

امکان سنجی استفاده از سیکلون ها جهت مهار آلودگی های ناشی از ذرات جامد و پساب گاز طبیعی و فرآورده های نفتی

مجتبی مسیحی^۱، نادر رهبر^۲، هادی کارگر شریف آباد^۳، فرزنان ناموری^۴

^۱آکارشناسی ارشد مهندسی مکانیک- تبدیل انرژی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات سمنان، Masihi_mojtaba@yahoo.com
^۲آدکتر مهندسی مکانیک- تبدیل انرژی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات سمنان، nrabar@gmail.com
^۳آدکتر مهندسی مکانیک- ترمودینامیک، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات سمنان، Hadikargar2003@yahoo.com
^۴دکتر مهندسی عمران- سازه، سرپرست امور مهندسی و طراحی، شرکت ملی مناطق نفتخیز جنوب، Namvari.farzan@gmail.com

چکیده

با توجه به اهمیت موضوع پژوهش، بررسی و شناخت رفتار این نوع ذرات جامد ناشی پساب های نفتی در راستای بررسی عملکرد تجهیزات مکانیکی مانند سیکلون و هیدروسیکلون، همواره مورد توجه پژوهشگران بوده است. در این مقاله امکان سنجی سیکلون ها جهت جداسازی پودر سیاه و پسماندهای صنعتی از گاز طبیعی صورت گرفته است. در این تحقیق هندسه سیکلون گاز - جامد به صورت سه بعدی توسط نرم افزار Gambit ترسیم شد و مسیر جریان گاز همراه با ذرات جامد در داخل سیکلون توسط نرم افزار Fluent شبیه سازی شد. ذرات جامد و پسماندها و گاز طبیعی در آزمایشگاه نفت و گاز گچساران مورد آزمایش و آنالیز قرار گرفت. معادلات گاز پیوسته با استفاده از روش حجم محدود، گسسته سازی شده و برای ارتباط بین معادلات پیوستگی و مومنتوم از الگوریتم SIMPLE استفاده شد. همچنین از مدل ke-RNG برای شبیه سازی جریان آشفته استفاده شده است. از مقایسه نتایج شبیه سازی با نتایج آزمایشگاهی گزارش شده، تطابق خوبی مشاهده گردید. در بررسی سیکلون های شبیه سازی شده معلوم گردید که سیکلون با قطر $D=205\text{mm}$ و سرعت $m/s 20$ بهترین راندمان با کمترین افت فشار را در جداسازی ذرات جامد و پسماندهای صنعتی از گاز طبیعی دارا می باشد و گزینه مناسبی جهت استفاده در ایستگاههای تقویت فشار گاز شهری به عنوان پیش فیلتر می باشد.

واژه های کلیدی

دینامیک سیالات محاسباتی، هیدروسیکلون، بازده جداسازی، پساب های نفتی، افت فشار، ذرات جامد، آلودگی هوا.

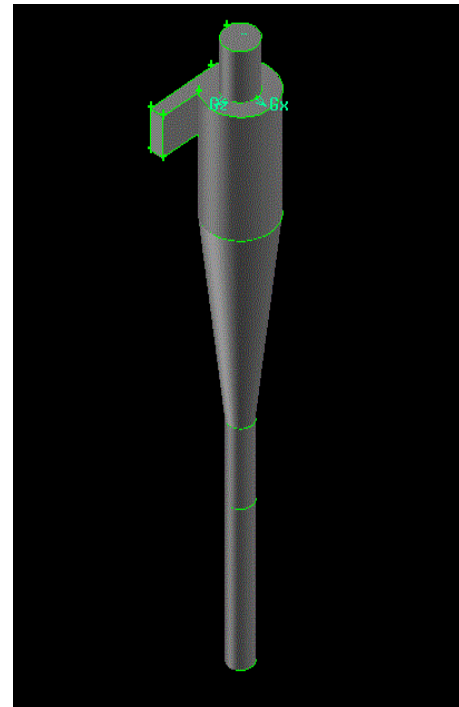
مقدمه

در خطوط انتقال گاز طبیعی در اثر فعل و انفعالات شیمیایی و فیزیکی از جمله انجام واکنش های خوردگی، سایش مسیر، کندانس هیدروکربنهایی سنگین و پیگ رانی خطوط لوله گاز، پودری سیاه رنگ ایجاد می شود که عدم حذف آن از جریان گاز طبیعی مشکلات فراوانی از قبیل آلودگی هوا، و خاک و آب... ایجاد می کند. آلودگی ناشی از ذرات جامد یک نگرانی اجتماعی است، که چندین دهه است که به عنوان یک مشکل ظهور نموده است. از آنجا که هزینه های خرید، راهبری و نگهداری، تجهیزات سامانه های کنترل آلودگی هوا

زیاد است، بیشتر مدیران صنایع باید در درجه اول اقدامات راهبردی مانند بررسی گزینه ساخت و فناوری دستگاه های تولید، جایگزینی مواد خام، بهبود روش های کنترل فرایند و... را مورد توجه قرار دهند. متأسفانه در بعضی موارد از چنین گزینه هایی نمی توان استفاده کرد و ناچار باید تجهیزات کنترل مورد توجه قرار گیرد. با توجه به هزینه زیاد این تجهیزات، باید درست و با دقت زیاد صورت گیرد تا در حالی که جوابگوی مقررات است، کمترین هزینه را هم بر صنعت تحمیل کند. در طراحی این سامانه ها بر روش های راهبری و نگهداری هر چه ساده تر و ارزان تر تأکید می شود. ذرات معلق در هوا و خاک باعث شیوع بیماری های موجود در هوا شده و مشکلات محیطی جدی را به وجود می آورند. جمع آوری ذرات جامد در گازها با اهداف زیر مد نظر می باشد [۱]:

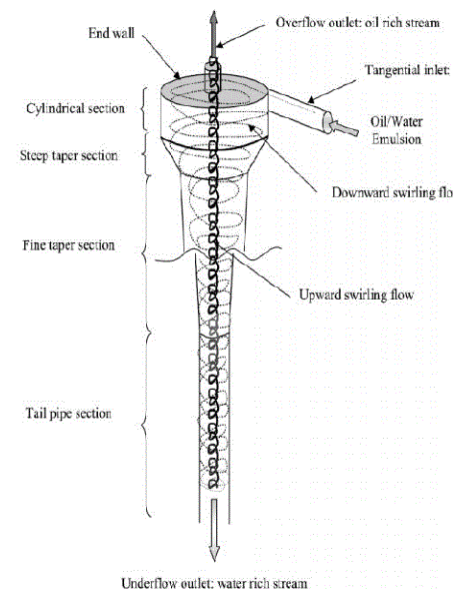
- کنترل آلودگی هوا
- کاهش تجهیزات تعمیر و نگهداری
- حذف خطرات و مضرات سلامتی و ایمنی
- توسعه و ترقی کیفیت محصول،
- بازیابی یک محصول با ارزش، همانند جمع آوری گرد و غبار از خشک کن ها و جمع آوری پساب ها و ذرات جامد از گاز طبیعی، که هدف این پژوهش نیز می باشد. درک خواص اساسی و مشخصه های فیزیکی و شیمیایی ذرات جامد و ذرات گازی، برای طراحی تجهیزات کنترل کننده غبار صنعتی ضروری است.
- هیدروسیکلون یکی از وسایل طبقه بندی مواد بر روش غیر مستقیم می باشد، بطور دائم کار می کند و در آن برای تسریع در جداکردن ذرات دانه ریز از دانه درشت از نیروی گریزاز مرکز استفاده می شود. ساختمان هیدرو سیکلون ها متشکل از یک طرف مخروطی شکل که در قسمت انتهایی دارای سوراخی است که ته ریز یا شکل متصل شده است که دارای یک دهانه ورودی است که بطور مماسی به آن متصل شده است. این بخش استوانه ای شکل توسط صفحه ای در قسمت فوقانی بسته شده است که از وسط آن صفحه، لوله سرزیر عبور داده شده است که در شکل (۱) و (۲) نشان داده شده است. این لوله به داخل بخش استوانه ای شکل ادامه یافته است و دارای مقطع کوچکی است که یک VORTEX و یک ولو قابل تنظیم بنام APEX VALVE برای تنظیم دهانه ته ریز وجود دارد.

نیروی گریز از مرکز باعث افزایش سرعت انتقال ذرات به جداره می شود، در حالیکه نیروی مقاومت در برابر نیروی فوق مقاومت کرده، ذرات را به قسمت میانی و نهایتاً سرریز منتقل می کند.



شکل ۱: هندسه هیدروسیکلون

مکانیزم هیدروسیکلون ها تقریباً شبیه سیکلون هاست. سیکلون ها نمونه ایی از جدا کننده ها هستند که عمل جداسازی ذرات جامد از جریان گاز را انجام می دهند. واز فن آوری های نوین در جمع آوری و تصفیه مهندسی به شمار می آیند.



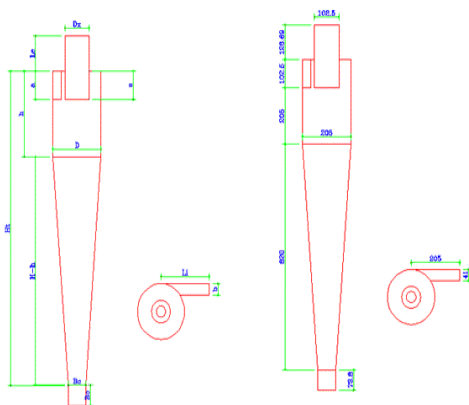
شکل ۲: شماتیک هیدروسیکلون

سیکلون های جداکننده گاز، به خاطر هندسه ساده و تعمیر و نگهداری آسان و ضریب اقتصادی مقرون به صرفه، نسبت به سایر تجهیزات کنترل آلودگی هوا و همچنین انعطاف پذیری با دما و فشارهای بالا به طور گسترده در صنایع مختلف از جمله نیروگاههای برق، نفت و گاز و پتروشیمی به منظور جداکردن ذرات جامد از

جریان گاز و بازیابی محصول باارزش مورد استفاده قرار می گیرند. آنها علاوه بر پاک سازی نهایی ذرات درشت تر، در پاکسازی اولیه نیز به عنوان ته نشین کننده الکترو استاتیکی ، ضد عفونی کننده و فیلتر نیز عمل می کنند. مهمترین عیب جداکننده های سیکلونی در واقع همان بازده ناچیز آنها در جداسازی ذراتی است که قطر آنها کمتر از ۵ میکرومتر باشد، سیکلونها برای جمع آوری ذرات کوچک راندمان و کارایی زیادی ندارند، زیرا ذرات کوچک جرم کمی دارند تا بتوانند نیروی گریز از مرکز ایجاد کنند. در این مقاله تحقیقات بنیادی و کاربردی در بخش های محیط زیستی انجام گرفته ودر همین راستا نیز به امکان سنجی و بررسی تاثیر سیکلون های با قطرهای و سرعت های مختلف بر روی بازده جداسازی ذرات می پردازیم.

مشخصات مدل مورد بررسی و نحوه شبکه بندی

مدل مورد بررسی، سیکلون شکل (۳) شامل یک ورودی می باشد که جریان گاز را به صورت مماسی وارد استوانه اصلی می کند و پس از جداسازی ذرات بوسیله نیروی گریز از مرکز ، ذرات جامد از بخش انتهایی سیکلون و جریان گاز پاک سازی شده از بخش بالایی یاگردابه یاب خارج می شود.



شکل ۳: هندسه سیکلون مورد بررسی

به منظور شبکه بندی محیط حل از شبکه چهار وجهی غیر سازمان یافته استفاده گردیده است.

جدول ۱: ابعاد هندسه سیکلون شبیه سازی شده (D=205 mm)

a/D	0.5
b/D	0.2
Dx/D	0.5
Ht/D	4.0
h/D	1.5
s/D	0.5
Bc/D	0.36
Li/D	1.0
Le/D	0.618

شرط مرزی ورودی به سیکلون ، سرعت گاز ورودی به میزان $m/s 20$ می باشد. شرط مرزی خروجی خروجی فشار به میزان $atm 1$ می باشد. ذرات جامد ورودی به سیکلون دارای چگالی $kg/m^3 2500$ و از

سطح ورودی به سیکلون تزریق می شوند و سرعت آن ها برابر سرعت گاز ورودی فرض شده است. سیال کاری گاز طبیعی می باشد و فرض می شود تراکم ناپذیر می باشد و گاز طبیعی به همراه ذرات جامد، با قطر ۵ میکرومتر وارد سیکلون می شود. ذرات جامد در آزمایشگاه نفت و گاز مورد آزمایش قرار گرفت ، همچنین گاز طبیعی ورودی به ایستگاههای تقویت فشار نیز توسط دستگاه کروماتوگرافی مورد آنالیز قرار گرفت که نتایج آن در جدول (۲) آمده است.

جدول ۲: پارامترهای مورد استفاده در این مقاله

فاز گاز	
نوع گاز ورودی	گاز طبیعی
چگالی گاز ورودی	0.667 kg/m ³
سرعت گاز ورودی	20 m/s
ویسکوزیته	1.10 E-5 N.S/m ³
فاز جامد	
قطر ذرات جامد	0.5 μm-30 μm
چگالی متوسط ذرات جامد	2500 kg/m ³
سرعت ورودی ذرات	20 m/s

مدلسازی ریاضی با استفاده از معادلات حاکم

معادلات حاکم عبارتند از: [۶,۷,۸]

- معادله بقای جرم

- معادله بقای مومنتوم

- معادله بقای انرژی

فرم عمومی معادلات فوق به صورت زیر می باشد:

عبارت تولید+ عبارت پخش = عبارت جابجایی + عبارت غیر پایا

در این تحقیق جریان گاز ورودی به داخل سیکلون به صورت جریان ناپایا، سه بعدی ، تراکم ناپذیر ، آشفته با بازه زمانی $\Delta t=0.001$ فرض شده است. با فرض یک مقدار متوسط و یک مقدار نوسانی برای متغیرها ، از بقای جرم فرم دیفرانسیلی معادله پیوستگی به صورت زیر است:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_i} (\rho u_i) = 0 \quad (1)$$

معادله فوق برای مقادیر لحظه ای جریان آشفته نیز برقرار است چنانچه متوسط گیری زمانی از معادله نماییم داریم:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_i} (\rho u_i) = 0 \quad (2)$$

معادلات مومنتوم برای یک جریان تراکم ناپذیر با لزجت ثابت به صورت زیر می باشد:

$$\rho \left(\frac{\partial u_i}{\partial t} + u_j \frac{\partial u_i}{\partial x_j} \right) = B_i - \frac{\partial P}{\partial x_i} + \mu \frac{\partial^2 u_i}{\partial x_j \partial x_j} \quad (3)$$

معادله فوق هم برای جریان آرام و هم جریان مغشوش معتبر است. اما برای یک جریان آشفته متغیرهای وابسته نظیر سرعت و فشار وابسته به زمان می باشند. با قرار دادن کمیت های متوسط زمانی در معادله و اعمال متوسط گیری زمانی بر طرفین معادله در نهایت معادله مومنتوم برای جریان آشفته به صورت زیر بیان می گردد:

$$\rho \left[\frac{\partial \bar{u}_i}{\partial t} + \bar{u}_j \frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} \right] = B_i - x_i \frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_i} \left[\mu \frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_i} - \rho \overline{u_i' u_j'} \right] \quad (4)$$

و به همین ترتیب معادله ی بقای انرژی نیز به صورت زیر نوشته می شود:

$$\rho c_p \left[\frac{\partial T}{\partial t} + \bar{u}_j \frac{\partial T}{\partial x_j} \right] = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\lambda \frac{\partial T}{\partial x_j} - \rho c_p \overline{u_j' T'} \right) \quad (5)$$

که پارامتر بیان کننده هدایت حرارت است.

به ترم تانسور تنش رینولدز گفته می شود. تانسور تنش رینولدز مشخص کننده اثر رفتار ادی های آشفتگی بر روی میدان جریان متوسط می باشند. که از اغتشاش میدان جریان با روش های متفاوتی به مساله القا می شود و نتیجه کارهای نظری در محاسبات عددی در انتخاب مدل آشفتگی و چگونگی ارتباط آن ها به میدان های متوسط محاسباتی است. مدل اغتشاش مورد استفاده Ke-RNG می باشد، این مدل یکی از مدل های مناسب آشفتگی برای شبیه سازی جریان های پیچشی بر مبنای میانگین گیری زمانی معادلات ناویر-استوکس می باشد [۷,۸].

روش حل عددی معادلات حاکم

برای حل معادلات حاکم از روش حجم محدود استفاده شده است. در این روش با محاسبه انتگرال معادلات دیفرانسیل بر روی حجم های کوچک، حاصل از تقسیم حوزه محاسبه ، معادلات انفصال بدست می آیند. جملات جابه جایی در معادلات اندازه حرکت و انرژی ، از روش QUICK محاسبه می شوند [۹,۸]. برای حل این معادلات جبری از الگوریتم نیمه ضمنی سیمپل با شبکه بندی جا به جا شده و حل کننده pressure-based با فرمولاسیون ضمنی Implicit استفاده شده است [۸, ۹]. رفتار جریان سیال نیز در مجاورت جدار جامد به کمک روش توابع دیوار محاسبه شده است. حل معادلات جبری پس از ۱۹۵۰ تکرار با معیار همگرایی 1×10^{-10} همگرا گردیده و برای کمک به همگرایی از ضرائب زیر تخفیف با مقدار ۰.۳ برای کلیه معادلات استفاده شده است. قطر هیدرولیکی ۱۱۷ میلی متر و شدت اغتشاش ۵٪ محاسبه شده است. در شبیه سازی سیکلون گاز - جامد از دیدگاه اولرین - لاگرانژین استفاده شده است در این روش فاز پیوسته از دیدگاه اولرین و حرکت و ردیابی ذرات فاز پراکنده از دیدگاه لاگرانژین مدل سازی می شوند و مقادیر متوسط بدست آمده از پراکندهی ذرات برای اطلاعات مورد نیاز برای فاز پراکنده استفاده می شوند. این روش برای جریان های دو فازی با کمتر از ۱۰٪ حجمی مناسب می باشد. و برای جریان های با کسر حجمی بالاتر روش اولرین پیشنهاد می شود. این شبیه سازی ها به کمک نرم افزار FLUENT انجام شده است.

مطالعه استقلال نتایج از شبکه

سمت دیواره ها که نزدیک می شود. مقدار آن کاهش می یابد. و در دیواره ها به صفر می رسد.

معادله تجربی لاپل برای قطر ذرات و افت فشار و بازده جداسازی به صورت زیر می باشد: لاپل با استفاده از سیکلون هایی با همان نسبت ابعاد، منحنی کلی شکل ۵ را برای بازدهی سیکلون در برابر نسبت قطر ذرات به قطر ۵۰ درصد مطابق معادله ۶ رسم کرده است [۲].

$$d_{P50} = \left[\frac{9\mu W}{2\pi N \omega \rho_p} \right]^{1/2} = \left[\frac{9\mu W^2 H}{2\pi N \rho_p Q} \right]^{1/2} \quad (6)$$

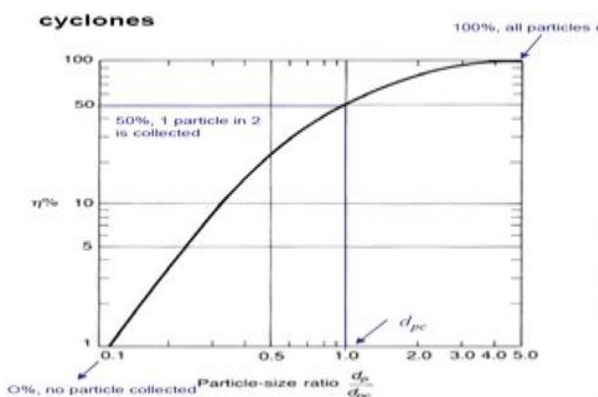
اگر گاز حامل هوا باشد رابطه افت فشار به صورت رابطه (۹) خلاصه می شود:

$$\Delta P = \frac{39.7 K Q^2 P^2}{T^2} \quad (7)$$

K ضریبی است که با قطر سیکلون نسبت عکس دارد.

$$\eta_{col} \propto \frac{F_c}{F_D} \frac{d_p^2 \omega \rho_p}{R \mu} \quad (8)$$

همانطور که دیده می شود افت فشار با مجذور حجم گاز حامل و در نتیجه سرعت آن رابطه مستقیم دارد و انتظار هم همین است که هر چه سرعت بیشتر شود افت فشار نیز افزایش یابد از طرفی دیگر رابطه (۸) نشان می دهد بازدهی جمع آوری نیز وابسته به سرعت است. یعنی هر چه سرعت بیشتر شود بازدهی افزایش می یابد. بنابراین هم افت فشار و هم بازدهی هر دو به طور مستقیم با سرعت گاز و یا می توان گفت با حجم جریان گاز رابطه دارند. بنابراین انتخاب سرعت جریان گاز باید مطابق شکل ۶ طوری باشد که یک سیکلون مشخص در حد معقول هر دو نظر را تامین کند. افت فشار در سیکلون های معمولی بین ۱۵ تا ۵۰ میلیمتر آب و در سیکلون های با بازدهی زیاد بین ۵۰ تا ۱۵۰ میلیمتر آب در نظر گرفته می شود.



شکل ۵: بازدهی سیکلون در برابر نسبت اندازه ذرات (اقتباس از لاپل

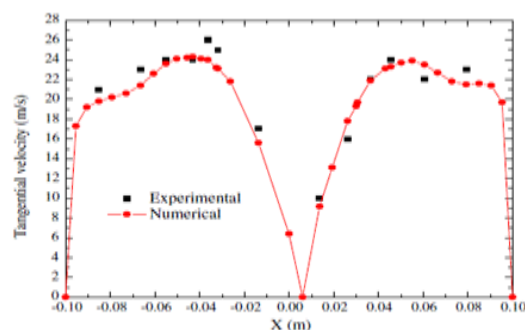
[۲]، (۱۹۵۱).

با توجه به اهمیت شبکه بندی در حل عددی معادلات حاکم، در این تحقیق به منظور بررسی اثر شبکه بر نتایج و انتخاب شبکه مناسب و برای افزایش دقت محاسبات در مناطقی که گرادیان و تغییرات شدید متغیرها وجود دارند از جمله نزدیک دیواره های سیکلون، شبکه محاسباتی به آرامی ریزتر شده است. لذا شبکه ایی با ۳۷۲۰۳۷ سلول دلیل دقت بالای محاسبات و زمان مناسب حل، بعنوان شبکه مناسب انتخاب شده است.

یکی از پارامترهای مهم در شبیه سازی جریان آشفته، اطمینان از اندازه ارتفاع بی بعد مجاور دیواره Y plus و بنابراین تعداد کافی سلول در لایه مرزی است. در یک شبیه سازی معتبر جریان آشفته می بایست Y مجاور دیواره در حدود ۳۰ باشد. در مدل های بر پایه W در مجاور دیواره مانند SST اعداد کوچکتر از آن نیز قابل قبول و حتی موجب بالا رفتن دقت شبیه سازی می شود. لیکن در مدل های بر پایه ε که در نزدیکی دیواره از تابع دیواره استفاده می کنند Y کوچکتر از ۲۵ به دلیل قرار گرفتن سلول محاسباتی در منطقه میانی لایه مرزی آشفته و نامعلوم بودن داده های تجربی در این منطقه موجب استخراج نتایج اشتباه می گردد. در نرم افزار FLUENT از نسخه ۱۴ و با استفاده از گزینه Scalable، لایه های دارای Y کوچکتر از این میزان، به صورت خودکار نادیده گرفته می شوند. در این شبیه سازی اندازه ارتفاع بی بعد مجاور دیواره ۸۶ بدست آمد.

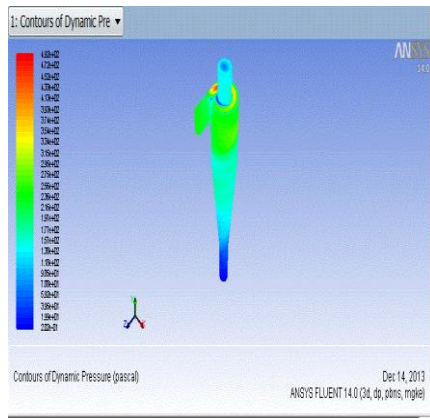
اعتبار سازی مدل عددی

در این تحقیق برای اعتبار سنجی از داده های تجربی وانگ [۹] استفاده شد و سیکلون آن مقاله با تکنیک مشابه شبیه سازی شد و نتایج زیر بدست آمد سیکلون وانگ در شرایط استاندارد عمل می کند و هوا با سرعت ۲۰ متر بر ثانیه به آن وارد می شود. فشار در بالای گردابه یاب یک اتمسفر می باشد و کسر حجمی فاز ذره کمتر از ۱۰ درصد می باشد. سیکلون شبیه سازی شده را با نتایج تجربی وانگ و نتایج حاصل از حل معادله تجربی لاپل [۲] مقایسه کردیم و در شکل (۴) مشاهده می شود که نتایج شبیه سازی و تجربی تطابق خوبی با یکدیگر دارند.

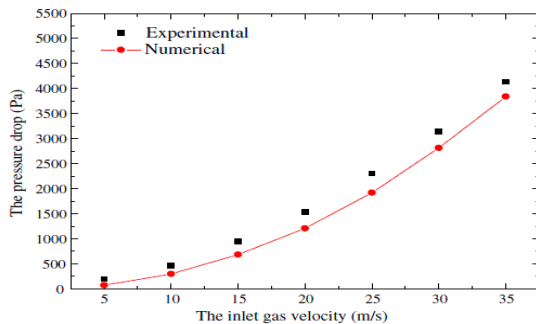


شکل ۴: سرعت مماسی تجربی در موقعیت های محوری متفاوت در برابر سرعت شبیه سازی شده [۹]

سرعت مماسی تابعی از شعاع می باشد و همان طور دیده می شود سرعت مماسی با افزایش شعاع، افزایش می یابد، تا اینکه در ناحیه ورتکس داخلی و خارجی به بیشینه مقدار خود می رسد و سپس به



شکل ۹: کانتور فشار استاتیک



شکل ۱۰: مقایسه تاثیر سرعت مماسی شبیه سازی شده در برابر تجربی وانگ بر روی افت فشار

در نهایت با مقایسه روش عددی و روش تجربی سازگاری خوبی مشاهده گردید. که در جدول ۳ نشان داده شده است.

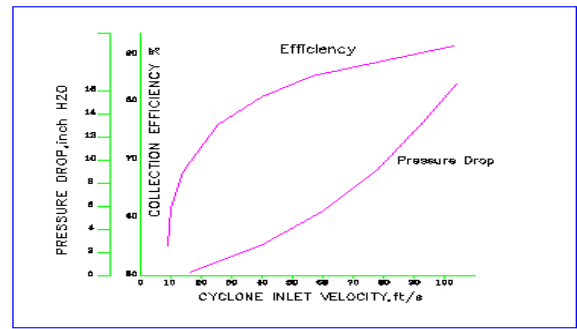
جدول ۳: مقایسه روش عددی و روش تجربی وانگ

حل عددی	حل تجربی	
فشار استاتیک+فشار دینامیک	وانگ	
۴۹۳+ ۷۹۷=۱۲۹۰	۱۳۰۰	افت فشار (pa)

بحث و نتیجه گیری

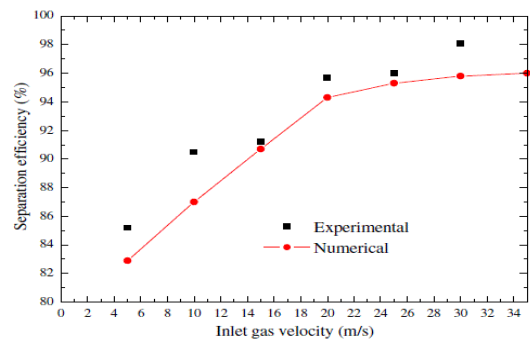
در این تحقیق قطر بدنه و سرعت گاز ورودی در سیکلون با هدف افزایش راندمان جداسازی ذرات جامد و همچنین کاهش افت فشار مورد مطالعه قرار گرفت. دو متغیر مهم در انتخاب سیکلون، راندمان جداسازی و افت فشار مسیر می باشد. با توجه به شکل ها و نمودار و سایر نتایج حاصل از شبیه سازی جریان گاز ورودی در سیکلون می توان گفت:

- بهترین سرعت ورودی گاز به سیکلون 20 m/s می باشد.
- بهترین قطر بدنه مناسب جهت داشتن راندمان جداسازی بالاتر قطر 205 mm می باشد.
- جهت داشتن کمترین افت فشار، داشتن سرعت 20 m/s و قطر بدنه 205 mm لازم می باشد.

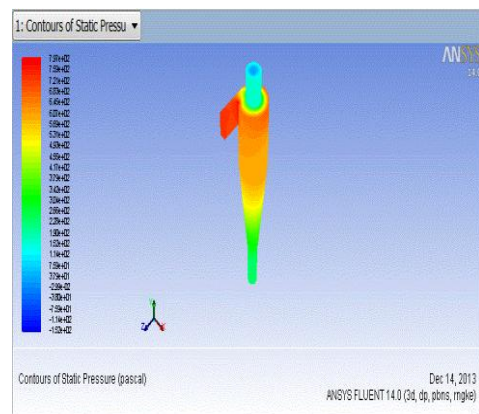


شکل ۶: بازدهی و افت فشار سیکلون در برابر سرعت ورودی (اقتباس از لاپل، ۱۹۵۱، [۲].

همانطور که مشاهده شد، بیشینه سرعت مماسی با تغییر جایگاه محوری تغییر چندانی نمی کند و سرعت مماسی به شعاع وابسته است. کانتور فشار برای سیکلون در شکل (۸) و شکل (۹) نشان داده شده است. در شکل (۷) سرعت مماسی در سیکلون با قطر 205 mm با مقدار سرعت سیکلون استاندارد وانگ مقایسه شده است. مشاهده می شود که در سیکلون با قطر $D = 205 \text{ mm}$ که به سیکلون استاندارد استیرماند نزدیک است، بیشینه مقدار سرعت مماسی افزایش پیدا می کند که به معنای افزایش بازده جداسازی است. در شکل (۱۰) این مقایسه برای افت فشار صورت گرفته است.



شکل ۷: مقایسه تاثیر سرعت مماسی شبیه سازی شده در برابر تجربی وانگ بر روی بازده جداسازی

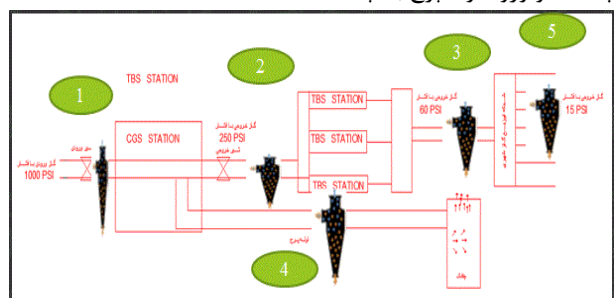


شکل ۸: کانتور فشار دینامیک

- [4] R.B. Xiang, K.W.Lee "Numerical study of flow field in cyclones of different height" Chemical Engineering and Processing vol 44 ,pp.877-883,(2005).
- [5] M. Azadi, A.Mohebbi,"A CFD study of the effect of cyclone size on its performance parameters "Journal of Hazardous Materials vol 182 ,pp 835-
- [6] Documentation of Commercial package 841,(2010).
FLUENT 6.3.26
- [7] Patankar, S.V., 'Numerical Heat Transfer and Fluid Flow'. Hemisphere Publishing Corporation, Taylor & Francis Group, New York. 1980.
- [8] Versteeg, H.K., Malalasekera, W., 'An Introduction to Computational Fluid Dynamics '. Longman Group Ltd. 1995.
- [9]B.Wang , D.L. Xu ,K.W. Chu ,A.B. Yu ,Numerical study of gas – solid flow in a cyclone separator, Applied Mathematical Modelling 30, 1326-1342,(2006).
- [10]Oil &Gas Journal (2003)

از آنجایی که سرعت مماسی پارامتر نشان دهنده بازده جداسازی می باشد، سرعت مماسی در سیکلون رسم شد و مشاهده شد که ماکزیمم سرعت مماسی در قسمتهای ورودی نزدیک دیواره می باشد. و هرچه به سمت ته ریز نزدیک شویم این ماکزیمم به سمت محور سیکلون متمایل می گردد و تابع توزیع سرعت متقارن تر می گردد. در واقع هر چه سرعت مماسی بیشتر باشد نیروی سانتریفوژ وارد بر قطرات بیشتر و نهایتاً راندمان جداسازی بیشتر خواهد بود. همچنین سه سیکلون با قطرهای مختلف شبیه سازی شده و مشخص گردید که سیکلون بازده بالای شبیه استیرماند دارای افت فشار کمتر و بازده جداسازی بالاتری است. می توان همین روند را برای هیدروسیکلون ها در صنایع نفت و شیمیایی و همچنین در بخش فاضلاب انجام داد.

چاهک و ورود لوله پرچ به چاهک



شکل ۱۱: روش حل مهار آلودگی از خطوط لوله گاز شهری

پیشنهادهای

تنها عیب سیکلون گاز-جامد این است که برای ذرات کوچکتر از ۵ میکرومتر بازده جداسازی به طور قابل توجهی پایین می آید. برای جلوگیری از بروز این مشکل پیشنهاد می شود که از سیکلون بعنوان پیش فیلتر و از بگ فیلتر بعنوان جداساز نهایی به طور ترکیبی و توأمان استفاده شود.

علائم و واحدها

- d_c characteristic size, m
- d_p diameter of particle, m
- F_D drag force, N
- P pressure, N/m²
- u velocity of fluid, m/s
- u_p velocity of particle, m/s
- ρ density of fluid, kg/m³
- ρ_p density of particle, kg/m³

مراجع

- [1] R.H.Perry,"Perrys chemical engineers handbook",7edn,McGraw-Hill New York,(1997).
- [2] C.B Shepherd, C.E.Lapple, "Flow pattern and pressure drop in cyclone dust collectors",Industrial and Engineering Chemistry,32(9),1246-1248,(1940).
- [3] C.J Stairmand, "pressure Drop in Cyclone Separators" ,Engineering 409-417,(1949).