرفته بود به دلیل استفاده از دو ورودی نصف شده و به همان اندازه در دو سوی به صورت متقارن ورودی برای سیکلون در نظر گرفته شد. دلیل استفاده از مدل استایرماند این است که این پژوهشگر، پژوهش‌های گسترده‌ای در زمینه هندسه سیکلون‌ها انجام داد و سرانجام به نسبتی از تک تک اجزای سیکلون با قطر آن دست یافت که با رعایت آن نسبت‌ها می‌توان به بازده بالایی دست یافت که ساخت سیکلون‌های با بازده بالا از همین نسبت‌ها پیروی می‌کند[۱۵]. شمای کلی سیکلون در شکل ۱ نشان داده شده است.

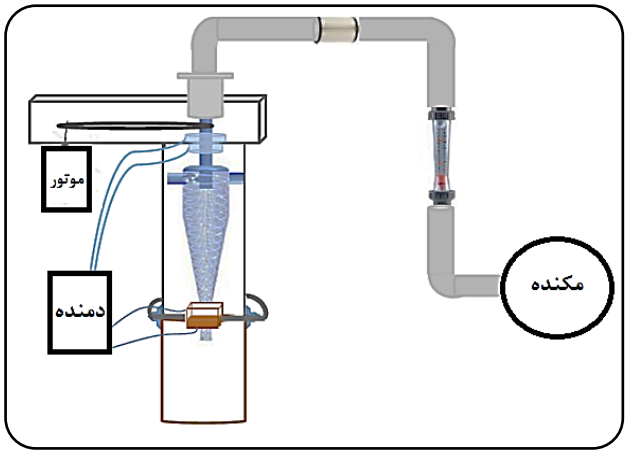
سپس سیکلون ساخته شده و درون یک محفظه دیگر قرار گرفت و محفظه بیرونی از دو طرف سوراخ و با شیلنگ به یک ظرف متصل شد تا هنگام آزمایش پودرها داخل ظرف ریخته و به صورت متقارن از شیلنگ‌ها از دو سوی وارد محفظه و سرانجام وارد سیکلون شود. سرانجام سیکلون روی محفظه خود قرار گرفته و از بالا تسمه و موتور نیز نصب و دستگاه آماده آزمایش شد. برای وارد نشدن غبار به روی بلبرینگ‌ها در دو طرف بلبرینگ‌ها محفظه در نظر گرفته و توسط ۴ شیلنگ هوا با شدت جریان پایین به داخل محفظه‌ها دمیده شد تا حرکت هوا در خلاف حرکت غبارها از نشستن غبار روی بلبرینگ‌ها جلوگیری نماید. در قسمت روی موتور محفظه در نظر گرفته شد و لوله خروجی سیکلون به ورودی صافی توسط اتصال فلنج به فلنج متصل شد.

شرح آزمایش

در هر مرحله از آزمایش نخست صفحه دارای بلبرینگ در محفظه نگهدارنده سیکلون قرارداده شد و کل محفظه به سطل زباله متصل شد و تمامی‌درزها با خمیر اسباب بازی پوشانده شد. سپس سیکلون درون محفظه قرار داده شد. پس از آن موتور به صفحه خود متصل شد و در محل خود قرار گرفت. پس از این‌که چرخ دنده‌ها در موقعیت خود قرار گرفتند تسمه جا انداخته شد. محفظه بالایی نیز به وسیله چسب و خمیر اسباب بازی در محل خود قرار گرفت. از محل مکش یک لوله ارتباطی فلنج دار به روی محفظه نصب شد و از آن به صافی و از صافی به خروجی روتامتر متصل شد. یک لوله ارتباطی دیگر نیز از ورودی روتامتر به جاروبرقی متصل شد. روی خروجی دمنده یک صفحه نصب شد و از آن ۴ شیلنگ ریز برای دمیدن به محفظه روی دو سر بلبرینگ‌ها انشعاب گرفته شد و هر کدام از شیلنگ‌ها در داخل محفظه مخصوص خود قرار گرفتند. شایان ذکر است وزن سطل زباله خالی و وزن صافی پیش از نصب اندازه گرفته می‌شد.



شکل ۱: دستگاه آزمایشگاهی به کار گرفته شده در آزمایش‌ها



شکل ۲- نمای کلی دستگاه

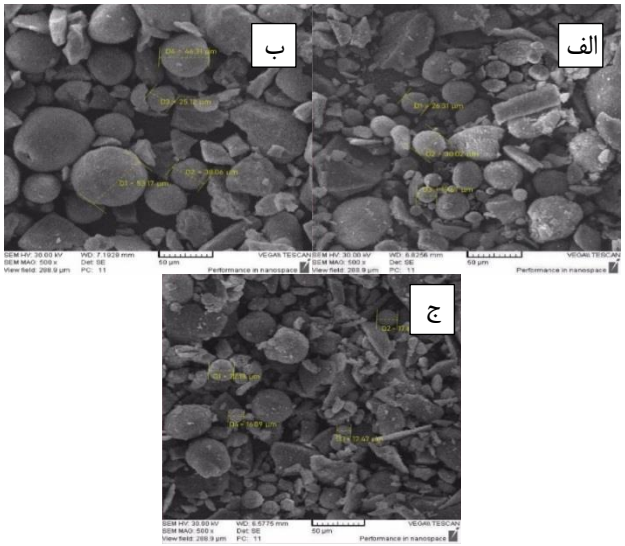
اکنون دستگاه آماده آزمایش شد. نخست مقدار مشخصی (۲۵۰ گرم) از پودر را برداشته و داخل ظرف مربوطه ریخته، دمنده را در حالت دمش کم، مکنده را در یک شدت جریان ثابت و موتور را نیز در یک سرعت خاص قرار داده و از محل ورودی، پودرها کم کم وارد سیکلون شد. این عمل تا زمانی ادامه پیدا کرد که همه پودر از داخل سیکلون عبور کرده و جداسازی انجام پذیرفت. سپس تجهیزها خاموش شده و اختلاف وزن صافی و سطل اندازه گرفته شد. برای دقیق تر ارایه کردن نتیجه‌های مجموع جدا شده و اختلاف وزن صافی به عنوان خوراک گزارش شد و نسبت اختلاف وزن سطل به خوراک، میزان بازده در هر آزمایش را نشان داد.

مواد و روش

در این آزمایش از پودر سیلیس با دانسیته ۲/۶۲ گرم بر سانتیمتر مکعب استفاده شد. این پودرها مربوط به واحد کراکینگ کاتالیست پالایشگاه آبادان می‌باشد که با هماهنگی های لازم به دانشگاه حمل شد ولی به دلیل درشت بودن نخست در دانشگاه آسیاب شده و سپس چندین بار از یک سیکلون دیگرعبور داده شد تا فراورده به دست آمده کمی یک دست‌تر شود. بدین منظور از یک سیکلون با بازده پایین استفاده شد. بدین صورت که لوله خروجی غبار که در پایین سیکلون وجود داشت، حذف شده و ذره‌ها با سرعت بیش‌تر از حد مجاز برای ورود به سیکلون از درون آن عبور داده شد که این دو اثر روی هم منجر به کاهش بازده سیکلون جداساز در نظر گرفته شده دراین پژوهش شد. نخست پودر در دسترس از یک سیکلون با بازده پایین چندین بارعبور داده شد و خروجی بالا و پایین از هم جدا شد. سپس خروجی پایین نیز چندین بار از سیکلون عبور داده شد تا فرآورده بالا پایین یک دست تر شود و فراوانی فرآورده با اندازه یکسان در خروجی بیش‌تر شود. به همین ترتیب ۳ اندازه ذره گوناگون با استفاده از سیکلون بازده پایین تهیه شد تا پودرهای سیلیس در اندازه‌های به تقریب یکسان آماده انجام آزمایش شوند. سپس نمونه‌ها برای انجام آزمون SEM به آزمایشگاه فرستاده شد که نتیجه های آن در شکل ۳ قابل دیدن است. با توجه به عکس‌ها و آنالیز ارایه شده از آزمایشگاه، اندازه‌ی ذره‌ها به طور متوسط ۲۵،۱۵ و۴۰ میکرون گزارش شد.

نتیجه‌ها و بحث

بازده سیکلون‌ها هم به شرایط عملیاتی و هم به هندسه سامانه بسیار وابسته می‌باشد. با انتخاب مناسب این متغیرهای عملیاتی و هندسی می‌توان عملکرد خوبی را از سامانه انتظار داشت. از سوی دیگر، اگر ذره‌هایی که باید جداسازی شوند، به خوبی جدا شده باشند و فراوانی ذره‌ها با اندازه یکسان در هر نمونه آزمایشگاهی به گونه ای باشد که حجم وسیعی از هر نمونه را پودرهای دارای اندازه به تقریب یکسان تشکیل دهد می‌توان معیار مناسبی برای رسیدن به نتیجه های دقیق به‌دست آورد.

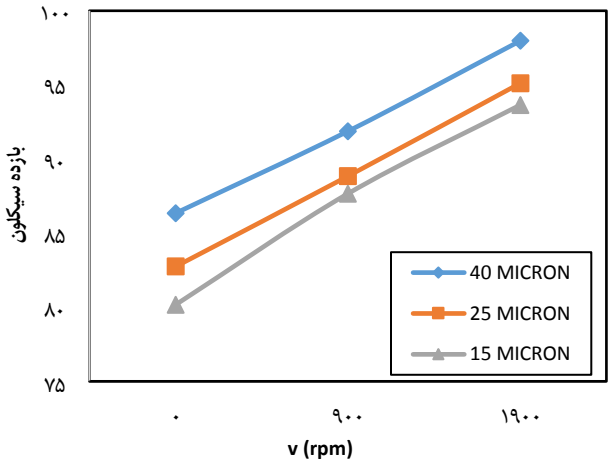


شکل ۳- تصویرهای SEM ذره‌های سیلیس ، (الف) پودر ۴۰ میکرونی، (ب) پودر ۲۵ میکرونی و (ج) پودر ۱۵ میکرون

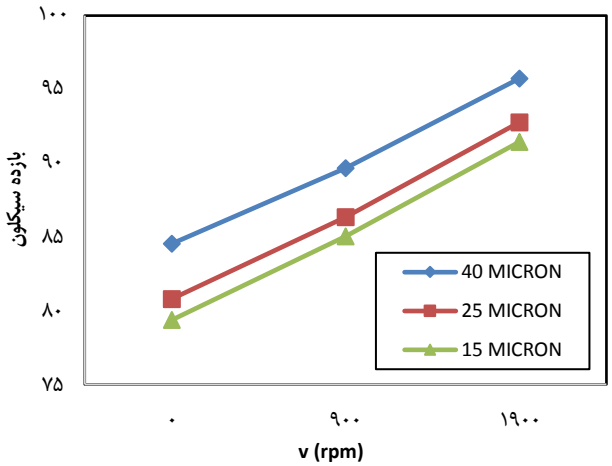
چرخش در راستای جریان ورودی

متغیر اصلی که مقاله بر اساس آن نوشته شده است تأثیر سرعت دوران بدنه سیکلون روی بازده آن می‌باشد. بدین منظور نخست در شدت جریان و اندازه پودر یکسان به تأثیر افزایش سرعت بدنه سیکلون در راستای جریان روی بازده دستگاه پرداخته شده است. نخست شدت جریان ثابت و یک اندازه ثابت ذره انتخاب شد و آزمایش درسیکلون ثابت، سیکلون با سرعت ۹۰۰ دور بر دقیقه و ۱۹۰۰ دور بر دقیقه تکرار شد. همان گونه که انتظار می‌رفت افزایش سرعت بدنه سیکلون منجر به افزایش بازده دستگاه شد.

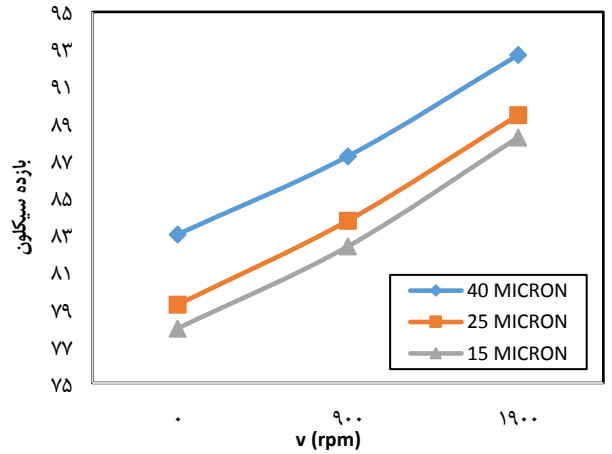
با افزایش سرعت بدنه سیکلون نیروی گریز از مرکز به دلیل افزایش سرعت مماسی افزوده می‌شود. افزایش سرعت مماسی و به تبع آن افزایش نیروی گریز از مرکز، منجر به افزایش سرعت ذره‌ها در کنار دیواره می شود. این امر باعث می‌شود تا ذره‌ها از جریان داخلی برگشتی سیکلون فاصله بگیرند. در نتیجه هوای برگشتی و خروجی از بالای سیکلون به مراتب نسبت به حالت‌های پیشین بدون ذره‌ها شود و این امر موجب می‌شود که بازده سیکلون به مراتب افزایش پیدا کند. از اثر دیگر چرخش بدنه سیکلون می‌توان به یکنواخت تر شدن حرکت و برای پیدا کردن ذره‌ها اشاره کرد که موجب می شود تا جداسازی به خوبی صورت پذیرد. هنگامی که بدنه در حال دوران است ذره‌ها تمایل بیش‌تری برای تجمع کنار دیواره سیکلون پیدا می‌کنند. افزایش تجمع ذره‌ها کنار دیواره‌ها نشان می‌دهد که سرعت بدنه نیروی گریز از مرکز خوبی را ایجاد کرده است که این نیرو نسبت به حالت ثابت بدنه به مراتب بیش‌تر بوده و منجر به افزایش بازده می شود. نتیجه‌های به‌دست آمده در شکل‌های ۴ تا ۶ نشان داده شده است.



شکل ۴- تغییر روند افزایش بازده با سرعت دوران بدنه سیکلون در شدت جریان حجمی ۷۰ متر مکعب بر ساعت



شکل ۵- تغییر روند افزایش بازده با سرعت دوران بدنه سیکلون در شدت جریان حجمی ۵۰ متر مکعب بر ساعت



شکل ۶- تغییر روند افزایش بازده با سرعت دوران بدنهٔ سیکلون در شدت جریان حجمی ۳۰ متر مکعب بر ساعت

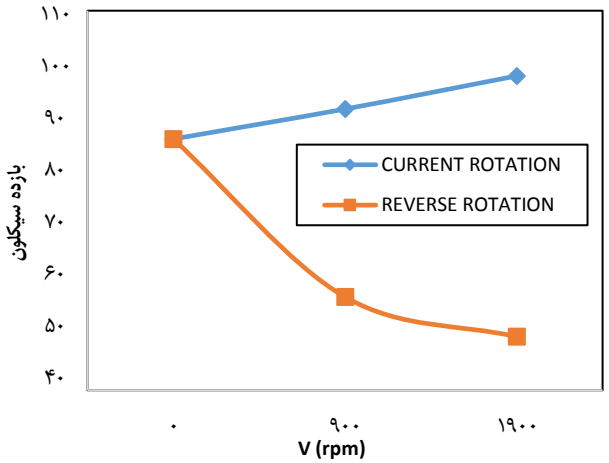
شکل‌های ۴ تا ۶ اثر تغییر بازده در سرعت‌های گوناگون دوران را نشان می‌دهد. این آزمایش در شدت جریان‌های گوناگون تکرار شد ولی نتیجه ها به تقریب یکسان بوده که بیانگر آن است که افزایش سرعت دوران به یک میزان روی بازده در شدت جریان‌های گوناگون تأثیرگذار است. همان‌گونه که انتظار می‌رفت افزایش سرعت دوران منجر به افزایش بازده سیکلون می شود. نتیجه های آزمایشگاهی نشان می‌دهد که افزایش سرعت دوران بدنه سیکلون تا ۱۹۰۰ دور بر دقیقه نسبت به حالت ثابت بازده را بین ۱۰ تا ۱۳٪ بهبود می‌بخشد. همان گونه که از نتیجه های آزمایشگاهی دریافت می‌شود تغییر بازده از حالت سرعت دوران صفر تا دوران ۹۰۰ بین ۴ الی ۵٪ و این تغییرات از سرعت ۹۰۰ تا ۱۹۰۰ دور بر دقیقه حدود ۶ الی ۷٪ گزارش شده است. دلیل این امر آن است که در سرعت ۹۰۰ اثر شدت جریان‌ها نسبت به سرعت دوران بیش‌تر از حالت ۱۹۰۰ دور بر دقیقه، بر جریان تأثیر گذار است. یعنی وقتی که سرعت بدنه سیکلون افزایش می‌یابد، هرچه این افزایش نسبت به حالت صفر بیش‌تر باشد اثر بیش‌تری روی بازده خواهد داشت.

چرخش در جهت وارون جریان ورودی

در این قسمت به برای اطمینان از انتخاب جهت درست چرخش بدنه سیکلون، چند آزمایش در شدت جریان و اندازه ذره ثابت با تغییر سرعت دوران بدنه سیکلون در جهت وارون جریان ورودی صورت پذیرفت.

همان‌گونه که از نتیجه ها دریافت می‌شود انتخاب جهت مخالف جریان ورودی برای دوران بدنه سیکلون به شدت منجر به کاهش بازده سیکلون می شود و نشان می‌دهد انتخاب جهت جرخش بدنه سیکلون در راستای جریان مناسب بوده است. وقتی که بدنه به سمت مخالف می‌چرخد سرعت‌ها تا حدودی یکدیگر را خنثی کرده و میزان اغتشاش ها درون سیکلون افزایش می‌یابد. افزایش اغتشاش ها درون سیکلون باعث می‌شود تا غبارها به جای نزدیک شدن به کناره دیواره برای جداسازی، وارد جریان میانی خروجی سیکلون شده و از سیکلون به همراه هوای تمیز خارج شوند که این امر به شدت منجر به کاهش بازده سیکلون می شود.

در جدول ۳ بازده مربوط به شدت جریان ۷۰ متر مکعب بر ساعت و پودرهای ۴۰ میکرونی در سرعت‌های یاد شده در جهت جریان ورودی و در جهت وارون جریان ورودی آورده شده است. با استناد به این عددها در می‌یابیم که با چرخاندن بدنه سیکلون با سرعت ۱۹۰۰ دور بر دقیقه در جهت وارون جریان نسبت به جهت جریان، بازده حدود ۴۸ درصد و در سرعت ۹۰۰ دور بر دقیقه بازده در حدود ۳۵ درصد افت خواهد داشت.



شکل ۷- نمودارهای مربوط به اثر سرعت در راستای جریان و واون جریان در شدت جریان ۷۰ متر مکعب بر ساعت و با پودرهای ۴۰ میکرونی

جدول ۳- میزان بازده در جهت جریان ورودی و در جهت وارون جریان ورودی در شدت جریان حجمی ۷۰ مترمکعب بر ساعت با ذره‌های ۴۰ میکرونی

بازده درعکس جهت جریان(٪)	بازده در جهت جریان(٪)	سرعت(دور بر دقیقه)
۸۶/۳۴	۸۶/۳۴	۰
۵۷/۲۲	۹۱/۸۷	۹۰۰
۴۹/۸۷	۹۷/۹۷	۱۹۰۰

اثر افت فشار

یکی از عامل های تأثیر گذار در میزان بازده سیکلون‌های غبار پارامتر افت فشار می‌باشد که به شدت در میزان بازده مؤثر است. بنابراین اطلاع از میزان افت فشار در داخل سیکلون درک بهتری از میزان جداسازی ذره‌ها را می‌دهد. در این پژوهش برای اطلاع از میزان افت فشاردر داخل سیکلون میزان افت فشار بین ورودی‌های سیکلون و خروجی سیکلون اندازه گرفته شد. بدین صورت که بین ورودی‌های سیکلون و خروجی سیکلون در پایین با نصب فشارسنج که با دو خط کش و لوله یو شکل ساخته شده بود میزان اختلاف فشار اندازه گیری شد. اختلاف فشار بین ورودی‌های سیکلون و خروجی پایین آن در حالت ثابت بدنه و در شدت جریان ۷۰ حدود ۴۷۰ پاسکال گزارش شده است. هم چنین همان گونه که انتظار می‌رفت در شدت جریان ۷۰ با سرعت دوران ۹۰۰ دور بر دقیقه ۴۹۰ پاسکال و با سرعت دوران ۱۹۰۰ دور بردقیقه این اختلاف فشار به ۵۱۰ پاسکال می‌رسید. یعنی در حالتی که سیکلون در حال دوران است میزان افت فشار بیشتر خواهد بود که یک پارامتر منفی برای دستابی به بازده بالاتر به شمار می‌رود ولی با دوران بدنه سیکلون اختلاف فشار در حالت دوار شکل یکنواختی به خود گرفته

و میزان اختلاف فشار در دیواره‌ها کمتر شده است. کم‌تر شدن اختلاف فشار در دیواره‌ها و یکنواخت شدن آن منجر به آن می‌شود که افزون بر این‌که انتظار می‌رود بازده کاهش یابد این امر به شدت باعث افزایش بازده شود. در واقع با وجود این‌که اختلاف فشار در حالت دوار بیش‌تر است ولی این اختلاف فشار به جهت دوران به تدریج ایجاد می‌شود و اختلاف فشار نقطه به نقطه نسبت به حالت ثابت کم‌تر است که برای رسیدن به بازده بالا مفید می‌باشد.

نتیجه گیری

همان گونه که اشاره شد در این مطالعه سعی بر آن شد تا اثر چرخش بدنه سیکلون روی بازده آن نسبت به حالت ثابت بدنه بررسی شود. نتیجه‌های آزمایشگاهی به دست آمده نشان داد هنگامی‌که بدنه سیکلون با سرعت ۱۹۰۰ دور بر دقیقه در جهت جریان ورودی در حال دوران است نسبت به حالت ثابت بدنه در یک شدت جریان ثابت و یک اندازه ذره، حدود ۱۰ تا ۱۳ درصد افزایش بازده خواهد داشت. هرچه سرعت دوران بیش‌تر شود اثر سرعت بدنه بیش‌تر روی بازده سیکلون به چشم می‌آید. این در حالی است که اگر بدنه سیکلون در جهت وارون جریان ورودی و در جهت مخالف آن دوران داشته باشد به میزان چشمگیری منجر به کاهش بازده خواهد شد. آزمایش ها نشان داد اگر بدنه سیکلون با همان سرعت ۱۹۰۰ دور بر دقیقه ولی این بار در جهت مخالف جریان ورودی دوران داده شود به دلیل درهم شدن جریان داخلی و افت فشار زیاد در ورودی سیکلون در نتیجه اختلاط جریان‌های هوا و کاهش نیروی گریز از مرکز نسبت به حالت ثابت در همان شدت جریان و اندازه ذره حدود ۴۸ درصد کاهش بازده خواهد داشت. پس می‌توان نتیجه گرفت افزون بر این‌که دوران بدنه منجر به افزایش بازده می شود انتخاب نوع دوران نیز از پارامترهای مؤثر در میزان بازده همان سیکلون به شمار می‌رود.

از دیگر نکه های این پژوهش پارامتر افت فشار است. آزمایش ها نشان داد افت فشار سیکلون در یک شدت جریان و اندازه ذره در حالت دوار بیش‌تر از حالت ثابت بدنه می‌باشد و می‌تواند پارامتری منفی به شمار آید. ولی دوران سیکلون منجر به آن می‌شد تا تغییرهای فشار از بالا تا پایین سیکلون به طور پیوسته و با یک اختلاف کم تغییر کند و به مانند حالت ثابت از نقطه ای به نقطه دیگر اختلاف فشار زیاد وجود نداشته باشد که بازده سیکلون را کاهش دهد. در واقع می‌توان نتیجه گرفت دوران سیکلون در جهت جریان ورودی منجر به یکنواخت تر شدن توزیع فشار، یکنواخت تر شدن توزیع ذره‌ها، ایجاد سرعت مماسی و به تبع آن نیروی گریز از مرکز بیش‌تر شده و این‌ها عواملی هستند که تمایل ذره برای قرار گرفتن در نزدیکی دیواره ی سیکلون را افزایش می‌دهند که نتیجه آن‌ها افزایش بازده سیکلون خواهد بود.

تاریخ دریافت: ۲۸ / ۰۸ / ۱۳۹۷ ، تاریخ پذیرش: ۲۶ / ۰۱ / ۱۳۹۸

مراجع

[1] Noh S.Y., Heo J. E., Woo S. H., Kim S.J., Ock M. H., Kim Y.J., Yook S.J., Performance Improvement of a Cyclone Separator using Multiple Subsidiary Cyclones, *Powder Technol.* **338**: 145-152. (2018)

[2] Li Y., Qin G., Xiong Z., Feng Y., Fan J., The Effect of Particle Humidity on Separation Efficiency for an Axial Cyclone Separator, *Advanced Powder Technol.* **30**: 724-731. (2019)

[3] Zhang W., Zhang L., Yang J., Hao X., Guan G., Gao Z., An Experimental Modeling of Cyclone Separator Efficiency with PCA-PSO-SVR Algorithm, *Powder Technol.* **347**, 114-124. (2019)

[4] Woolcock, P.J., Brown R.C., A Review of Cleaning Technologies for Biomass-Derived Syngas, *Bio. Bioenergy*. **52**: 54-84. (2013)

[5] Cristea E.-D., Conti P., "CFD Simulation of Large Dust Collection Cyclones Positioned Vertically in Staggered Downward Cascade Arrangement", *Proceedings of the ASME 2013 Fluids Engineering Division Summer Meeting* (2013).

[6] Kulkarni, S.J., Shinde N.L., Studies and Research on Cyclone Separators: A Review, *Int. J. Sci. Res. Sci. Technol.* **2**: 28-31. (2016)

[7] Wasilewski M., Brar L.S., Effect of the Inlet Duct Angle on the Performance of Cyclone Separators, *Sep. Pur. Technol.* **213**: 19-33. (2019)

[8] Liu P., Ren Y., Feng M., Wang Di, Dapeng Hu, A Performance Analysis of Inverse Two-Stage Dynamic Cyclone Separator, *Powder Technol.*, Online, (2019).

[9] Kosaki, Y., Hirai, T., Yamanaka, Y., Takeshima, K., Investigation on Dust Collection and Particle Classification Performance of Cyclones by Airflow Control for Design of Cyclones, *Powder Technol.* **277**: 22-35 (2015)

[10] Ramachandran, G., Leith, D., Dirgo, J., Feldman, H., Cyclone Optimization Based on a New Empirical Model for Pressure Drop, *Aerosol Sci. Technol.* **15**(2): 135-148. (1991)

[11] Shepherd, C., Lapple C., Flow Pattern and Pressure Drop in Cyclone Dust Collectors Cyclone Without Intel Vane, *Ind. Eng. Chem.* **32**(9): 1246-1248. (1940)

[12] Casal, J., Martinez-Benet J.M., Better Way to Calculate Cyclone Pressure Drop, *Chem. Eng.* **90**(2): 99-100. (1983)

[13] Cortes, C., Gil A., Modeling the Gas and Particle Flow Inside Cyclone Separators, *Prog. Energy Combustion Sci.* **33**(5): 409-452. (2007)

[14] Gimbun, J., Chuah, T. G., Fakhru'l-Razi, A., Choong, T. S., The Influence of Temperature and Inlet Velocity on Cyclone Pressure Drop: A CFD Study, *Chem. Eng. Proc. Process Intensification*. **44**(1): 7-12. (2009)

[15] Zhu Z., Na Y., Lu Q., Pressure Drop in Cyclone Separator at High Pressure, *J. Thermal Sci*. **17**, 275-280. (2008)