

بررسی عددی اثر نسبت قطرهای استوانه های سیکلون بر عملکرد جداسازی گرد و غبار قدرت قصابی^۱، فرهاد یگانه^۲

*۱- استادیار، دانشکده مهندسی، دانشگاه بزرگمهر قانات

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی، دانشگاه بزرگمهر قانات

ایمیل نویسنده مسئول: Ghodrat.ghassabi@buqaen.ac.ir

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۳/۰۹

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۲/۱۵

چکیده

سیکلون‌ها تجهیز پرکاربرد در صنعت، جهت غبارگیری ذرات از جریان سیال برای کاهش آلودگی‌های صنعتی از محیط زیست می‌باشند. در سیکلون‌ها اثر نیروی گریز از مرکز سیال و تفاوت چگالی ذرات نسبت به سیال جهت جداسازی ذرات و گردوغبار استفاده می‌شود. از معیارهای اصلی بررسی عملکرد سیکلون در جداسازی گرد و غبار، میزان افت فشار و راندمان جمع آوری ذرات سیکلون است. در این مطالعه اثر قطر استوانه‌های سیکلون در حالتی که نسبت قطر استوانه فوقانی به تحتانی برابر با ۰/۵، ۱، ۱/۵ و ۲ باشد بر راندمان جمع آوری ذرات و افت فشار بررسی شده است. شبیه سازی در نرم افزار انسیس فلونت ۲۰۲۳ انجام شد. جریان آشفته لحاظ شده است و سرعت ورودی ۱ متر بر ثانیه و قطر استوانه ۲۰ سانتی متر در نظر گرفته شد. نتایج نشان داد که با افزایش قطر استوانه‌های سیکلون تا ۴ برابر، راندمان بیش از دو برابر می‌شود و افت فشار افزایش چندانی نمی‌یابد.

کلمات کلیدی

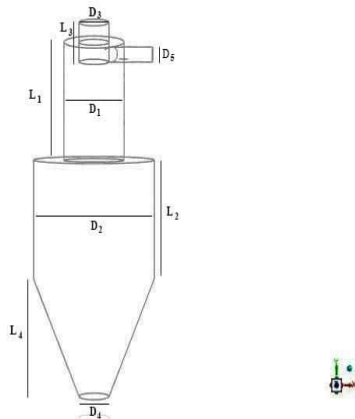
افت فشار، راندمان جمع آوری ذرات، آلودگی صنعتی، جریان آشفته

۱- مقدمه

فاصله‌ی بین ردیاب گردابه و محدودکننده گردابه، افزایش طول ردیاب گردابه و همچنین افزایش قطر محدود کننده گردابه افت فشار کاهش پیدا می‌کند. شیلین چن و همکاران (Chen S., ۲۰۱۷) ساختار جداسازهای جدیدی را معرفی کردند و مطالعاتی در زمینه‌ی جریان آنها و عملکرد جداسازی‌های آنها انجام دادند. نتایج آنها مشاهده می‌شود که افزایش سرعت جریان، تاثیر مستقیم و اندکی با راندمان دارد. برار و همکاران (Brar L., ۲۰۱۵) به بررسی تاثیر قطر ردیاب گردابه بر بازده سیکلون پرداختند، نتایج این مطالعه نشان داد با افزایش قطر ردیاب گردابه کاهش قابل توجهی در افت فشار و بازده جمع‌آوری ذره ایجاد شد. پرواز و همکاران (F. Parvaz, ۲۰۱۷) در یک مطالعه نشان دادند، نیروی گریز از مرکز اعمالی به ردیاب گردابه به طور قابل توجهی به افت فشار و بازده سیکلون اثر می‌گذارد. هوانگ و همکاران (A. N. Huang, ۲۰۱۷) چندین لوله کوچکتر را در داخل گذرگاه ورودی سیکلون، قرار دادند نتایج آنها افزایش عملکرد سیکلون‌ها را نشان می‌داد. گائو و همکاران (Z. Gao, ۲۰۱۹) جریان داخلی سیکلون را تحت شرایط سرعت مختلف تجزیه و تحلیل کردند. نتایج نشان داد که جریان با سرعت کمتر پایدارتر است. بنابراین، ساختار گردابه می‌تواند برای بهبود ثبات جریان سیکلون استفاده شود. دوان و همکاران (J. Duan, ۲۰۲۰) به بررسی تاثیر وجود یک استوانه داخلی در سیکلون با جریان گاز-جامد، و با استفاده از مدل تنش‌های رینولدز پرداختند، نتایج نشان داد که در سیکلون جدید، گاز تمیز شده توانست به سرعت از ردیاب گردابه خارج شود، و بازده سیکلون افزایش و افت فشار کاهش یافت. کیانگ و همکاران (L. Qiang, ۲۰۲۰) افزایش عملکرد کلی سیکلون را با استفاده از ردیاب گردابه دارای سوراخ، گزارش کردند. فو و همکاران (S. Fu, ۲۰۲۱) یک مطالعه تجربی و عددی را بر روی یک سیکلون با ورودی مماسی در مقیاس بزرگ انجام دادند نتایج نشان داد افت فشار ۲۷/۹ درصد کاهش و بازده

تخلیه جریان سیال در بسیاری از صنایع مانند سیمان و فولاد به محیط همراه با پراکندگی ریزگردهایی است که نیاز است جهت جلوگیری از آلودگی محیط زیست از جریان سیال جداسازی شود. حجم جریان‌های خروجی این صنایع بسیار بالاست و مقررات زیست محیطی، این صنایع را ملزم می‌نماید علاوه بر خروج آلاینده‌ها، ذرات همراه با جریان نیز جداسازی گردد. سیکلون تجهیز جداساز ذرات از جریان سیال است که با ایجاد جریان چرخشی و نیروی گریز از مرکز، ذرات همراه با جریان سیال را از طریق اختلاف چگالی جدا می‌نماید و در صنایع جهت پاکسازی جریان سیال از ذرات آلاینده بسیار کاربرد دارد. بنابراین توجه به عملکرد سیکلون‌ها که ذرات بیشتری را جداسازی نماید و در عین حال افت فشار زیادی متحمل نگردد ضرورت دارد. گیمبون (Gimbon J., ۲۰۰۵) اثرات ابعاد هندسی بخش مخروطی را بر بازده و افت فشار سیکلون به صورت تجربی مورد آزمایش قرار داد، نتایج او نشان داد کاهش اندازه بخش مخروطی سبب افزایش راندمان می‌گردد. لیو و همکاران (Liu F., ۲۰۱۴) به مقایسه تاثیرات سیکلون‌های موازی پرداختند و مشاهده کردند برای ذرات بزرگتر راندمان سیکلون‌های موازی بیشتر است و برای سرعت ورودی یکسان افت فشار در سیکلون‌های موازی در حدود ۱۶/۸٪ بیشتر از نتایج حالت تک سیکلون است. پرائس بالتراس و همکاران (Baltrenas P., ۲۰۱۵) ساختارهای هندسی از سیکلون‌های چند کاناله را بررسی کرده و بهینه‌سازی کردند تا اثر جداسازی ذرات افزایش یابد. آنها سرعت جریان هوایی بین ۱۲ تا ۱۶ متر بر ثانیه را در نظر گرفتند. نتایج آنها نشان می‌دهد که راندمان با افزایش قطر برای دو ماده گرانیب و چوب به دلیل افزایش جرم افزایش می‌یابد. صفیخانی و همکاران (Safikhani H., ۲۰۱۶) پژوهشی در مورد کارایی دستگاه جداساز سیکلون و طراحی آن ارائه کردند. آنها نتیجه گرفتند با افزایش

چهار سیکلون با ابعاد مختلف مطابق جدول شماره ۱ مورد بررسی قرار گرفت، که شامل $D_2=1,0D_1$ ، $D_2=D_1$ ، $D_2=0,5D_1$ و $D_2=2D_1$ و بقیه اندازه ها بدون تغییر در نظر گرفته شد. سرعت جریان ورودی ۱ متر بر ثانیه فرض شده است.



شکل ۱: شماتیک سیکلون در حالت اول

برای شبیه سازی از نرم افزار انسیس فلونت ۲۰۲۴ استفاده شده است. در نرم افزار، شرط ورودی سرعت معلوم و شرط خروجی فشار اتمسفر در نظر گرفته شده است. جهت مدل سازی آشفتگی از مدل $k-\epsilon$ استاندارد استفاده شده است که این مدل بر روی عملکردهایی که بر روی انرژی جنبشی آشفتگی اثر می گذارد متمرکز شده است. برای این مدل دو معادله انتقال برای محاسبه انرژی جنبشی (k) و اتلاف آشفتگی (ϵ) به صورت زیر حل شد [۱۴].

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho \epsilon) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho \epsilon u_i) = \frac{\partial}{\partial x_i} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\epsilon} \right) \frac{\partial \epsilon}{\partial x_j} \right] + C_{1\epsilon} \frac{\epsilon}{k} (G_k + C_{3\epsilon} G_b) - C_{2\epsilon} \rho \frac{\epsilon^2}{k} + S_\epsilon \quad (1)$$

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho k) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho k u_i) = \frac{\partial}{\partial x_i} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] + G_k + G_b - \rho \epsilon - Y_m + S_k$$

و راندمان جمع آوری سیکلون برابر است نسبت ذرات جمع آوری شده بر تعداد کل ذرات ورودی به سیکلون

جدول ۱: ابعاد سیکلون در حالت اول

ابعاد	پارامتر
۱۰ cm	D_1
۲۰ cm	D_2
۵ cm	D_3
۵ cm	D_4
۲ cm	D_5
۱۵ cm	$L_1=L_2=L_3$
۵ cm	L_4

۲-۲- استقلال نتایج از شبکه محاسباتی

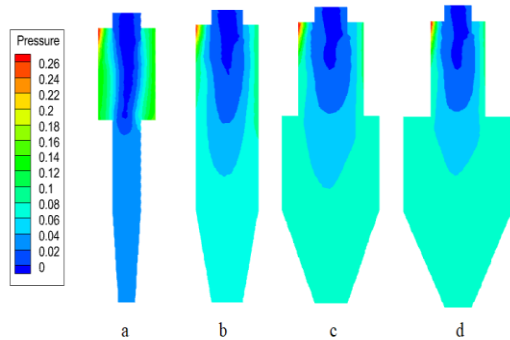
به منظور کاهش زمان محاسبات ابتدا برای سیکلون شبکه محاسباتی بهینه انتخاب شده است. برای این منظور سرعت محوری را در

جمع آوری سیکلون ۵/۴۵ درصد افزایش داشت. واسیلوسکی و همکاران (M. Wasilewski, ۲۰۲۱) به بررسی تاثیر وارد کردن یک میله در راستای محوری سیکلون پرداختند، نتایج نشان داد، قرار دادن یک میله با مقطع دایره ای بر روی محور سیکلون، بازده سیکلون را تا ۸/۲ درصد افزایش و افت فشار را تا ۲۳/۹ درصد کاهش می دهد. ونکاتش و همکاران (S. Venkatesh, ۲۰۲۱) سه سیکلون مربعی به صورت سری به روش عددی و تجربی مورد بررسی قرار دادند. نتایج مطالعه آن ها نشان داد که در حالت سری نسبت به حالت یک سیکلون، بازده سیکلون تا ۱۰/۲ درصد افزایش و افت فشار تا ۱۴/۳ درصد کاهش می یابد. میژوالی و همکاران (D. Misiulia, ۲۰۱۷) اثر زاویه دهانه ورودی را بر راندمان جمع آوری یک سیکلون مورد بررسی قرار دادند و پنج زاویه مختلف ۷، ۱۱، ۱۵، ۲۰ و ۲۵ درجه را استفاده کردند. آنها مشاهده کردند افزایش زاویه ی ورودی سبب کاهش راندمان جمع آوری سیکلون می شود. ژنگ و همکاران (Z.W. Zhang, ۲۰۲۲) اثر ابعاد ردیاب گردابه را بر عملکرد سیکلون بصورت عددی و آزمایشگاهی مورد بررسی قرار دادند. نتایج آنها نشان می دهد افزایش قطر ردیاب گردابه سبب افزایش راندمان جمع آوری ذرات و کاهش افت فشار می گردد. دزیباک و همکاران (T. Dziubak, ۲۰۲۳) اثر سرعت ورودی محوری و پارامترهای هندسی سیکلون را بر راندمان جداسازی و افت فشار بصورت عددی بررسی کردند. آنها اثر طول سیکلون و زاویه تیغه ورودی را مورد بررسی قرار دادند. نتایج آنها نشان داد بهترین عملکرد برای سیکلون با بیشترین طول، قطر کوچکتر و زاویه ۹۰ درجه تیغه راهنما بدست آمده است. پاندی و برار (S. Pandey, ۲۰۲۳) اثر استفاده از هندسه مخروطی شکل را بر راندمان جمع آوری ذرات و افت فشار سیکلون بررسی کردند. نتایج آنها نشان می دهد با افزایش قطر انحنای مخروط، راندمان و افت فشار سیکلون کاهش می یابد. شاستری و همکاران (R. Shastri, ۲۰۲۲) به بررسی تاثیر تغییر طول استوانه و مخروط سیکلون بدون اینکه طول کل سیکلون تغییر کند پرداختند. نتایج نشان داد بازده جمع آوری ذره و افت فشار برای حالتی که طول استوانه نصف قطر سیلندر باشد حداکثر است و زمانی که طول سیلندر ۲/۵ برابر قطر سیلندر سیکلون باشد حداقل است.

این مطالعه به بررسی تاثیر قطر استوانه های سیکلون بر بازده و افت فشار در چهار حالت مختلف از اندازه قطر استوانه های سیکلون $(D_2=0,5D_1, D_2=D_1, D_2=1,0D_1, D_2=2D_1)$ پرداخته است و توزیع سرعت و فشار و جهت حرکت جریان را مورد بررسی قرار داده است.

۲- تعریف مسئله

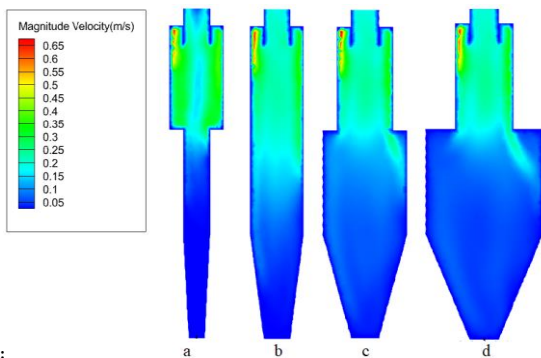
مطابق شکل ۱، شماتیکی از یک سیکلون نشان داده شده است. عملکرد سیکلون ها بدین صورت است که جریان هوای کثیف به طور مماسی وارد سیکلون شده و با استفاده از نیروی گریز از مرکز، یک ناحیه خلاء نسبی در بخش مرکزی آن ایجاد می شود، سیال تمیز توسط این ناحیه مکش از سیکلون خارج شده و ذرات توسط نیروی گریز از مرکز از ناحیه مرکزی و خلاء نسبی فاصله گرفته و به دلیل نیروی ثقل، در قسمت پایینی سیکلون جمع آوری می شود. در این مطالعه



شکل ۴: توزیع فشار در مقطع میانی سیکلون

a) $D_2 = 0, 0.5D_1$, b) $(D_2 = D_1)$, c) $(D_2 = 1, 0.5D_1)$,
 d) $(D_2 = 2D_1)$

در شکل ۵ توزیع سرعت برای چهار سیکلون مختلف نشان داده شده است، نتایج نشان داد سرعت در ابتدای سیکلون بین ۰/۲ تا ۰/۵ متر بر ثانیه در حال تغییر است. مشاهده شد با افزایش نسبت قطر استوانه های سیکلون، سرعت در بخش میانی سیکلون به دلیل کاهش نیروی گریز از مرکز و کاهش ناحیه مکش کاهش می یابد.

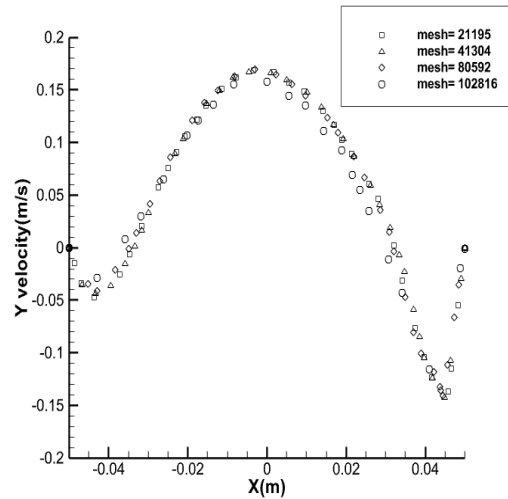


شکل ۵- توزیع سرعت در مقطع میانی سیکلون

a) $D_2 = 0, 0.5D_1$, b) $(D_2 = D_1)$, c) $(D_2 = 1, 0.5D_1)$, d) $(D_2 = 2D_1)$

در شکل ۶ بردارهای سرعت در چهار حالت مختلف سیکلون نشان داده شده است. نتایج نشان داد با افزایش نسبت قطر استوانه های سیکلون به علت کاهش نیروی گریز میزان چرخش جریان کاهش یافته و بردارهای سرعت تراکم کمتری را نشان می دهند. مطابق شکل، بیشترین گردابه برای حالت که $D_2 = 0, 0.5D_1$ است و پایدارترین حالت جریان زمانی است که $D_2 = 2D_1$ باشد.

برای چهار شبکه محاسباتی متفاوت در شکل ۲ نشان داده شده است، نتایج نشان داد که سرعت محوری در هر چهار شبکه محاسباتی انطباق دارد. برای کاهش محاسبات، تعداد شبکه محاسباتی ۴۱۳۰۴ شبکه به عنوان شبکه محاسباتی بهینه انتخاب شده است. در شکل ۳، نمایی از شبکه بندی سیکلون نشان داده شده است.



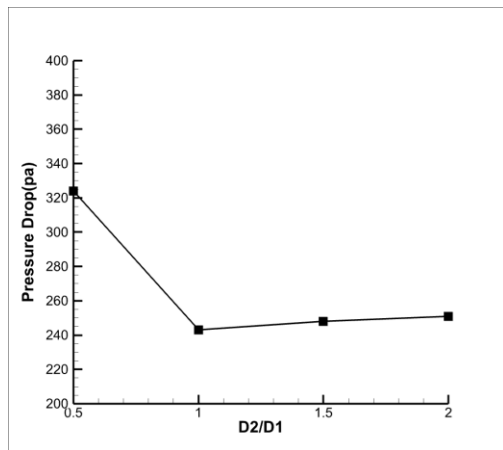
شکل ۶: مقایسه سرعت محوری برای شبکه های مختلف



شکل ۷: شبکه بندی سیکلون

۳- نتایج

توزیع فشار در مقطع میانی سیکلون در شکل ۴ برای چهار سیکلون نشان داده شده است. نتایج نشان داد، افزایش نسبت قطر استوانه های سیکلون سبب کاهش نیروی گریز از مرکز و در نتیجه کاهش ناحیه مکش سیکلون گردید. بنابراین حالت (a) به علت نیروی گریز از مرکز بیشتر دارای بیشترین تغییرات فشار می باشد.



شکل ۸: نمودار افت فشار بر حسب افزایش قطر سیکلون

بنابراین از آنجائیکه راندمان جمع آوری ذرات با افزایش نسبت قطر استوانه‌های سیکلون افزایش می‌یابد و افت فشار افزایش چندانی ندارد، می‌توان نتیجه گرفت افزایش قطر استوانه‌های سیکلون سبب بهبود عملکرد سیکلون می‌گردد.

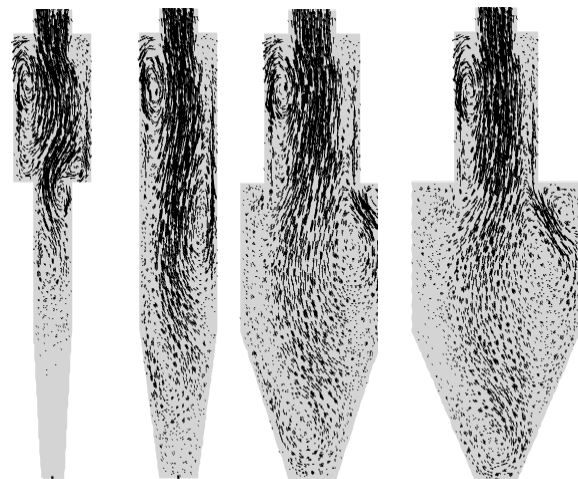
۴- نتیجه‌گیری و جمع‌بندی

در این پژوهش شبیه‌سازی سیکلون تجهیزاتی که جهت جمع آوری ذرات گرد و غبار صنایع آلاینده محیط زیست استفاده می‌شود برای چهار حالت مختلف از نسبت قطرهای سیکلون با استفاده از نرم افزار انسیس فلونت نت انجام شد، نتایج نشان داد که:

- با افزایش نسبت قطر استوانه‌های سیکلون تا چهاربرابر، راندمان بیش از دوبرابر می‌شود.
- با افزایش نسبت قطر استوانه‌های سیکلون، نیروی گریز از مرکز کاهش و میزان مکش در ناحیه مرکزی سیکلون نیز کاهش می‌یابد.
- با نصف شدن نسبت قطر استوانه‌های سیکلون نسبت به حالتی که قطر استوانه‌های سیکلون برابر است به علت افزایش نیروی گریز از مرکز، افت فشار بیشترین مقدار است و تا ۵۰ درصد افزایش می‌یابد
- با افزایش نسبت قطر استوانه‌های سیکلون افت فشار افزایش چندانی ندارد، بنابراین می‌توان نتیجه گرفت افزایش قطر استوانه‌های سیکلون سبب بهبود عملکرد سیکلون می‌گردد.

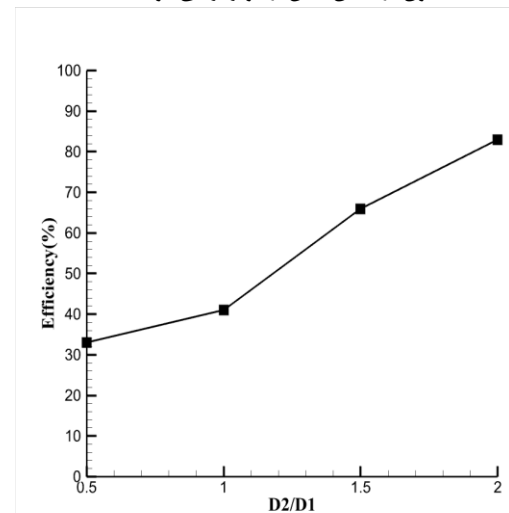
تقدیر و تشکر

این تحقیق در قالب طرح پژوهشی به شماره ابلاغی ۳۹۲۷۵ مورخ ۱۴۰۲/۱۱/۲۶ و با استفاده از اعتبارات پژوهشی دانشگاه بزرگمهر قانات انجام شده است که بدینوسیله تشکر و قدردانی می‌شود.



شکل ۶: بردارهای سرعت در مقطع میانی سیکلون
a) $D_2 = 0.5D_1$, b) $(D_2 = D_1)$, c) $(D_2 = 1.5D_1)$, d) $(D_2 = 2D_1)$

در شکل ۷ بازده سیکلون برای قطر ذرات ۴ میکرومتر و چگالی 300 kg/m^3 در چهار حالت مختلف سیکلون بررسی شد. نتایج نشان داد با افزایش نسبت قطر استوانه‌های سیکلون، به دلیل کاهش نیروی گریز از مرکز و در نتیجه کاهش مکش در بخش مرکزی سیکلون، راندمان افزایش می‌یابد. مشاهده شد با چهاربرابر شدن نسبت قطر استوانه‌های سیکلون، راندمان بیش از دوبرابر می‌شود.



شکل ۷: نمودار بازده سیکلون بر حسب افزایش نسبت قطر استوانه‌های سیکلون در شکل ۸ میزان افت فشار سیکلون در چهار حالت مختلف سیکلون بررسی شد. مشاهده می‌شود با نصف شدن نسبت قطر استوانه‌های سیکلون نسبت به حالتی که قطر استوانه‌ها برابر است به علت افزایش نیروی گریز از مرکز، افت فشار بیشترین مقدار است و تا ۵۰ درصد افزایش می‌یابد، اما با افزایش نسبت قطر استوانه‌های سیکلون نسبت به حالت قطرهای برابر، افت فشار مقدار کمی افزایش می‌یابد.

منابع

- J. Duan, S. Gao, Y. Lu, W. Wang, P. Zhang, & C. Li. ۲۰۲۰. Study and optimization of flow field in a novel cyclone separator with inner cylinder. *Advanced Powder Technology*, Vol.31, P. ۴۱۶۶-۴۱۷۹.

- T. Dziubak, S. Dziubak, & M.Tomaszewski. ۲۰۲۳. Numerical study of the effect of axial cyclone inlet velocity and geometrical parameters on separation efficiency and pressure drop. *Powder Technology, Vol.427*.
- Liu F., Chen J., Zhang A., Wang X., & Dong T. ۲۰۱۴. Performance and flow behavior of four identical parallel cyclones. *Separation and Purification Technology, Vol.134*, P. ۱۴۷-۱۵۷.
- S. Fu, F. Zhou, G. Sun, H. Yuan, & J. Zhu. ۲۰۲۱. Performance evaluation of industrial large-scale cyclone separator with novel vortex finder. *Advanced Powder Technology, Vol.32*, P. ۹۳۱-۹۳۹.
- Z. Gao, J. Wang, J. Wang, Y. Mao, & Y. . Wei. ۲۰۱۹. Analysis of the effect of vortex on the flow field of a cylindrical cyclone separator. *Separation and Purification Technology, Vol.211*, P. ۴۳۸-۴۴۷.
- Safikhani H., & Mehrabian P. ۲۰۱۶. Numerical study of flow field in new cyclone separators. *Advanced Powder Technology, Vol.27*, P. ۳۷۹-۳۸۷.
- A. N. Huang, N. Maeda, D. Shibata, T. Fukasawa, H. Yoshida, H. P. Kuo, & K. Fukui. ۲۰۱۷. Influence of a laminarizer at the inlet on the classification performance of a cyclone separator. *Separation and Purification Technology, Vol.174*, P. ۴۰۸-۴۱۶.
- Gimbun J., Chuah T. G., Choong T. S. Y., & Fakhru'l-Razi A. ۲۰۰۵. Prediction of the effects of cone tip diameter on the cyclone performance. *Aerosol Sci, Vol.36*, P. ۱۰۵۶-۱۰۶۵.
- Brar L., Sharma S., & Dwivedi R. ۲۰۱۵. Effect of vortex finder diameter on flow field and collection efficiency of cyclone separators. *Particulate Science and Technology, Vol.33*, P. ۳۴-۴۰.
- D. Misiulia, Anders Gustav Andersson, & T. S. Lundström. ۲۰۱۷. Effects of the inlet angle on the collection efficiency of a cyclone with helical-roof inlet. *Powder Technology, Vol.305*, P. ۴۸-۵۵.
- Baltrenas P., Pranskevicius M., & Venslovas A. ۲۰۱۵. Optimization of the New Generation Multichannel Cyclone Cleaning Efficiency. *Energy Procedia, Vol.72*, P. ۱۸۸-۱۹۵.
- F. Parvaz, S. H. Hosseini, G. Ahmadi, & K. Elsayed. ۲۰۱۷. Impacts of the vortex finder eccentricity on the flow pattern and performance of a gas cyclone. *Separation and Purification Technology, Vol.187*, P. ۱-۱۳.
- L. Qiang, W. Qinggong, X. Weiwei, Z. Zilin, & Z. Konghao. ۲۰۲۰. Experimental and computational analysis of a cyclone separator with a novel vortex finder. *Powder Technology, Vol.360*, P. ۳۹۸-۴۱۰.
- Chen S., Liu P., & Gong J. ۲۰۱۷. Performance study of back flow type dynamic cyclone separator for coalbed methane. *Powder Technology, Vol.305*, P. ۵۶-۶۲.
- S.Pandey, & L.S. Brar. ۲۰۲۳. Performance analysis of cyclone separators with bulged conical segment using large-eddy simulation. *Powder Technology, Vol.425*.
- R. Shastri, R. P. R.P. Sharma, & L.S. Brar. ۲۰۲۲. Numerical investigations of cyclone separators with different cylinder-to-cone ratios. *Particulate Science and Technology, Vol.40*, P. ۳۳۷-۳۴۵.
- S. Venkatesh, S. P. Sivapirakasam, M. Sakthivel, S. Ganeshkumar, M. M. Prabhu, & M. Naveenkumar. ۲۰۲۱. Experimental and numerical investigation in the series arrangement square cyclone separator. *Powder Technology, Vol.383*, P. ۹۳-۱۰۳.
- M. Wasilewski, L. S. Brar, & G. Ligus. ۲۰۲۱. Effect of the central rod dimensions on the performance of cyclone separators-optimization study. *Separation and Purification Technology, Vol.274*, P. ۱۱۹.
- Z.W. Zhang, Q. Li, Y.H. Zhang, & H.L.Wang. ۲۰۲۲. Simulation and experimental study of effect of vortex finder structural parameters on cyclone separator performance. *Separation and Purification Technology, Vol.286*.

Numerical Investigation of the Effect of Cyclone Cylinders Diameter on Particle Separation Performance

Ghodrat Ghassabi^۱; Farhad Yeganeh^۲

^۱ Associate Professor, Faculty of Engineering, Bozorgmehr University of Qaenat, Qaen, Iran

^۲ MSc., Faculty of Engineering, Bozorgmehr University of Qaenat, Qaen, Iran

Abstract

Cyclones are widely used equipment in the industry for dust collection from fluid flows to reduce industrial pollution on the environment. In cyclones, the effect of the centrifugal force of the fluid and the difference in particle density compared to the fluid are used for particle and dust separation. The main criteria for evaluating the performance of a cyclone in dust separation are the pressure drop and the particle collection efficiency. In this study, the effect of the diameter of the cyclone cylinders, where the ratio of the upper to the lower cylinder diameter is ۰.۵, ۱, ۱.۵, and ۲, on the particle collection efficiency and pressure drop was investigated. The simulation was performed with ANSYS Fluent ۲۰۲۳ software. Turbulent flow was considered. The inlet velocity and cyclone cylinder were ۱ m/s and ۲۰ cm respectively. The results showed that by increasing the diameter of the cyclone cylinders up to ۴ times, the efficiency increases by more than twice, and the pressure drop is not changed significantly.

Introduction

The discharge of fluid flow in many industries, such as cement and steel, is accompanied by the dispersion of fine particles that need to be removed from the fluid flow to prevent environmental pollution. The volume of the exhaust flow in these industries is very high, and environmental regulations require these industries to not only remove pollutants but also separate the particles carried by the flow. The cyclone is a particle separation device that uses a swirling flow and centrifugal force to separate particles from the fluid flow based on the difference in density. The cyclone is widely used in industries to purify the fluid flow from polluting particles. Therefore, it is necessary to pay attention to the performance of cyclones that can separate more particles with the minimum pressure drop. Misiulia et al. (۲۰۱۷) investigated the effect of the inlet opening angle on the collection efficiency of a cyclone. They used five different angles of ۷, ۱۱, ۱۵, ۲۰, and ۲۵ degrees. They observed that an increase in the inlet angle leads to a reduction in the cyclone's collection efficiency. Zhang et al. (۲۰۲۲) numerically and experimentally investigated the effect of the vortex finder dimensions on the cyclone performance. Their results showed that increasing the vortex finder diameter leads to an increase in the collection efficiency and a decrease in the pressure drop. Dziubak et al. (۲۰۲۳) numerically studied the effect of the axial inlet velocity and cyclone geometric parameters on the collection efficiency and pressure drop. They examined the impact of the cyclone length and inlet vane angle. Their results indicated the best performance was achieved for the cyclone with the maximum length, smaller diameter, and ۹۰-degree inlet vane angle. Pandey and Brar (۲۰۲۲) investigated the effect of using a conical geometry on the cyclone collection efficiency and pressure drop. Their results showed that increasing the cone curvature diameter leads to a decrease in the cyclone collection efficiency and pressure drop. Shastri et al. (۲۰۲۲) studied the impact of changing the cylinder and cone lengths of the cyclone without changing the total cyclone length. The results showed that the particle collection efficiency and pressure drop are maximized when the cylinder length is half the cylinder diameter, and minimized when the cylinder length is ۲.۵ times the cylinder diameter. This study investigated the effect of the cyclone cylinder diameter on efficiency and pressure drop in four different cases of cyclone cylinder diameter size ($D_1=0.5D_2$, $D_1=D_2$, $D_1=1.5D_2$, $D_1=2D_2$).

Methodology

For the simulation, ANSYS Fluent ۲۰۲۳ software was used. In the software, the velocity condition was set for the inlet and the pressure condition was set for the outlet. The standard k-ε model was used for turbulence modeling, which focuses on the effects governing the turbulent kinetic energy. The cyclone collection efficiency is equal to the ratio of the collected particles to the total number of particles entering the cyclone.

Results

The results showed that increasing the ratio of the cyclone cylinder diameters led to a decrease in the centrifugal force and, consequently, a reduction in the suction region of the cyclone. Therefore, the cyclone with higher centrifugal force had the greatest pressure variations (figure ۴.).

The results showed that the velocity at the beginning of the cyclone is changing between ۰.۲ to ۰.۵ m/s. It was observed that with an increase in the ratio of the cyclone cylinder diameters, the velocity in the middle section of the cyclone decreases due to the reduction of the centrifugal force and the decrease in the suction area (figure.۵). The results showed that with an increase in the ratio of the cyclone cylinder diameters, due to the reduction of the centrifugal force, the amount of flow rotation decreases, and the velocity vectors show less compaction. The largest vortex is for the case where $D_2=۰.۵D_1$, and the most stable flow condition is when $D_2=۲D_1$ (figure ۶.).

Conclusion

In this research, the simulation of a cyclone, which is used for the collection of dust particles in polluting industries, was performed for four different cases of the cyclone diameter ratios using the ANSYS Fluent software. The results showed that:

- With an increase in the ratio of the cyclone cylinder diameters, the efficiency increases due to the reduction of the centrifugal force and consequently the reduction of the suction in the central part of the cyclone.
- It was observed that when the ratio of the cyclone cylinder diameters increases ۴ times, the particle collection efficiency increases by more than ۲ times.
- When the ratio of the cyclone cylinder diameters is reduced by half compared to the case where the cyclone cylinder diameters are equal, due to the increase in the centrifugal force, the pressure drop is at its maximum and increases by up to ۵۰٪.
- With an increase in the ratio of the cyclone cylinder diameters, the pressure drop does not increase significantly, therefore it can be concluded that increasing the diameter of the cyclone cylinders leads to an improvement in the cyclone's performance.

Keywords

Pressure Drop; Particle Separation Efficiency, Industrial Pollution, Turbulence Flow