

بهینه سازی ساختار غبارگیرهای نیروگاه با استفاده از جداکننده‌های سیکلونی

مجتبی برجلی^۱، سید محمد جوادی^۲

۱- شرکت مدیریت تولید برق مشهد

۲- دانشکده مهندسی - دانشگاه فردوسی مشهد- ۹۱۷۷۵-۱۱۱۱

ایران

واژه های کلیدی: جریان دو فازی، فیلتر پارچه‌ای، سیکلون، بازده غبار گیری

چکیده

هدف از این تحقیق، بررسی امکان استفاده از جداکننده‌های سیکلونی به جای فیلترهای پارچه‌ای (یا مومتومی) که جهت تصفیه هوای ورودی به کمپرسور و توربین گاز در مسیر عبور هوا قرار می‌گیرند، می‌باشد. بدین منظور با شبیه سازی عددی جریان متلاطم دو فازی گاز _ جامد در داخل جداکننده‌های سیکلونی، به محاسبه بازده و افت فشار چند نمونه مختلف آن پرداخته شده است. برای شبیه سازی عددی، معادلات بقای اویلری حاکم بر فاز گاز با استفاده از روش حجمهای محدود و به کمک الگوریتم سیمپلر حل می‌شوند. عبارات تنش رینولدز در معادلات مقدار حرکت با استفاده از مدل تنش جبری محاسبه شده است. برای تعیین رفتار و مسیر حرکت ذرات جامد در داخل سیکلون، معادلات حاکم با استفاده از دیدگاه لاگرانژی نوشته شده و با انتگرال گیری گام به گام در فواصل زمانی کوچک حل می‌شوند. محاسبه بازده و افت فشار سیکلون‌های مختلف، نشان می‌دهد این غبارگیرها با

عملکرد بسیار بهتر نسبت به جداکننده‌های مومتومی می‌توانند جایگزین خوبی برای این غبارگیرها باشند. همچنین سیکلون‌های استوانه‌ای با افت فشار کم می‌توانند بعنوان یک غبارگیر اولیه در مسیر فیلترهای پارچه‌ای قرار گرفته و سبب افزایش عمر این فیلترها شوند. همچنین سیکلون‌های مخروطی با بازدهی بالا برای جداسازی ذرات با قطر بالای ۵ میکرون، می‌تواند جایگزین خوبی برای فیلترهای پارچه‌ای باشند.

مقدمه

امروزه سیکلون‌ها در صنایع مختلف از جمله نیروگاههای برق، نفت، گاز و پتروشیمی، استخراج معادن و برای اهداف متفاوتی از جمله غبار گیری و تصفیه هوای ورودی به کمپرسور و توربین گاز در نیروگاه‌های سیکل ترکیبی و همچنین جداسازی غبار موجود در گازهای حاصل از احتراق در آگروز این توربینها (شکل ۱)، جداسازی خاکستر هوای داغ خروجی از کوره‌ها در نیروگاههای PFBC (شکل ۲)،

غبار مضر برای انسان بین قطرهای ۰/۵ تا ۶ میکرون واقع شده‌اند. همچنین در توربینهای گاز با ظرفیت بالا غبار بالای ۲۰ میکرون و در ظرفیت پایین غبار بالای ۱۰ میکرون باید از هوای ورودی به توربین گاز جدا شوند. در جدول ۲ پراکندگی ذرات معلق در هوا از نظر درصد وزنی و درصد تعداد شمارش شده مقایسه شده است. همانطور که مشاهده می‌شود ذرات بین ۱۰ تا ۳۰ میکرون حدود ۲۸ درصد و ذرات بین ۵ تا ۱۰ میکرون ۵۲ درصد از وزن کل غبار را شامل می‌شوند. عموماً جداسازی ذرات غبار بالای ۳۰ میکرون براحتی بوسیله ته نشین کردن (توسط اتاقهای غبار) قابل جداسازی هستند. ذرات بالای ۲۰ میکرون را با بازده مناسبی می‌توان توسط غبارگیرهای مومتمومی (اینرسی) از جریان هوا جدا نمود. برای جداسازی ذرات بین ۱۰ میکرون تا ۲۰ میکرون می‌توان از غبارگیرهای سیکلونی و برای جداسازی ذرات زیر ۱۰ میکرون از انواع مختلف فیلترهای پارچه‌ای استفاده نمود.

آشنایی با فیلترهای پارچه‌ای

امروزه بیشتر سیستم‌های غبارگیری رایج در صنعت، فیلترهای پارچه‌ای می‌باشند. در بیشتر نیروگاههای سیکل ترکیبی نیز هوای ورودی به توربین گاز توسط این نوع فیلترها غبارگیری می‌شود. نمونه‌هایی از این فیلترها حتی قادر به جداسازی ذرات با قطر ۰/۳ میکرون بوده و برای جداسازی سازی ذرات در آزمایشگاههای رادیواکتیو، کشت میکروب و اتاقهای عمل استفاده می‌شوند. جنس فیلترهای پارچه‌ای عموماً از پلیستر، فایبرگلاس، میکرو فایبر گلاس، پشم شیشه، پشم شیشه آغشته به روغن مخصوص و یا ترکیب چند لایه از آنها به ضخامت‌های مختلف می‌باشند. افت فشار این فیلترها در شروع استفاده پایین بوده ولی با گذشت زمان این افت فشار افزوده شده و از عملکرد فیلتر کاسته می‌شود. بطور مثال در کاتالوگ فیلترهای پارچه‌ای SAF100 (شرکت صنعت یاران) که قابل استفاده در نیروگاهها هستند، افت فشار اولیه حدود ۱۵۰ پاسکال (دبی ۳۴۰۰ متر مکعب) و افت فشار نهایی ۳۰۰ پاسکال ارائه شده است. همچنین افت فشار این

وباز یافت پودر رنگ در رنگ‌پاشی الکترواستاتیک، جداسازی روغن و ذرات جامد شناور در مایعات، محفظه‌های احتراق سیکلونی و غیره استفاده می‌شوند. جداکننده‌های سیکلونی که برای جداسازی ذرات جامد با قطر بیش از ۱۰ میکرون از گازها و مایعات استفاده می‌شوند، به علت سادگی طرح و پایین بودن هزینه‌های نگهداری و بهره برداری بیشترین کاربرد را در بین جداکننده‌ها دارا می‌باشند. از طرفی در جریانهای با خورندگی زیاد، فشار بالا و بسیار داغ، تنها غبارگیرهای قابل استفاده با بازده بالا، سیکلونها می‌باشند. از جمله این کاربردهای خاص می‌توان به تکنولوژیهای جدید سیکلهای تولید توان در نیروگاههای PFBC¹ و IGCC² اشاره نمود [۱]. در شکل ۲ ساختار کلی یک نیروگاه 250MW PFBC را نشان می‌دهد. این نیروگاهها از نوع نیروگاههای سیکل ترکیبی بوده که توربین بخار آن، بوسیله بخار تولید شده در یک بویلر PFBC که داخل یک مخزن بزرگ هوا قرار گرفته است، چرخانده می‌شود. توربین گاز این مجموعه نیز با استفاده از هوای داغ خروجی از این مخزن چرخانده می‌شود. در این ساختار، یکی از مهمترین اجزای این نیروگاه، سیستم غبارگیری هوای ورودی به توربین گاز می‌باشد. بطوریکه گازهای داغ با درجه حرارت تقریبی 840 درجه سانتیگراد به همراه خاکستر از بویلر خارج و وارد سیکلونها می‌شود. در سیکلون اول ذرات غبار درشت جدا شده و در سیکلون دوم غبارگیری نهایی انجام می‌شود. سیکلونها در این سیستم ذرات بالای ۱۰ میکرون را از جریان گاز جدا کرده و سبب کاهش میزان سایش در پره‌های توربین می‌شوند. از مهمترین مزایای این نیروگاه افزایش بازده حرارتی و کاهش شدید آلاینده‌های محیط زیست به ویژه SO_x و NO_x می‌باشد [۲ و ۳].

گسترده‌ی اندازه ذرات

با توجه به اطلاعات موجود [۸] غبارهای معلق موجود در هوا در محدوده بین صفر تا ۳۰ میکرون بوده که از این میان

¹ Pressurized-Fluidized-Bed-Combustion

² Integrated Gasification Combined Cycle

اخیر با ظهور کامپیوترهای قوی و امکان استفاده از تکنیکهای عددی و مدل‌های ریاضی پیشرفته، شرایط مناسب برای حل معادلات اساسی و مطالعه دقیق اثر پارامترهای مختلف بر شرایط کار جدا کننده های سیکلونی فراهم شده است. در این بخش به شبیه سازی عددی جریان داخل سیکلون پرداخته می‌شود.

معادلات فاز گاز

معادلات لازم برای تعیین مشخصات جریان گاز در سیکلونها، معادلات بقای جرم و مقدار حرکت اند. که در دستگاه مختصات استوانه ای به صورت زیر بیان می‌شود:

$$\frac{\partial U}{\partial x} + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial x}(rV) = 0 \quad (1)$$

$$\frac{1}{r} \left[\frac{\partial}{\partial x}(\rho r U^2) + \frac{\partial}{\partial r}(\rho r UV) \right] =$$

$$-\frac{\partial P}{\partial x} - \frac{\partial}{\partial x}(\overline{\rho u'^2}) - \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r}(\overline{\rho r u'v'}) + M_{P,x}$$

$$\frac{1}{r} \left[\frac{\partial}{\partial x}(\rho r UV) + \frac{\partial}{\partial r}(\rho r V^2) \right] = -\frac{\partial P}{\partial r} \quad (3)$$

$$-\frac{\partial}{\partial x}(\overline{\rho u'v'}) - \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r}(\overline{\rho r v'^2}) - \frac{1}{r} \overline{\rho w'^2} + M_{P,r}$$

$$\frac{1}{r} \left[\frac{\partial}{\partial x}(\rho r UW) + \frac{\partial}{\partial r}(\rho r VW + \rho VW) \right] =$$

$$-\frac{\partial}{\partial x}(\overline{\rho u'w'}) - \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r}(\overline{\rho r v'w'}) - \frac{1}{r} \overline{\rho v'w'} + M_{P,\theta} \quad (4)$$

که در آن U, V, W و مقادیر متوسط $\overline{u}, \overline{v}, \overline{w}$ و مقادیر نوسانی مولفه های سرعت برای سه امتداد x, r, θ اند. عبارتهای $M_{pr}, M_{px}, M_{p\theta}$ در جملات چشمه معادلات مقدار حرکت برای بیان تبادل مقدار حرکت بین فاز گاز و ذرات جامد ظاهر شده‌اند. در بخش بعد مقدار این عبارتها محاسبه خواهند شد. جریان در داخل سیکلون به علت داشتن تقارن محوری، دو بعدی در نظر گرفته و از تغییرات متغیرهای وابسته نسبت به امتداد مماسی صرف نظر شده است. معادلات فوق وقتی می‌توانند حل شوند که تنشهای رینولدز نشان داده شده در معادلات به شکل مناسبی مدل شوند.

فیلترها با افزایش دبی حجمی، بطور مستقیم افزایش می‌یابد از جمله معایب این فیلترها عمر محدود آنها و هزینه بالا می‌باشند. بهمین منظور پیشنهاد می‌شود این فیلترها بعنوان فیلترهای ثانویه در سیستم استفاده شوند، بطوریکه جریان و قبل از ورود به آن از یک پیش فیلتر عبور کرده و ذرات درشت آن جدا شود. این پیش فیلتر می‌تواند یک فیلتر پارچه‌ای با بازده کم، و یا یک غبارگیر مومتمومی یا سیکلونی با افت فشار کم باشد.

سیکلونها

از نظر آیرودینامیک، آنچه سیکلونها را از سایر وسایل جداکننده، متمایز می‌کند حرکت دورانی سریع فاز گاز حول محور مرکزی سیکلون و ایجاد نیروی گریز مرکز (که عامل جدا شدن فاز هاست) می‌باشد. با وجود ساختمان ساده سیکلونها، حرکت فازها در داخل آنها به علت اغتشاش شدید، اثر فازها بر یکدیگر، شکل هندسی خاص سیکلون شامل بخشهای استوانه ای و مخروطی بسیار پیچیده بوده و می‌توانند موجب ناپایداری جریان فازها و در نتیجه کاهش بازده جداسازی سیکلون گردد [۵] و [۴].

بررسی تئوری این وسایل در گذشته با توجه به غیر خطی بودن معادلات مقدار حرکت، با مشکل حل همزمان این معادلات و معادلات بقای جرم مواجه بوده است. از این روی سعی بر این شده است با مدلسازی تحلیلی، معادلاتی به دست آورند که پارامترهای حاکم بر عملکرد سیکلون (مانند ابعاد هندسی، دبی و گرانروی گاز و اندازه ذرات) را برای محاسبه افت فشار و بازده جمع آوری به هم ربط دهند. اما اغلب نتایج حاصله به علت فرضهای زیاد و توسل بیش از حد به نتایج تجربی از ارائه جزئیات مورد نیاز برای اصلاح طراحی سیکلونها عاجز بودند. به عنوان مثال بسیاری از مدل‌های تحلیلی اثر متقابل فازها بر یکدیگر و یا اثر تغییرات میدان جریان بر ظرفیت جمع آوری را در نظر نمی‌گیرند. در تلاشهایی که اخیراً در تعیین پارامترهای حاکم بر عملکرد سیکلون انجام گرفته به بررسی این پارامترها در غالب اعداد رینولدز، فرود و استوکس پرداخته شده است [۷]. در سالهای

مدل اغتشاشات

در رابطه فوق p اشاره به ذره دارد، همچنین برای امکان مطالعه حرکت ذرات، مولفه‌های سرعت لحظه‌ای گاز به دو قسمت نوسانی و متوسط تقسیم شده است. عدد رینولدز نسبی و ضریب دراگ C_D از رابطه‌های زیر محاسبه می‌شود.

$$F_G = d_4 + \frac{d_5}{U_{T_4}} + \frac{d_6}{U_{T_5}} \quad (8)$$

$$U_h = \rho g_s \frac{|x_s - x|}{\mu} \quad (9)$$

که در آن a_i ها ضرایب ثابتند و مقدار آنها با توجه به عدد رینولدز مشخص می‌شوند. مقدار ضریب دراگ محاسبه شده از معادله (۸) برای ذرات زیر میکرون نیاز به تصحیح دارد [۷] و [۸]. در معادلات حرکت، مولفه‌های متوسط سرعت گاز از حل معادلات بقا و طول عمر گردابه سیال بر حسب انرژی جنبشی محلی اغتشاشات و نیز اتلاف آن از رابطه زیر محاسبه می‌گردد.

$$\tau = 0.16 \frac{k}{\varepsilon} \quad (10)$$

طول عمر گردابه سیال با زمانیکه ذره حجم معیار را طی می‌کند مقایسه می‌گردد و کوچکترین آن به عنوان گام زمانی برای انتگرال‌گیری معادلات انتخاب می‌شود. برای این مدت زمان، کوچک فرض می‌شود. سرعت گاز و ضریب f ثابت باشد. با این فرض، می‌تواند معادله حرکت در امتداد X به طور مستقیم و دو معادله دیگر حرکت با فرض ثابت بودن نیروهای جرمی در فاصله زمانی کوچک انتگرال گرفته شود.

محاسبه تبادل مقدار حرکت بین دو فاز گاز و جامد:

در این مطالعه بدلیل حجم غباری کم جریان، از برخورد ذرات به یکدیگر صرف‌نظر شده است. همچنین تبادل مقدار حرکت بین دو فاز، تحلیل ریاضی جریانهای دو فازی را پیچیده می‌کند. در این مطالعه تبادل مقدار حرکت بین ذرات جامد و فاز گاز از روابط زیر محاسبه و با ضمیمه شدن به جملات چشمه فاز گاز به محاسبات وارد می‌شود.

در جریان‌های شدیداً گردابی داخل سیکلون‌ها که ساختمان اغتشاشات آنها نامتجانس و بسیار غیر ایزوتروپیک است، مدل مشهور $k-\epsilon$ که بر پایه ایزوتروپیک بودن جریان ساخته شده است. دقت لازم را ندارد. برای محاسبه این جریانها نیاز به مدل‌هایی است که توانایی محاسبه تنشهای رینولدز را در جهت‌های مختلف داشته باشند. لذا باید عبارات انتقال در معادلات تنشها را به شکلی به حساب آورد. در این مطالعه برای محاسبه تنشهای رینولدز از مدل تنشهای جبری استفاده شده است. که انرژی جنبشی اغتشاشات و نرخ اتلاف آن را از دو معادله دیفرانسیل و تنشهای رینولدز را از رابطه‌های جبری محاسبه می‌کند.

معادلات ذرات جامد

در جدا کننده‌های مکانیکی مسیر حرکت ذرات در داخل جریان گاز از اهمیت خاصی برخوردار است. در این پژوهش برای تحلیل ریاضی رفتار ذرات جامد، معادلات حاکم با استفاده از دیدگاه لاگرانژی که از نظر سادگی فرمولها و نیاز به حافظه و وقت کامپیوتر نسبت به روش اویلری ارجحیت دارد، نوشته می‌شود. به علت عدم تراکم زیاد ذرات جامد در داخل سیکلون از تاثیر آنها بر یکدیگر صرف‌نظر شده و تبادل مقدار حرکت بین دو فاز جامد و گاز چنانچه قبلاً بیان شد از طریق جملات چشمه معادلات مقدار حرکت فاز گاز در محاسبات منظور می‌شود.

معادلات حرکت- با در نظر گرفتن نیروهای وارد بر ذرات، شکل لاگرانژی معادلات در دستگاه مختصات استوانه‌ای به صورت زیر نوشته می‌شود:

$$u_p = U - \frac{g}{f} = (u_p - U + \frac{g}{f}) \exp(-f(t - t_0)) \quad (5)$$

$$v_p = V - \frac{W_{P,0}^2}{fr_{P,0}} + (v_{P,0} - V + \frac{W_{P,0}^2}{fr_{P,0}}) \exp(-f(t - t_0)) \quad (6)$$

$$w_p = W + \frac{W_{P,0} V_{P,0}}{fr_{P,0}} + (w_{P,0} - W + \frac{W_{P,0} V_{P,0}}{fr_{P,0}}) \exp(-f(t - t_0)) \quad (7)$$

آزمایشگاهی برای آن موجود است، مورد شبیه سازی قرار گرفت. در شکل ۴ توزیع بردارهای سرعت را در داخل محفظه این سیکلون نشان داده شده است. مشاهده می شود حجم قابل قبولی از جریان هوا تا انتهای بخش مخروطی پایین رفته سپس بطرف بالا حرکت کرده و سیکلون را ترک می کند.

شکل ۵ مسیر حرکت ذرات غبار در محدوده وسیع بین ۱ تا ۱۰۰ میکرون را نشان می‌دهد. ذرات سبک زیر ۵ میکرون بر حسب موقعیت پرتاب شده از دهانه ورودی امکان بیشتری برای خروج از سیکلون را دارند. ذرات بزرگتر به محض ورود به سیکلون به طرف دیواره سیکلون پرتاب شده و و سپس تحت اثر نیروی وزن و جریان سیال به طرف پایین سیکلون حرکت می کنند تا از انتهای قسمت مخروطی خارج شوند.

در شکل ۶ تا ۷ پروفیل سرعت مماسی و محوری حاصل از روش عددی با آزمایشگاهی در فاصله $x=0.41m$ از ابتدای سیکلون مقایسه شده است. مشاهده می شود نتایج دو روش تطابق مطلوبی را نشان می دهند. بیشترین اختلاف در حدود $I=0.02m$ یعنی در محل ماکزیمم سرعت در روش عددی، مشاهده می شود [۹].

با توجه به اینکه حجم هوای غبارگیری شده بسیار زیادی در نیروگاهها جهت ورود به توربین گاز مورد نیاز است، اثر متغیر سرعت ورودی (دبی حجمی) بر بازده این غبار گیرها مورد بررسی قرار گرفته است. همانطور که در شکل ۸ بازده قطری ذرات نشان داده شده است، با افزایش سرعت ورودی بازده غبارگیری افزایش می‌یابد. از طرفی بدلیل محدودیت در مقدار افت فشار در شکل ۹ مقدار افت فشار و بازده متوسط (نسبت مجموع بازده قطری هر ذره به تعداد کل ذرات) نشان داده شده است. واضح است با افزایش سرعت ورودی مقدار افت فشار و بازده افزایش می‌یابد. ولی نرخ این صعود، کاهش یافته بطوریکه در حدود ۲۰ متر بر ثانیه بازده به مقدار ثابتی رسیده و افزایش افت فشار نیز شیب کمتری نسبت به قبل دارد. حال بر حسب بازده و افت فشار مجاز (مکش کمپرسور) می‌توان دبی حداکثر هر سیکلون را محاسبه و بر

$$\begin{aligned} \Delta M_{px} &= -F(t-t_0)[0.5(\psi - u_{p,o}) - U - u'] \dot{m}_p \\ \Delta M_{pr} &= -F(t-t_0)[0.5(\psi - v_{p,o}) - V - v'] \dot{m}_p \\ \Delta M_{p\theta} &= -F(t-t_0)[0.5(\psi - w_{p,o}) - W - w'] \dot{m}_p \end{aligned} \quad (11)$$

در روابط فوق \dot{m}_p دبی جرمی هر گروه از اندازه‌های ذرات است.

شرح محاسبات

برای حل عددی معادلات دیفرانسیل حاکم بر فاز گاز از روش حجمهای محدود استفاده می شود. در این روش حوضه محاسبه به حجمهای کوچک تقسیم و معادلات انفصال و محاسبه انتگرال معادلات دیفرانسیل بر روی این حجمها بدست می آید. در این مطالعه برای شارهای پخش و جابجایی از وجوه حجمهای معیار از قاعده توانی که دقت بیشتری نسبت به روشهای دیگر مانند طرح ترکیبی دارد، استفاده شده است. شکل کلی معادلات انفصال را می توان بصورت زیر نوشت:

$$\sum (A_i - S_p) \phi_p = \sum A_i \phi_i + S_u \quad i = N, S, E, W \quad (12)$$

که در آن ϕ متغیر وابسته، ضرایب a از ترکیب شارهای جابجایی و پخش بدست می‌آید. S_u و ϕ_{sp} مولفه های جمله چشمه خطی شده‌اند. برای هر متغیر وابسته به تعداد حجمهای معیار از این نوع معادله وجود دارد که تشکیل دستگاه معادلات همزمان و غیر خطی را می‌دهند. معادلات انفصال مورد نیاز برای میدان جریان و ترتیب حل آنها به کمک الگوریتم سیمپلر مشخص و معادلات انفصال کلیه متغیرها با استفاده از روش خط به خط که ترکیبی از دو روش گوس - سایدل و الگوریتم ماتریس سه قطری (TDMA) است، حل می‌شوند.

نتایج

جهت اطمینان از صحت نتایج بدست آمده از شبیه سازی عددی، طبق شکل ۳، یک سیکلون به طول ۰/۹۷۴ متر، قطر اصلی ۰/۲۰۵ متر و طول قسمت مخروطی ۰/۵۱۲ که نتایج

همچنین این فیلترها برای جریان‌های با درجه حرارت بالا و خوردگی زیاد قابل استفاده نمی‌باشند. همچنین در جریانهای با حجم غباری بالا افت فشار فیلترهای پارچه‌ای زیاد شده و عمر آنها بسیار کوتاه خواهد شد در صورتیکه سیکلونها برای جریانهای با حجم غباری بسیار زیاد قابل استفاده می‌باشند.

مراجع

1. A. Gil, L. Romeo, C. Cortes, "Scaling parameters for PFBC cyclone separator system analysis", 15th Conf. Fluidized Bed Combustion, n. FBC99-0054, 1999
2. S. Tomo, "A large capacity pressurized-fluidized-bed-combustion (PFBC) boiler combined-cycle power plant", Bulletin GTSJ, 2003
3. H. Komatsu, M. Maeda, M. Muramatsu, "A large capacity pressurized-fluidized-bed-combustion boiler combined-cycle power plant", Hitachi review, vol. 50, no. 3, 2001
4. Hoekstra, A. J., Deeksen, J. J. and Van Den Akker, H.E.A., "Experimental and numerical study of turbulent swirling flow in gas cyclones", Journal of Chemical Engineering Science, v 54, n 13, p 2055 – 2065, 1999.
5. Lucca – Negro, O., "Modeling of swirling flow instabilities", PhD Thesis university college of Cardiff, 1999.
6. Rongbia Xiang, S.H. Park, K.W. Lee, "Effect of cone dimension on cyclone performance", Journal of Aerosol Science, v32, p 549-561, 2001
7. L. Ma, D.B. Ingham and X. Wen, "Numerical modelling of the fluid and particle penetration through small sampling cyclones", Journal of Aerosol Science, v31, n.9, p 1097-1119, 2000
8. Karl B. Schnelle, Jr. and Charles A. Brown, "Air pollution control technology handbook", 2001
9. م. مقیمان، م. جوادی، ع. کیانی فر، "مطالعه ناپایداریهای جریان دو فازی داخل سیکلون بر بازده جداسازی"،

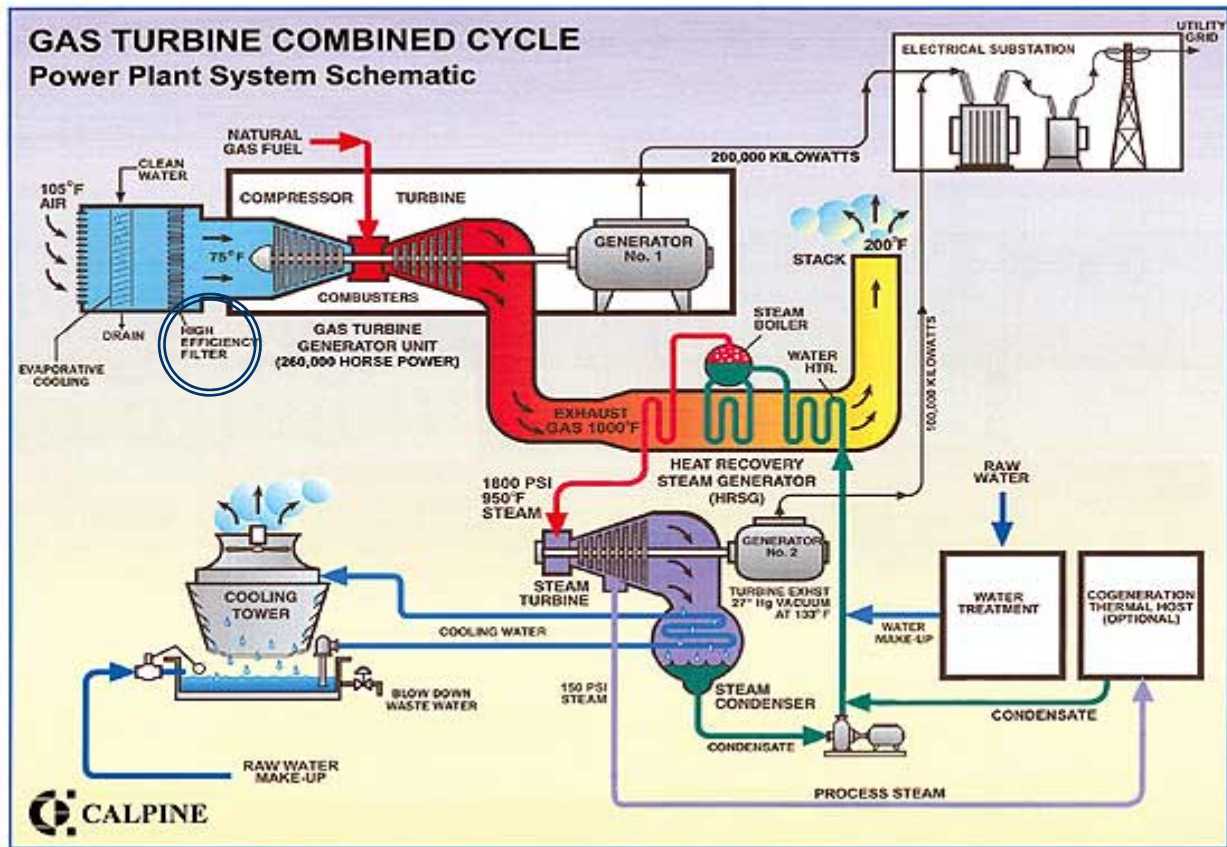
کنفرانس دینامیک شاره‌ها، ۱۳۸۲

حسب دبی کل جریان، از یک گروه سیکلون جهت غبارگیری استفاده نمود.

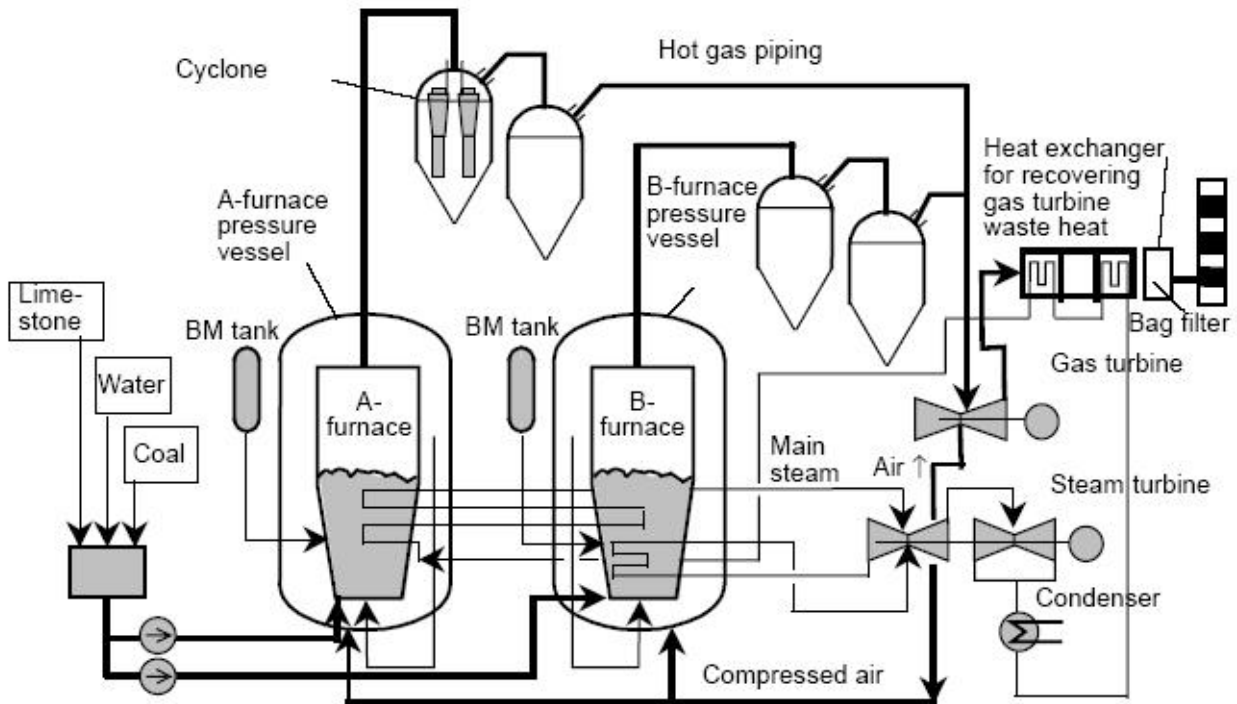
ارتفاع قسمت مخروطی (Lc) بر افزایش بازده و افت فشار سیکلون بسیار موثر است. همانطور که در شکل‌های ۱۰ و ۱۱ نشان داده شده است با افزایش طول مخروط افت فشار به مقدار زیادی افزایش می‌یابد. از طرفی با افزایش طول مخروط بازده جداسازی ذرات ریز نیز افزایش قابل ملاحظه‌ای می‌یابد. در صورتیکه هدف جداسازی ذرات بالای ۱۰ میکرون باشد، می‌توان از یک سیکلون با طول مخروط $Lc=0.3m$ استفاده نمود که افت فشار آن حدود ۱۵۰ پاسکال و در طول دوره کارکرد ثابت است. ولی در صورتیکه این فیلتر بخواهد عملکرد کامل فیلتر SAF100 (بازده 50% بر اساس استاندارد اشری ۵۲/۷۶) برای ذرات بالای ۵ میکرون را داشته باشد، باید از طول مخروط $Lc=0.7m$ استفاده نمود که افت فشاری بین ۲۵۰ تا ۴۵۰ پاسکال (بر حسب دبی حجمی جریان) دارد. همچنین در شکل ۱۱ بازده ۳ نوع سیکلون با طول مخروط $Lc=0.3, 0.5, 0.7m$ در سرعت ۱۱ متر بر ثانیه با سه فیلتر پارچه‌ای با بازده 50%, 65%, 85% (بر اساس استاندارد اشری ۵۲/۷۶) مقایسه شده است. همانطور که مشاهده می‌شود بر ذرات بالای ۵ میکرون بازده سیکلونها در مقایسه با بازده این فیلترها خوب بوده است.

نتیجه گیری

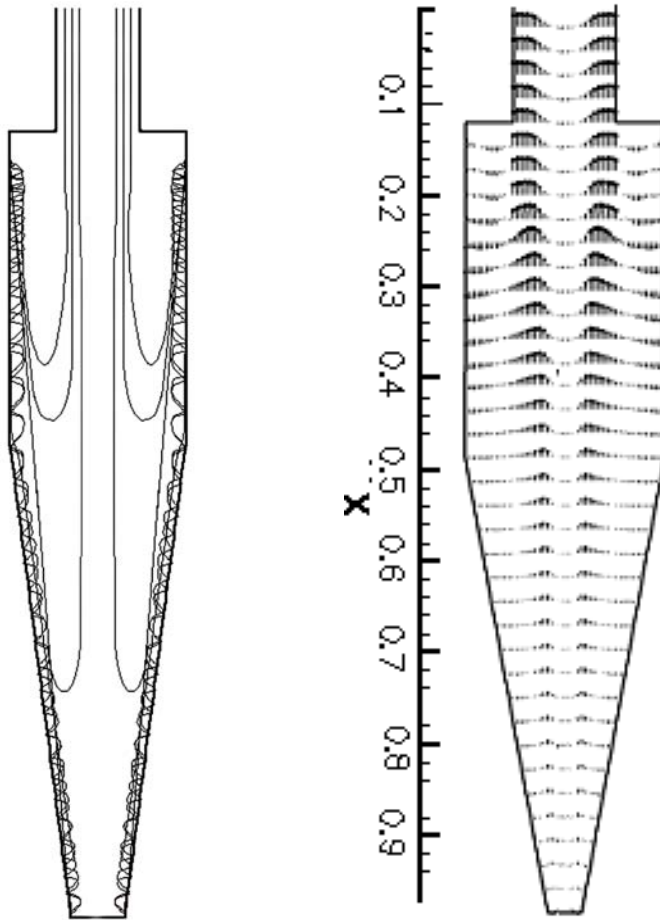
در این مقاله با هدف استفاده از سیکلونها در نیروگاه‌ها، به بررسی دو کاربرد عمده آن (نیروگاههای PFBC و بهبود عملکرد فیلترهای پارچه‌ای) پرداخته شد. نتایج حاصل از شبیه سازی عددی سیکلونهای مختلف و مقایسه نتایج بدست آمده با اطلاعات موجود در مورد فیلترهای پارچه‌ای نشان می‌دهد، می‌توان از سیکلونها به جای فیلترهای پارچه برای غبارگیری هوای ورودی به توربین گاز استفاده نمود. از مزایای سیکلونها بر فیلترهای پارچه‌ای می‌توان ساختمان ساده، عدم نیاز به تعمیر و نگهداری، تعویض و عملکرد یکنواخت در طول دوره استفاده آن نام برد. فیلترهای پارچه‌ای با وجود دامنه کاربرد وسیع، نیاز به تعویض در دوره‌های کوتاه مدت داشته،



شکل ۱- نمودار سیکل ترکیبی نیروگاههای توربین گازی (محل نصب فیلتر بازده بالا در مسیر جریان ورودی نشان داده شده است).

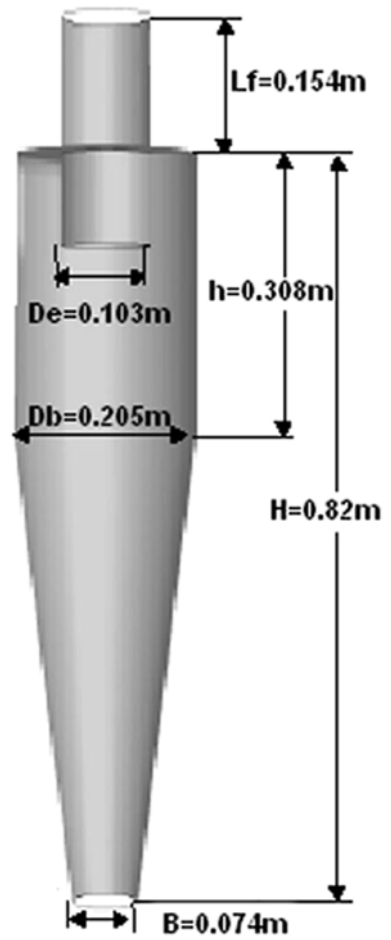


شکل ۲- نمودار سیکل ترکیبی در یک نیروگاه PFBC

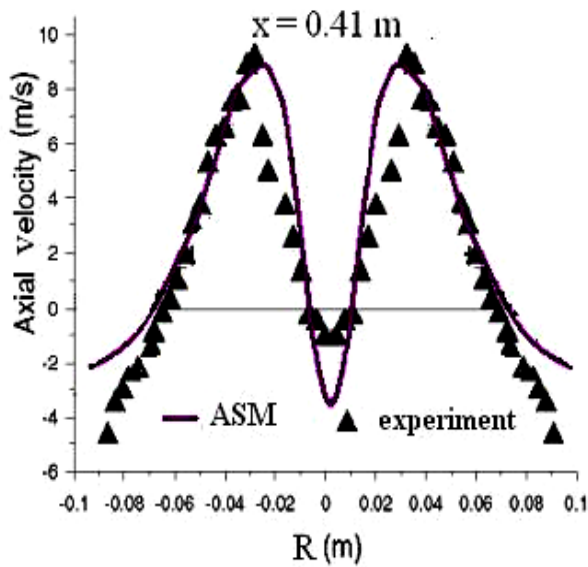


شکل ۵- مسیر حرکت ذرات جامد

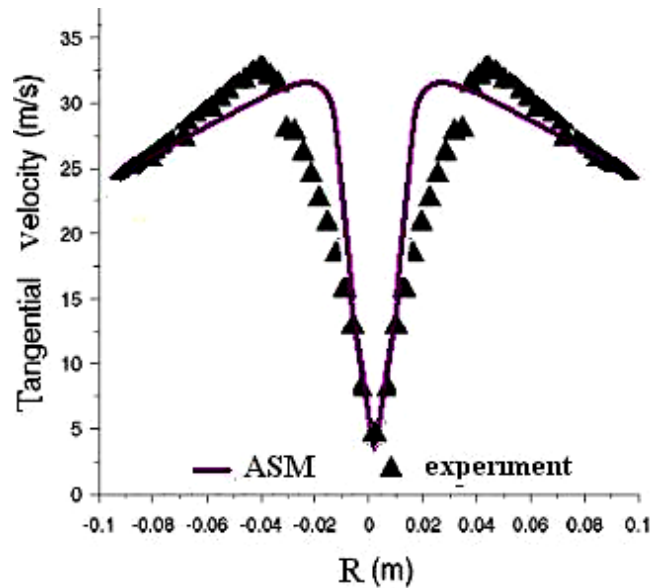
شکل ۴- بردارهای سرعت داخل سیکلون



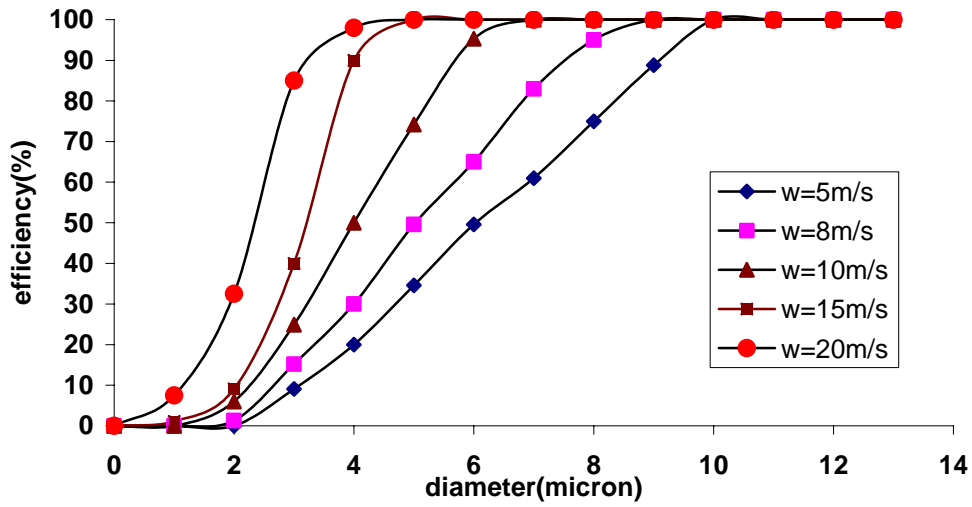
شکل ۳- طرح و ابعاد هندسی سیکلون



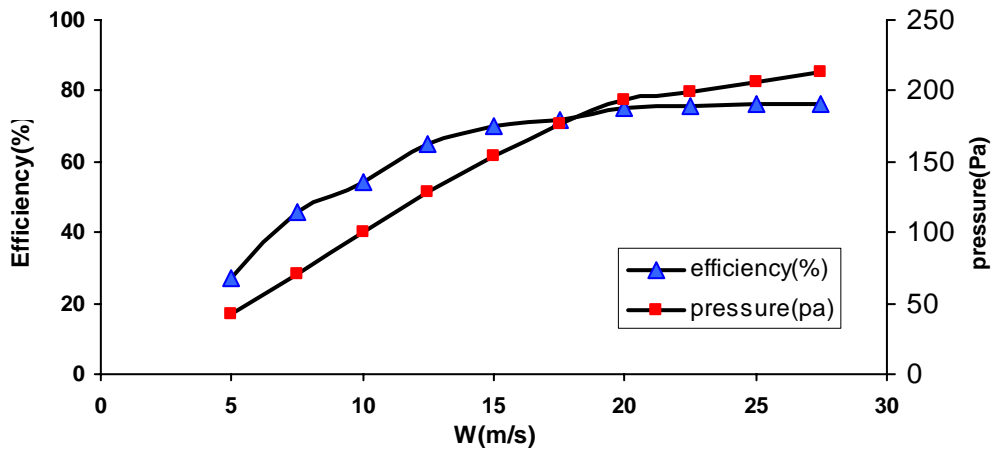
شکل ۷- مقایسه پروفیل‌های سرعت محوری حاصل از حل عددی و نتایج آزمایشگاهی در همان موقعیت $x=0.41m$



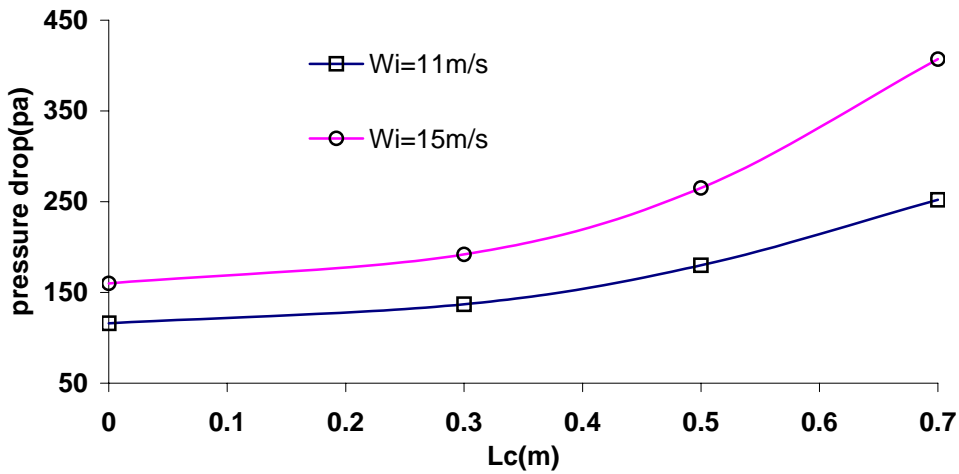
شکل ۶- مقایسه پروفیل‌های سرعت مماسی حاصل از حل عددی و نتایج آزمایشگاهی در همان موقعیت $x=0.41m$



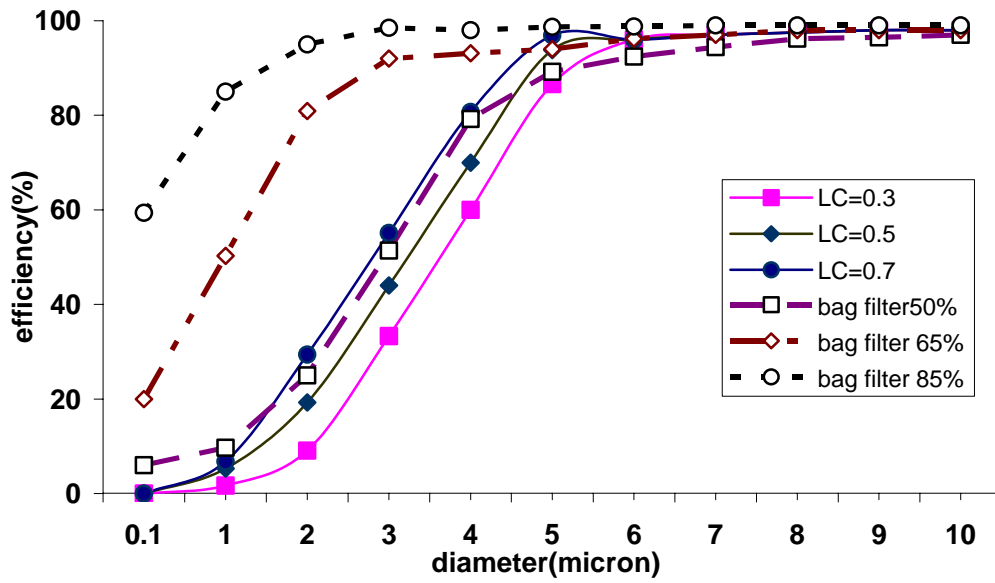
شکل ۸- اثر سرعت ورودی جریان (دبی حجمی جریان) در افزایش بازده سیکلونها



شکل ۹- اثر سرعت جریان ورودی (دبی حجمی) بر بازده و افت فشار سیکلونها



شکل ۱۰- اثر طول بخش مخروطی بر افت فشار در دو سرعت ورودی ۱۱ و ۱۵ متر بر ثانیه



شکل ۱۱- مقایسه بازده سه سیکلون با طول مخروط LC=0.3, 0.5, 0.7 با سه فیلتر پارچه‌ای با بازده 50% (استفاده در نیروگاه)، 65% و 85%

جدول ۱- پراکنندگی ذرات معلق در هوا

اندازه به میکرون	میانگین قطر ذره	تعداد شمارش شده	درصد تعداد	درصد وزنی
0_0.5	0.25	18280000	0.005	28
0.5_1	0.75	1352000	0.175	52
1_3	2	214000	0.25	11
3_5	4	50000	1.07	6
5_10	7.5	35000	6.78	2
10_30	20	1000	91.72	1