Mechanics of Advanced and Smart Materials Journal
http://masm.araku.ac.ir
ISSN: 2783-4220

Performance analysis in square cyclones using Sobel statistical sensitivity analysis method

Rasoul Derakhshan-fard [a], Ali Noorali [b], Moein Taheri [c*], Hamed safikhani [d]

[a] MSc. Student, Mechanical Engineering - Energy Conversion, Faculty of Engineering, Arak University, Arak, Iran.
[b] MSc. Student, Mechanical Engineering - Energy Conversion Faculty of Engineering, Arak University, Arak, Iran.
[c] Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Arak University, Arak, Iran.
[d] Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Arak University, Arak, Iran.

Original Article

Use your device to scan and read the article online

Citation: Derakhshan-fard R, Noorali A, Taheri M, Safikhani H. Performance analysis in square cyclones using Sobel statistical sensitivity analysis method. Mechanics of Advanced and Smart Materials. 2022; 2(4): 401-412

https://10.52547/masm.2.4.401.

KEYWORDS

Square cyclone,
Experiment design,
Sensitivity analysis,
Sobel.

ABSTRACT

Cyclones are devices used to separate two or more phases from a mixture. In this research, the effects of five cyclone inlet parameters including inlet height and width, outlet diameter, total height and cyclone body height on two outlet parameters including pressure drop and cut-of diameter have been investigated through regression equation and Sobel statistical analysis. The results showed that inlet width with 40%, inlet height with 36% and outlet diameter with 24% had the greatest effect on the pressure drop, respectively, and the total height and height of the cyclone body had no effect on the pressure drop. On the other hand, inlet width with 40%, inlet height with 38%, cyclone total height with 12% and cyclone body height with 10% respectively had the greatest effect on the cut-of diameter, and the cyclone outlet diameter had no effect on the cut-off diameter.

Extended Abstract

1. Introduction

Cyclones are centrifugal force-based particle collection systems that use the vortex effect to separate solid particles from the gas stream. Gas and solid particles enter the cylindrical or square collector at an angle and move downwards in a vortex path at high speed. Then, based on the principle of survival, the amount of angular movement of an internal vortex starts from the end of the cone in the opposite direction of the vortex and continues upwards. Finally, the air is free of solid particles in the outlet duct. Heavier solid particles are separated from the gas flow due to collision with the walls. In separating cyclones, as a result of injecting tangential particles into the body of the cylinders, a centrifugal force is introduced into the solid-liquid mixture [1]. The effects of inlet gas velocity, cyclone inlet width, vortex zone length and vortex zone diameter on cyclone performance were investigated experimentally. As a result, it was observed that the diameter of the vortex has a great effect on the performance of the cyclone. Also, the results showed that the length of the vortex section has a direct effect on the overall performance, so that it reduces the back mixing losses caused by the Bernoulli effect and particle jump [2]. Length and diameter are reported as important parameters in cyclone design [3]. The effect of cyclone inlet dimensions on performance and flow pattern was investigated computationally using Reynolds stress turbulence model. It was shown that increasing the cyclone inlet size decreases the tangential velocity and increases the pressure drop [4]. Kim and Lee optimized cyclone design parameters including vortex diameter to improve cyclone performance using an optimizer code [5]. Although particles less than 5 µm are ineffective, this equipment has seven standard geometric parameters that have been modified by various experts to improve its performance [6]. Performance parameters of a gas cyclone, for example, pressure drop and cross-sectional diameter, are very sensitive to cyclone geometry. The length of the cyclone strongly affects the pressure drop as well as the collection efficiency. Therefore, the study was conducted in two ways. First, the change of parameters in the cylinder as well as the length of the cone was checked on the performance of the standard cyclone. Second, a comparison is presented between two geometric species for similar increases in their length. It is found that increasing the cylinder length to 5.5 times the cyclone diameter saves about 34% in pressure drop and increases the efficiency by about 9.5%

* Corresponding author. Tel.: 08632625724.
E-mail address: m-taheri@araku.ac.ir
DOI: https://10.52547/masm.2.4.401.
Received: August 23, 2022; Received in revised form: February 13, 2022; Accepted: March 17, 2023
© Author

[7]. Separator cyclones are most efficient when the particle size is above 5 µm. If the particle size is less than 5 micrometers, the efficiency of this equipment is significantly reduced. It was observed that the collection of particles with a size of 2.5 µm would be very difficult, for which additional filters at the outlet of the cyclone would be required, which would increase the production [8]. Sobel statistical analysis method has been used to check each of the input geometrical parameters. Sensitivity analysis is a scientific research that examines the changes in the output of a model quantitatively and qualitatively and also provides a model based on the information fed to it. Statistical analysis probabilistically simulates the input, then evaluates the impact of this input on the output. In these methods, it is possible to determine the interaction between several inputs on the output. In these methods, the output of the model is evaluated for one or more inputs. The Sobel method is one of the best and most well-known sensitivity analysis methods. The problem of the Sobel method as a very powerful method of sensitivity analysis is that it can only be used for continuous uniform distribution [9]. Taheri in analyzing the sensitivity of three-dimensional manipulation of spherical nanoparticles in order to accurately calculate the critical force and critical time for the first time using the E-fast sensitivity analysis method, the effect of six inputs including cantilever length, cantilever width, cantilever thickness, tip height, nanoparticle radius and Checked tip radius on 8 output parameters. The final results showed that the cantilever thickness parameter is the most influential parameter on the critical force and the tip height parameter is the most influential parameter on the critical moments [10]. In this article, with the help of Sobel's statistical analysis, the effect of inlet parameters, which include inlet height, inlet width, gas outlet diameter, total cyclone height, and square surface height, on the outlets, which include pressure drop and shear diameter, is investigated. is placed . In the second part of the article, regression equations and Sobel analysis along with problem modeling are given.

2. **Modeling and formulation**

Sensitivity analysis is a suitable tool for investigating systems and determining the impact of input variables on the output responses of systems in engineering problems. In other words, it is a method to change the inputs of a model in an organized way so that the effects of these changes on the output of the model can be predicted. Sensitivity analysis can be classified into several parts, which are classified into graphical, mathematical and statistical models according to the application, which is definite or probabilistic, or according to the shape of the model. Two important factors in choosing a sensitivity analysis model are the type of equations governing the model and the interaction of inputs. Sobel sensitivity analysis is one of the model-independent statistical sensitivity analysis methods based on variance analysis, which is used for non-linear and non-uniform functions and models [11]. In this method, for the model defined by the function Y=f(X) where Y is the output of the model and X(x1, x2,…, xn) are the input vectors. And the model output variance (V) which In total, the variances of each sentence analyzed in relation 1 are:

$$V(Y) = \sum_{i=1}^{n} V_i + \sum_{i \le j \le n}^{n} V_{ij} + \ldots + V_{1,\ldots,n} \quad (1)$$

The general indices or the general effect of the parameter is the sum of all the ranks of the sensitivity index for that parameter in the form of equation 2 [12]:

$$S_{Ti} = S_i + \sum_{i \neq j}^{n} S_{ij} + \ldots \quad (2)$$

Using the Sobel statistical sensitivity analysis method, the effect of each input on the output will be qualitatively and accurately recorded. For multi-objective optimization, and CFD perspective for performance analysis in square storm, Venkatesh et al. [13] Through the design of the experiment, the regression equation of the outputs was obtained in the form of equations 3 and 4 for pressure drop and shear diameter, respectively.

$$\mathrm{P} = 471/7 + 5570/6\ \mathrm{a} + 11/589\ \mathrm{b} - 10/350\ \mathrm{De} - 12/00\ \mathrm{Ht} \quad (3)$$

$$\mathrm{X_{50}} = 1/385 + 17/459\ \mathrm{a} + 35/923\ \mathrm{b} - 0/868\ \mathrm{De} - 1/0942\ \mathrm{Ht} - 1/0095\ \mathrm{h} \quad (4)$$

3. **Simulation**

In this section, using the statistical sensitivity analysis method, the effect of each of the input parameters on the outputs whose regression equations were mentioned in equations 3 and 4 has been investigated. The effect of increasing the inlet height on each of the outlets i.e. pressure drop and cut-off diameter was investigated and it was observed that with the increase of inlet height, the output parameters including pressure drop and cut-off diameter also increased. The reason for this is the increase of the inlet area where particles with a larger diameter and higher pressure can enter the system. On the other hand, as the width of the inlet increases, each of the outlets, i.e. pressure drop and cutting diameter, also increases. Changing this parameter and the reason for its effect on the outputs is like increasing the height of the input. Therefore, according to the effect of the two investigated cases; That is, from the height of the inlet and the width of the inlet, it can be concluded that the larger the area of the inlet of the cyclone, the more pressure particles enter the cyclone, which ultimately causes pressure. The changes in gas outlet diameter and its effects on pressure drop and shear diameter are such that with the increase in outlet diameter, the decrease in pressure drop was observed. The larger the diameter of the cyclone outlet, the higher the outlet speed and the pressure decreases due to the reduction of the outlet area. But increasing the output diameter has no effect on the cutting diameter, and with increasing the output diameter, the cut-off diameter remains unchanged and can be ignored. On the other hand, it was observed that the total height of the cyclone and the height of the cyclone body have a similar effect on the output parameters so that they do not affect the pressure, because the pressure drop is affected by the inlet and outlet and the height of the storm does not affect the pressure drop. But with the increase of the total height of the cyclone and the height of the cyclone body, the cutting diameter has decreased a little. Now, by using the Sobel statistics analysis method, the effects of all points can be

seen and compared together on each of the outputs. The effect of all input parameters on pressure drop and cut-off diameter is shown in Figure 1.

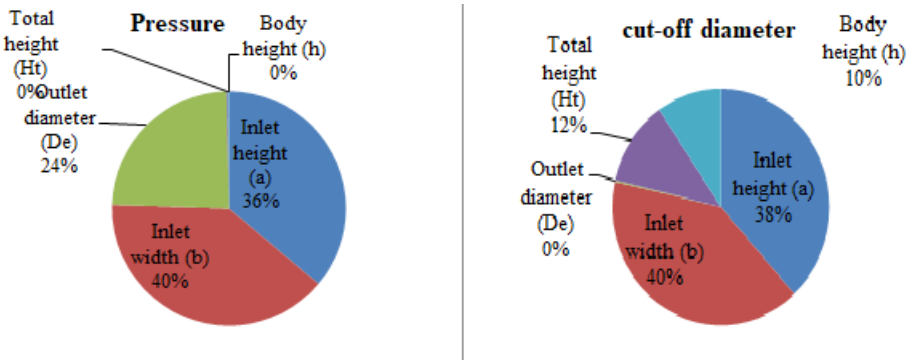


Figure 1. The percentage of influence of input parameters on pressure drop and shear diameter

4. Conclusion

After According to the figures provided for the effect of input parameters on the outputs, which include pressure drop and cutting diameter, it can be said that the input height parameter will have the greatest impact on the outputs. According to the results, the height of the inlet has the greatest effect on the pressure drop with an effect of 40%. The next effective parameter will be the input width with a hit rate of 36%. After that, the outlet diameter is 24% effective. On the other hand, it was observed that the height of the whole cyclone and the height of the square part of the cyclone have no effect on the pressure drop. Also, inlet height with 40%, inlet width with 38%, cyclone total height with 12%, cyclone body height with 10% and outlet diameter with 0% have the least effect on the cut-off diameter.

مکانیک مواد پیشرفته و هوشمند

مجله علمی مکانیک مواد پیشرفته و هوشمند

شاپا: ۴۲۲۰-۲۷۸۳

تجزیه‌وتحلیل عملکرد در سیکلون‌های مربعی با استفاده از روش آنالیز حساسیت آماری سوبل

رسول درخشان‌فرد [الف*]، علی نورعلی[ب]، معین طاهری[ج]، حامد صفی خانی[ت]

[الف*] دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی مکانیک، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه اراک، اراک، ایران، r.derakhshanfard.99@msc.araku.ac.ir

[ب] دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی مکانیک، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه اراک، اراک، ایران، a.nourali.99@msc.araku.ac.ir

[ج] دانشیار، گروه مهندسی مکانیک، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه اراک، اراک، ایران، m-taheri@araku.ac.ir

[ت] دانشیار، گروه مهندسی مکانیک، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه اراک، اراک، ایران، h-safikhani@araku.ac.ir

واژگان کلیدی

سیکلون مربعی، طراحی آزمایش، آنالیز حساسیت، سوبل.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۶/۰۱

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۱۱/۲۴

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۲/۲۶

چکیده

سیکلون‌ها دستگاه‌هایی هستند که برای جداسازی دو یا چند فاز از یکدیگر بکار می‌روند. سیکلون‌ها سیستم‌های جمع‌آوری ذرات مبتنی بر نیروی گریز از مرکز هستند که از اثر گردبادی برای جدا کردن ذرات جامد از جریان گاز استفاده می‌کنند. در این مقاله به بررسی تأثیر ۵ پارامتر ورودی سیکلون که شامل ارتفاع ورودی، عرض ورودی، قطر خروجی، ارتفاع کل سیکلون و ارتفاع بدنه سیکلون بر دو پارامتر خروجی شامل افت فشار و قطر برشی است، از طریق معادله رگرسیون آن‌ها و آنالیز حساسیت آماری سوبل پرداخته شده است. تاکنون تأثیر این ۵ پارامتر بر روی این خروجی‌ها از طریق آنالیز حساسیت آماری سوبل بررسی نشده است. نتایج نشان می‌دهد که به ترتیب عرض ورودی با ۴۰٪، ارتفاع ورودی با ۳۶٪ و قطر خروجی با ۲۴٪ بیشترین تأثیر را روی افت فشار داشته‌اند و ارتفاع سیکلون و ارتفاع بدنه تأثیری بر افت فشار نداشته‌اند. از طرفی عرض ورودی با ۴۰٪، ارتفاع ورودی ۳۸٪، ارتفاع کل سیکلون ۱۲٪ و ارتفاع بدنه سیکلون با ۱۰٪، به ترتیب بیشترین تأثیر را روی قطر برشی داشته و قطر خروجی سیکلون تأثیری روی قطر برشی نداشته است.

۱- مقدمه

سیکلون‌ها دستگاه‌هایی هستند که برای جداسازی دو یا چند فاز از یکدیگر بکار می‌روند. شبیه‌سازی سیکلون جداکننده ذرات جامد از گاز، کمک می‌کند تا درک بهتری از مسیر حرکت سیال حاصل شود و طراحی بهتری صورت گیرد. سیکلون‌ها سیستم‌های جمع‌آوری ذرات مبتنی بر نیروی گریز از مرکز هستند که از اثر گردبادی برای جدا کردن ذرات جامد از جریان گاز استفاده می‌کنند. گاز و ذرات جامد با زاویه، وارد جمع‌کننده استوانه‌ای و یا مربعی شده و به‌سرعت زیاد و در یک مسیر گردابی به سمت پایین حرکت می‌کنند. اکنون به علت اصل بقا، اندازه حرکت زاویه‌ای یک گردابه داخلی از محل انتهای مخروط در جهت عکس گردابه اولیه آغاز می‌شود و به سمت بالا ادامه مسیر می‌دهد. درنهایت از مجرای خروجی، هوا عاری از ذرات جامد می‌شود. ذرات جامد سنگین‌تر به دلیل برخورد با دیواره‌ها، از جریان گاز جدا می‌شوند. سیکلون‌ها به دلیل طراحی ساده، هزینه عملکرد پایین و بازدهی بالا بسیار مورداستفاده در صنایع مختلف هستند. این دستگاه‌ها دارای دو نوع استاتیک و دینامیک است که در نوع دینامیک پره دوران کننده‌ای وجود دارد که به جریان گردابه‌ای سیال درون سیکلون کمک می‌نماید سیکلون‌های جداکننده

* نویسنده مسئول؛ تلفن: ۰۸۶۳۲۶۲۵۷۲۴

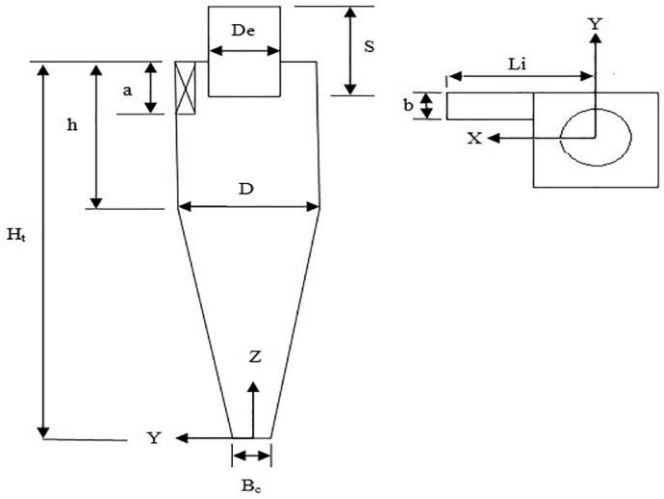
آدرس پست الکترونیک: m-taheri@araku.ac.ir

ازنظر طراحی ساده و تعمیر و نگهداری کمتر رتبه‌بندی شده‌اند [۱] در سیکلون‌های جداکننده، درنتیجه تزریق ذرات مماس به داخل بدنه استوانه‌ای یک نیروی گریز از مرکز به مخلوط جامد - مایع وارد می‌شود [۲]. سان و یون، عملکرد را با درنظرگرفتن سه ورودی مماس در زوایای مختلف مطالعه کرد [۳]. اثرات سرعت گاز ورودی، عرض ورودی سیکلون، طول قسمت گرداب و قطر قسمت گرداب بر عملکرد سیکلون به‌صورت تجربی بررسی شد. درنتیجه مشاهده شد قطر قسمت گرداب تأثیر قوی بر پارامترهای عملکرد سیکلون دارد. نتایج همچنین نشان داد که طول قسمت گرداب اثر مستقیمی بر عملکرد کلی دارد، به‌طوری‌که تلفات اختلاط برگشتی ناشی از اثر برنولی و جهش ذرات را کاهش می‌دهد [۴]. طول و قطر به‌عنوان پارامترهای مهمی در طراحی سیکلون گزارش شده‌اند[۵]. آن‌ها دریافتند که اثر عرض ورودی در راندمان بیشتر از طول ورودی است [۶]. تأثیر ابعاد ورودی سیکلون بر عملکرد و الگوی جریان به‌صورت محاسباتی با استفاده از مدل آشفتگی تنش رینولدز مورد بررسی قرار گرفت. نشان داده شد که افزایش ابعاد ورودی سیکلون باعث کاهش سرعت مماسی و افزایش افت فشار می‌گردد [۷]. تأثیر قطر نوک مخروط بر میدان جریان و عملکرد سیکلون مورد بررسی قرار گرفت. سه سیکلون با قطر نوک مخروط متفاوت با استفاده از شبیه‌سازی گردابی بزرگ موردمطالعه قرار گرفتند. نتایج به‌دست‌آمده نشان می‌دهد که قطر نوک مخروط تأثیر ناچیزی بر میدان جریان و عملکرد سیکلون دارد [۸]. کیم و لی، پارامترهای طراحی سیکلون ازجمله قطر گرداب را برای بهبود عملکرد سیکلون با استفاده از کد بهینه‌ساز، بهینه‌سازی کرد [۹]. اگرچه اندازه ذرات به زیر ۵ میکرومتر برسد ناکارآمد است، اما این تجهیزات دارای هفت پارامتر هندسی استاندارد است که با رویکردهای مختلف توسط محققان برای بهبود کارایی آن اصلاح می‌شود [۱۰]. پارامترهای عملکرد یک سیکلون گازی، به‌عنوان‌مثال، افت فشار و قطر مقطع، به هندسه سیکلون بسیار حساس هستند. طول سیکلون به‌شدت بر افت فشار و همچنین راندمان جمع‌آوری تأثیر می‌گذارد؛ بنابراین مطالعه به دو صورت انجام گرفت. اول، تأثیر تغییر پارامترها در استوانه و همچنین طول مخروط بر عملکرد سیکلون استاندارد مورد بررسی قرار گرفت. دوم، مقایسه بین دو متغیر هندسی برای افزایش مشابه در طول آن‌ها ارائه شده است. مشخص شده است که افزایش طول استوانه تا ۵/۵ برابر قطر سیکلون باعث صرفه‌جویی در حدود ۳۴ درصد در افت فشار و افزایش راندمان حدود ۹/۵ درصد خواهد شد [۱۱]. از طرفی استفاده از روش دانهیل سیمپلکس[1] برای تغییرات ابعادی افت فشار را کاهش می‌دهد [۱۲]. سیکلون‌های جداساز وقتی که اندازه ذرات بالای ۵ میکرومتر باشد کارآمدتر هستند. زمانی که اندازه ذرات کمتر از ۵ میکرومتر باشد کارایی این تجهیزات به‌طور قابل‌توجهی کاهش می‌یابد. مشاهده شد که جمع‌آوری ذرات که اندازه آن‌ها ۲/۵ میکرومتر است بسیار دشوار خواهد بود که برای این کار نیاز به‌قرار دادن فیلترهای اضافی در خروجی سیکلون است که باعث افزایش هزینه خواهد شد [۱۳]. برای بررسی دقیق تأثیر هر یک از متغیرهای هندسی ورودی از روش آنالیز حساسیت آماری سوبل استفاده شده است. آنالیز حساسیت مطالعهٔ اینکه چگونه عدم قطعیت در خروجی مدل (عددی و غیر عددی) می‌تواند به منابع مختلفی از عدم قطعیت در فاکتورهای ورودی مدل تقسیم‌بندی شود، است. آنالیز حساسیت علمی است که چگونگی تغییرات را در خروجی مدل ازلحاظ کمی و کیفی با درنظرگرفتن منابع مختلف تغییرات مطالعه می‌کند و همچنین مدلی بر اساس اطلاعات تغذیه‌شده به آن ارائه می‌دهد. روش آنالیز حساسیت گرافیکی، روشی است که حساسیت را در فرم‌هایی به‌صورت نمودار و جدول یا سطوح نمایش می‌دهند. از روش گرافیکی عموماً برای نشان‌دادن تغییرات خروجی‌ها تحت تأثیر ورودی‌ها استفاده می‌شوند. نمودارهای گرافیکی تأثیر ورودی‌ها بر خروجی‌ها در بخش سوم که مربوط به شبیه‌سازی است آمده است. تحلیل حساسیت آماری به‌صورت توزیع احتمالی به شبیه‌سازی ورودی می‌پردازد، سپس تأثیر این ورودی را بر خروجی ارزیابی می‌کند. در این روش‌ها می‌توان اثر متقابل بین چندین ورودی را بر خروجی مشخص کرد. در این روش‌ها حساسیت خروجی مدل به ازای یک یا چندین ورودی ارزیابی می‌گردد.

عدم اطمینان جزء تفکیک‌ناپذیر تحلیل‌های مهندسی است. توزیع بیان‌کنندهٔ این عدم اطمینان‌ها محدوده وسیعی از توزیع‌های آماری را در برمی‌گیرد. روش سوبل یکی از بهترین و شناخته‌شده‌ترین روش‌های آنالیز حساسیت است. مشکل روش سوبل به‌عنوان روش بسیار قوی آنالیز حساسیت، این است که تنها برای توزیع یکنواخت پیوسته قابل‌استفاده است [۱۴]. تجزیه‌وتحلیل حساسیت می‌تواند به شناسایی نقاط بحرانی کمک کند که ۱۰ روش تحلیل حساسیت شامل چهار روش ریاضی، پنج روش آماری

[1] Downhill Simplex

و یک روش گرافیکی مورد بررسی قرار گرفت. با توجه به نتایج هیچ روش واحدی وجود ندارد که واضح باشد و هر روش دارای نقاط قوت و محدودیت‌هایی است که باید با توجه به مفروضات مسئله یک روش را به کاربرد [۱۵]. طاهری، در آنالیز حساسیت منیپولیشن[1] سه‌بعدی نانوذرات کروی به‌منظور محاسبه دقیق نیروی بحرانی و زمان بحرانی برای اولین بار با استفاده از روش تحلیل حساسیت ای -فست[2] تأثیر شش پارامتر ورودی شامل طول کنسول، عرض کنسول، ضخامت کنسول، ارتفاع نوک، شعاع نانوذره و شعاع نوک بر روی هشت پارامتر خروجی مورد بررسی قرار داد. نتایج نهایی نشان داد که پارامتر ضخامت کنسول تأثیرگذارترین پارامتر بر نیروی بحرانی و پارامتر ارتفاع نوک تأثیرگذارترین پارامتر در زمان‌های بحرانی است [۱۶]. قریشی و همکاران، رفتار دما در فرایند سوراخ‌کاری اتوماتیک استخوان را مدل‌سازی ریاضی، تحلیل حساسیت سوبل بهینه‌سازی کردند. همچنین میزان حساسیت اثر هر یک از پارامترها به روش آنالیز حساسیت سوبل مورد بررسی قرار گرفته و با درنظرگرفتن تغییرات هم‌زمان همه پارامترها در رفتار دما به ترتیب سرعت دورانی، نرخ پیشروی و قطر مته بیشترین اثر را داشته است [۱۷]. در این مقاله به کمک آنالیز حساسیت آماری سوبل تأثیر پارامترهای ورودی که شامل ارتفاع ورودی، عرض ورودی، قطر خروجی گاز، ارتفاع کل سیکلون و ارتفاع قسمت مربعی شکل است بر خروجی‌ها که شامل افت فشار و قطر برشی است بررسی شده است. در بخش دوم مقاله معادلات رگرسیون و آنالیز حساسیت سوبل به همراه مدل‌سازی مسئله آمده است. در شکل ۱ شماتیکی از سیکلون مربعی نشان‌داده‌شده است.



شکل ۱ شماتیک سیکلون مربعی

۲- مدل‌سازی

۲-۱- روش‌های تحلیل حساسیت

تحلیل حساسیت ابزاری مناسب جهت بررسی سیستم‌ها و تعیین میزان تأثیر متغیرهای ورودی بر روی پاسخ‌های خروجی سیستم‌ها در مسائل مهندسی است. به‌عبارت‌دیگر روشی برای تغییر دادن در ورودی‌های یک مدل به‌صورت سازمان‌یافته است که بتوان تأثیرات این تغییرها را در خروجی مدل پیش‌بینی کرد. از طرفی روش‌های آنالیز حساسیت به سه گروه کلی تقسیم می‌شوند:

روش غربال‌کردن[3]

برای مدل‌هایی که محاسبات گران و تعداد زیادی پارامتر ورودی دارند، مفید است و از این روش جهت شناسایی پارامترهای ورودی که بیشترین تأثیر را روی خروجی‌ها دارند، استفاده می‌شود.

[1] Manipulation
[2] E-fast
[3] Screening

آنالیز حساسیت محلی[1]

روش آنالیز حساسیت محلی بیشتر با محوریت فاکتورهای مدل است. این روش محاسباتی مشتق شده از توابع خروجی با درنظرگرفتن متغیرهای ورودی است که به‌وسیله روش‌های محاسبات عددی انجام می‌گیرد. روش‌های آنالیز حساسیت کمتر در زمینه‌هایی که قرار است سهم ورودی‌ها روی خروجی‌ها به دست آید کمک می‌کند.

آنالیز حساسیت عمومی[2]

آنالیز حساسیت عمومی خروجی غیر مشخصی را با عامل‌های ورودی آن سهم‌بندی می‌کند. انواع توابع توزیع که پوشش می‌دهد مقدار قابل‌قبول فاکتورها را بیان می‌کند.

۲-۲- مدل‌های آنالیز حساسیت

تحلیل حساسیت را می‌توان به چند بخش طبقه‌بندی نمود که بر حسب کاربرد که به نوع قطعی یا احتمالی است یا بر حسب شکل مدل، به مدل‌های گرافیکی، ریاضی و آماری طبقه‌بندی می‌شود. دو فاکتور مهم در انتخاب مدل آنالیز حساسیت، نوع معادلات حاکم بر مدل و برهم‌کنش ورودی‌ها است.

مدل آنالیز حساسیت گرافیکی

در این روش آنالیز حساسیت، حساسیت را در فرم‌هایی به‌صورت نمودار یا جدول یا سطوح نمایش می‌دهند. از روش گرافیکی عموماً برای نمایش دادن تغییرات خروجی‌ها تحت تأثیر ورودی‌ها استفاده می‌شود. از روش‌های گرافیکی می‌توانند در کامل کردن روش‌های ریاضیاتی از نمودار پراکندگی استفاده می‌شود.

مدل آنالیز حساسیت ریاضی

در این روش حساسیت را از طریق تغییرات خروجی بر حسب تغییرات ورودی به دست می‌آورند. این روش‌ها عموماً درگیر محاسباتی است که به بررسی خروجی به ازای مقدار کمی تغییر در ورودی می‌پردازند. این روش‌ها نیز می‌توانند برای ارزیابی و بازرسی مورداستفاده قرار گیرند.

مدل آنالیز حساسیت آماری

این آنالیز حساسیت به‌صورت توزیع احتمالی به شبیه‌سازی ورودی می‌پردازد، سپس تأثیر این ورودی بر خروجی را ارزیابی می‌کند. در این روش‌ها می‌توان اثر متقابل بین چندین ورودی را بر خروجی بررسی شود و حساسیت خروجی مدل به ازای یک یا چندین ورودی ارزیابی گردد.

روش‌های آنالیز حساسیت به‌صورت آماری عبارت‌اند از:

- روش تعمیم‌یافته تست حساسیت دامنه فوریه
- تست حساسیت دامنه فوریه
- سوبل
- شاخص اطلاعات اتصال
- روش سطح پاسخ

[1] Local Sensitivity Analysis
[2] Global Sensitivity Analysis

- تحلیل واریانس
- تحلیل رگرسیون

در این تحقیق از مدل تحلیل حساسیت آماری سوبل استفاده شده است.

آنالیز حساسیت سوبل یکی از روش‌های آنالیز حساسیت آماری و مستقل از مدل است که بر پایهٔ تجزیه واریانس است که برای توابع و مدل‌های غیرخطی و غیریکنواخت مورداستفاده قرار می‌گیرد [۱۸].

۲-۳- روش تحلیل حساسیت سوبل

در این روش برای مدل تعریف‌شده با تابع $Y = f(X)$ که Y خروجی مدل و $X(x_1,x_2,\dots x_n)$ بردار پارامترهای ورودی می‌باشند، و واریانس خروجی مدل (V) که به‌صورت مجموع واریانس‌های هر جمله تجزیه‌شده به‌صورت رابطه ۱ می‌باشد:

$$V(Y) = \sum_{i=1}^{n} V_i + \sum_{i\le j\le n}^{n} V_{ij} + \dots + V_{1,\dots,n} \qquad (۱)$$

که در آن V_i تأثیر مرتبه اول برای هر فاکتور ورودی است.

$V_{ij} = V[E(Y|x_i,x_j)] - V_i - V_j)V_{ij}$ و $x_i(V_i = V[E(Y|x_i)]$ تا $V_{1,\dots,n}$ برهم‌کنش بین n فاکتور را نشان می‌دهند. شاخص‌های حساسیت به‌صورت واریانس هر مرتبه به روی واریانس کلی به دست می‌آیند که $S_i = (V_i/V)$ شاخص حساسیت مرتبه‌ی اول، $S_i = V_{ij}/V$ شاخص حساسیت مرتبه‌ی دوم و ... است.

شاخص حساسیت کلی یا همان تأثیر کلی پارامتر به‌صورت مجموع همهٔ مرتبه‌های شاخص حساسیت برای آن پارامتر به‌صورت رابطه ۲ به دست می‌آید[۱۷]

$$S_{Ti} = S_i + \sum_{i\neq j}^{n} S_{ij} + \dots \qquad (۲)$$

معادلات و روابط روش سوبل در مرجع شماره [۱۹] به‌طور کامل آمده است.

با استفاده از روش آنالیز حساسیت آماری سوبل تأثیر هریک از ورودی‌ها بر خروجی‌ها به‌صورت کیفی و دقیق بررسی خواهد شد. برای بهینه‌سازی چندهدفه، تجربی و رویکرد CFD برای تحلیل عملکرد در سیکلون مربعی، ونکاتش و همکاران [۲۰] از طریق طراحی آزمایش، معادله رگرسیون[1] خروجی‌ها را به‌صورت معادلات ۳ و ۴ به ترتیب برای افت فشار و قطر برشی به دست آورده است.

$$P = 471/7 + 5570/6\,a + 11/589\,b - 10/350\,De - 12/00\,Ht \qquad (۳)$$

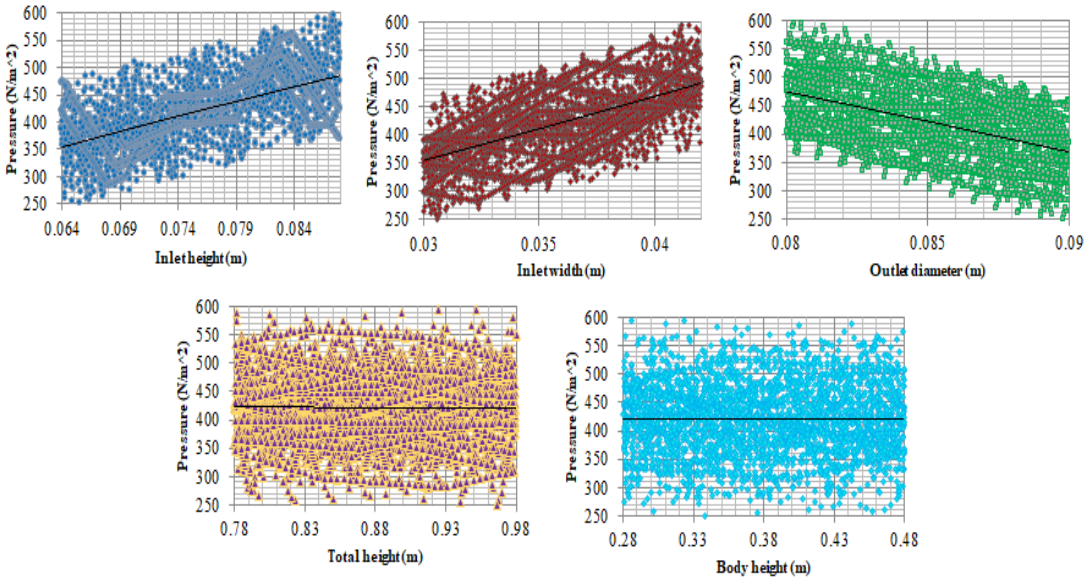
$$X_{50} = 1/385 + 17/459\,a + 35/923\,b - 0/868\,De - 1/0942\,Ht - 1/0095\,h \qquad (۴)$$

۳- شبیه‌سازی

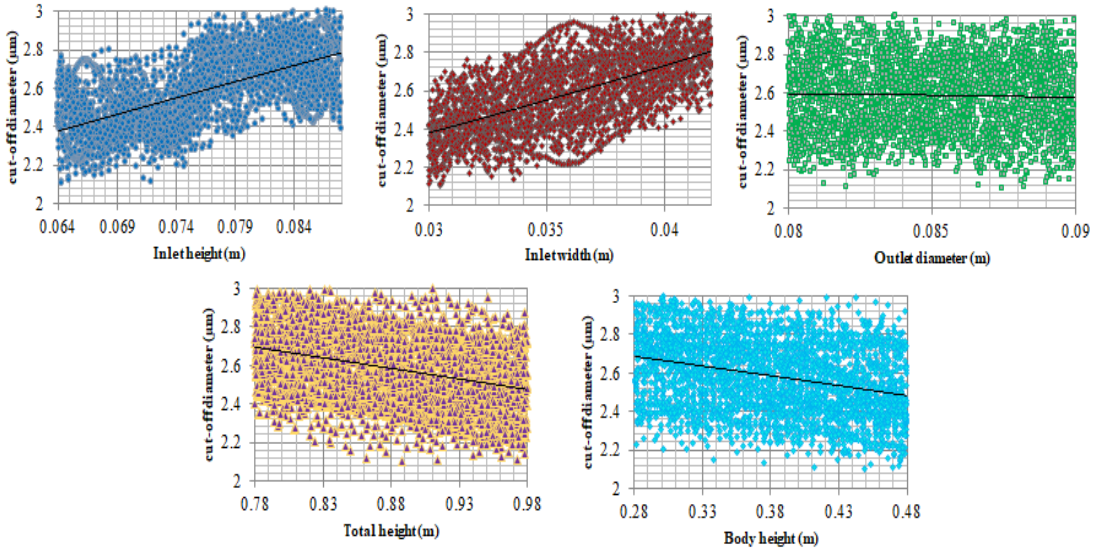
در این بخش با استفاده از روش تحلیل حساسیت آماری، تأثیر هر یک از پارامترهای ورودی به‌صورت جداگانه و دقیق بر روی خروجی‌ها که معادلات رگرسیون آن‌ها در معادلات ۳ و ۴ ذکر گردید، بررسی شده است. تأثیر افزایش ارتفاع ورودی بر روی هر یک از خروجی‌ها یعنی افت فشار و قطر برشی بررسی شد و مشاهده گردید که با افزایش ارتفاع ورودی، خروجی‌های مسئله که شامل افت فشار و قطر برشی هستند هر دو افزایش پیدا کرده است. دلیل این امر افزایش مساحت ورودی است که ذرات با قطر بزرگ‌تر و فشار بیشتر می‌توانند وارد سیستم شوند. از طرف دیگر مشاهده شد که با افزایش عرض ورودی، هریک از خروجی‌ها یعنی افت فشار و قطر برشی نیز افزایش می‌یابند. تغییر این پارامتر و دلیل تأثیر آن روی خروجی‌ها مانند افزایش ارتفاع ورودی است. پس باتوجه به تأثیر دو پارامتر بررسی‌شده؛ یعنی ارتفاع ورودی و عرض ورودی می‌توان نتیجه گرفت که هرچه مساحت ورودی سیکلون بیشتر باشد، ذرات با فشار بیشتری وارد سیکلون شده که درنهایت افت فشار را در پی خواهد داشت. تغییرات

[1] Regression Equation

قطر خروجی گاز و تأثیرات آن بر روی افت فشار و قطر برشی به این شکل است که با افزایش قطر خروجی، کاهش افت فشار مشاهده شد. هرچه قطر خروجی سیکلون بزرگ‌تر باشد، سرعت خروجی از آن بیشتر است و فشار به دلیل کاهش مساحت خروجی، کم می‌شود. اما افزایش قطر خروجی تأثیری در قطر برشی نداشته است و با افزایش قطر خروجی، قطر برشی بدون تغییر مانده است و می‌توان از تأثیر آن چشم‌پوشی کرد. هرچه قطر خروجی سیکلون بزرگ‌تر باشد، سرعت خروجی از آن بیشتر شده و فشار به دلیل کاهش مساحت خروجی، کم می‌شود. از طرفی دیگر مشاهده شد که ارتفاع کل سیکلون و ارتفاع بدنه سیکلون تأثیر تقریباً مشابهی روی پارامترهای خروجی داشته‌اند به‌طوری‌که تأثیری بر روی فشار نداشته‌اند، زیرا افت فشار تحت تأثیر ورودی و خروجی سیکلون است و ارتفاع سیکلون در میزان افت فشار بی‌تأثیر است. اما با افزایش ارتفاع کل سیکلون و ارتفاع بدنه سیکلون، قطر برشی به مقدار کمی کاهش پیدا کرده است. تأثیر هر یک از ورودی‌ها بر روی افت فشار در شکل ۲ و تأثیر آن‌ها بر روی قطر برشی در شکل ۳ نشان داده شده است.

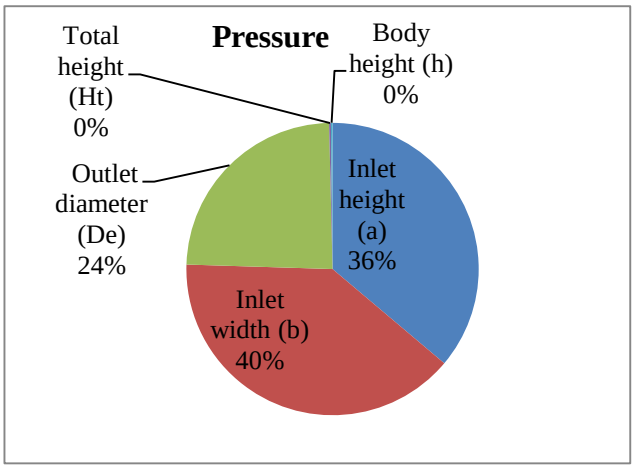


شکل ۲ تأثیرات هریک از پارامترهای ورودی بر افت فشار



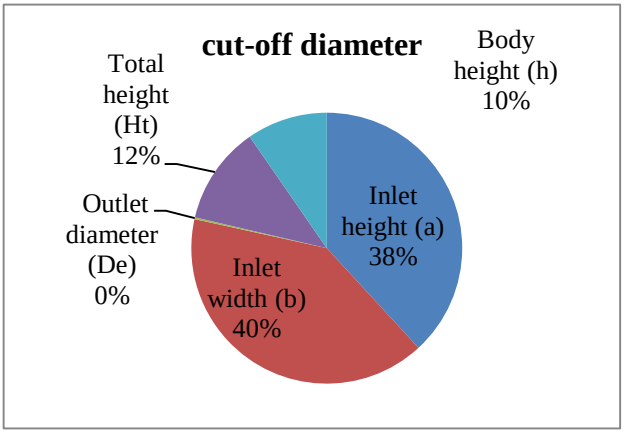
شکل ۳ تأثیرات هریک از پارامترهای ورودی بر قطر برشی

تا اینجا تأثیر هریک از پارامترها بر روی خروجی به‌صورت جداگانه بررسی شد. در این بخش و با استفاده از روش آنالیز حساسیت آماری سوبل، تأثیرات تمامی پارامترها در کنار یکدیگر بر روی هر یک از خروجی‌ها قابل‌مشاهده و مقایسه است. در شکل ۴ تأثیرات پارامترهای ورودی بر روی افت فشار نشان‌داده‌شده است. طبق شکل ۴ ارتفاع ورودی با ۴۰ درصد تأثیر، بیشترین تأثیر را بر افت فشار خواهد داشت. پارامتر مؤثر بعدی عرض ورودی با میزان تأثیر ۳۶ درصد خواهد بود. بعدازآن قطر خروجی با ۲۴ درصد تأثیر است. از طرفی مشاهده شد که ارتفاع کل سیکلون و ارتفاع قسمت مربعی شکل سیکلون هیچ تأثیری در افت فشار ندارند.



شکل ۴ درصد تأثیرات پارامترهای ورودی بر افت فشار

شکل ۵ نشان می‌دهد که به ترتیب ارتفاع ورودی با ۴۰درصد، عرض ورودی با ۳۸ درصد، ارتفاع کل سیکلون با ۱۲ درصد و ارتفاع بدنه سیکلون با ۱۰ درصد و قطر خروجی با ۰ درصد بیشترین تا کمترین تأثیر را روی قطر برشی داشته‌اند.



شکل ۵ درصد تأثیرات پارامترهای ورودی بر قطر برشی

۴- نتیجه‌گیری

باتوجه به شکل‌های ارائه‌شده برای میزان تأثیر پارامترهای ورودی بر خروجی‌ها که شامل افت فشار و قطر برشی است، می‌توان گفت که پارامتر ارتفاع ورودی بیشترین تأثیر را روی خروجی‌های مسئله خواهد داشت، به‌طوری‌که با افزایش ارتفاع ورودی، خروجی‌ها نیز افزایش می‌یابند که این درصد افزایش برای هر دو خروجی یکسان و به میزان ۴۰ درصد خواهد بود. از طرفی دیگر افزایش عرض ورودی نیز مانند ارتفاع ورودی باعث افزایش فشار و قطر برشی خواهد شد. که این درصد افزایش برای قطر برشی به میزان خیلی کمی از درصد افزایش فشار بیشتر خواهد بود. با افزایش قطر خروجی گاز، فشار به مقدار کمی کاهش‌یافته، اما

تغییرات قطر خروجی تأثیری روی قطر برشی نداشته و با افزایش یا کاهش قطر خروجی، قطر برشی ثابت می‌ماند. ارتفاع کل سیکلون و ارتفاع بدنه سیکلون تأثیرات تقریباً یکسانی را روی افت فشار و قطر برشی دارند، به‌طوری‌که تغییرات این دو پارامتر تأثیری بر روی افت فشار نداشته و با تغییر این دو پارامتر، فشار تغییری نداشته و ثابت می‌ماند. اما افزایش این دو پارامتر باعث کاهش خیلی اندک در قطر برشی می‌شود که تأثیر این تغییر در ارتفاع کل سیکلون به مقدار ناچیزی از تغییر ارتفاع بدنه سیکلون بیشتر خواهد بود.

۵- فهرست علائم

نماد	متغیر	واحد
P	افت فشار	نیوتن بر متر مربع (N/m^2)
X_{50}	قطر برشی	متر (m)
a	ارتفاع ورودی	متر(m)
b	عرض ورودی	متر(m)
De	قطر خروجی	متر(m)
Ht	ارتفاع کل	متر(m)
h	ارتفاع بدنه	متر(m)

۶- مراجع

[1] Dirgo J, Leith D. Cyclone Collection Efficiency: Comparison of Experimental Results with Theoretical Predictions. Aerosol Science and Technology. 1985;4(4):401-415.

[2] Tan F, Karagoz I, Avci A. Effects of Geometrical Parameters on the Pressure Drop for a Modified Cyclone Separator. Chemical Engineering & Technology. 2016;39(3):576-581.

[3] Sun X, Yoon J. Multi-objective optimization of a gas cyclone separator using genetic algorithm and computational fluid dynamics. Powder Technology. 2018; 325:347-360.

[4] Zhu Y, Lee K. EXPERIMENTAL STUDY ON SMALL CYCLONES OPERATING AT HIGH FLOWRATES. Journal of Aerosol Science. 1999;30(10):1303-1315.

[5] Brar L, Sharma R, Elsayed K. The effect of the cyclone length on the performance of Stairmand high-efficiency cyclone. Powder Technology. 2015; 286:668-677.

[6] Zhao B, Su Y, Zhang J. Simulation of Gas Flow Pattern and Separation Efficiency in Cyclone with Conventional Single and Spiral Double Inlet Configuration. Chemical Engineering Research and Design.2006;84(12):1158-1165.

[7] Elsayed K, Lacor C. The effect of cyclone inlet dimensions on the flow pattern and performance. Applied Mathematical Modelling. 2011;35(4):1952-1968.

[8] Elsayed K, Lacor C. Numerical modeling of the flow field and performance in cyclones of different cone-tip diameters. Computers & Fluids. 2011;51(1):48-59.

[9] Kim J, Lee K. Experimental Study of Particle Collection by Small Cyclones. Aerosol Science and Technology. 1990;12(4):1003-1015.

[10] Safikhani H, Zamani J, Musa M. Numerical study of flow field in new design cyclone separators with one, two and three tangential inlets. Advanced Powder Technology. 2018;29(3):611-622.

[11] Brar L, Sharma R, Elsayed K. The effect of the cyclone length on the performance of Stairmand high-efficiency cyclone. Powder Technology. 2015; 286:668-677.

[12] Sankar P, Prasad R. Process Modeling and Particle Flow Simulation of Sand Separation in Cyclone Separator. Particulate Science and Technology. 2014;33(4):385-392.

[13] Ganegama Bogodage S, Leung A. Improvements of the cyclone separator performance by down-comer tubes. Journal of Hazardous Materials. 2016; 311:100-114.

[14] Momen,Sasan ,Yazdani ,Azad ,Niknam, Ahmad, Khanzadi. Generalization of Sobel sensitivity analysis method for use in engineering and science. Modeling in Engineering. 2018;16(54), 217-226.

[15] Christopher Frey H, Patil S. Identification and Review of Sensitivity Analysis Methods. Risk Analysis.2002;22(3):553-578.

[16] Taheri M. Subsequent analysis of the manipulation of three spherical nanoparticles using the statistical method E-set. Modares Mechanical Engineering. 2018;17 (11) :59-69.

[17] Qureshi M, Zolfaghari M, Tahmasebi V, Heidari H. Mathematical modeling, Sobel sensitivity analysis and optimization of temperature behavior in the automatic bone drilling process.

[18] Sobol IM. Sensitivity analysis for non-linear mathematical models. Mathematical modelling and computational experiment. 1993; 1:407-14.

[19] Korayem,M. H, Hefzabad R. N, Taheri M, Mahmoodi Z. Finite element simulation of contact mechanics of cancer cells in manipulation based on atomic force microscopy. International Journal of Nanoscience and Nanotechnology. 2014;10(1):1-12.

[20] Venkatesh S, Suresh Kumar R, Sivapirakasam S, Sakthivel M, Venkatesh D, Yasar Arafath S. Multi-objective optimization, experimental and CFD approach for performance analysis in square cyclone separator. Powder Technology. 2020; 371:115-129.