٨٧/١/١٠٠١٧٢
٨٧/٩/٢٥
١٣٨٤ع

٤٤ ١٠٨٧

دانشگاه تربیت مدرس

دانشکده فنی و مهندسی

پایان نامه کارشناسی ارشد

مهندسی هوا و فضا – آیرودینامیک

بررسی جریان دوفازی در سیکلونهای جمع آوری کننده ذرات و تحلیل تاثیر آن بر بازدهی سیکلون

امیر براتی فریمانی

استاد راهنما

دکتر محمدرضا انصاری

تابستان ۱۳۸۷

۱۳۸۷ /۹/ ۱۲

۱۰۸۷۴۳

بسمه تعالی

تاییدیه اعضای هیات داوران حاضر در جلسه دفاع از پایان نامه

آقای امیر براتی فریمانی پایان نامه ٦ واحدی خود را با عنوان بررسی جریان دوفازی در سایکلونهای جمع آوری کننده ذرات و تحلیل تاثیر آن بر بازدهی سایکلون در تاریخ ۱۳۸۷/٦/۱۷ ارائه کردند.

اعضای هیات داوران نسخه نهایی این پایان نامه را از نظر فرم و محتوا تایید کرده و پذیرش آنرا برای تکمیل درجه کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک - هوافضا پیشنهاد می کنند.

عضو هیات داوران	نام و نام خانوادگی	رتبه علمی	امضا
استاد راهنما	دکتر محمدرضا انصاری	دانشیار	
استاد ناظر	دکتر فتح اله امی	استادیار	
استاد ناظر	دکتر کیومرث مظاهری	دانشیار	
استاد ناظر	دکتر مهدی اشجعی	استاد	
مدیر گروه (یا نماینده گروه تخصصی)	دکتر فتح اله امی	استادیار	

این نسخه به عنوان نسخه نهایی پایان نامه / رساله مورد تایید است.

امضای استاد راهنما:

دستورالعمل حق مالکیت مادی و معنوی در مورد نتایج پژوهشهای علمی
دانشگاه تربیت مدرس

مقدمه: با عنایت به سیاستهای پژوهشی دانشگاه در راستای تحقق عدالت و کرامت انسانها که لازمه شکوفایی علمی و فنی است و رعایت حقوق مادی و معنوی دانشگاه و پژوهشگران، لازم است اعضای هیات علمی،دانشجویان، دانش آموختگان و دیگر همکاران طرح، در مورد نتایج پژوهشهای علمی که تحت عناوین پایان نامه، رساله و طرحهای تحقیقاتی با هماهنگی دانشگاه انجام شده است، موارد ذیل را رعایت نمایند:

ماده ۱- حقوق مادی و معنوی پایان نامه ها/ رساله های مصوب دانشگاه متعلق به دانشگاه است و هرگونه بهره برداری از آن باید با ذکر نام دانشگاه و رعایت آیین نامه ها و دستورالعملهای مصوب دانشگاه باشد.

ماده ۲- انتشار مقاله مستخرج از پایان نامه/رساله به صورت چاپ در نشریات علمی و یا ارائه در مجامع علمی می باید به نام دانشگاه بوده و استاد راهنما نویسنده مسئول مقاله باشند.

تبصره: در مقالاتی که پس از دانش آموختگی بصورت ترکیبی از اطلاعات جدید و نتایج حاصل از پایان نامه/رساله منتشر می شود نیز نام دانشگاه درج شود.

ماده ۳- انتشار کتاب حاصل از نتاایج پایان نامه / رساله و تمامی طرحهای تحقیقاتی دانشگاه باید با مجوز کتبی صادره از حوزه پژوهشی دانشگاه و براساس آئین نامه های مصوب انجام شود.

ماده ۴- ثبت اختراع و تدوین دانش فنی و یا ارائه در جشنواره های ملی، منطقه ای و بین االمللی که حاصل نتایج مستخرج از پایان نامه/رساله و تمامی طرحهای تحقیقاتی دانشگاه باشد باید با هماهنگی استاد راهنما یا مجری طرح حوزه پژوهشی دانشگاه انجام گیرد.

ماده ۵- این دستورالعمل در ۵ ماده و یک تبصره ۱۳۸۴/۴/۲۵ در شورای پژوهشی دانشگاه به تصویب رسیده و از تاریخ تصویب لازم الاجرا است و هرگونه تخلف از مفاد این دستورالعمل از طریق مراجع قانونی قابل پیگیری خواهد بود. ۱۳آ۸۴/۶ب

آیین نامه چاپ پایان‌نامه (رساله)های دانشجویان دانشگاه تربیت مدرس

نظر به اینکه چاپ و انتشار پایان نامه (رساله)های تحصیلی دانشجویان دانشگاه تربیت مدرس، مبین بخشی از فعالیتهای علمی - پژوهشی دانشگاه است بنابراین به منظور آگاهی و رعایت حقوق دانشگاه،دانش آموختگان این دانشگاه نسبت به رعایت موارد ذیل متعهد می‌شوند:

ماده ۱: در صورت اقدام به چاپ پایان نامه (رساله)ی خود، مراتب را قبلاً به طور کتبی به «دفتر نشر آثارعلمی» دانشگاه اطلاع دهد.

ماده ۲: در صفحه سوم کتاب (پس از برگ شناسنامه) عبارت ذیل را چاپ کند:

«کتاب حاضر، حاصل پایان نامه کارشناسی ارشد نگارنده **امیر براتی فریمانی** در رشته **هوا و فضا** است که در سال**۱۳۸۷**در دانشکده **فنی و مهندسی** دانشگاه تربیت مدرس به راهنمایی جناب آقای **دکتر محمد رضا انصاری** از آن دفاع شده است.»

ماده ۳: به منظور جبران بخشی از هزینه‌های انتشارات دانشگاه، تعداد یک درصد شمارگان کتاب (در هر نوبت‌چاپ) را به «دفتر نشر آثارعلمی» دانشگاه اهدا کند. دانشگاه می‌تواند مازاد نیاز خود را به نفع مرکز نشر درمعرض فروش قرار دهد.

ماده ۴: در صورت عدم رعایت ماده ۳، ۵۰٪ بهای شمارگان چاپ شده رابه عنوان خسارت به دانشگاه تربیت‌مدرس، تأدیه کند.

ماده ۵: دانشجو تعهد و قبول می کند در صورت خودداری از پرداخت بهای خسارت، دانشگاه می‌تواندخسارت مذکور را از طریق مراجع قضایی مطالبه و وصول کند؛ به علاوه به دانشگاه حق می‌دهد به منظور استیفای حقوق خود، از طریق دادگاه، معادل وجه مذکور در ماده ۴ را از محل توقیف کتابهای عرضه شده‌نگارنده برای فروش، تامین نماید.

ماده ۶: اینجانب: **امیر براتی فریمانی** دانشجوی رشته: **هوا و فضا**

مقطع: **کارشناسی ارشد**

تعهد فوق وضمانت اجرایی آن را قبول کرده، به آن ملتزم می شوم.

نام و نام خانوادگی: امیر براتی فریمانی

تاریخ و امضا: ۸۷/۸/۱۵

قدردانی

تشکر و سپاس خدای متعال را که لطف خود را همیشه شامل حال من نموده و با وجود دشواریهای فراوان در عرصه زندگی، نور امید را در من زنده نگه داشت تا هر صبح و شام با یاد او آغاز و فرجام کار بنمایم و لحظه ای مایوس نگردم.

تقدیم به آن واژه زیبای هستی،مادر

او که وجود خویش را صرف من کرد،او که چون شمع می سوزد تا روشنایی بخش و مایه گرمی زندگی باشد و در این راه از هیچ تلاش و مجاهدتی در راه به ثمررساندن فرزندان خویش دریغ نکرد.

تقدیم به پدری سخت کوش و زحمت کش که هر آنچه در توان داشته و دارد در راه آسایش و پیشرفت من صرف می نماید و لحظه ای مرا از تحصیل و دانش بازنداشت.

چکیده

سیکلونها دستگاههایی هستند که برای جمع آوری ذرات جامد معلق در هوا طراحی شده اند و در بسیاری از صنایع تصفیه هوا کاربرد داشته و دارای ساختمان بسیارساده ای هستند. طراحی بهینه سیکلونها جهت افزایش راندمان از اهمیت فوق العاده ای برخوردار است. در این پایان نامه، عوامل موثر بر راندمان سیکلون بررسی شده و نحوه محاسبه راندمان ارائه گردیده است. برای تحلیل سیال و بدست آوردن مسیر حرکت ذرات، کد کامپیوتری به منظور تحلیل جریان دو فازی چرخشی داخل سیکلون نوشته شده و میدان سیال بدست آمده است. کد مذکور برای جریان چرخشی متقارن درون سیکلون توسعه یافته است. در این کد، معادلات حاکم بر ذره نیز با رژیم سیال کوپل شده و مسیر حرکت ذرات نیز بدست آمده است، سپس با تغییر پارامترهای مربوط به سیال، هندسه سیکلون و ذرات مانند سرعت ورودی، ابعاد سیکلون، اندازه و چگالی ذرات، راندمان ها محاسبه گردیده و نتایج با یکدیگر مقایسه گردیده اند. بر این اساس، افزایش چگالی و اندازه ذرات، افزایش افت فشار، باعث افزایش راندمان می شوند. تاثیر عوامل هندسی مانند ارتفاع سیکلون، زاویه شیب مخروط، ابعاد دهانه ورودی و خروجی بر راندمان جمع آوری سیکلون نیز بررسی و تحلیل شده اند و مقادیر و نسبتهای بهینه برای طراحی سیکلون پیشنهاد گردیده اند.

بر این اساس افزایش شیب مخروط،برابری ارتفاع مجرای خروجی گاز با ارتفاع بخش استوانه ای،کاهش اندازه قطر خروجی گاز به نسبت قطر خروجی ذرات باعث افزایش راندمان می شود.

کلمات کلیدی: سیکلون- ذره – راندمان - CFD - جریان دو فازی- افت فشار

فهرست

فهرست علایم ..... ا

فصل اول

مقدمه

۱-۱- معرفی سیکلون ۱

۱-۲- تاریخچه و کاربردها ۲

۱-۳- ساختار پایان نامه ۸

فصل دوم

سیکلون‌ها و جریان دو فازی گاز - جامد در آن

۲-۱- مقدمه ۹

۲-۲- مدلسازی جریان های دو فازی ۹

۲-۳- مدلسازی پیوسته جریان های چند فاز ۱۱

۲-۴- بررسی حرکت ذره جامد در سیال ۱۲

۲-۵- تاثیر میدانهای خارجی ۲۰

فصل سوم

بازدهی سیکلون و عوامل موثر بر آن

۳-۱- مقدمه ۲۳

۳-۲- بازده و اهمیت آن ۲۳

۳-۳- تعریف اندازه ذره ۲۴

۳-۴- توزیع اندازه ذرات ۲۴
۳-۵- روشهای محاسبه بازده ۲۶
۳-۶- بررسی عوامل موثر برعملکرد سیکلونها ۲۹

فصل چهارم

مدلسازی معادلات حاکم بر جریان دو فازی "گاز-جامد" در داخل سیکلون

۴-۱- مقدمه ۳۴
۴-۲- شکل کلی معادلات حاکم ۳۵
۴-۳- معادلات حاکم برحرکت و مسیر ذره جامد در میدان جریان ۳۸
۴-۴- مدل‌های آشفتگی سیکلون ۴۴

فصل پنجم

روش های حل عددی در برنامه نویسی جریان داخل سیکلون

۵-۱- مقدمه ۴۵
۵-۲- هندسه و فیزیک مسئله ۴۷
۵-۳- روش حل عددی ۴۸
۵-۴-گسسته سازی معادلات ۴۸
۵-۵- معادله تصحیح فشار ۵۲
۵-۶- الگوریتم حل SIMPLE ۵۳
۵-۷- کوپلینگ معادلات ذرات و جریان ۵۵
۵-۸- شرایط مرزی ۵۶

فصل ششم

ارائه و بحث نتایج

۶-۱- مقدمه ۶۰

۶-۲- هندسه سیکلون وصحت روش عددی ۶۱

۶-۳- بررسی جریان در سیکلون ۶۶

۶-۴- بررسی حرکت ذرات در سیکلون ۷۱

۶-۵- بررسی اثر هندسه بر عملکرد سیکلون ۷۹

فصل هفتم

بحث و نتیجه گیری

۷-۱- مقدمه ۸۵

۷-۲- نتیجه گیری ۸۵

۷-۳- پیشنهادات ۸۷

مراجع ۸۸

فهرست نشانه‌ها

قطر ذره ، میکرون	d_p
ویسکوزیته	μ
چگالی گاز	ρ_g
چگالی ذره	ρ_p
سرعت متوسط مولکولها	u_m
وزن مولکولی گاز	MW
ثابت جهانی گازها ، $8315g\ m^2/gmole.K.s^2$	R
دبی حجمی جریان سیال،	Q
بازده به درصد	η
افت فشار	p
قدرت نفوذ به درصد $(1-\eta)$	Pt
غلظت فاز جامد	C_s
سرعت ذره	v_p
سرعت گاز	v_g
سرعت نسبی	v_r
قطر سیکلون	D
ارتفاع دهانه ورودی	a
عرض دهانه ورودی	w
قطر مجرای خروج گاز	D_e

ارتفاع سیکلون	H
ارتفاع قسمت مخروطی	h
ارتفاع مجرای خروج گاز	S
قطر قسمت خروجی غبار	B
عدد رینولدز	Re
ضرایب معادلات جبری	ai
بعد شعاعی	r
بعد مماسی	θ
تانسور تنش	σ_{ij}
ترم نیروی مقاومت و سایر نیروی جسمی در معادله مومنتوم	s_{ui}
متغیر عمومی	ϕ
چشمه متغیر عمومی ϕ	S_ϕ
شار ϕ در جهت j	$J\phi_j$
عدد پرانتل - اشمیت	σ_ϕ
سرعت در جهت x	u
سرعت در جهت r	v
سرعت در جهت θ	w
ضریب پسا	C_D
انرژی آشفتگی در واحد جرم	k
اتلاف انرژی آشفتگی	ε
تنش برشی	τ
ترم تولید در معادله انتقال تنش‌های رینولدز	p_{ij}
ترم اتلاف تولید در معادله انتقال تنش‌های رینولدز	ε_{ij}
ترم کرنش فشاری در معادله انتقال تنش‌های رینولدز	Ψ_{ij}

ترم انتشار در معادله انتقال تنش‌های رینولدز	ϕ_{ij}
ترم نوسانی سرعت سیال در راستای محوری	u'
ترم نوسانی سرعت سیال در راستای شعاعی	v'
ترم نوسانی سرعت سیال در راستای مماسی	w'
اثر مومنتوم ذره بر گاز	M_{pj}
توزیع روسین - راملر	M_D
نمایشگر ترمهای انتقالی در معادله انتقال تنشهای رینولدز	T_{ij}
تانسور استفاده شده برای مدلسازی Ψ_{ij}	E_{ij}
مشتق کامل	D/Dt
رینولدز ذره	R_{ep}
نیروی سافمن	F_S
نیروی حاصل از گرادیان فشار	F_P
نیروی بست	F_Z
نیروی مگنوس	F_M
سرعت زاویه ای	Ω
بار الکتریکی	q
دما	T
پارامتر طراحی سیکلون	C
عدد استوکس	stk
عدد فرود	Fr

فصل اول

مقدمه

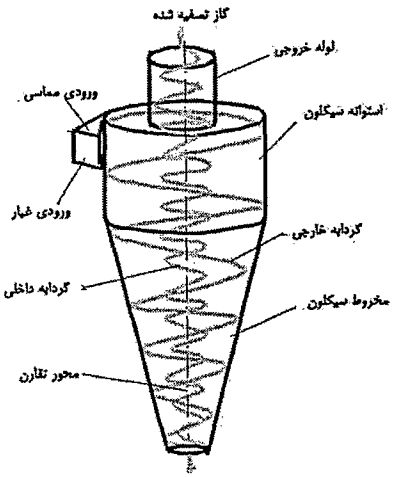
۱-۱- معرفی سیکلون

غبارگیرهای سیکلونی، به مقیاس گسترده‌ای در جمع‌آوری غبار مورد استفاده قرار می‌گیرند. کاربرد آنها در جداسازی ذرات غبار از دهها سال پیش آغاز شده و نوع کوچک آن با قطر بدنه ۱۰۰ تا ۱۲۰ میلیمتر، حتی قادر به جدا سازی ذرات ۱ میکرونی می باشد[۱]، اما در مقیاس صنعتی طرح‌های اصلاح شده آن را می توان برای جداسازی ذرات بالای ۱۰ میکرون و ذرات ریز فلزات بکار برد. در بیشتر این نوع غبارگیرها جریان گاز حامل غبار، از جدار بالایی بدنه استوانه‌ای، وارد سیکلون می‌گردد. کانال ورودی گاز همانطور که در شکل ۱-۱ مشاهده می گردد، بر جدار استوانه مماس بوده و گاز از لوله ای هم مرکز با محور استوانه، از سیکلون خارج می‌گردد.

گاز پس از ورود به سیکلون به سمت پایین جریان یافته و ابتدا در فضای حلقوی بین جدار خارجی سیکلون و لوله خروجی[1] و سپس در محفظه سیکلون به چرخش در می‌آید. بدین ترتیب یک گرداب محیطی بوجود می‌آید که سبب افزایش نیروی گریز از مرکز شده و ذرات غبار موجود در گاز را به طرف جدار سیکلون می‌راند. با ورود جریان به قسمت مخروطی، جریان گاز به همراه ذرات سبک، به تدریج جهت خود را عوض نموده و به طرف لوله خروجی می‌رود و گرداب مرکزی سیکلون را شکل می‌دهد. ذرات درشت غبار با کمک حرکت انتقالی همراه با چرخش جریان گاز و تا حدود بسیار کمی بر

[1] Vortex finder

اثر نیروی وزن خود پس از تماس با جدار سیکلون، کم کم از جریان گـاز جـدا شـده و بـه قـسمت پـایین سیکلون رفته و از طریق انتهای بخش مخروطی وارد مخزن غبار می‌شود[۲].



شکل۱- ۱- نمایی از یک غبارگیر سیکلونی [۲]

سیکلون‌ها معمولاً از ورق فلزی (البته می توانند از مواد دیگر نیز ساخته شوند) ساخته مـی‌شـوند و قیمت آنها پایین و فضای کمی نیاز دارند، همچنـین بـه دلیـل عـدم وجـود قطعـه متحـرک، تعمیـرات و نگهداری آنها ساده بوده و هزینه چندان زیادی نیاز ندارند. البته یک وسیله خارجی، مانند یـک دمنـده یـا منبع فشار دیگری جهت حرکت جریان گاز مورد نیاز می‌باشد. از مزایای دیگر سیکلون‌ها، قابلیت اسـتفاده آنها برای بارهای غباری خیلی سنگین (حدود ۴۰۰ گرم بر مترمکعب) و جریان‌های گـاز تـا دمـای ۱۰۰۰ درجه سانتیگراد و فشار بین ۰/۰۱ تا ۱۰۰ بار می باشد. با توجه به نیاز صنایع مختلف جهـت غبـار گیـری وتصفیه هوا و دامنه وسیع کاربرد آنها، طراحی سیکلون هایی که بتوانند بهترین عملکرد و بـازده را داشـته باشند، یکی از مسائل مهم طراحی مهندسی بشمار می رود[۱].

۱-۲- تاریخچه و کاربردها

اولین اطلاعات مربوط به اختراع سیکلون مربوط به آقای فیـنچ (Finch) در سـال ۱۸۸۵ در آمریکـا می باشد، وی نام این وسیله را غبار روب نامید[۲].

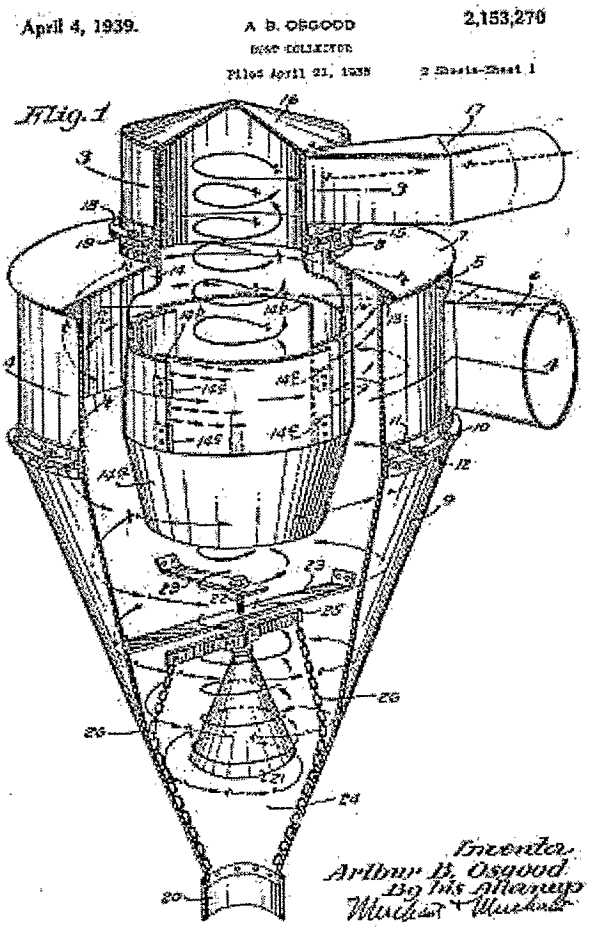
ایده اولیه جداسازی ذرات توسط گرد و غبار از جریان گاز به سالهای ۱۸۰۰ میلادی بر می گردد، همه می دانیم که ذرات غبار در جریان گاز زمانی که جریان بسیار آرام است، ته نشین می شود. به عنوان مثال ذره ای با قطر ۱۰ میکرون در مدت زمانی معادل ۵/۵ دقیقه از ارتفاع ۱ متری ته نشین می شود. اما ایده فینچ برخلاف جداسازی از طریق سیستم ته نشینی بوده و وی ایجاد جریان با سرعت زیاد در محوطه ای مخروطی شکل را پیشنهاد نمود. وی از این طریق توانست با استفاده از نیروی گریز از مرکز ذرات غبار را از هوا جدا نماید. ایده وی یکی از زیباترین ایده های عملی بود که در کتاب (Thinking out of the Box) در قرن نوزدهم میلادی چاپ شد[۲].

پس از آن، پیشرفت ها در زمینه طراحی سیکلون با سرعت بیشتری ادامه یافت، تا اینکه در سال ۱۹۰۰ سیکلونهایی که بسیار شبیه سیکلونهای مدرن امروزی بود ساخته شد. بهترین نوع این سیکلونها توسط (O.M.Morse) در سال ۱۹۰۵ ساخته شد. وی جایزه کاهش خطرات آلودگی غبار در آسیاب های گندم را دریافت نمود. او در مورد دستگاه خود اینچنین می نویسد:

" دستگاه پیشرفته من می تواند ذرات گرد و غبار را از هوا بوسیله مومنتم جریان جداسازی نماید و این دستگاه هیچ عضو متحرکی نداشته و از لحاظ ساختاری بسیار ساده است."

به علت ساختار ساده، هزینه های بسیار کم تولید، فشردگی، عدم وجود قطعات متحرک و هزینه کم نگهداری، استفاده از سیکلونها افزایش یافت بطوری که در سال ۱۹۲۰ در تمامی آسیاب ها و زمین های اطراف آنها از سیکلونها جهت غبارروبی و تصفیه هوا استفاده می شد. در این زمان آزمایشات تجربی در ارتباط با نسبت های هندسی مانند اندازه های ورودی، خروجی، مخروط و سایر اجزای سیکلون انجام شد، که برخی از این آزمایشات منجر به افزایش بازدهی شدند. اما برخی از این آزمایشات و نتیجه گیری ها، در مقایسه با محاسبات امروزی، تاثیر کمی بر افزایش بازدهی سیکلون داشته اند. به عنوان مثال نوع سیکلون "روب- گلد برگ" که در شکل۱-۲ نشان داده شده است دارای زنجیرهای چرخش سیال جهت جلوگیری از انباشته شدن ذرات غبار بود. که در آن زمان ایده جالبی بود. نکته قابل توجه اینکه به علت

نبود وسایل اندازه گیری دقیق در آن زمان، توجه کمتری بـه نقـش سـرعت ورودی، چگـالی، گرانـروی و اندازه و توزیع ذرات شده بود[۲].



شکل۱- ۲- سیکلون ساخته شده توسط روب-گلدبرگ[۲]

اکثر سیکلونها در سالهای ۱۹۲۰ تا ۱۹۵۰ جهت استفاده در کارگاههای چـوب بـری و آسـیاب هـا بکار رفت. در دهه های بعدی، سیکلونها کاربردهای دیگری نیز جهت جمع آوری ذرات از جریان گاز پیـدا نمودند. امروزه سیکلونها در مکانهای صنعتی زیر استفاده می شوند:

- نیروگاهها
- صنایع تولید شوینده های شیمیایی
- صنایع مواد غذایی

- صنایع وابسته به انواع پودرها، نرم کننده ها و مواد معدنی
- جاروبرقی های صنعتی
- نمونه بردارهای غبار و ذرات
- واحدهای احتراق چوب و مواد زاید.

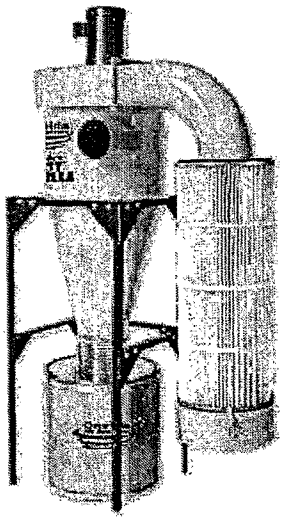
سیکلونها، جداسازی ذرات جامد را براساس جرم، چگالی، اندازه و شکل ذرات انجام می دهند. بدلیل ساختار ساده و قابلیت اطمینان بالای آنها، سیکلونها جهت جداسازی ذرات گاز- مایع که در یک ونتوری (Venturi) وارد می شود، نیز بکار می روند. ازمثالهای دیگر می توان، کاربرد سیکلونها در جریان های دو فازی مایع- گاز شامل جداسازی قطرات آب از مولدهای بخار و خنک کننده ها و یا بخار روغن از خروجی کمپرسورهای هوا را نام برد. همچنین سیکلونها در فرایندهای مربوط به جداسازی قطرات هیدروکربنی و یا انواع روغنها که در فرایندهایی مانند اسپری و تزریق که باعث جداسازی جریان دوفازی گاز- مایع می شوند کاربرد دارند[۳].

قوانین فیزیکی مربوط به رفتار سیکلونها، صدها سال پیش و توسط آقایان نیوتن و استوکس بنیان گذاری گردید. اصول و اساس نیروهای وارد بر ذره هنگامی که در جریان سیال در حال حرکت هستند، توسط ایشان تدوین گردید. در ادامه آقایان (P.Rossin, E.Rammler, W.Intelmon, E.Feifel) پایه گذار محاسبات علمی مربوط به نیروهای وارد بر ذرات در سیکلون و استخراج آنها شدند[۱].

در سالهای ۱۹۳۸ تا ۱۹۵۰ ، آقایان (W.Barth, A.J.terLinden, C.Lapple, E.Feifel J.Stairmand, G.B.Shepherd,) تلاشهای فراوانی در زمینه ارائه فرمولهایی جهت طراحی سیکلون بهینه انجام دادند.

استیرمند و لاپل در ارائه فرمولهای کاربردی جهت طراحی سیکلون از بقیه موفق تر بودند بطوریکه هم اکنون نیز در بسیاری از طراحی های صنعتی سیکلون، از مدل ارائه شده توسط استیرمند استفاده می شود. تلاشهای وی و لاپل در سالهای ۱۹۵۰ تا ۱۹۹۰ منجر به ارائه روابطی جهت طراحی سیکلون بر مبنای بازده مورد نظر، قطر ذره و دبی جریان ورودی گردید. استیرمند با ارائه منحنی تجربی رابطه قطر

ذره و بازده و مرتبط ساختن آن با قطر سیلندر سیکلون، بنیان گذار روش ساده، اما کاربردی جهت طراحی و ساخت سیکلونهای صنعتی شد. بطوری که هم اکنون نیز از روابط ارائه شده توسط وی در ساخت سیکلونهای امروزی استفاده می شود. در سیکلونهای جدید، جهت تصفیه کامل غبار، از فیلترهایی در خروجی جریان نیز استفاده می شود تا ذراتی که ریزترند و در خروجی غبار گیر جمع نشده اند را تصفیه نمایند. در شکل ۱-۳ نمونه ای از سیکلونهای امروزی به همراه فیلتر و مکنده آن نشان داده شده است[۲].



شکل۱- ۳- نمونه ای از سیکلونهای امروزی[۲]

با پیشرفت محاسبات عددی دینامیکی سیالات پس از سالهای ۱۹۹۰، تحلیل جریان درون سیکلون به این روش آغاز گردید. در ابتدا محاسبات انجام شده با فرضیات ساده سازی شده بسیاری همراه بود، به عنوان مثال از مدلهای دقیقی از جریان مغشوش درون سیکلون استفاده نشد، اما با پیشرفت محاسبات عددی و ارائه نرم افزارهای تجاری پس از سال ۱۹۹۸، تحقیقات در مورد رژیم سیال و همچنین حرکت ذرات آغاز گردید که منجر به چاپ مقالات متعدد در زمینه جریان چرخشی درون سیکلون و حرکت ذرات درون آن شد.

ما[1] و همکارانش (۲۰۰۰) تأثیرات تغییر قطر بدنه سیکلون، قطر مجرای خروج گاز و ارتفاع سیکلون بر بازده جداسازی را تحلیل نمودند که نتیجه آن حاکی از بالا رفتن راندمان با افزایش ارتفاع سیکلون است[۴]. زیانگ، پارک و لی[2] (۲۰۰۱) اثرات ابعاد بخش مخروطی و سرعت ورودی را بر عملکرد سیکلون مورد تجزیه و تحلیل قرار دادند که در این بررسی با کاهش اندازه مخروط سیکلون، بازدهی آن بالاتر می رود[۵]. می‌سوشین[3] (۲۰۰۵) به بررسی اثرات ابعاد مجرای خروجی بر عملکرد سیکلون به صورت عددی و تجربی پرداخت و همچنین اثرات فشار به همراه دما را بر عملکرد سیکلون تحلیل نمود که در تحقیق وی افزایش افت فشار باعث بهتر شدن عملکرد سیکلون می شود[۶]. گیمبون[4] (۲۰۰۵) اثرات ابعاد هندسی بخش مخروطی (قطر مجرای ته نشینی غبار و ارتفاع بخش مخروطی) را بر بازده و افت فشار سیکلون به صورت تجربی مورد آزمایش قرار داد، در آزمایش وی نیز کاهش اندازه بخش مخروطی با افزایش راندمان همراه بود[۷]. علاوه بر این، گروهِ زیانگ و لی (۲۰۰۵) به بررسی پروفیل سرعت شعاعی ایجاد شده در سیکلون‌هایی با ارتفاع مختلف پرداخته و اثرات ارتفاع سیکلون و طول مجرای خروج گاز بر راندمان را بررسی نمودندکه نتیجه آن بالارفتن بازدهی با افزایش ارتفاع سیکلون است[۸]. چوآ[5] و همکارانش (۲۰۰۶) اثرات ابعاد بخش مخروطی را مطالعه نمودند، در تحقیق ایشان تاثیر اثرات ابعاد بخش مخروطی بر روی جمع آوری ذرات گردآوری شده که نتیجه آن افزایش راندمان با کاهش ابعاد بخش مخروطی سیکلون می باشد[۹].

در این پایان نامه، در مقایسه با سایر کارهای عددی انجام گرفته در زمینه مدلسازی سیکلونها، ردیابی تک ذره با استفاده از کوپلینگ معادلات اولری و لاگرانژی صورت پذیرفته است. ساده سازی های منطقی مهندسی در کد نویسی به همراه استفاده از آخرین روشهای دینامیک محاسباتی سیالات و ارائه نمودارهای جامع طراحی سیکلون بر اساس شرایط حاکم بر طراحی، از ابتکارات و نوآوری های انجام شده است.

[1] Ma
[2] Xiang, Park and Lee
[3] Mi-Soo Shin
[4] Gimbun
[5] Chuah