

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



موسسه آموزش عالی انرژی
دانشکده فنی و مهندسی
پایان نامه دوره کارشناسی ارشد
مکانیک گرایش: تبدیل انرژی

عنوان:

شبیه سازی نم زدایی از هیدروکربن های گازی در هیدروسیکلون

با استفاده از نرم افزار فلوئنت

استاد راهنما:

جناب دکتر یاسی

خانم دکتر غفاری

استاد مشاور:

پژوهشگر:

مصطفی کمندی

شهریور ۹۷

تاریخ صورتجلسه گروه آموزشی	
شماره دانشجویی	۱۸۲۶
کد دفاع	
تاریخ صورتجلسه شورای پژوهشی	



این فرم باید توسط دانشجو تایپ شده به تعداد خواسته شده، در روز دفاع تحویل داده شود.

صورتجلسه دفاع

با تأییدات خداوند متعال جلسه دفاع از پایان نامه کارشناسی ارشد خانم/ آقای	
در رشته:	مهندسی مکانیک
عنوان:	شبیه سازی نم زدایی گازهای هیدورکربن در هیدروسیکلون با استفاده از نرم افزار فلوئنت
با حضور استاد راهنما، استاد(استادان) مشاور و هیأت داوران در مؤسسه آموزش عالی انرژی ساوه	تشکیل گردید.
در این جلسه ، پایان نامه : <input type="checkbox"/> با موفقیت مورد دفاع قرار گرفت <input type="checkbox"/> نیازمند اصلاحات است <input type="checkbox"/> مردود اعلام گردید.	
نامبرده نمره	با امتیاز
(بدون احتساب نمره مقاله) دریافت نمود.	

نام و نام خانوادگی استاد راهنما		محل امضاء
نام و نام خانوادگی استادمشاور		محل امضاء
هیأت داوران:	محل امضاء ۱	محل امضاء ۲
۱-		
۲-		
مدیر گروه یا رئیس تحصیلات تکمیلی واحد:		معاون پژوهشی و فناوری مؤسسه آموزش عالی انرژی ساوه
نام و نام خانوادگی		
محل امضاء		

***** (اطلاعات این قسمت حتما توسط کارشناس پژوهشی تکمیل گردد) *****

نمره حاصل از ارزیابی مقاله/ مقالات دانشجو برابر ضوابط (از سقف ۲ نمره) محاسبه و نمره نهایی پایان نامه (مجموع نمره دفاع و مقاله)
 به عدد به حروف با درجه به تصویب رسید. / موارد اصلاحیه
 جهت اجرا به اطلاع دانشجو رسید.
 تأیید کارشناس حوزه پژوهشی
 تأیید معاون پژوهشی و فناوری مؤسسه آموزش عالی

انرژی ساوه



حوزه معاونت آموزشی و تحصیلات تکمیلی موسسه آموزش عالی انرژی

تعهدنامه اصالت پایان نامه

اینجانب مصطفی کمندی دانش‌آموخته مقطع کارشناسی ارشد ناپیوسته در رشته مهندسی مکانیک که در تاریخ ۹۷/۶/۲۰ از پایان‌نامه خود با عنوان شبیه سازی نم زدایی گازهای هیدروکربن در هیدروسیکلون با استفاده از نرم افزار فلوئنت با کسب نمره و درجه دفاع نموده‌ام بدین وسیله اعتراف می‌کنم:

(۱) این پایان‌نامه حاصل تحقیق و پژوهش اینجانب بوده و در مواردی که از دستاوردهای علمی و پژوهشی دیگران (اعم از پایان‌نامه، کتاب، مقاله و) استفاده کرده‌ام، مطابق ضوابط موجود، نام منبع مورد استفاده و سایر مشخصات آن را در فهرست منابع ذکر و درج نموده‌ام.

(۲) این پایان‌نامه قبلاً برای دریافت هیچ مدرک تحصیلی (هم سطح، پایین‌تر یا بالاتر) در سایر دانشگاه‌ها و مؤسسات آموزش عالی داخلی و خارجی ارائه نشده‌است.

ضمناً متعهد می‌شوم:

(۳) چنانچه بعد از فراغت از تحصیل، قصد استفاده و هر گونه بهره‌برداری اعم از چاپ مقاله، کتاب، ثبت اختراع و ... از این پایان‌نامه را داشته باشم، از استاد محترم راهنما و گروه آموزشی مربوطه مجوزهای لازم را اخذ نمایم.

(۴) چنانچه در هر مقطع زمانی خلاف موارد فوق ثابت شود، عواقب ناشی از آن را بپذیرم و موسسه آموزش عالی انرژی مجاز است با اینجانب مطابق ضوابط و مقررات رفتار نموده و در صورت ابطال مدرک تحصیلی‌ام، هیچگونه ادعایی نخواهم داشت.

نام و نام خانوادگی: مصطفی کمندی

تاریخ و امضاء:

سپاسگزاری:

حضرت علی (ع):

حمد و سپاس پروردگار یکتا را سزااست که عزیز و عظیم است

و طاعتش موجب قربت است.

انجام این پژوهش را مدیون انسان های بزرگی هستم که محبت

و خضوع را بیان کرده اند.

استاد بزرگوار خانم دکتر غفاری و جناب دکتر یاسی و اساتید محترم:

(استادان فرزانه و فرهیخته ای که در راه کسب علم و معرفت مرایای نمودند).

تقدیم به :

پدر و مادر مهربانم : آنان که ناتوان شدن که ما به توانایی برسیم...

موهایشان رو سپید کردند تا ما رو سفید شویم...

و عاشقانه سوختند تا گرما بخش وجود ما روشنگر راهمان

باشند...

برادر بزرگوarm علی : برادر عزیزم دوست داشتند بزرگترین نعمت دنیا است ...تقدیر و تشکر

فراوان از برادرم که مرا یاری کرده الگو و راهنمایی زندگیم بوده...

همسر عزیزم : به پاس قدر دانی از قلبی آکنده از عشق و معرفت که محیطی سرشار از

سلامت و امنیت و آرامش و آسایش برای من فراهم کرده است...

چکیده

در این پژوهش شبیه سازی سه بعدی هیدروسیکلون برای ۱۴ حالت مختلف به کمک نرم افزار فلوئنت انجام گرفت. سپس به کمک روش رویه سطح پاسخ (respose surface model) یک مساله بهینه سازی تعریف گردید تا ابعاد هندسی بهینه را جهت دست یابی به حداکثر راندمان و حداقل افت فشار استخراج کند.

نتایج شبیه سازی با نتایج واقعی تطابق خوبی با یکدیگر دارند. میزان خطا در نمونه صنعتی در مقایسه با نمونه شبیه سازی شده، برای راندمان و قطر برش به ترتیب ۷٪ و ۵٪ بدست آمد مدل رینولدز استرس بهترین مدل مغشوش جهت شبیه سازی جریان های چرخشی مانند جریان داخل سایکلون است. این مدل در مقایسه با مدل های K-ε دقت بالاتری دارد برای پایداری در حل و همگرایی سریع انتخاب مدل PRESTO برای گرادیان های فشار و همچنین استفاده از شبکه ریز پیشنهاد میگردد نتایج شبیه سازی نشان داد فشار در مرکز سایکلون مقدار کمتری نسبت به دیگر نقاط دارد همچنین در این فضا جهت جریان سیال معکوس است و سیال از پایین به بالا حرکت میکند مقادیر بهینه ابعادی سایکلون جهت رسیدن به حداکثر راندمان و حداقل افت فشار مطابق جدول زیر از آنالیز رویه پاسخ بدست آمد. میزان بهینه ابعاد سایکلون برای دست یابی به بالاترین راندمان و پایین ترین افت فشار بصورت ($b/D=0,243$, $a/D=0,634$, $Dx/D=0,614$, $Ht/D=4,44$, $h/D=1,713$, $S/D=0,09$, $Bc/D=0,43$, $Li/D=1,05$, $Le/D=1,74$) است.

لغات کلیدی: هیدروسیکلون- بهینه سازی ابعادی- روش رویه پاسخ - مدل تنش رینولدز

فهرست مطالب

۴	فصل ۱: کلیات پژوهش
۱-۱-۱	مقدمه
۲-۱-۱	لغات و اصطلاحات فنی تخصصی
۱-۲-۱-۱	هیدروسیکلون
۲-۲-۱-۱	دینامیک سیالات محاسباتی
۳-۲-۱-۱	میعانات گازی
۴-۲-۱-۱	فشار استاتیکی
۵-۲-۱-۱	تعریف افت فشار
۶-۲-۱-۱	افت فشار کلی سایکلون
۷-۲-۱-۱	سرعت شعاعی
۸-۲-۱-۱	سرعت محوری
۹-۲-۱-۱	سرعت مماسی
۱۰-۲-۱-۱	الگوی جریان
۱۱-۲-۱-۱	بازده جداسازی
۱۲-۲-۱-۱	مدل های دوفازی در شبیه سازی سیالات
۱۳-۲-۱-۱	مدل توربولانسی تنش رینولدز
۳-۱-۱	اهمیت و ضرورت تحقیق
۴-۱-۱	هدف تحقیق
۵-۱-۱	بیان مساله
۶-۱-۱	سوالات تحقیق فرضیات پژوهش
۷-۱-۱	محتویات فصول مختلف پژوهش
۸-۱-۱	هیدروسیکلون
۱-۸-۱-۱	اصول کارگرد هیدروسیکلون
۲-۸-۱-۱	کاربرد، مزایا و معایب هیدروسیکلون
۳-۸-۱-۱	حرکت قطره در هیدروسیکلون
۴-۸-۱-۱	توزیع سرعت و فشار
۵-۸-۱-۱	اصول طراحی هیدروسایکلون
۲۱	فصل ۲: مروری بر مقالات
۱-۲-۱	مقدمه
۲-۲-۱	مروری بر کار گذشتگان

۳۴	فصل ۳: شبیه سازی
۳۵	۱-۳-۱- مقدمه
۳۶	۲-۳-۲- شبیه سازی و بهینه سازی ابعادی
۳۶	۱-۳-۲-۱- تابع هدف
۳۷	۲-۳-۲-۲- متغیرهای مستقل
۳۸	۳-۳-۳- رسم هندسه
۳۸	۲-۳-۳- شبکه بندی هندسه
۴۰	۳-۳-۳- تنظیمات حل در فلوئنت
۴۱	۴-۳-۳- تنظیمات مربوط به مدل اغتشاش
۴۱	۱-۴-۳-۳- مدل مغشوش RSM
۴۳	۵-۳-۳- شرایط مرزی
۴۴	۴-۳-۴- اعتبار سنجی شبیه سازی
۴۵	۵-۳-۵- نتایج
۴۷	۲-۵-۳- تعریف راندمان جداسازی
۴۷	۶-۳-۶- بهینه سازی به کمک روش رویه سطح پاسخ

۵۵	فصل ۴: نتیجه گیری
۵۶	۱-۴-۱- مقدمه
۵۶	۲-۴-۲- جمع بندی و نتیجه گیری
۵۸	۳-۴-۳- پیشنهادات

۵۹	منابع و مراجع
----	---------------

Error! Bookmark not defined.	فهرست اشکال
۱-۱	شکل ۱-۱ شماتیک نحوه کارکرد یک سیکلون در جداسازی فاز سبک (هیدروکربن) از فاز سنگین (آب).
۱۵	فاز هیدروکربن (فاز سبک) از بخش بالایی و فاز سنگین از بخش پایینی خارج میگردد.
۱۷	شکل ۲-۱ شماتیک یک هیدروسیکلون و نحوه جداسازی و خروج فاز سبک از داخل آن []
۳۵	شکل ۱-۳ مراحل مختلف شبیه سازی مرحله به مرحله مدلسازی هیدروسایکلون
۳۶	شکل ۲-۳ بخش های اصلی هر نوع مساله بهینه سازی در علوم مهندسی
۳۷	شکل ۳-۳ متغیرهای مستقل مساله بهینه سازی
۳۸	شکل ۴-۳ هندسه سايكلون مورد بررسی
۴۰	شکل ۵-۳ نمای سطح خارجی هندسه شبکه بندی شده
۴۴	شکل ۶-۳ اعتبار سنجی نتایج شبیه سازی برای قطر برش و افت فشار سايكلون

- شکل ۳-۷ کانتور فشار استاتیک در مقطع عرضی و مقطع از بالا ۴۵
- شکل ۳-۸ کانتور سرعت مماسی در مقطع عرضی و مقطع از بالا ۴۶
- شکل ۳-۹ کانتور سرعت محوری در مقطع عرضی و مقطع از بالا ۴۷
- شکل ۳-۱۰ نمودار راندمان جداسازی سایکلون بر حسب متغیرهای مستقل $X_1-X_2-X_3-X_4$ ۴۹
- شکل ۳-۱۱ نمودار راندمان جداسازی سایکلون بر حسب متغیرهای مستقل $X_1-X_5-X_6-X_7$ ۵۰
- شکل ۳-۱۲ نمودار راندمان جداسازی سایکلون بر حسب متغیرهای مستقل $X_2-X_3-X_4-X_5$ ۵۱
- شکل ۳-۱۳ نمودار راندمان جداسازی سایکلون بر حسب متغیرهای مستقل $X_3-X_4-X_5-X_6$ ۵۲

فهرست جداول

- جدول (۱-۱) مزایای بکارگیری هیدروسیکلون به عنوان جداکننده [...] ۱۶
- جدول (۲-۱) معایب بکارگیری هیدروسیکلون به عنوان جداکننده [۴] ۱۶
- جدول (۱-۳) متغیرهای مستقل مورد استفاده در این پژوهش ۳۷
- جدول (۲-۳) ابعاد مشخصات فیزیکی هیدروسیکلون شبیه سازی شده (ابعاد هندسی در شکل بالا نشان داده شده است) ۳۸
- جدول (۳-۳) مشخصات شبکه هندسه مورد مطالعه ۳۹
- جدول (۴-۳) تنظیمات اصلی نرم افزار فلونت و نحوه اتصال معادلات ۴۱
- جدول (۵-۳) شرایط مرزی سایکلون مورد مطالعه ۴۴
- جدول (۶-۳) مقادیر بهینه ابعادی سایکلون جهت رسیدن به حداکثر راندمان و حداقل افت فشار ۵۴

فصل ۱:

کلیات پژوهش

۱-۱- مقدمه

از جمله تجهیزات غیر مکانیکی که امروزه برای جداسازی مایع - مایع مورد استفاده قرار می گیرد هیدروسیکلون ها می باشد که اساس کار آن بر نیروی سانتریفوژ برای جداسازی مایع پخش شده است. در سایکلون از گرادیان فشار برای چرخش مایع استفاده می شود. ذرات و قطرات اختلاف دانسیته ای دارند که باعث جداسازی آن ها به وسیله نیروهای سانتریفوژی می شود.

طراحی های اولیه هیدروسیکلون تقریباً صدسال سابقه دارد ولی کاربرد گسترده آن در صنایع تنها پس از جنگ جهانی دوم بوده است. هیدروسیکلونها ابتدا در فرآیندهای معدنی و استخراج معادن مورد استفاده بوده اند. اما پس از مدتی ، استفاده از آن ها در صنایع شیمیایی، پتروشیمی، تولید نیرو، نساجی، فلزی و بسیاری دیگر از صنایع آغاز گردیده و امروزه کاربرد آن در اکثر صنایع مرسوم بوده و پیوسته بر دامنه آن افزوده می شود.

امروزه در مناطق مختلف جهان در خشکی و دریا به منظور استخراج نفت و گاز عملیات مختلفی صورت می گیرد. یکی از مشکلات دائمی در تولید نفت و گاز، فرایند تولید آب از مخازن می باشد که جز جدانشدنی فرایند تولید هیدروکربن ها می باشد. این آب تولیدی به دلیل مجاورت با مخازن از لحاظ کیفیت شبیه به نفت و یا گاز تولیدی می باشد. ضمن اینکه مواد مختلفی در طی مراحل مختلف از اکتشاف تا تولید مورد استفاده قرار می گیرند که برخی از آن ها خطرناک و سمی بوده و می توانند اثرات زیانباری از جنبه های مختلف داشته باشند. در مرحله برداشت از یک چاه نفت یا گاز، آب همراه از جمله آلودگی هایی می باشد که در این حین تولید شده و به طور قطع به یقین تأثیرات خود را بر محیط زیست خواهد گذاشت.

در بسیاری از مناطق جهان قوانین و مقرراتی برای جلوگیری از آلودگی های محیط زیست وضع و

حتی در برخی از مناطق بسیاری از فعالیت‌هایی که منجر به تولید پسماندهای خطرناک نفت و گاز می‌شوند ممنوع گردیده است. حد مجاز نفت و روغن در آب تولیدی برای تخلیه به دریا در استرالیا ۳۰ میلی گرم در لیتر می‌باشد. در خصوص موادی که از نظر محیط‌زیستی نگرانی قابل توجهی را ایجاد می‌کنند، بیشتر کشورها استانداردهای سخت و دقیقی برای تخلیه آب تولیدی تنظیم کرده‌اند. به عنوان مثال حد متوسط ماهیانه برای تخلیه نفت و روغن و میعانات گازی در آب تولیدی در ونزوئلا برابر با ۲۰ میلی گرم در لیتر می‌باشد.

در کشور ما میزان نفت و روغن در آب تولیدی برای تخلیه، بر اساس کنوانسیون کویت برای متوسط روزانه ۱۵ میلی گرم در لیتر می‌باشد. رشد روزافزون فعالیت‌های صنعتی از یک سو و عدم رعایت الزامات زیست محیطی و مدیریت نامناسب پسماندهای تولیدی از سوی دیگر، سبب شده است که در چند دهه اخیر مقادیر زیادی از پسماندهای ناشی از فعالیت‌های نفتی به محیط‌زیست راه پیدا کند. در صورتی که برنامه‌ریزی مناسب جهت تصفیه و یا حذف پسماندهایی که به محیط‌زیست تخلیه می‌شوند صورت نپذیرد این مهم می‌تواند اثرات نامطلوبی به دنبال داشته باشد.

اثرات زیست محیطی هیدروکربن‌ها و مواد سمی موجود در آب تولیدی بر روی اکوسیستم، گیاهان، جانوران و انسان در این بین از مهم‌ترین موضوعات خواهد بود. امروزه توسعه روزافزون آگاهی عمومی درباره محیط‌زیست در فرایند تولید از چاه‌های نفت و گاز باعث توجه شرکت‌ها و خریداران به این مهم شده است، بطوریکه مسائل زیست محیطی نقش تعیین کننده ای را در انتخاب تجهیزات و همچنین استفاده از تکنولوژی‌های جدید برای دفع این مواد و به حداقل رساندن آلودگی، ایفا می‌کند.

یکی از مهمترین عوامل در کاهش اثرات منفی زیست محیطی آب تولیدی مدیریت صحیح آن می‌باشد، بگونه ای که برخی مواقع هزینه های مورد نیاز در حذف آلودگی های یک پسماند و یا کنترل

انتشار آلودگی آن با اعمال مدیریتی صحیح و ابتکاری به میزان چشمگیری کاهش پیدا خواهد کرد.

با توجه به توسعه روزافزون صنعت نفت و گاز در کشور ما و اینکه به طور معمول با گذشت زمان و به دلایل مختلف، تولید آب همراه نفت و گاز روز به روز افزایش می یابد، در نظر گرفتن تمهیدات لازم جهت کاهش این صدمات و پیشگیری از آن ضروری به نظر می رسد. با توجه به موارد ذکر شده استفاده از هیدروسایکلونها به دلیل سادگی و هزینه بهره برداری پایین جایگاه ویژه ای در کاهش آلودگی زیست محیطی دارد. عوامل مهمی از قبیل تنوع کاربرد، توانایی طبقه بندی و تغلیظ، نداشتن قسمت های متحرک، سادگی در نصب و نگهداری، هزینه های پایین، باعث استفاده هر چه بیشتر از این دستگاه شده است. کاربرد هیدروسایکلون در صنعت به نوعی از جداسازی دو فازی مربوط می شود که مایع بعنوان یک سوسپانسیون واسطه عمل می کند. در این زمینه می توان به مواردی نظیر تصفیه مایع، تغلیظ لجن، طبقه بندی یا دسته بندی ذرات جامد و مایع... اشاره نمود.

هیدروسایکلون با استفاده از نیروی گریز از مرکز برای جداسازی ذرات جامد و مایع از مایع و یا گاز بکار می رود، قطر آن معمولاً از ۱۰ میلی متر تا ۲/۵ متر تغییر می کند و از موادی از قبیل فولاد، سرامیک، چینی، پلی اورتان و پلاستیک ها ساخته می شود. هر واحد به منظور کار روی ظرفیت، غلظت و اندازه مشخصی طراحی و ساخته می شود و در این رابطه مشکلات زیادی وجود دارد لذا تنها تعداد محدودی از کشورها در این مورد تحقیق و مطالعه نموده اند. با توجه به مزایای بسیار زیاد و کاربردهای رو به توسعه این وسیله، اهمیت توجه به موضوع روشن می گردد. امید است که با انجام این پروژه توانسته باشیم قدمی هر چند کوچک در این زمینه برداشته باشیم.

در این پژوهش، شبیه‌سازی فرآیند جدایش قطرات میعان‌ات گازی از فازآبی در یک هیدروسیکلون موردبررسی قرار گرفت بدین منظور از تکنیک دینامیک سیالات محاسباتی جهت بررسی عددی استفاده خواهد شد.

۱-۲- لغات و اصطلاحات فنی تخصصی

در ادامه لغات و اصطلاحات فنی مورد استفاده در این پژوهش آورده شده است.

۱-۲-۱- هیدروسیکلون

هیدروسیکلون‌ها به‌عنوان یکی از ابزارهای مهم در فرایند جداسازی و تصفیه سیالات مختلف مورد استفاده قرار می‌گیرند هیدروسیکلون که با نام سایکلون نیز شناخته می‌شود، دستگاهی برای جداسازی مواد جامد از مایع، جامد از گاز، مایع از مایع است. هیدروسیکلون با بهره‌گیری از انرژی دینامیکی، براساس اختلاف وزن مخصوص ذرات معلق در سیال پایه، به علاوه نیروی گریز از مرکز ایجادشده توسط چرخش سیال، جداسازی ذرات را انجام می‌دهد.

۱-۲-۲- دینامیک سیالات محاسباتی

دینامیک سیالات نام یکی از شاخه‌های بسیار پرکاربرد و وسیع مکانیک سیالات است. موضوع مورد مطالعه در این زمینه از علوم چگونگی رفتار مایعات و گازها به هنگام حرکت تحت اثر عوامل گوناگون می‌باشد. دینامیک سیالات محاسباتی علم پیش‌بینی جریان سیال، انتقال جرم و پدیده‌های وابسته به آن است که بوسیله حل معادلات ریاضی مطرح می‌گردد. حل معادلات با استفاده از یک فرآیند عددی است. این معادلات شامل، پایستاری جرم، مومنتم، انرژی، ذرات و غیره می‌باشد در این روش با تبدیل

معادلات دیفرانسیل پاره‌ای حاکم بر سیالات به معادلات جبری امکان حل عددی این معادلات فراهم می‌شود. با تقسیم ناحیه موردنظر برای تحلیل به المان‌های کوچک‌تر و اعمال شرایط مرزی برای گره‌های مرزی با اعمال تقریب‌هایی یک دستگاه معادلات خطی به دست می‌آید که با حل این دستگاه معادلات جبری، میدان سرعت، فشار و ... در ناحیه موردنظر به دست می‌آید.

۱-۲-۳- میعان‌گازی

به جریان هیدروکربن‌های مایع گفته می‌شود که سنگین‌تر از پنتان^۱ بوده و به هنگام برداشت از مخزن‌های گازی و نفتی به همراه آن‌ها وارد مسیر انتقال می‌شود.

۱-۲-۴- فشار استاتیکی

الگوی فشار اغلب سایکلونها مشابه است. زمانیکه گاز از قسمت بیرونی به قسمت داخلی گردابه جابه‌جا می‌شود، شتاب می‌گیرد و مطابق اصل بقا مومنتوم، فشار استاتیکی آن بطور شعاعی از دیواره تا مرکز کاهش می‌یابد و علت آن نیز میدان نیروی گریز از مرکزی است که توسط گردابه به آن وارد می‌شود. تا زمانیکه جریان چرخشی وجود دارد، درون گردابه‌یاب فشار استاتیکی به صورت شعاعی افزایش می‌یابد. این گرادیان فشار در جهت شعاعی در مقایسه با جهت محوری بسیار بزرگ‌تر است. یک ناحیه فشار منفی در محدوده مرکزی (محدوده گردابه اجباری) وجود دارد که علت آن حرکت چرخشی بالای آن است. این بدین معناست که گردابه می‌تواند فشار استاتیکی را به فشار دینامیکی تبدیل کند [۱]. در سایکلونهای با ورودی مماسی این تبدیل، شدت بیشتری دارد. به گونه‌ای که این نوع از سایکلونها در

مقایسه با سایکلونهای با ورودی سقف مارپیچ، دارای گردابه قوی تر هستند و در دیواره دارای فشار استاتیکی بالاتر و در مرکز دارای فشار استاتیکی پائین تر هستند [۱]

۱-۲-۵- تعریف افت فشار

اصطحکاک در دیواره ها و بخش گردابه به اتلاف انرژی مکانیکی و افزایش افت فشارهای دائمی در سایکلون منجر می شود. در محاسبه افت فشار ΔP_c در سایکلون به چهار زیرمجموعه قابل تقسیم است که در زیر به اختصار آورده شده است [۱]

۱- افت فشار انتهای دهانه ورودی

افت فشار بخش ورودی و انتهای آن کوچکترین این افتها بوده و از ۳ درصد افت فشار کل در یک سایکلون تجاوز نمی کند [۱]

۲- افت فشار فضای حلقوی بین بدنه و گردابه یاب

افت های فضای حلقوی بین بدنه سایکلون و گردابه یاب با زاویه ورودی بطور معکوس تناسب دارد، بطوریکه در سایکلون با زاویه ورودی کمتر بزرگترین مقدار را داشته و حدود ۱۰ درصد افت فشار کل را شامل می شود که باتوجه به بالا بودن سرعت مماسی در بخش بالایی این فضا قابل ملاحظه است [۱]

۳- افت فشار بدنه اصلی سایکلون (در زیر گردابه یاب)

افت فشار بدنه اصلی بزرگترین مقدار را به خود اختصاص می دهد. برای سایکلونهای با ورودی مماسی افت فشار بدنه اصلی بین ۴۵ تا ۵۲ درصد و برای برای سایکلونهای با ورودی سقف مارپیچ افت فشار بدنه اصلی از ۴۲ تا ۵۱ درصد گزارش شده است [۱]

۴- افت فشار گردابه یاب

برای سایکلون‌های با ورودی مماسی، افت فشار گردابه‌یاب در حدود ۳۴ تا ۴۹ درصد و برای سایکلون با سقف مارپیچ، افت فشار در گردابه‌یاب بین ۳۸ تا ۵۲ درصد است. هرچند افزایش زاویه ورودی در سایکلون‌های سقف مارپیچ به کاهش افت در بدنه اصلی منجر می‌شود ولی افت فشار در گردابه‌یاب را افزایش می‌دهد. علت این امر جریان چرخشی در گردابه‌یاب و ذخیره انرژی به صورت فشار دینامیکی در جزء سرعت مماسی گاز ورودی به گردابه‌یاب است که بدون تبدیل به فشار استاتیکی، هدر می‌رود. میسولیا و همکاران بیان کردند که با نصب ضد چرخش یا جبران‌کننده در گردابه‌یاب، این افت قابل کاهش خواهد بود [۱].

۱-۲-۶- افت فشار کلی سایکلون

در ادامه این پژوهش منظور از افت فشار سایکلون، افت فشاری است که از اختلاف فشار استاتیکی ورودی و گردابه‌یاب مطابق با پیشنهاد هوکسترا [۲] محاسبه می‌شود.

۱-۲-۷- سرعت شعاعی

باتوجه به تأثیر سرعت شعاعی بر فرار ذرات یا قطرات (فاز دوم) و کاهش بازده جمع‌آوری، تحلیل این پارامتر از اهمیت زیادی برخوردار است. بطور کلی این سرعت در مقایسه با سرعت‌های مماسی بسیار کوچکتر است و در ارتفاع سایکلون به صورت غیریکنواخت توزیع شده است. به علت تأثیر گردابه مرکزی در بخش داخلی، توزیع سرعت شعاعی در یک جهت مثبت و در جهت دیگر منفی است. درست در زیر گردابه‌یاب، جاییکه گاز بطور مستقیم به خروجی جریان می‌یابد (بدون اینکه به سمت پائین یعنی بخش مخروطی حرکت کند) یک جریان مدار کوتاه تشکیل می‌شود که به نشی لبه ۱

معروف است و شدیداً اثر منفی بر قابلیت جداسازی سایکلون دارد. در سایکلونها ورودی مماسی حداکثر سرعت شعاعی در مقایسه با سایکلونهای با ورودی سقف مارپیچ به ابعاد هندسی کانال ورودی بستگی دارد [۱]

۱-۲-۸- سرعت محوری

این جزء سرعت از جریان سیال به علت قابلیت انتقال ذرات به بخش جمع‌آوری اهمیت زیادی دارد. پروفیل سرعت محوری در بدنه سایکلون و در گردابه‌یاب به شکل حرف انگلیسی M است. در بدنه سایکلون، توزیع سرعت محوری نشان‌دهنده وجود دو جریان است که بوسیله سطحی که در آن سرعت محوری صفر است به دو بخش تقسیم و از هم جدا می‌شوند. یک جریان به سمت پائین و مستقیماً به ته سایکلون جریان دارد و دارای سرعت محوری منفی است (درست در کنار دیواره سایکلون) و جریان دیگر به سمت بالا (در شعاع‌های کوچکتر) درست به خروجی جریان دارد. نزدیک خط مرکزی یک ناحیه با سرعت محوری صفر یا گاه منفی وجود دارد. [۱]

پروفیل سرعت محوری تحت تأثیر زاویه ورودی است، هرچند این تأثیر در مقایسه با پروفیل سرعت مماسی چندان شاخص و قابل توجه نیست. در نزدیکی دیواره سیال پایه به سمت پائین جریان دارد. در اثر جریان شعاعی به سمت داخل، سیال جریان یافته به سمت پائین، هرچه به انتهای سایکلون نزدیک شود، ضعیف‌تر می‌شود. در بخش خروجی، جریان عمده‌تاً از ناحیه نزدیک دیواره خارج می‌شود.

۱-۲-۹- سرعت مماسی

سرعت مماسی بزرگترین و مهم‌ترین جزء سرعت برای ایجاد نیروی گریز از مرکز جهت

جداسازی ذرات است. این سرعت باعث ایجاد گردابه‌هایی می‌شود که از طریق گردابه ترکیبی رانکین^۱ قابل توضیح هستند. این گردابه شامل یک گردابه شبه اجباری (جسم صلب) است که در بخش مرکزی (هسته) در حال چرخش است و یک گردابه شبه آزاد در بخش خارجی در بخش مرکزی سرعت مماسی با شعاع افزایش می‌یابد و بعد از رسیدن به حداکثر مقدار خود در جهت شعاعی شروع به کاهش می‌کند. در اثر نیروی اصطکاک سرعت مماسی در مجاورت دیواره، با یک افت یا کاهش همراه است. در گردابه‌یاب سرعت مماسی در جهت خروج گاز کاهش می‌یابد که این امر نیز به دلیل اصطکاک در دیواره و هسته مرکزی گردابه است.

بزرگترین مقدار سرعت مماسی در دهانه ورودی و برای سایکلونهای با دهانه ورودی کوچکتر و به صورت ورودی مماس رخ می‌دهد. این مقدار با ورود به ناحیه حلقوی بین دیواره سایکلون و گردابه‌یاب کاهش یافته و هرچه پائین‌تر می‌رود (تا انتهای فضای حلقوی) بیشتر کاهش می‌یابد. حداکثر سرعت مماسی در ناحیه اصلی جداسازی در بدنه سایکلون اغلب از ناحیه زیر گردابه‌یاب تا قسمت پائینی مخروط سایکلون ثابت می‌ماند و در ناحیه خروجی فاز اول اندکی کاهش می‌یابد. حداکثر سرعت مماسی در ورودی گردابه‌یاب به شدت کاهش می‌یابد و این شدت کاهش برای سایکلون‌های با ورودی مماسی بیشتر است زیرا بیشتر بودن سرعت مماسی در گردابه‌یاب به معنای افت‌های بیشتر در اثر اصطکاک با دیواره خواهد بود.

۱-۲-۱۰- الگوی جریان

الگوی جریان در یک سایکلون، از توزیع میدان‌های فشار استاتیکی و سرعت در آن قابل توضیح است. میدان سرعت خود به سه جزء مماسی، محوری و شعاعی تقسیم می‌شود. کانتورهای نشان‌دهنده

^۱ Rankine Combine Vortex

مقادیر فشار استاتیکی، سرعت مماسی، محوری و شعاعی در صفحه عمودی نصف‌کننده طولی سایکلون قابل بررسی است.

۱-۲-۱۱- بازده جداسازی

بازده جمع‌آوری، η ، به صورت درصدی از دبی فاز ثانویه جمع‌آوری شده از بالا به دبی کل ورودی فاز ثانویه تعریف می‌شود. مقدار راندمان به کمک فرمول زیر به دست می‌آید:

$$E_{\tau} = \frac{\dot{m}_{\tau}^{\text{overflow}}}{\dot{m}_{\tau}^{\text{in}}} \quad (1-1)$$

۱-۲-۱۲- مدل‌های دوفازی در شبیه‌سازی سیالات

برای مدل‌های دوفازی فرض می‌شود که سیال پایه و فاز دوم می‌توانند میدان‌های سرعت متفاوتی داشته باشند. سه مدل دوفازی که به صورت معمول برای مدل‌سازی جریان‌های چندفازی استفاده می‌شوند مدل‌های حجم سیال ۱، مدل اولری-ترکیبی ۲ و مدل اولری-اولری ۳ هستند.

۱-۲-۱۳- مدل توربولانسی تنش رینولدز

از آنجا که حل دقیق و تحلیلی جریان‌های آشفته امکان‌پذیر نمی‌باشد و از آنجا که عمده جریان‌های طبیعی و کاربردی سیالات از نوع آشفته می‌باشند، مدل‌سازی توربولانس روز بروز توسعه بیشتری یافته است. بنابر دقت موردنیاز و امکانات موجود برای تحلیل هر جریان آشفته، مدل‌هایی با دقت‌های متفاوت قابل استفاده می‌باشند. امروزه با توجه به پیشرفت چشمگیر کامپیوتر و امکان محاسبات سنگین عددی،

^۱ VOF

^۲ EMM

^۳ EEM

تمایل به استفاده از مدل‌های توربولانس که دارای دقت بالا و امکان شبیه‌سازی فیزیکی قوی از جریان باشند بیشتر شده است. مدل توربولانس تنش‌های رینولدز^۱ ازجمله دقیق‌ترین مدل‌های بکار رفته می‌باشند که یک شبیه‌سازی دقیق فیزیکی از توربولانس انجام می‌دهد. در کار حاضر از این مدل استفاده شده است.

۱-۳- اهمیت و ضرورت تحقیق

در گذشته، تولید کنندگان صنعتی برای طراحی یک محصول، تنها بر آزمون (تست) های آزمایشگاهی و فیزیکی و محاسبات دستی تکیه می‌کردند، اما با افزایش پیچیدگی طراحی محصولات و همچنین فشار برای کاهش قیمت جهت رقابت در بازار، توسعه و آزمون فیزیکی محصول را به فرآیندی هزینه بر برای تولید کنندگان تبدیل کرده است.

آب تولید شده همراه نفت که شامل مخلوطی از ترکیبات آلی و معدنی می‌باشد به‌عنوان بزرگترین پسماند در صنایع بالادستی نفت مطرح می‌باشد. با افزایش برداشت از مخازن نفت و گاز حجم این آب روز بروز در حال افزایش بوده و تخلیه نامناسب آن در خشکی و دریا مشکلات زیست‌محیطی زیادی به همراه خواهد داشت. تاکنون روش‌های مختلفی جهت تصفیه آب تولیدی در مناطق دریایی مورد استفاده قرار گرفته اند، اما بیشتر آن‌ها تنها برای رفع آلودگی اولیه مناسب بوده و سیستم موثرتری برای تصفیه مورد نیاز بوده تا آب تولیدی قابل استفاده مجدد یا تخلیه در محیط شود. یکی از مهم‌ترین عوامل در تعیین روش عملیاتی در سکوها دریایی محدودیت فضا می‌باشد. در سکوها نفتی استفاده از روش‌های مکانیکی فشرده مرسوم است. به همین دلیل بکارگیری سایکلون‌ها جایگاه و اهمیت ویژه‌ای در این بخش دارد و این سیستم به‌عنوان مناسب ترین سیستم تصفیه آب تولیدی در مقایسه با دیگر تکنولوژی

^۱ RSM

های مورد استفاده معرفی شده است. بازده مناسب جداسازی، انعطاف پذیری، عدم حساسیت به نوسانات مختلف، هزینه پایین و فضای کم مورد نیاز این سیستم، شرکتهای نفتی را وادار به استفاده بیش از پیش از این تکنولوژی نموده است [۳].

۱-۴- هدف تحقیق

طراحی یک سایکلون با راندمان جداسازی بالا و افت فشار مطلوب نیازمند صرف وقت و هزینه زیاد است. درواقع ساخت نمونه های پایلوت با ابعاد هندسی مختلف و انجام آزمایشات گوناگون علاوه بر صرف هزینه زیاد زمان بر نیز می باشد. تکنیک دینامیک سیالات محاسباتی به مهندسين توانایی شبیه سازی بدون ساخت نمونه ی واقعی را می دهد. درواقع به کمک این تکنیک، تنها با حل معادلات حاکم بر جریان سیال می توان رفتار و الگوی جریان سیال را شبیه سازی کرد در این پژوهش ما به دنبال توسعه یک مدل عددی به منظور شبیه سازی یک سایکلون مایع-مایع به کمک مدل توربلانس رینولدز استرس و با بهره گیری از دیدگاه اولری -اولری هستیم درواقع به کمک شبیه سازی عددی میتوانیم زمان ماند قطرات، راندمان جداسازی، میزان افت فشار و الگوی جریان قطرات و سیال پایه همچنین پروفایل سرعت در هر مقطع را بطور دقیق محاسبه کنیم.

۱-۵- بیان مساله

به واسطه مزایای سایکلون های جداساز که شامل هزینه های پایین ساخت، نصب و تعمیر و نگهداری می باشد، از آن ها بطور گستردهای در صنایع مختلف استفاده میشود. برای شبیه سازی میدان جریان در سایکلون جداساز، از یک روش حجم کنترل استفاده خواهد شد که معادلات بقای جرم و مومنتوم را به روش تکراری حل میکند.

در این پژوهش، راندمان عملکرد هیدروسایکلون جدایش میعان‌ات گازی از آب مورد مطالعه و بررسی قرار گرفته می‌شود و به کمک تکنیک‌های دینامیک سیالات محاسباتی، پارامترهای موثر بر عملکرد آن بررسی خواهد شد. برای مقایسه بهتر بین نتایج شبیه‌سازی و نتایج واقعی، این تجهیز به صورت واقعی و در ابعاد و اندازه‌های صنعتی رسم و مورد شبیه‌سازی قرار می‌گیرد.

ابتدا هندسه سایکلون به کمک نرم‌افزار کتیا رسم و سپس به کمک نرم‌افزار انسیس^۱ شبکه‌بندی می‌شود سپس به کمک نرم‌افزار انسیس-فلوئنت^۲ هندسه‌ی شبکه‌بندی شده با در نظر گرفتن شرایط مرزی مناسب حل می‌شود تا نهایتاً پروفایل فشار، پروفایل سرعت در تمام میدان جریان و همچنین راندمان جداسازی به دست آید. در این شبیه‌سازی از دیدگاه اولری-اولری به حل مساله پرداخته می‌شود. جریان از نوع دو فازی و مغشوش در نظر گرفته خواهد شد. از مدل مغشوش RSM به منظور شبیه‌سازی جریان استفاده خواهیم کرد.

۱-۶- سوالات تحقیق فرضیات پژوهش

در زیر سوالات تحقیق به اختصار آورده شده است.

۱- آیا تکنیک‌های دینامیک سیالات محاسباتی به خوبی می‌تواند یک هیدروسایکلون جدا کننده

میعانات گازی را شبیه‌سازی کند؟ میزان خطای شبیه‌سازی چند درصد است؟

۲- شرایط بهره‌برداری از هیدروسایکلون چه تاثیری بر راندمان جداسازی دارد؟

۳- مدل‌های دوفازی فلوئنت به همراه مدل توربلانس RSM تا چه اندازه می‌تواند عملکرد یک

هیدروسایکلون را به درستی پیش بینی کند؟

^۱ ANSYS

^۲ ANSYS-FLUENT

فرضیه پژوهش: تکنیک‌های دینامیک سیالات محاسباتی به خوبی می‌تواند یک هیدروسایکلون جدا کننده میعان‌ات گازی را با دقت مناسب شبیه‌سازی کند و این امکان وجود دارد تا به کمک این تکنیک حالت‌های مختلف بهره‌برداری از هیدروسایکلون را شبیه‌سازی و بررسی نمود.

۷-۱- محتویات فصول مختلف پژوهش

در فصل اول، کلیات پژوهش شامل: مقدمه، ضرورت انجام پژوهش، هدف از این مطالعه، بیان مساله، فرضیات پژوهش و اصول کارکرد ساینکلون مطرح خواهد شد. در فصل دوم به مروری بر کارهای گذشته پرداخته شده است در فصل سوم به بررسی مبانی نظری کار پرداخته خواهد شد در فصل چهارم مراحل شبیه‌سازی در نرم‌افزار بیان می‌گردد. و در فصل پنجم به بحث و بررسی نتایج حاصل از شبیه‌سازی می‌پردازیم.

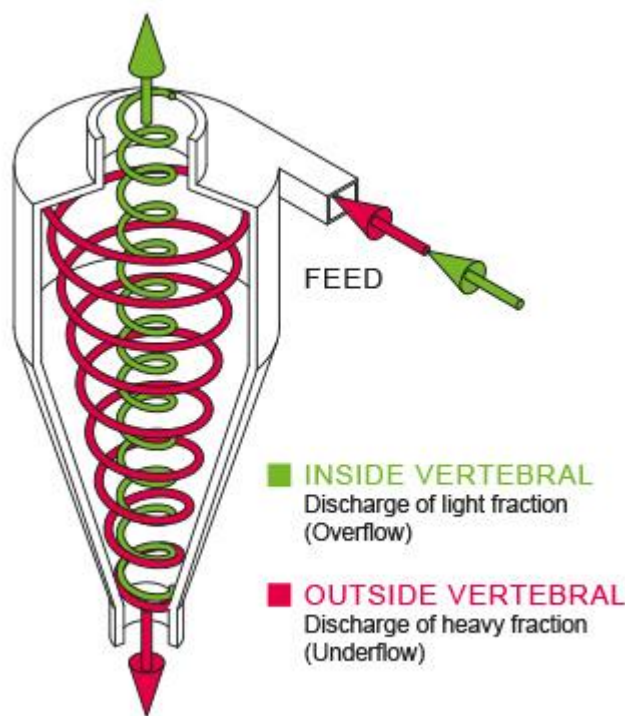
۸-۱- هیدروسایکلون

هیدروسایکلون‌ها در محدوده گسترده‌ای از صنایع شیمیایی، معدنی، نفت، گاز و پتروشیمی بکار گرفته می‌شوند. یک هیدروسایکلون معمولی تشکیل شده است از یک قسمت مخروطی با یک لوله تخلیه در رأس مخروط و یک لوله ورودی خوراک به قسمت بالایی ناحیه استوانه‌ای که در نقطه ورود به بدنه مماس شده است.

۸-۱-۱- اصول کارکرد هیدروسایکلون

اساس کارکرد هیدروسایکلون بدین گونه است که سیال به صورت مماسی به داخل هیدروسایکلون تزریق میشود و این ورودی مماسی سبب چرخش سیال درون دستگاه و تولید نیروی گریز از مرکز

میگردد. تحت اثر این نیرو ذرات سنگین‌تر به سمت دیواره حرکت می‌کنند و پس از برخورد با دیواره با لغزش در جهت پایین مخروط به سمت خروجی پایینی دستگاه می‌روند و از دستگاه خارج می‌شوند. ناحیه مخروطی، محل عبور این جریان گردابی به سمت پایین را باریک می‌کند و از همان جا یک ستون چرخشی از مایع و هم جهت با جهت چرخش جریان اصلی به سمت بالای مخروط شروع به گردش می‌کند. این جریان که حاوی ذرات فاز سبک است از طریق لوله خروجی بالای هیدروسیکلون که اصطلاحاً گردابه‌یاب نام دارد از هیدروسیکلون خارج می‌گردد.



شکل ۱-۱ شماتیک نحوه کارکرد یک سیکلون در جداسازی فاز سبک (هیدروکربن) از فاز سنگین (آب). فاز هیدروکربن (فاز سبک) از بخش بالایی و فاز سنگین از بخش پایینی خارج می‌گردد.

۱-۸-۲- مزایا و معایب هیدروسیکلون

استفاده از هیدروسیکلون‌ها ابتدا در صنایع معدنی و بعدها در زمینه های مهندسی شیمی، پتروشیمی، صنایع نساجی، صنایع فلزی و بسیاری از صنایع دیگر روز به روز افزایش یافت.

هیدروسیکلونها امروزه به خوبی جای خود را در صنعت باز کرده و استفاده از آنها توسعه یافته است. چندین ویژگی هیدروسیکلون ها آنها را به شکل خاصی مورد توجه قرار داده است. در ادامه مزایا و معایب هیدروسایکلون در دو جدول زیر ارائه شده است.

جدول (۱-۱) مزایای بکارگیری هیدروسیکلون به عنوان جداکننده [۴]

با توجه به نداشتن قطعات متحرک هزینه نگهداری پایینی دارند.
نصب و کاربرد آنها ساده است.
به فضای کم عملیاتی نیاز دارند.
بر خلاف جداسازهای دیگر بازدهی آنها با افزایش شدت جریان ورودی افزایش می یابد.
هزینه کم ساخت و تعمیر و نگهداری تجهیز در مقایسه با دیگر جدا کننده.
کار در شرایط سخت بهره برداری تحت فشار و دمای بالا حتی در محیط های خورنده شیمیایی
قابلیت جداسازی ذرات مایع یا جامد از سیال گازی یا مایع
قابل مقاوم سازی با مواد ضد خوردگی و ضد سایش و ضد رسوب

برخی از معایب آنها نیز شامل موارد زیر می باشد

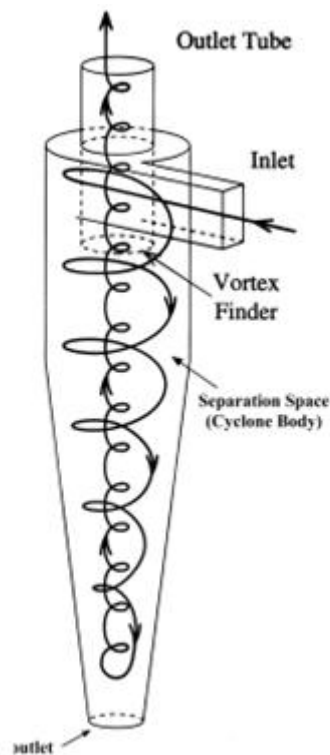
جدول (۲-۱) معایب بکارگیری هیدروسیکلون به عنوان جداکننده [۴]

بازده پائین برای ابعاد ذرات کوچکتر از حداقل قطر جداسازی
افت فشار بیشتر در مقایسه با دیگر انواع جدا کننده ها
در مقابل رسوب و سایش در شرایطی که در معرض مواد چسبنده و ساینده قرار می گیرد ضعیف است.
در صورت طراحی بهره برداری غیر اصولی، راندمان دارای شرایطی پایین تر از حد انتظار هستند.

۱-۸-۳- حرکت قطره در هیدروسیکلون

عمل جداسازی در هیدروسیکلون ها براساس نیروهای گریز از مرکز به وجود آمده در داخل بدنه هیدروسیکلون می باشد. هیدروسیکلون ها در مقایسه با سانتریفوژها هیچگونه قسمت متحرکی ندارند و گرداب لازم به وسیله پمپ کردن سیال به صورت مماسی داخل بدنه ثابت مخروطی - استوانه ای به

وجود می آید. غیر از نواحی داخلی و دقیقاً اطراف مجرای ورودی مماسی، حرکت سیال داخل بدنه سایکلون به شکل دایره‌ای است که به‌طور شماتیکی در * نشان داده شده است. بیشتر سیال ورودی به‌صورت یک جریان مارپیچ در قسمت مخروطی حرکت کرده و باعث می‌شود که جریان به سمت بالا و مرکز سایکلون هدایت شود. قسمتی از جریان که رو به پائین می‌باشد از دهانه ته ریز که در رأس قسمت مخروطی قرار دارد، خارج می‌گردد در حالی که بقیه جریان در جهت عمودی خودش معکوس شده و از طریق جریان مارپیچی داخلی حرکت کرده و از میان لوله سرریز خارج می‌شود.



شکل ۱-۲ شماتیک یک هیدروسایکلون و نحوه جداسازی و خروج فاز سبک از داخل آن [۵]

در بالای قسمت استوانه‌ای یک سری جریان جانبی وجود دارند که در میان پوسته بالائی در پایه لوله سرریز و در موازات با دیواره خارجی آن حرکت می‌کنند تا به بقیه جریان در سرریز بپیوندند. این جریان «اتصال کوتاه» جانبی یا برگشتی به علت حضور پوسته هیدروسایکلون و دیواره خارجی لوله

سرریز به وجود می آید که باعث کند شدن سرعت چرخشی جریان‌های مجاور خود می گردد و بنابراین سطوح کم مقاومتی از ناحیه خارجی با فشار بالا برای ناحیه داخلی با فشار کمتر به وجود می آورد.

۱-۸-۴- توزیع سرعت و فشار

سرعت جریان در یک هیدروسیکلون می تواند بطور مناسب در سه مولفه مماسی ، محوری و شعاعی مورد بحث قرار گیرد. بطور آشکار دانش توزیع سرعت داخل جریان جهت ساختن یک مدل تحلیلی برای فرآیند جداسازی و نهایتاً برای شبیه سازی مسیرهای ذره مهم می باشد.

به علت جریان گردابی هیدروسیکلون ، فشار استاتیکی بطور شعاعی به سمت بیرون افزایش می یابد. این هد استاتیکی گریز از مرکز در ابتدا به وسیله توزیع سرعت‌های مماسی سیال داخل جریان تعیین گردیده و موجب کمک بیشتری به افت در میان یک هیدروسیکلون در حال کار می گردد. بنابراین این موضوع بیان می کند که توزیع‌های سرعت مماسی می توانند از طریق اندازه گیری‌های ساده فشار استاتیکی شعاعی تخمین زده شوند.

۱-۸-۵- اصول طراحی هیدروسایکلون

درباره طراحی استفاده از هیدروسایکلون دو طرز تفکر تقریباً متفاوت وجود دارد. اول اینکه برخی از تولید کنندگان با توجه به ملاحظات تجاری فقط تعداد محدودی از سیکلون ها را تولید می کنند و جهت در نظر گرفتن طیف گسترده ای از شدت جریان ها، نسبت های طراحی را برای هر اندازه از سیکلون تغییر داده تا به نتیجه دلخواه برسند.

روش دیگر، توجه به هیدروسایکلون هائی است که از نظر هندسی متشابه بوده و دارای طراحی استاندارد می باشند. در این مورد تمام ابعاد سیکلون بر حسب قطر بدنه خواهد بود که این طراحی و انتخاب سیکلون را بطور قابل توجهی ساده می کند.

طرح های به دست آمده از روش دوم، یا شکل های هندسی هستند که با بهینه سازی دقیق توسط محققان قبلی به دست آمده اند و یا اینکه بطور ساده تر شکلهای تجربی بوده که بخوبی مورد آزمایش قرار گرفته و بنابراین می توانند با اطمینان بیشتر برای تعمیم به نمونه های واقعی بکار برده شوند.

یکی از پارامترهای مهم کار هیدروسایکلون، میزان افت فشار در داخل آن (بین دهانه ورودی و سرریز) است. توصیه می شود که هیدروسایکلون به نحوی تنظیم می شود که فشار سرریز آن نزدیک فشار محیط باشد. در این صورت افت فشار معادل فشار مایع در دهانه ورودی است افت فشار در داخل هیدروسایکلون را معمولاً به صورت ارتفاع مایع از دهانه ورودی هیدروسایکلون بیان می کنند که می توان افت فشار را تبدیل به ارتفاع توده کرد.

همان طور که گفته شد، بهتر است سرریز و ته ریز با فشاری نزدیک فشار محیط تخلیه شوند. چنانچه سرریز در ارتفاعی بالاتر از دهانه سرریز تخلیه شود، بخشی از سیال که در اصل باید از سرریز تخلیه شود، از ته ریز خارج خواهد شد و راندمان جداسازی کاهش پیدا می کند و چنانچه سرریز نیز

در ارتفاعی پائین تر از محل ورودی خوراک تخلیه شود، ممکن است مشابه سیفون عمل کند. این امر باعث اختلال در جدایش می شود. جریان سیفون را می توان با نصب یک لوله متصل به هوای محیط بر روی لوله سرریز هیدروسیکلون از بین برد.

ته ریز نیز باید با فشاری معادل یا نزدیک فشار محیط تخلیه شود. اگر فشار ته ریز منفی باشد تأثیر آن مشابه حالتی است که سرریز در ارتفاعی پائین تر از دهانه آن تخلیه شود. چنانچه در مقابل تخلیه ته ریز فشاری اعمال شود، دبی خارجی از آن کاهش می یابد و در این صورت لازم است دهانه ته ریز را بزرگ تر انتخاب کرد.

بنابراین یکی از نکات مهم در کار هیدروسیکلون ها، قابلیت مشاهده نحوه خروج مواد از ته ریز آن است. اگر ته ریز با فشاری معادل محیط خارج شود، خروج به صورت چتری تو خالی با زاویه ۲۰ تا ۳۰ درجه است. چنانچه زاویه چتر بیشتر باشد لازم است قطر دهانه ته ریز را کاهش داد و تا چگالی ته ریز افزایش یابد.

فصل ۲:

مروری بر مقالات

۲-۱- مقدمه

در این بخش مروری بر کارهای پیشین در زمینه جداکننده های سایکلونی صورت گرفته است. هیدروسیکلون ها در محدوده گسترده ای از صنایع شیمیایی، معدنی، نفت، گاز و پتروشیمی بکار گرفته می شوند. یک هیدروسیکلون معمولی تشکیل شده است از یک قسمت مخروطی با یک لوله تخلیه در رأس مخروط و یک لوله ورودی خوراک به قسمت بالایی ناحیه استوانه ای در نقطه ورود به بدنه مماس شده است. یکی از متغیرهای مهم در طراحی هیدروسیکلون، پیچیدگی جریان ورودی است که کاربرد مشترکی در تمام زمینه های معدنی دارد. استفاده از هیدروسیکلون ها ابتدا در صنایع معدنی و بعدها در زمینه های مهندسی شیمی، پتروشیمی، صنایع نساجی، صنایع فلزی و بسیاری از صنایع دیگر روز به روز افزایش یافت. هیدروسیکلون ها امروزه به خوبی جای خود را در صنعت باز کرده و استفاده از آن ها توسعه یافته است.

سیال به صورت مماسی به داخل هیدروسیکلون تزریق می شود و این ورودی مماسی سبب چرخش سیال درون دستگاه و تولید نیروی گریز از مرکز می گردد. تحت اثر این نیرو ذرات دورشت و سنگین تر به سمت دیواره حرکت می کنند و پس از برخورد با دیواره با لغزش در جهت پایین مخروط به سمت خروجی پایینی دستگاه که به آن ته ریز گفته می شود می روند و از دستگاه خارج می شوند. ناحیه مخروطی، محل عبور این جریان گردابی به سمت پایین را باریک می کند و از همان جا یک ستون چرخشی از مایع و هم جهت با جهت چرخش جریان اصلی به سمت بالای مخروط شروع به گردش می کند. این جریان به همراه ذرات سبکی که در حین مسیر به آن ملحق می شوند از طریق لوله خروجی بالای هیدروسیکلون که اصطلاحاً گردابه یاب^۱ نام دارد از هیدروسیکلون خارج می گردد. بدین طریق

^۱ Vortex finder

فازی که سبکتر است از بخش بالایی هیدروسایکلون و فازی که سنگین تر است از بخش انتهایی هیدروسایکلون خارج می‌شود. که بر اساس میزان جدایش این دو فاز می‌توان بازدهی کلی را تعریف کرد.

۲-۲- مروری بر کار گذشتگان

فعالیت‌های تحقیقاتی زیادی در ارتباط با بررسی عملکرد هیدروسایکلون‌ها انجام پذیرفته است. باسکار و همکارانش [۶] به مطالعه شبیه‌سازی به کمک CFD بر روی هیدروسایکلون‌ها با خوراک دوغابی با ۱۰٪ خاک رس پرداختند. جهت شبیه‌سازی از مدل‌های مختلف جریان درهم مانند مدل استاندارد RNG (k-ε) و RSM استفاده گردید. باتوجه به آزمایش‌ها و تجربیات شبیه‌سازی با مدل اغتشاش RSM نتایج بهتری داشته و درصد خطای ۴ تا ۸ درصد را نشان داد. وانگ و همکارش [۷] به مطالعه جریان سیال ذرات در هیدروسایکلون با ابعاد و اندازه‌های متفاوت پرداختند. در این تحقیق از مدل جریان درهم RSM و مدل لاگرانژین جهت شبیه‌سازی جریان دو فازی استفاده شد. در این تحقیق با تغییر اندازه و ابعاد هیدروسایکلون به این نتیجه رسیدند که سایکلون کوچک‌تر باعث افزایش بازدهی گشته و همچنین افزایش طول قسمت مخروطی کارایی را بهبود می‌بخشد. دای و همکارانش [۸] به مطالعه تجربی بر روی رفتار جریان دو فازی مایع - جامد در هیدروسایکلون پرداختند که با کمک گرفتن از ابزار لیزری دقیق رفتار ذرات و مسیر حرکت آن‌ها را مورد ارزیابی و بررسی قرار دادند. مطالعات آزمایشگاهی آن‌ها نشان داد که ذرات سنگین تمایل دارند به سمت دیواره حرکت کنند و هرچه اندازه ذرات کوچکتر می‌شود این حرکت به سمت محور هیدروسایکلون متمایل می‌گردد. تأثیر طراحی بدنه هیدروسایکلون و نوع ورودی هیدروسایکلون در جدایش نفت از آب توسط نوروزی و هاشم آبادی مطالعه شده است. [۹]

تأثیر واضح ابعاد ورودی سایکلون بر عملکرد آن در مقالات زیادی اثبات شده است ژائو [۱۰] اقدام به بررسی یک سایکلون با دو ورودی نموده و به امکان افزایش بازده سایکلون بدون افزایش افت فشار با تنها بهبود هندسه ورودی سایکلون اشاره کرده است. کیان و ژانگ تأثیر زاویه ورودی را مورد بررسی قرار داده‌اند که نتایج آن‌ها حالتی از کاهش ۳۰ درصدی افت فشار نسبت به سایکلون‌های متداول در زاویه ۴۵ درجه بوده است. این در حالی است که نتایج کیان و وو [۱۱] تنها کاهش ۱۵ درصد را در این زاویه نشان می‌دهد.

در مطالعاتی که موفقیان و همکاران [۱۲] بر روی سایکلون استوانه‌ای جداکننده گاز-مایع انجام دادند تأثیر مثبت افزایش یک ورودی به دو ورودی بر هیدرودینامیک در فاز جریان مورد بررسی قرار گرفته است که نتایج حاکی از بهبود عملکرد سایکلون استوانه دارای دو ورودی بوده است.

إردال و شیرازی [۱۳] سه نوع مختلف از هندسه ورودی یکی مورب یا مایل، دو عدد ورودی مایل با کاهش تدریجی نازل ورودی را مورد بررسی قرار داده‌اند که نتایج آن‌ها به عملکرد بهتر نازل ورودی دارای کاهش تدریجی اشاره دارد.

ژائو [۱۴] برای سایکلونها دارای دو ورودی امکان افزایش راندمان سایکلون را بدون افزایش چشمگیر در افت فشار با بهبود هندسه ورودی سایکلون گزارش کرده است.

در مقاله اخیر به مطالعه عددی - محاسباتی تأثیر افزایش ارتفاع و عرض دهانه ورودی بر افت فشار، قطر جداسازی و الگوی جریان و پروفیل سرعت با روش اغتشاش تنش رینولدز پرداخته شد.

در سایکلون‌ها، کلید موفقیت دینامیک سیالات محاسباتی^۱، در تشریح دقیق جریان مغشوش نهفته است [۱۵]. برای مدل کردن جریان مغشوش چرخشی در یک سایکلون مدل‌های زیادی در فلوئنت

^۱ Computational Fluid Dynamic (CFD)

موجود است. این مدل‌ها از مدل استاندارد $k - \varepsilon$ تا مدل‌ای پیچیده‌تر اغتشاش تنش رینولدز^۱ گسترده شده‌اند. همچنین روش شبیه‌سازی گرداب بزرگ^۲ به‌عنوان دیگر روش برای جایگزینی معادلات ناویر اتوکس متوسط گیری شده رینولدز^۳ پیشنهاد شده است.

بویسان یکی از اولین محققینی بود که اقدام به استفاده از دینامیک سیالات محاسباتی برای شبیه‌سازی سایکلون نمود [۱۶] آن‌ها دریافتند مدل استاندارد جریان مغشوش $K - \varepsilon$ برای شبیه‌سازی جریان چرخشی درون یک سایکلون به علت ویسکوزیته‌های اغتشاش بسیار زیاد و سرعت‌های مماسی غیر واقعی مناسب نمی‌باشد.

انتخاب مدل اغتشاش مناسب برای جریان‌های با چرخش بالا توسط محققین زیادی مورد بررسی قرار گرفته است [۱۵-۱۷-۱۸-۱۹-۲۰-۲۱-۲۲-۲۳-۲۴-۲۵-۲۶-۲۷-۲۸-۲۹]. چوان و گیمبان [۲۳] در تحقیقات خود ادعا کردند که مدل‌های استاندارد $k - \varepsilon$ و $RNG k - \varepsilon$ و $Realizable k - \varepsilon$ برای شبیه‌سازی و مدل کردن جریان چرخشی قوی موجود در جداکننده‌های سایکلونی بهینه و مناسب نیستند. در تحقیقات دیگری هُواکسترا [۱۷] و کایا و کاراگز [۲۸] بیان داشتند هر دو روش اغتشاش استاندارد $k - \varepsilon$ و $RNG k - \varepsilon$ نتایج غیر واقعی در خصوص پروفیل سرعت محوری برای جریان به سمت بالا در نزدیکی دیوار ارائه می‌کنند. تنها مدل اغتشاش تنش رینولدز قادر به پیش‌بینی گردابه ترکیبی مطابق با نتایج تجربی می‌باشد. در این پژوهش نیز از این مدل اغتشاش برای شبیه‌سازی جریان داخل سایکلون استفاده می‌کنیم. کاربرد موفقیت‌آمیز این مدل در مطالعات مختلف بر روی جداکننده سایکلونی توسط بسیاری از محققان گزارش شده است (برای مثال [۲۰ و ۲۳ و ۳۰ و ۳۱ و ۳۲ و ۳۳ و ۳۴]) همچنین در

^۱ Reynolds Stress Method (RSM)

^۲ Large Eddy simulation (LES)

^۳ Reynolds averaged Navier-Stokes (RANS)

تحقیقات اخیر بر روی جداکننده سایکلونی در بسیاری از مقالات به این کاربرد موفق اشاره شده است.

(برای مثال [۳۹-۳۸-۳۷-۳۶-۳۵])

مدل اغتشاش تنش رینولدز نیازمند حل معادلات انتقال برای هر یک از اجزاء تنش رینولدز می باشد. این کار موجب پیش بینی دقیق الگوی جریان چرخشی، سرعت محوری، سرعت مماسی، قطر جداسازی و افت فشار و در شبیه سازی سایکلون می گردد. [۲۸ و ۴۰ و ۳۵] در این مطالعه از این روش برای مشخص کردن تأثیر تغییر ابعاد ورودی بر جریان مغشوش در جداکننده سایکلون استفاده شده است.

تحقیق جامعی توسط السید و لیکور [۵] در سال ۲۰۱۱ با انتخاب روش توربلانسی تنش رینولدز صورت گرفت در این پژوهش تأثیر ابعاد ورودی بر عملکرد سایکلون و الگوی جریان مورد بررسی قرار گرفت که نتایج به شرح زیر ارائه شد:

- ۱- حداکثر سرعت مماس با افزایش ارتفاع و همچنین عرض دهانه ورودی، کاهش می یابد.
- ۲- حداکثر سرعت مماس در فضای سایکلون تقریباً ثابت می ماند و همچنین تغییرات فشار استاتیکی و سرعت محوری در جهت محور بسیار ناچیز است.
- ۳- افزایش عرض یا ارتفاع دهانه ورودی افت فشار را کاهش می دهد در حالیکه قطر جداسازی ذرات افزایش می یابد و در این صورت نیاز به بهینه کردن ابعاد جهت بهینه کردن قطر جداسازی ذرات در مقابل افت فشار می باشد.

۴- عرض (b/D) بیشتر از فاصله بین بدن سایکلون و گردابه یاب مناسب و مطلوب نمی باشد.

- ۵- تأثیر تغییرات عرض ورودی بر قطر جداسازی به مراتب بیشتر از تأثیر تغییرات ارتفاع ورودی بر قطر جداسازی ذرات می باشد.

۶- نسبت بهینه عرض به ارتفاع b/a مقداری بین ۰/۵ تا ۰/۷ می باشد.

مطالعات زیادی بر روی اثر قطر سر مخروطه بر روی الگوی جریان و عملکرد سایکلون تاکنون صورت گرفته است. گیمبان و همکاران [۴۱] در ۲۰۰۵ با شبیه سازی CFD به تأثیر قطر سر مخروط به عملکرد سایکلون پی بردند و نتیجه گرفتند که کاهش قطر بازده سایکلون و افت فشار را افزایش می دهد. برایان و همکاران [۴۲] مشاهده کردند در صورتیک گردابه به دیواره مخروطی شکل برخورد کند، ذرات به ورود مجدد به سایکلون باعث کاهش بازده می شوند و بنابراین سایکلونهای با قطر سر مخروط خروجی کوچک دارای بازده جمع آوری کمتری هستند. در حالیکه استرن و همکاران [۴۳] چنانکه ژیانگ و همکاران [۴۴] در ۲۰۰۱ به آن اشاره کردند معتقدند که قسمت مخروطی شکل سایکلون، بخش اساسی برای عملکرد سایکلون نیست و تنها امکان خروج ذرات جمع آوری شده را به بخش مرکزی در خروجی فراهم می کند.

ژوو و لی [۴۵] به فراهم شدن سرعت های مماسی بزرگ تر در نزدیکی انتهای سایکلون برای خروج ذرات کوچکتر با وجود قسمت مخروطی اشاره کرده اند. با وجود تمامی تحقیقات صورت گرفته، تاکنون مکانیزم دقیق جداسازی ذرات به درستی درک نشده است و بیشتر تئوری های موجود در رابطه با سایکلون براساس مدل های ساده شده یا روابط تجربی می باشند. چاه، گیمبان و چونگ [۴۶] در ۲۰۰۶ ژانگ و همکاران [۴۷] در ۲۰۰۱ براساس کارهای آزمایشی اقدام به ارزیابی مدل های مختلفی از جمله مدل بارث [۴۸]، مدل لیث و لیخت [۴۹] و مدل لوزیا و لیث [۵۰] نموده اند. که تمامی این مدل ها به درستی نتایج آزمایشگاهی ژانگ را پیش بینی می کنند.

چاه و همکاران [۴۶] اقدام به بررسی عددی سایکلونی مشابه با سایکلون استفاده شده در

آزمایشات ژانگ [۴۷] نمودند که با گداهای حجم محدود معمول در فلوننت انجام شد.

سو و همکاران [۵۴] اقدام به شبیه‌سازی سه عدد جداکننده سایکلونی مربعی با سه نوع ورودی مختلف کردند. نتایج آن‌ها حاکی از مناسب بودن روش مدل تنش رینولدز برای شبیه‌سازی جریان چرخشی دارای ذرات معلق در جداکننده مربعی بود. جداکننده‌های آن‌ها که با دو ورودی مایل و یک ورودی معمولی مورد شبیه‌سازی قرار گرفت، حداقل افت فشار و بهترین بازده جداسازی را داشت. مدل اغتشاش تنش رینولدز نیازمند حل معادلات انتقال برای هر یک از اجزاء تنش رینولدز است. این کار موجب پیش‌بینی دقیق الگوی جریان چرخشی، سرعت محوری، سرعت مماسی، قطر برش سایکلون و افت فشار در شبیه‌سازی سایکلون می‌شود [۳۵ و ۵۱، ۲۸]. بویسان و همکاران [۵۲] دریافتند که مدل استاندارد اغتشاش $k - \varepsilon$ به دلیل فرض همگن بودن اجزاء تنش رینولدز قادر به حل صحیح جریان‌های چرخشی شدید نیست. آن‌ها از مدل RSM برای جریان غیرهمگن داخل سایکلون استفاده کردند و نتایج آن‌ها با داده‌های سایکلون بازده بالای استیرمند و سایکلون ظرفیت بالای استیرمند تطابق خوبی داشت همگن بودن اغتشاش به معنای برقراری رابطه (۱-۲) در معادلات تنش رینولدز است،

$$\overline{u_i'^2} = \frac{2}{3}k \quad (i = 1, 2, 3), \quad \overline{u_i' u_j'} = 0 \quad (1-2)$$

مدل $k - \varepsilon$ RNG شامل جزئی اضافه شده و تصحیح شده برای نرخ پخش معادله انتخاب جهت بهبود وضعیت مدل اغتشاش $k - \varepsilon$ برای پیش‌بینی جریان‌های دارای انحناء زیاد و چرخش شدید است. هواکسترا و همکاران [۵۳] اقدام به بررسی نتایج محاسباتی مدل اغتشاش $k - \varepsilon$ ، $k - \varepsilon$ RNG و RSM و مقایسه آن با نتایج آزمایشگاهی حاصل از لیزر داپلر کردند. نتایج حاصل از مدل‌های $k - \varepsilon$ و $k - \varepsilon$ RNG برای توزیع سرعت‌های محوری و مماسی غیرواقعی بود و نتایج RSM تطابق خوبی با داده‌های آزمایشگاهی داشت.

السید و لیکور [۵] برای شبیه‌سازی جریان گاز-جامد در سایکلون، مدل تنش رینولدز^۱ را به کار بردند آن‌ها این مدل را مناسبترین مدل اغتشاش برای شبیه‌سازی جریان‌های چرخشی قوی اعلام کردند. در این

^۱ Reynolds Stress Model (RSM)

پژوهش از مدل RSM برای شبیه‌سازی استفاده خواهد شد.

سو و همکاران [۵۴] اقدام به شبیه‌سازی سه عدد جداکننده سایکلونی مربعی با سه نوع ورودی مختلف کردند. نتایج آن‌ها حاکی از مناسب بودن روش مدل تنش رینولدز برای شبیه‌سازی جریان چرخشی دارای ذرات معلق در جداکننده مربعی بود. جداکننده‌های آن‌ها که با دو ورودی مایل و یک ورودی معمولی مورد شبیه‌سازی قرار گرفت، حداقل افت فشار و بهترین بازده جداسازی را داشت. مدل اغتشاش تنش رینولدز نیازمند حل معادلات انتقال برای هر یک از اجزاء تنش رینولدز است. این کار موجب پیش‌بینی دقیق الگوی جریان چرخشی، سرعت محوری، سرعت مماسی، قطر برش سایکلون و افت فشار در شبیه‌سازی سایکلون می‌شود [۳۵، ۵۵، ۲۸]. بویسان و همکاران [۵۶] دریافتند که مدل استاندارد اغتشاش $k - \varepsilon$ به دلیل فرض همگن بودن اجزاء تنش رینولدز قادر به حل صحیح جریان‌های چرخشی شدید نیست. آن‌ها از مدل RSM برای جریان غیرهمگن داخل سایکلون استفاده کردند و نتایج آن‌ها با داده‌های سایکلون بازده بالای استیرمند و سایکلون ظرفیت بالای استیرمند تطابق خوبی داشت مدل $k - \varepsilon$ RNG شامل جزئی اضافه شده و تصحیح شده برای نرخ پخش معادله انتخاب جهت بهبود وضعیت مدل اغتشاش $k - \varepsilon$ برای پیش‌بینی جریان‌های دارای انحناء زیاد و چرخش شدید است. هواکسترا و همکاران [۵۷] اقدام به بررسی نتایج محاسباتی مدل اغتشاش $k - \varepsilon$ ، $k - \varepsilon$ RNG و RSM و مقایسه آن با نتایج آزمایشگاهی حاصل از لیزر داپلر کردند. نتایج حاصل از مدل‌های $k - \varepsilon$ و $k - \varepsilon$ RNG برای توزیع سرعت‌های محوری و مماسی غیرواقعی بود و نتایج RSM تطابق خوبی با داده‌های آزمایشگاهی داشت.

السید و لیکور [۵۸] برای شبیه‌سازی جریان گاز-جامد در سایکلون، مدل تنش رینولدز^۱ را به

^۱ Reynolds Stress Model (RSM)

کار بردند آن‌ها این مدل را مناسبترین مدل اغتشاش برای شبیه‌سازی جریان‌های چرخشی قوی اعلام کردند. در این پژوهش از مدل RSM برای شبیه‌سازی استفاده خواهد شد.

مدلهای اغتشاش مختلف به کار رفته اثبات کرد که فلوئنت با مدل تنش رینولدز^۱ به‌خوبی افت فشار و بازده جمع‌آوری سایکلون را پیش‌بینی می‌کند. آن‌ها همچنین دریافتند سایکلونهای با قطر سر مخروط کوچکتر نتایج بهتری در بازده جمع‌آوری در مقایسه با سایکلونهای با قطر سر مخروط بزرگتر دارند. البته این مورد زمانی صادق است که قطر سر مخروط کوچکتر از قطر تیوب خروج گاز نباشد و همچنین افت فشار در سایزهای مختلف مخروط تغییر شاخصی ندارد. هرچند ژیانگ و لی [۵۹] با بررسی عددی انجام داده به روش تنش رینولدز به تأثیر زیاد قطر سر مخروط بر میدان جریان اشاره کردند ولی مطالعه‌ای بر دنبال کردن مسیر ذرات انجام ندادند. السید و لیکور در تحقیق جامعی بر روی تأثیر قطر سر مخروط بر روی میدان جریان و عملکرد سایکلون به نتایج زیر رسیدند [۵].

نتایج:

- ۱- قطر سر مخروط خروجی ذرات تأثیر چندانی بر الگوی جریان و عملکرد سایکلون ندارد.
- ۲- با کاهش قطر سر مخروط خروجی، حداکثر سرعت مماسی کمی افزایش
- ۳- الگوی جریان و عملکرد سایکلون تغییر چندانی نمی‌کند.
- ۴- کاهش قطر سر مخروط خروجی اندکی افت فشار را افزایش می‌دهد و قطر جداسازی ذرات را کاهش می‌دهد.
- ۵- از هفت مدل ریاضی برای تخمین تأثیر قطر سر مخروط خروجی بر عملکرد سایکلون استفاده شد که همگی نتایج دینامیک سیالات محاسباتی (روش LES) مبنی بر کم تأثیر بودن اندازه قطر سر

^۱ RSM

مخروط خروجی بر عملکرد سایکلون را تأیید می‌کنند.

۶- هرچند نتایج حاکی از کم اثر بودن قطر سر مخروط بر عملکرد سایکلون می‌باشد ولی همانند

دیگر ابعاد هندسی نظیر قطر گردابه‌یاب یا ابعاد ورودی، قسمت مخروطی شکل یک بخش اساسی برای سایکلون در جمع‌آوری و انتقال ذرات به انتهای سایکلون می‌باشد و در نتیجه بدون وجود قسمت مخروطی شکل، بازده جمع‌آوری سایکلون بسیار پائین خواهد بود.

پدیده جریان در جداکننده‌های سایکلونی، پیچیده، چرخشی و سه بعدی است [۶۰]. اندازه

گردابه‌یاب نقش مهم و تأثیرگذار بر عملکرد سایکلون دارد به گونه‌ای که اندازه آن بر الگوی جریان درون سایکلون و الگوی جریان مارپیچ داخلی و خارجی نقش مهمی را ایفا می‌کند. ایوزیا و لیث [۶۱] اقدام به بهینه‌سازی پارامترهای طراحی سایکلون بویژه گردابه‌یاب نمودند تا بدین ترتیب عملکرد سایکلون را بهبود ببخشند کیم و لی [۶۲] شرح دادند که چگونه نسبت قطر گردابه‌یاب به قطر بدنه سایکلون بر بازده جمع‌آوری و افت فشار آن مؤثر است.

مور و مک فارلند [۶۳] سایکلونهایی را با شش گردابه‌یاب مختلف مورد آزمایش قرار دادند. نتایج

آنها نشان داد که تغییر قطر خروجی گاز با محدودیت با قید ثابت ماندن عدد رینولدز سایکلون، باعث تغییر در ایرودینامیک قطر ذرات جداسازی می‌شود.

باکری و حمدالله پور [۶۴] به بررسی آزمایشگاهی تأثیر سرعت ورودی، عرض ورودی، طول

گردابه‌یاب و قطر آن بر عملکرد سایکلون پرداختند. نتایج حاکی از تأثیر شدید طول و قطر گردابه‌یاب بر عملکرد سایکلون بود. همچنان نتایج نشان می‌داد طول گردابه‌یاب اثر مستقیم بر عملکرد کلی سایکلون دارد، به گونه‌ای که سبب کاهش افت‌های بازده ناشی از برگشت ذرات که بوسیله اثر برنولی و شناوری ذرات ایجاد می‌شود، می‌گردد. همچنین گردابه‌یاب با طول بیشتر، مانع فرار مستقیم ذرات از ورودی به

خروجی گاز (ایجاد مدار کوتاه) می‌گردد.

ژوو و لی [۶۵] در پی انجام مجموعه‌ای از بررسی‌های آزمایشگاهی بر بازده جمع‌آوری سایکلون-های کوچک با دبی جریان زیاد، بر تأثیر ارتفاع بخش استوانه‌ای سایکلون و طول گردابه‌یاب بر بازده جمع‌آوری ذرات تأکید کردند. نسبت‌های طول-های فوق به قطر بدنه سایکلون برای بخش استوانه‌ای ۰/۷۵ تا ۴/۵ و برای نسبت طول گردابه‌یاب از ۰/۵ تا ۱/۵ تغییر دادند. نتایج نشان‌دهنده کاهش افت فشار با افزایش ارتفاع بخش استوانه‌ای و کاهش ارتفاع گردابه‌یاب بود. این مقادیر همچنین بطور مشخصی جمع‌آوری ذرات را تحت تأثیر قرار می‌دهد. مقدار بهینه عملکرد در حالت $\frac{(h-S)}{D} = 1$ رخ می‌دهد که h ارتفاع بخش استوانه‌ای و S ارتفاع گردابه‌یاب و D قطر بدنه سایکلون است.

نتیجه تحقیقات لیم و همکاران [۶۶] در تأثیر شکل گردابه‌یاب بر عملکرد سایکلون نشان داد گردابه‌یاب با شکل مخروطی نسبت به شکل استوانه‌ای می‌تواند افت فشار کمتری داشته باشد ولی طول آن اثر چندانی بر بازده جمع‌آوری و افت فشار سایکلون ندارد. نتایج شبیه‌سازی سه بعدی یوهای و همکاران [۶۷] سایکلون با قطرهای مختلف گردابه‌یاب نشان داد، شدت بالای چرخش گاز و جریان برشی سرعت محوری و جریان برگشتی در افت انرژی گردابه‌یاب سهمیم هستند. زمانیکه قطر گردابه‌یاب کاهش می‌یابد، جریان رو به پائین کاهش یافته و سرعت مماسی کل سایکلون افزایش می‌یابد اما در عوض افت فشار افزایش می‌یابد.

جیان و یوهای [۶۸] با استفاده از روش تنش رینولدز و دنبال کردن تصادفی ذرات برای مدل‌سازی فاز ذرات جامد (فاز پراکنده^۱) نشان دادند که کاهش قطر گردابه‌یاب منجر به افزایش سرعت مماسی شده که بازده جداسازی را بهبود می‌بخشد. فی چی و همکاران [۶۹] به ارتباط خطی بین طول

^۱ Discreet phase method (DPM)

گردابه‌یاب و افت فشار اشاره کرده است.

در تحقیق جامعی توسط السید و لیکور [۷۰] در سال ۲۰۱۳ با استفاده از روش شبیه‌سازی گردابه‌های بزرگ به شبیه‌سازی نه عدد سایکلون پرداختند. در این تحقیق، تأثیر ابعاد مختلف گردابه‌یاب (شامل طول و قطر) جهت بررسی اثر ابعاد گردابه‌یاب بر عملکرد و الگوی جریان سایکلون مورد بررسی قرار گرفت و نتایج زیر حاصل گذارش شده است.

۱- کاهش چهل درصدی قطر گردابه‌یاب موجب افزایش ۱۷۵ درصدی افت فشار بی بعد (عدد اولر) و کاهش پنجاه درصدی عدد استوکس می‌شود.

۲- دو برابر کردن طول گردابه‌یاب باعث افزایش ۲۵ درصدی عدد اولر و عدد استوکس می‌شود.

۳- کاهش قطر گردابه‌یاب سبب تغییر تدریجی پروفیل سرعت محوری از W برعکس به شکل ۷ برعکس شده که با افزایش ۷۳ درصدی حداکثر سرعت محوری همراه است.

۴- کاهش چهل درصدی قطر گردابه‌یاب باعث افزایش $1/6$ برابری سرعت مماسی ماکزیمم نسبت به سرعت ورودی یعنی ۲۵ درصد افزایش می‌شود.

۵- افزایش نسبت $\frac{h-S}{D}$ باعث کاهش هر دو عدد اولر و استوکس می‌شود. هرچند مقادیر پارامترهای

عملکرد بستگی به مقدار ارتفاع بخش استوانه‌ای سایکلون دارد.

فصل ۳:

شبیه سازی

۳-۱- مقدمه

در این فصل روند شبیه سازی نرم افزاری به صورت گام به گام مطابق فلوچارت زیر آورده شده

است. سپس برای ابعاد هندسی مختلف کار شبیه سازی انجام گرفت و در نهایت به کمک روش RSM حالت بهینه جهت کمترین مقدار افت فشار استخراج شد.

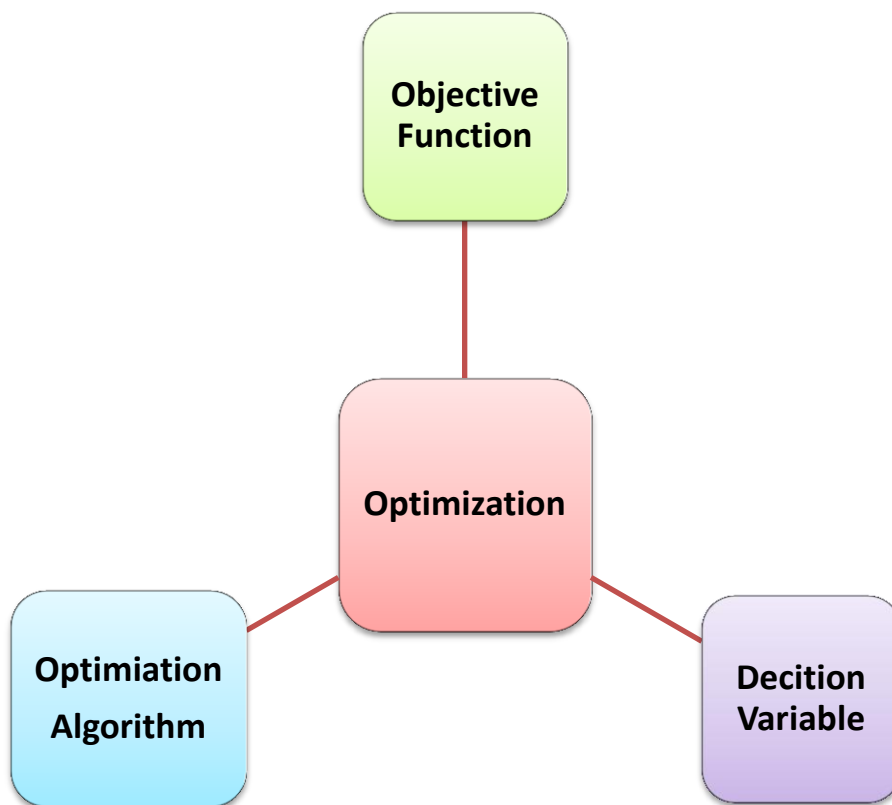


شکل ۳-۱ مراحل مختلف شبیه سازی مرحله به مرحله مدلسازی هیدروسایکلون

۳-۲- شبیه سازی و بهینه سازی ابعادی

در این پژوهش شبیه سازی برای ۱۴ حالت مختلف انجام گرفت. سپس به کمک روش رویه سطح پاسخ (response surface model) یک مساله بهینه سازی تعریف می‌گردد تا ابعاد هندسی بهینه را جهت دست یابی به حداقل افت فشار استخراج کند.

یک مساله بهینه سازی شامل ۱- تابع هدف ۲- متغیرهای مستقل ۳- الگوریتم بهینه کننده. می‌باشد که در ادامه هر کدام توضیح داده میشود:



شکل ۳-۲ بخش های اصلی هر نوع مساله بهینه سازی در علوم مهندسی

۳-۲-۱- تابع هدف

در این پژوهش افت فشار کلی سایکلون به عنوان تابع هدف انتخاب گردید. هدف به حداقل رساندن مقدار افت فشار سایکلون با یک ظرفیت مشخص است.

۳-۲-۱-۲- متغیرهای مستقل

در این پژوهش ۷ متغیر مستقل در نظر گرفته شده است. این متغیرها ابعاد هندسی سایکلون

میباشند:

$$\Delta p = f(x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6, x_7) \quad (1-3)$$

هر کدام از متغیرهای مستقل در جدول زیر به اختصار شرح داده شده است.

جدول (۱-۳) متغیرهای مستقل مورد استفاده در این پژوهش

Variables	minimum	center	maximum
Inlet height, $a/D = X1$	0.4	0.55	0.7
Inlet width, $b/D = X2$	0.14	0.27	0.4
Vortex finder diameter, $D_x/D = X3$	0.2	0.475	0.75
Total cyclone height, $H_t/D = X4$	3.0	5.0	7.0
Cylinder height, $h/D = X5$	1.0	1.5	2.0
Vortex finder length, $S/D = X6$	0.4	1.2	2.0
cone-tip diameter, $B_c/D = X7$	0.2	0.3	0.4

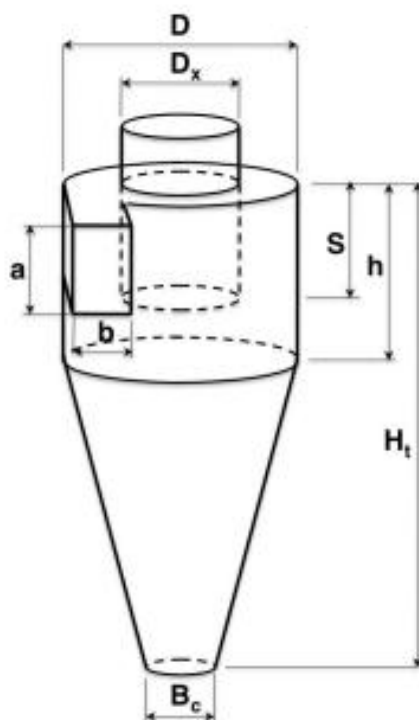


شکل ۳-۳ متغیرهای مستقل مساله بهینه سازی

۳-۳-۳- رسم هندسه

مدلسازی برای ۱۴ سایکلون مختلف با ابعاد هندسی مختلف صورت گرفت هندسه سایکلون مطابق

شکل زیر با ابعاد جدول زیر رسم گردید:



شکل ۳-۴ هندسه سایکلون مورد بررسی

جدول (۳-۲) ابعاد مشخصات فیزیکی هیدروسیکلون شبیه سازی شده (ابعاد هندسی در شکل بالا نشان داده شده است)

a/D	b/D	D_x/D	H_t/D	h/D	S/D	B_c/D
0.5	0.2	0.5	4.0	1.5	0.5	0.375

۳-۳-۲- شبکه بندی هندسه

تولید شبکه یا شبکه بندی تقسیم دامنه به تعدادی تقسیمات کوچکتر است که با هم تداخل

ندارند. نتیجه این تقسیم یک شبکه از سلول ها است. تولید شبکه یکی از مهم ترین بخش های هر شبیه

سازی CFD است. روش های عددی بر مبنای گسسته سازی فضایی میدان حل به حل معادلات

می پردازند. این بدین مفهوم است که بجای بررسی و تحلیل یک فضای پیوسته که شامل بینهایت نقطه

است، ترجیح داده میشود تا با تنها تعدادی از آن نقاط به عنوان نماینده آن فضا طرف شد و معادلات حاکم را برای آن ها حل نمود. این مهم یکی از موارد ضروری برای هر گونه تحلیل عددی با استفاده از روش های مرسوم از قبیل المان محدود^۱ و یا حجم محدود^۲ بوده و از آن با عنوان گسسته سازی فضایی^۳ نام برده میشود.

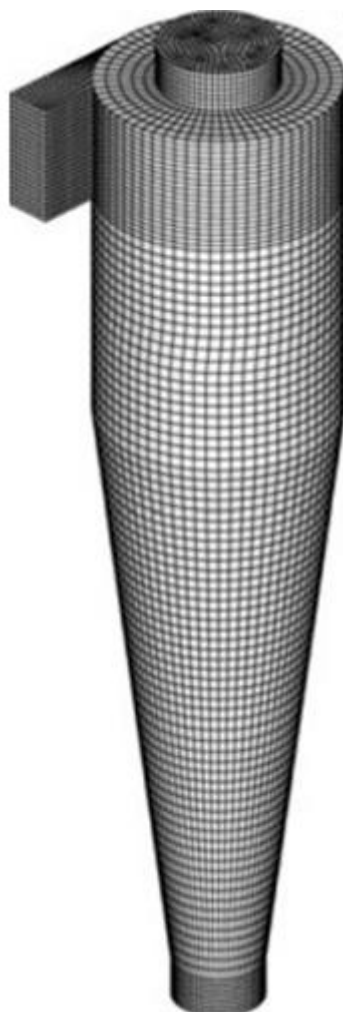
جدول (۳-۳) مشخصات شبکه هندسه مورد مطالعه

اطلاعات مربوط به نوع سلول و شبکه	
نوع سلول	منظم
تعداد گره	۱۰۷۹۰۰
حداکثر کیفیت شبکه	۱
حداقل کیفیت شبکه	۰/۵۸
متوسط کیفیت شبکه	۰/۹۱۵
حداکثر نسبت ظاهر (ابعادی)	۶/۱

۱ finite element

۲ finite volume

۳ spatial discretization



شکل ۳-۵ نمای سطح خارجی هندسه شبکه بندی شده

۳-۳-۳- تنظیمات حل در فلوئنت

با الگوبرداری از کارهای گذشتگان تنظیمات زیر منجر به حداکثرخواهد شد. الگوریتم و روش گسسته سازی معادلات مومنتوم، فشار و اغتشاش و نحوه اتصال معادلات سرعت و فشار مطابق جدول زیر است.

جدول (۴-۳) تنظیمات اصلی نرم افزار فلوئنت و نحوه اتصال معادلات

Momentum discretization	Turbulent kinetic energy	Turbulent dissipation rate	Reynolds stress
QUICK	Second order upwind	Second order upwind	First order upwind
	Pressure discretization	Pressure velocity coupling	Momentum discretization
Scheme	PRESTO	SIMPLEC	QUICK

۳-۳-۴ - تنظیمات مربوط به مدل اغتشاش

تنش رینولدز^۱ یکی از کاربردی ترین مدل ها برای جریان های چرخشی است. جریان داخل سایکلون یک جریان پیچیده چرخشی گردابه ای است که مدل های RSM به خوبی می توانند آنها را شبیه سازی کند.

۳-۳-۴-۱ - مدل مغشوش RSM

مدل اغتشاش تنش رینولدز بر اساس معادلات انتقال برای همه اجزاء تانسور تنش رینولدز و نرخ اتلاف عمل می کند. بدین ترتیب که معادله برای انتقال تنش های رینولدز در سیال و برای تک تک اجزاء تنش حل می شود. خروجی، مدلی دقیق ارائه می کند که سبب می شود این روش برای شبیه سازی جریان های پیچیده در مقایسه با دیگر روش ها مناسب تر باشد. معادلات پیوستگی و بقاء مومنتوم برای جریان دائم و تراکم ناپذیر به صورت زیر است: [۷۱]

$$\frac{\partial u_j}{\partial x_j} = 0 \quad (2-3)$$

^۱ Reynolds Stress Model (RSM)

$$u_j \frac{\partial u_i}{\partial x_j} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x_i} + \nu \frac{\partial^2 u_i}{\partial x_j \partial x_j} \quad (3-3)$$

که p فشار استاتیکی و u_j مؤلفه سرعت و ν لزجت سینماتیکی است.

معادلات حاکم بر مدل

این معادلات از یک بخش متوسط (متوسط زمانی) و یک بخش نوسانی برای جریان مغشوش

استفاده می کند که به صورت زیر هست:

$$U_i = \bar{U}_i + u'_i \quad (4-3)$$

$$P = \bar{P} + p' \quad (5-3)$$

متوسط گیری زمانی فوق منجر به ایجاد معادلات RANS می شود که به صورت زیر است:

$$\frac{\partial \bar{U}_j}{\partial x_j} = 0 \quad (6-3)$$

$$\bar{U}_j \frac{\partial \bar{U}_i}{\partial x_j} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial \bar{P}}{\partial x_i} + \nu \frac{\partial^2 \bar{U}_i}{\partial x_j \partial x_j} - \frac{\partial}{\partial x_j} (\overline{u'_i u'_j}) \quad (7-3)$$

قسمت آخر معادله فوق $\overline{u'_i u'_j}$ بیان کننده رابطه بین سرعت های نوسانی بوده که به آن تانسور تنش

رینولدز اطلاق می شود. در این رابطه دو مبحث مجزا برای تعریف تانسور تنش رینولدز مطرح می شود

که عبارتند از مدل های لزجت گردابه ای و مدل تنش رینولدز:

$$\overline{u'_i u'_j} = -\nu_t \left(\frac{\partial \bar{U}_i}{\partial x_j} + \frac{\partial \bar{U}_j}{\partial x_i} \right) + \frac{2}{3} \rho \delta_{ij} k \quad (8-3)$$

در معادله فوق ν_t لزجت سینماتیکی گردابه ای جریان مغشوش و δ_{ij} دلتا کرونیکر و k انرژی

جنبشی مغشوش هست.

$$k = \frac{1}{2} \overline{u'_i u'_i} \quad (9-3)$$

یکی از مناسب ترین مدل های RANS برای شبیه سازی جریان مغشوش در مبدل مدل تنش رینولدز

هست که دران معادله مومنتوم به صورت زیر ارائه می گردد:

$$\bar{U}_j \frac{\partial \bar{U}_i}{\partial x_j} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial \bar{P}}{\partial x_i} + \nu \frac{\partial^2 \bar{U}_i}{\partial x_j \partial x_j} - \frac{\partial}{\partial x_j} R_{ij} \quad (10-3)$$

که دران R_{ij} همان تانسور تنش رینولدز یا $\overline{u'_i u'_j}$ هست. در این مدل برای جریان مغشوش،

معادلات انتقال دیفرانسیلی جهت ارزیابی اجزاء تنش مغشوش ارائه می شود:

$$\begin{aligned} \bar{U}_k \frac{\partial}{\partial x_k} R_{ij} = & \frac{\partial}{\partial x_k} \left(\frac{\nu_t}{\sigma^k} \frac{\partial}{\partial x_k} R_{ij} \right) - \left[R_{ik} \frac{\partial \bar{U}_j}{\partial x_k} + R_{jk} \frac{\partial \bar{U}_i}{\partial x_k} \right] \\ & - C_1 \frac{\varepsilon}{K} \left[R_{ij} - \frac{2}{3} \delta_{ij} K \right] - C_2 \left[P_{ij} - \frac{2}{3} \delta_{ij} P \right] - \frac{2}{3} \delta_{ij} \varepsilon \end{aligned} \quad (11-3)$$

که دران جزء محصول اغتشاش P_{ij} به صورت زیر تعریف می شود:

$$P_{ij} = - \left[R_{ik} \frac{\partial \bar{U}_j}{\partial x_k} + R_{jk} \frac{\partial \bar{U}_i}{\partial x_k} \right], P = \frac{1}{2} P_{ij} \quad (12-3)$$

در معادله فوق P محصول انرژی جنبشی نوسانی و ν_t لزجت سینماتیک (گردابه ای) جریان

مغشوش و ثابت های $\sigma^k = 1$ و $C_1 = 1.8$ و $C_2 = 0.6$ می باشند. معادله انتقال برای نرخ تلفات

اغتشاش ε به صورت زیر ارائه می شود:

$$\bar{U}_j \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\nu + \frac{\nu_t}{\sigma^\varepsilon} \right) \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} \right] - C_{\varepsilon 1} \frac{\varepsilon}{K} R_{ij} \frac{\partial \bar{U}_i}{\partial x_j} - C_{\varepsilon 2} \frac{\varepsilon^2}{K} \quad (13-3)$$

که دران $K = \frac{1}{2} \overline{u'_i u'_i}$ و $\sigma^\varepsilon = 1.3$ و $C_{\varepsilon 1} = 1.44$ و $C_{\varepsilon 2} = 1.92$ هست.

۳-۵- شرایط مرزی

شرایط مرزی در واقع مقادیر هیدرودینامیکی متغیرهای سرعت یا فشار هستند که باید مقادیر آنها

بر روی مرز سیستم مشخص باشد در جدول زیر شرایط عملیاتی هیدروسیکلون از جمله دبی ورودی در

نظر گرفته شد،

جدول (۳-۵) شرایط مرزی سایکلون مورد مطالعه

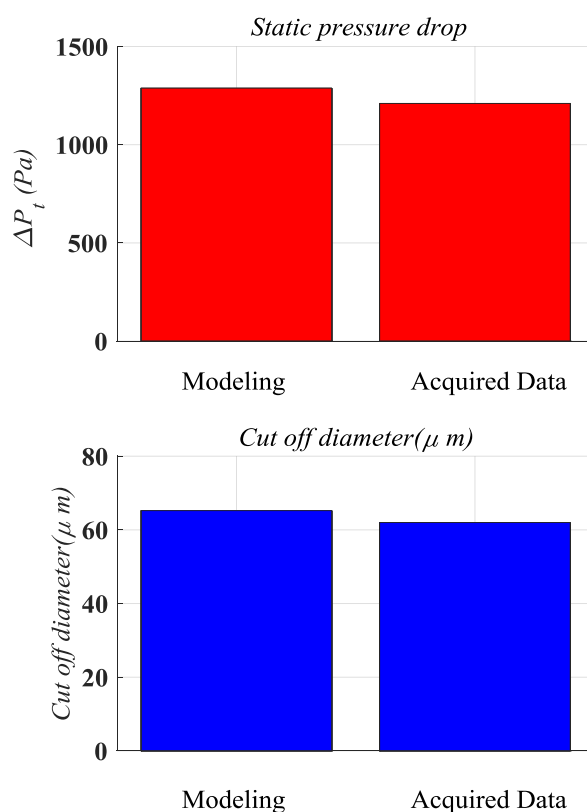
مرز	نوع شرط مرزی	مقدار
دیواره هیدروسایکلون	No slip condition	$V=0$
دهانه ورودی	Mass flow rate	۱,۳۲ kg/s
دهانه خروجی بالا	Pressure outlet (gauge)	.
دهانه خروجی پایین	Pressure outlet (gauge)	.

۳-۴- اعتبار سنجی شبیه سازی

جهت بررسی صحت مدل شبیه سازی نتایج شبیه سازی با نتایج تجربی مقایسه شد نتایج شبیه

سازی تطابق خوبی با نتایج تجربی نشان داد خطای شبیه سازی برای افت فشار کمتر از ۷ درصد و برای

قطر برش در حدود ۵ درصد بدست آمد.

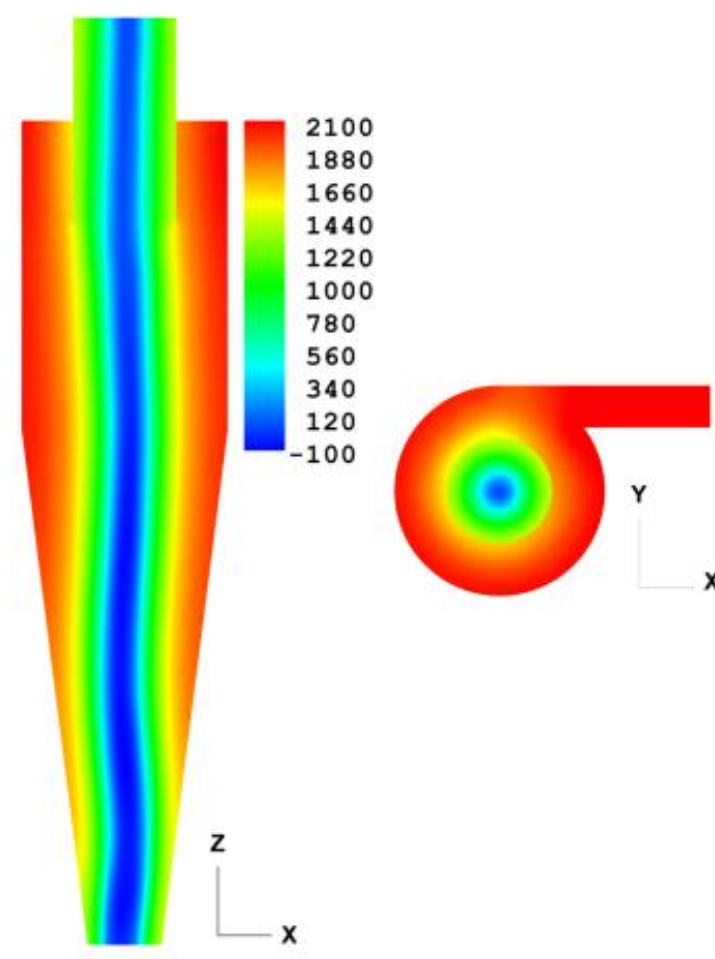


شکل ۳-۶ اعتبار سنجی نتایج شبیه سازی برای افت فشار و قطر برش و افت فشار سایکلون

۳-۵- نتایج

در ادامه نتایج به دست آمده از شبیه سازی شامل کانتور فشار استاتیک سرعت مماسی و سرعت محوری ارائه گردید.

نمودار فشار استاتیکی در دیواره ها حداکثر و هر آنچه با حرکت به مرکز سایکلون مقدار آن کمتر میشود. ناحیه کم فشار در وسط سایکلون قابل رویت است جریان سیال در این منطقه عموماً معکوس و از پایین به بالا است.



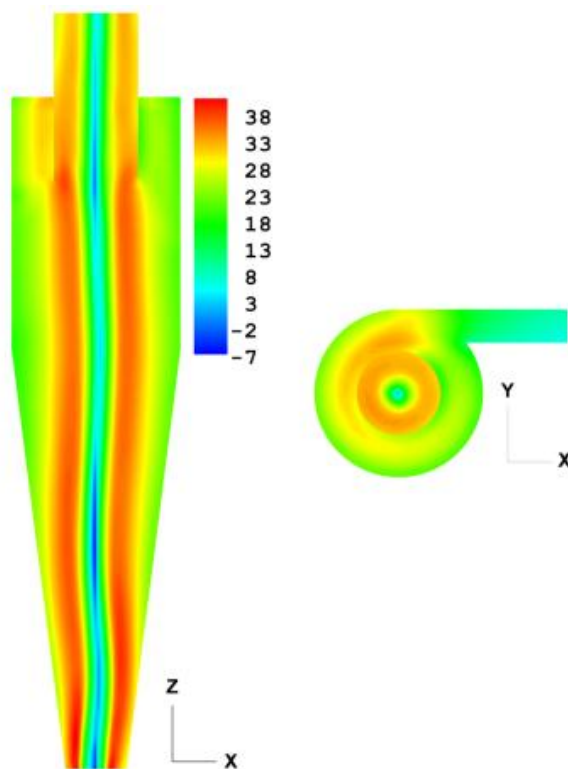
شکل ۳-۷ کانتور فشار استاتیک در مقطع عرضی و مقطع از بالا

کانتور سرعت مماسی و محوری در نمای برش عرضی و مقطع از بالا ارائه شده است سرعت در

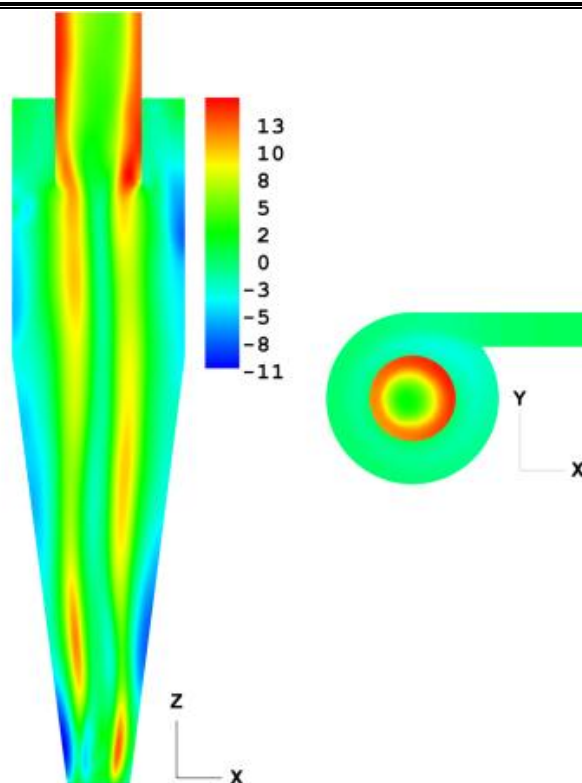
بخش مرکزی سایکلون کم و در دیواره ها نیز به صفر میرسد در ناحیه بینابین سرعت یک مقدار بیشینه

دارد بردار سرعت مماسی بردار اصلی سرعت است و بردارهای شعاعی و محوری کوچک و ناچیز است سرعت مماسی نیروی گریز از مرکز را جهت جداسازی دو فاز از یکدیگر تامین میکند.

سرعت مماسی بزرگتر، تامین کننده گردابه قوی تر است. نیروی گریز از مرکز قوی تر و راندمان جداسازی افزایش می یابد ولیکن افت فشار افزایش می یابد. افت فشار و راندمان جداسازی با یکدیگر در تضادند. در واقع بهبود راندمان سبب نامطلوب شدن افت فشار میشود. بهبود و کاهش در افت فشار سبب نامطلوب شدن راندمان میشود (قانون کلی در این رابطه به این صورت است که سرعت مماسی بزرگتر نیروی گریز از مرکز بزرگتر و نهایتاً بازدهی جداسازی بیشتر و افت فشار بیشتر است).



شکل ۳-۸ کانتور سرعت مماسی در مقطع عرضی و مقطع از بالا



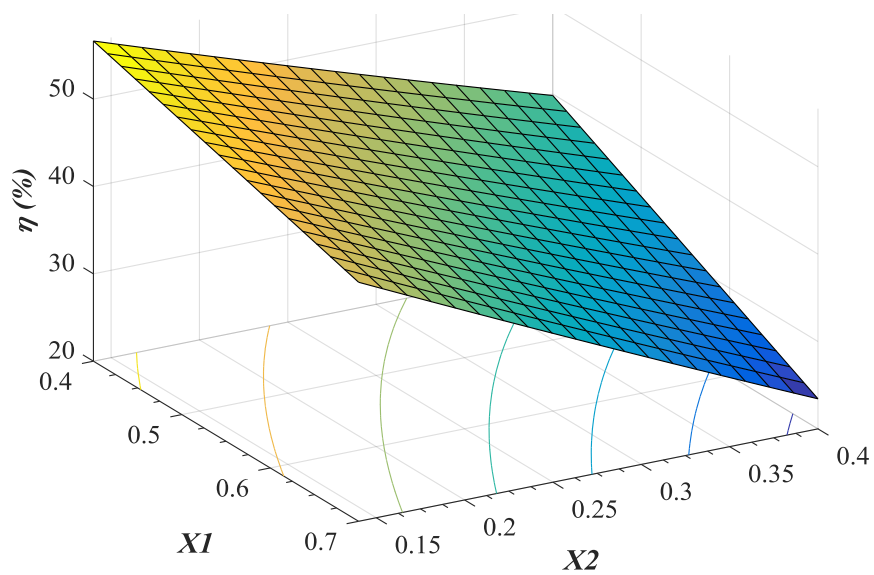
شکل ۳-۹ کانتور سرعت محوری در مقطع عرضی و مقطع از بالا

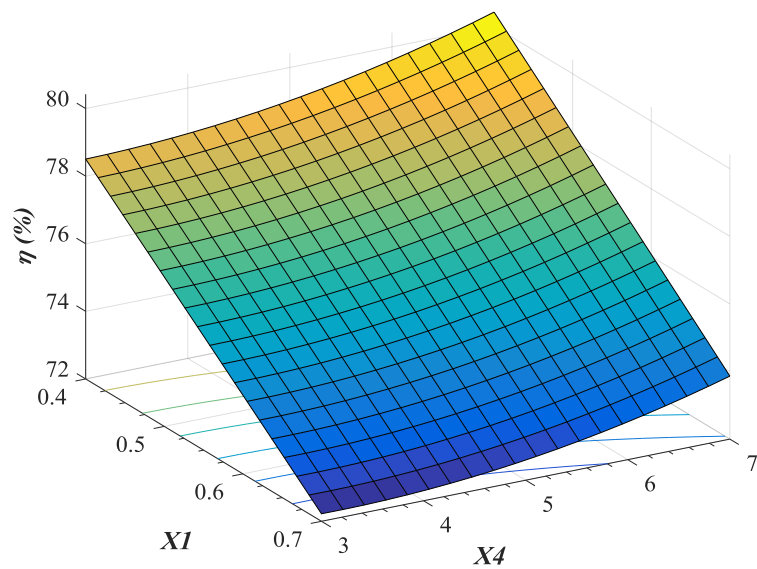
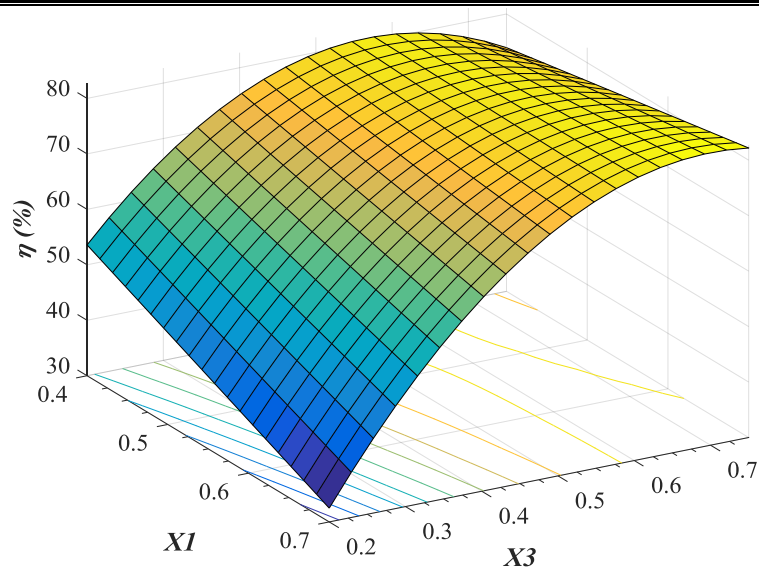
۳-۵-۱- تعریف راندمان جداسازی

دبی سیال جدا شده و خارج شده از بالا به کل دبی ورودی را بازده جداسازی گویند و از رابطه زیر بدست می آید بازده جداسازی، η ، به صورت درصدی از دبی فاز ثانویه جمع آوری شده از بالا به دبی کل ورودی فاز ثانویه در کانال ورودی تعریف می شود. مقدار راندمان به کمک فرمول زیر به دست می آید:

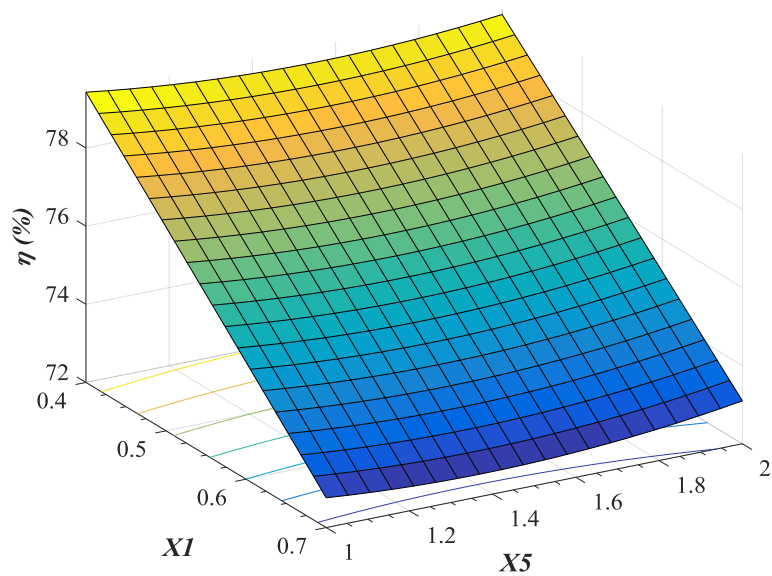
$$E_{\tau} = \frac{\dot{m}_{\tau}^{overflow}}{\dot{m}_{\tau}^{in}} \quad (3-14)$$

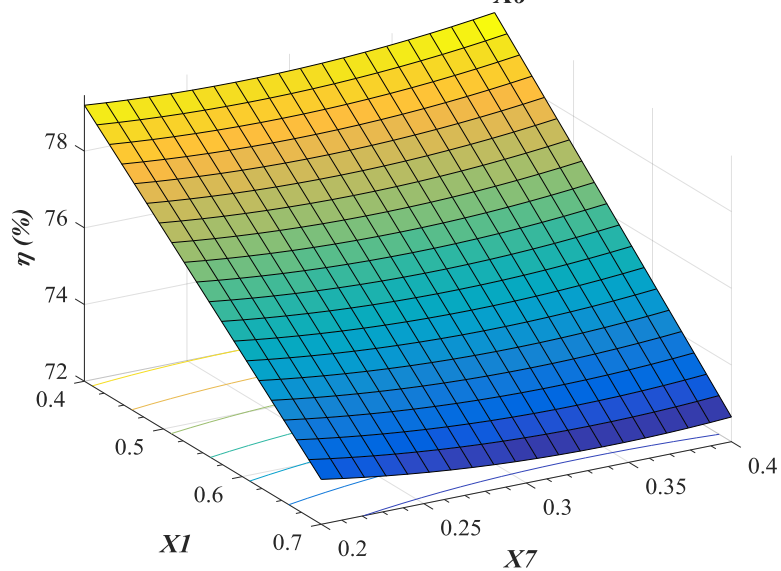
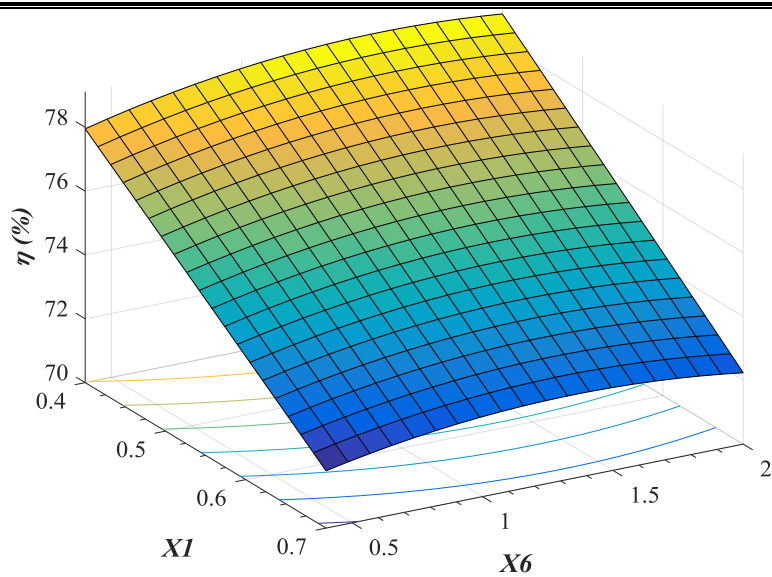
۳-۶- بهینه سازی به کمک روش رویه سطح پاسخ



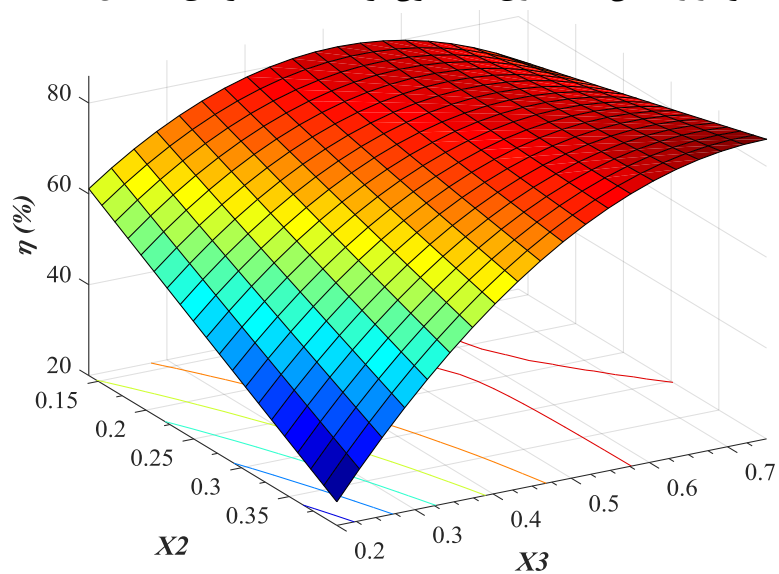


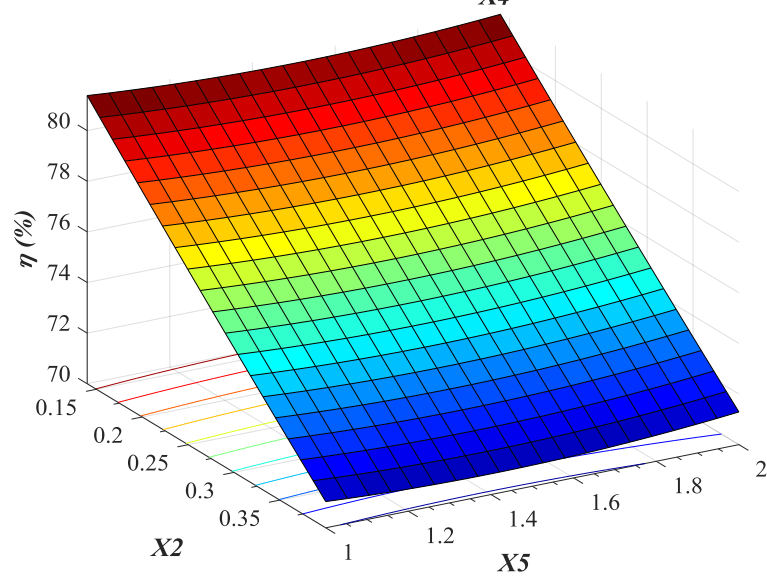
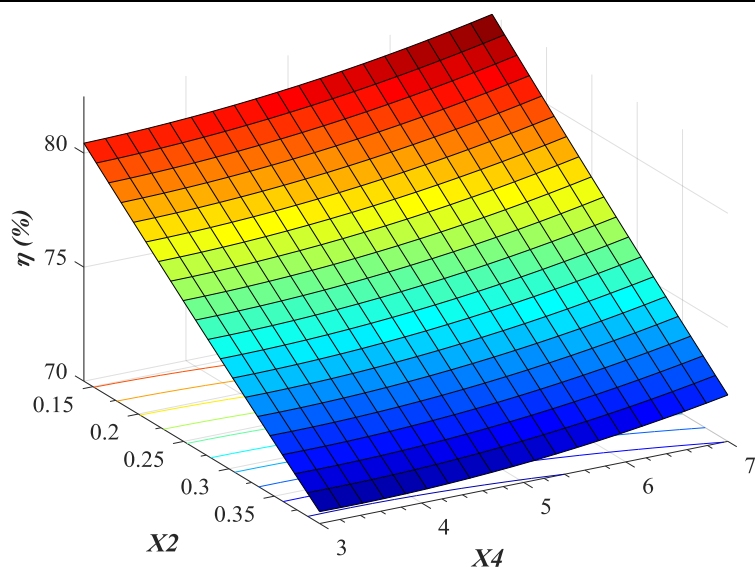
شکل ۳- ۱۰ نمودار راندمان جداسازی سایکلون بر حسب متغیرهای مستقل $X1$ - $X2$ - $X3$ - $X4$



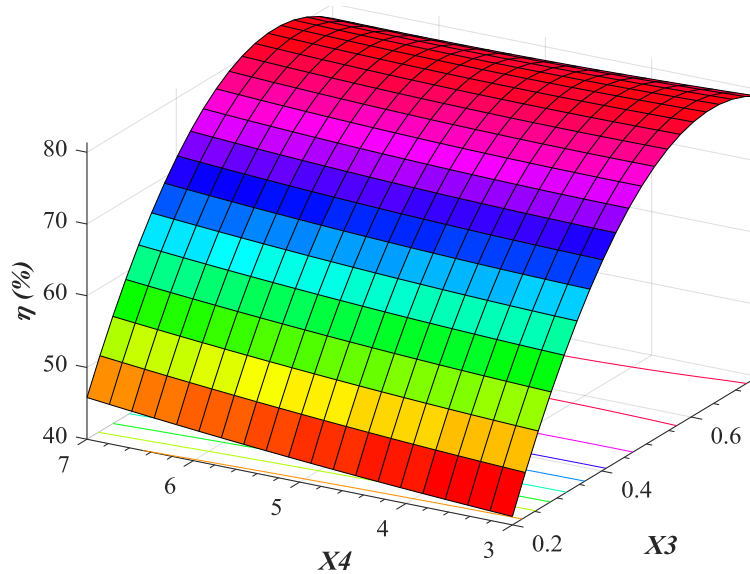


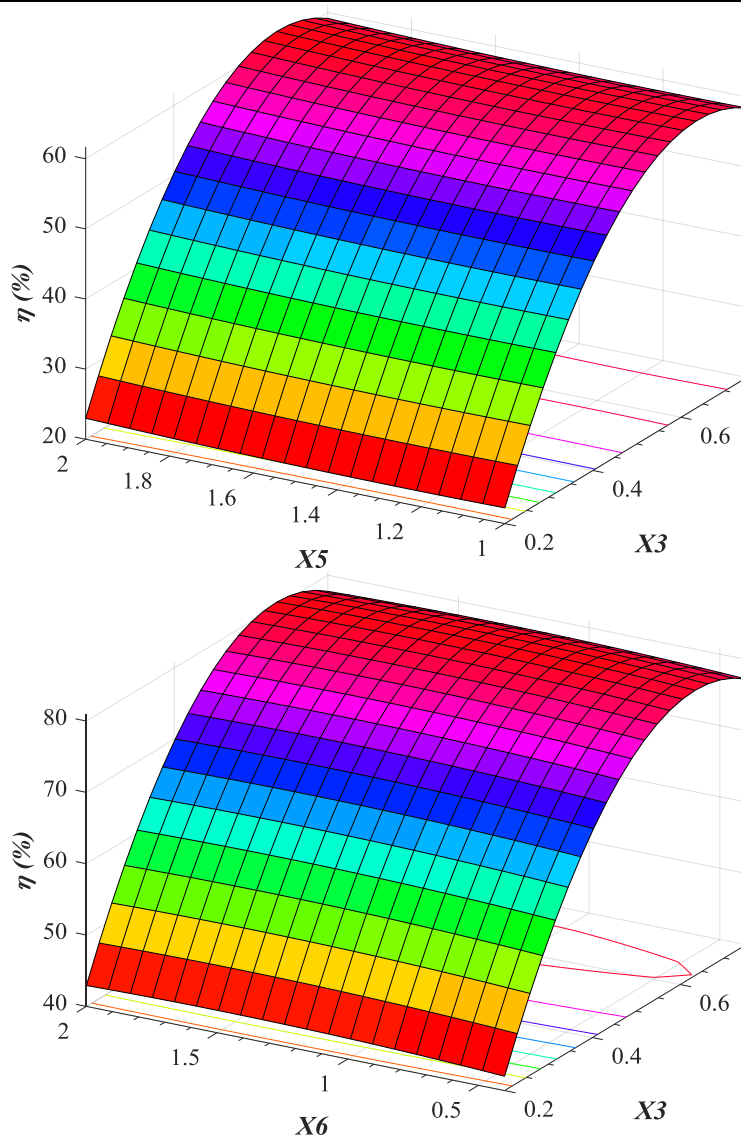
شکل ۳ - ۱۱ نمودار راندمان جداسازی سایکلون بر حسب متغیرهای مستقل X_1 - X_5 - X_6 - X_7





شکل ۳ - ۱۲ نمودار راندمان جداسازی سایکلون بر حسب متغیرهای مستقل X_2 - X_3 - X_4 - X_5





شکل ۳-۱۳ نمودار راندمان جداسازی سایکلون بر حسب متغیرهای مستقل X_3 - X_4 - X_5 - X_6 روش شناسی سطح پاسخ یا به اختصار RSM، مجموعه‌ای از روش‌های ریاضی است که رابطه‌ی بین یک یا چند متغیر پاسخ را با چندین متغیر مستقل (مورد مطالعه) تعیین می‌کند. رویه سطح پاسخ روشی پرکاربرد در مسائل بهینه سازی شبیه سازی است. استراتژی آن شناسایی، کشف و کاوش در زیر بخش هایی از فضای پارامتری است به جای آن که کل فضای پارامتری را مورد بررسی قرار دهد چون عموماً کاوش در کل فضا بسیار پیچیده و هزینه بر خواهد بود. این روش خصوصاً برای سیستم های پیچیده ای که در آن اطلاعات اولیه اندکی در دسترس است بسیار مناسب و کارا می باشد

در این پژوهش رابطه راندمان جداسازی سایکلون با متغیرهای بی بعد X_1 - X_2 - X_3 - X_4 - X_5

X₆-X₇ بررسی شد و رسم گردید. رابطه ریاضی بدست آمده بدین شکل است

$$\begin{aligned} \eta = & b_0 + b_1 \times x_1 + b_2 \times x_2 + b_3 \times x_3 + b_4 \times x_4 + b_5 \times x_5 \\ & + b_6 \times x_6 + b_7 \times x_7 + b_{11} \times x_1.^2 + b_{22} \\ & \times x_2.^2 + b_{33} \times x_3.^2 + b_{44} \times x_4.^2 + b_{55} \\ & \times x_5.^2 + b_{66} \times x_6.^2 + b_{77} \times x_7.^2 + b_{12} \times x_1 \\ & \times x_2 + b_{13} \times x_1 \times x_3 + b_{14} \times x_1 \times x_4 + b_{15} \times x_1 \\ & \times x_5 + b_{16} \times x_1 \times x_6 + b_{17} \times x_1 \times x_7 + b_{23} \times x_2 \\ & \times x_3 + b_{24} \times x_2 \times x_4 + b_{25} \times x_2 \times x_5 + b_{26} \times x_2 \\ & \times x_6 + b_{27} \times x_2 \times x_7 + b_{34} \times x_3 \times x_4 + b_{35} \times x_3 \\ & \times x_5 + b_{36} \times x_3 \times x_6 + b_{37} \times x_3 \times x_7 + b_{45} \times x_4 \\ & \times x_5 + b_{46} \times x_4 \times x_6 + b_{47} \times x_4 \times x_7 + b_{56} \times x_5 \\ & \times x_6 + b_{57} \times x_5 \times x_7 + b_{67} \times x_6 \times x_7 \end{aligned} \quad (15-3)$$

که مقادیر ضرایب b مطابق زیر است.

$$\begin{aligned} b_0 &= -43,1; & b_1 &= 178,176; & b_2 &= 372,26; & b_3 &= -161,452; \\ b_4 &= -1,55344; & b_5 &= 8,5875; & b_6 &= -7,23112; & b_7 &= 19,5663; \\ b_{11} &= 1,08238; & b_{22} &= -12,2111; & b_{33} &= 4,3,419; & b_{44} &= -0,223597; \\ b_{55} &= -2,77108; & b_{66} &= 1,81257; & b_{77} &= -62,1739; \\ b_{12} &= 91,048; & b_{13} &= -355,892; & b_{14} &= 0,459314; & b_{15} &= -3,27883; \\ b_{16} &= 2,19997; & b_{17} &= 26,2787; & b_{23} &= -720,758; & b_{24} &= 1,03571; \\ b_{25} &= -2,53478; & b_{26} &= 4,2616; & b_{27} &= -5,28466; & b_{34} &= 5,2034; \\ b_{35} &= 2,77536; & b_{36} &= 0,985086; & b_{37} &= 32,579; & b_{45} &= -0,0452174; \\ b_{46} &= 0,345301; & b_{47} &= -1,5016; & b_{56} &= -0,422227; & b_{57} &= 3,82354; \\ b_{67} &= -6,401 \end{aligned}$$

شرایط بهینه سازی شده برای حصول بهترین راندمان و کمترین افت فشار مطابق جدول زیر به

کمک روش rsm بدست آمد.

جدول (۳-۶) مقادیر بهینه ابعادی سایکلون جهت رسیدن به حداکثر راندمان و حداقل افت فشار

Variables	a/D	b/D	Dx/D	Ht/D	h/D	S/D	Bc/D	Li/D	Le/D
Optim value	۰,۶۳۴	۰,۲۴۳	۰,۶۱۴	۴,۴۴	۱,۷۱۲	۰,۵۹	۰,۴۳	۱,۰۵	۱,۷۴

فصل ۴:

نتیجه گیری

۴-۱- مقدمه

در این پژوهش به منظور اعتبار سنجی نتایج ابتدا شبیه سازی برای یک حالت واقعی با ابعاد صنعتی انجام گرفت پس از اطمینان از صحت شبیه سازی مساله بهینه سازی مطرح شد در این راستا شبیه سازی برای ۱۴ حالت مختلف صورت گرفت. برای هر حالت، ابعاد هندسی تغییر داده شد. ۷ بُعد هندسی از جمله ارتفاع دهانه ورودی، عرض دهانه ورودی قطر گردابه یاب، ارتفاع گردابه یاب، طول سایکلون، طول بخش استوانه ای سایکلون و قطر دهانه مخروطی پایین خروجی سایکلون به عنوان متغیرهای مستقل در نظر گرفته شد. شبیه سازی به کمک نرم افزار فلوئنت برای این ۱۴ حالت انجام شد راندمان جداسازی در هر حالت محاسبه شد. به کمک روش رویه سطح پاسخ راندمان به ازای ۷ متغیر مستقل فرموله شد و سر انجام به کمک رابطه بدست آمده تاثیر هر بعد مساله (XV-...-X۲-X۱) بر روی راندمان رسم گردید و ضرایب مدل RSM ارائه شد.

۴-۲- جمع بندی و نتیجه گیری

در ادامه خلاصه ای از نتایج بدست آمده ارائه شده است:

- نتایج شبیه سازی با نتایج واقعی تطابق خوبی با یکدیگر دارند میزان خطا در نمونه صنعتی در مقایسه با نمونه شبیه سازی شده، برای راندمان و قطر برش به ترتیب ۷٪ و ۵٪ بدست آمد.
- مدل رینولدز استرس بهترین مدل مغشوش جهت شبیه سازی جریان های چرخشی مانند جریان داخل سایکلون است. این مدل در مقایسه با مدل های $K-\epsilon$ دقت بالاتری دارد.
- برای پایداری در حل و همگرایی سریع انتخاب مدل PRESTO برای گرادیان های فشار و همچنین استفاده از شبکه ریز پیشنهاد میگردد.

• نتایج شبیه سازی نشان داد فشار در مرکز سایکلون مقدار کمتری نسبت به دیگر نقاط دارد

همچنین در این فضا جهت جریان سیال معکوس است و سیال از پایین به بالا حرکت

میکند .

• مقادیر بهینه ابعادی سایکلون جهت رسیدن به حداکثر راندمان و حداقل افت فشار مطابق

جدول زیر از آنالیز رویه پاسخ سطح بدست آمد.

a/D	b/D	Dx/D	Ht/D	h/D	S/D	Bc/D	Li/D	Le/D
۰,۶۳۴	۰,۲۴۳	۰,۶۱۴	۴,۴۴	۱,۷۱۲	۰,۵۹	۰,۴۳	۱,۰۵	۱,۷۴

۴-۳- پیشنهادات

جهت ارتقا کمی و کیفی این پایان نامه پیشنهادات زیر ارائه میشود:

- ۱- بهینه سازی دو هدفه به کمک الگوریتم ژنتیک به منظور کاهش قطر برش و کاهش افت فشار
- ۲- شبیه سازی به کمک فلونت برای ۲ و ۳ و ۴ دهانه ورودی و بررسی میزان بهبود راندمان جداسازی و بررسی میزان افزایش افت فشار.
- ۳- شبیه سازی و بهینه سازی دو هیدروسایکلون سری شده با یکدیگر جهت دستیابی به قطر برش پایین .
- ۴- اضافه نمودن دیفیوذر به ورودی هیدروسایکلون جهت افزایش سرعت ورودی و بررسی اثر افزایش راندمان جداسازی آن به کمک شبیه سازی فلونت
- ۵- بهینه سازی سه هدفه راندمان-افت فشار-وزن به کمک الگوریتم ازدحام ذرات
- ۶- بررسی اثر دبی و فشار ورودی بر روی راندمان جداسازی سیکلون و آنالیز حساسیت برای متغیرهای ورودی

منابع و مراجع

-
- [١] Misiulia, D., Andersson, A. G., & Lundström, T. S. (٢٠١٥). Effects of the inlet angle on the flow pattern and pressure drop of a cyclone with helical-roof inlet. *Chemical engineering research and design*, ١٠٢, ٣٠٧-٣٢١.
- [٢] Hoekstra, A.J., ٢٠٠٠. Gas flow field and collection efficiency of cyclone separators.
- [٣] Porter, M.C., ١٩٨٩. Handbook of industrial membrane technology.
- [٤] A. C. Hoffmann and L. E. Stein. Gas cyclones and swirl tubes: Principle, Design and Operation. Springer, ٢nd edition, ٢٠٠٨.
- [٥] Elsayed, K., ٢٠١١. Analysis and Optimization of Cyclone Separators Geometry using RANS and LES Methodologies. Vrije Universiteit Brussel, Zelzate, Belgium (Ph. D. Thesis).
- [٦] Udaya Bhaskar, K. Rama Murthy, Y. Ravi raj, "CFD simulation and experimental validation studies on hydrocyclone" *Minerals Engineering* ٢٠, ٦٠-٧١ (٢٠٠٧).
- [٧] Wang, B. Yu, A. B. "Numerical study of particle-fluid flow in hydrocyclones with different body dimensions", *Minerals Engineering* ١٩, ١٠٢٢-١٠٣٣ (٢٠٠٦)
- [٨] Dai, G. Q. Chen, W. M. Li "Experimental study of solid-solid two-phase flow in a hydrocyclone" *Chemical Engineering Jouenal* ١٤٠, ٢١١-٢١٦ (١٩٩٩)
- [٩] Noroozi, S. Hashemabadi, S. H. "CFD analysis of inlet chamber body profile effects on de-oiling hydrocyclone efficiency", *Chemical Engineering research and design*, ٨٩, ٩٦٨-٩٧٧, (٢٠١١).
- [١٠] A. Avci, I. Karagoz, Theoretical investigation of pressure losses in cyclone separators, *International Communications in Heat and Mass Transfer* ٢٨ (١) (٢٠٠١) ١٠٧-١١٧.
- [١١] F. Qian, Y. Wu, Effects of the inlet section angle on the separation performance of a cyclone, *Chemical Engineering Research and Design* ٨٧ (١٢) (٢٠٠٩) ١٥٦٧-١٥٧٢.
- [١٢] S. Movafaghian, J. A. Jaua-Marturet, R. Mohan, O. Shoham, G. Kouba, The effects of geometry, fluid properties and pressure on the hydrodynamics of gas-liquid cylindrical cyclone separators, *International Journal of Multiphase Flow* ٢٦ (٦) (٢٠٠٠) ٩٩٩-١٠١٨.
- [١٣] F. M. Erdal, S. A. Shirazi, Effect of the inlet geometry on the flow in a cylindrical cyclone separator, *Journal of Energy Resources Technology* ١٢٨ (١) (٢٠٠٦) ٦٢-٦٩.
- [١٤] B. Zhao, Experimental investigation of flow patterns in cyclones with conventional and symmetrical inlet geometries, *Chemical Engineering & Technology* ٢٨ (٩) (٢٠٠٥) ٩٦٩-٩٧٢.

[١٥] W.D. Griffiths, F. Boysan, Computational fluid dynamics (CFD) and empirical modelling of the performance of a number of cyclone samplers, *Journal of Aerosol Science* ٢٧ (٢) (١٩٩٦) ٢٨١-٣٠٤.

[١٦] Boyson, F., Swithenbank, J., Ayers, W.H., ١٩٨٦. *Mathematical Modeling of Gas Particle Flows in Cyclone Separator*. Gulf Pub.

[١٧] A.J. Hoekstra, Gas Flow Field and Collection Efficiency of Cyclone Separators, Ph.D. thesis, Technical University Delft, ٢٠٠٠.

[١٨] M. Sommerfeld, C.A. Ho, Numerical calculation of particle transport in turbulent wall bounded flows, *Powder Technology* ١٣١ (١) (٢٠٠٣) ١-٦.

[١٩] L. Huang, K. Kumar, A.S. Mujumdar, Simulation of a spray dryer fitted with a rotary disk atomizer using a three-dimensional computational fluid dynamic model, *Drying Technology* ٢٢ (٦) (٢٠٠٤) ١٤٨٩-١٥١٥.

[٢٠] S. Bernardo, M. Mori, A. Peres, R. Dionisio, ٣-D computational fluid dynamics for gas and gas-particle flows in a cyclone with different inlet section angles, *Powder Technology* ١٦٢ (٣) (٢٠٠٦) ١٩٠-٢٠٠.

[٢١] C. Fredriksson, Exploratory Experimental and Theoretical Studies of Cyclone Gasification of Wood Powder, Ph.D. thesis, Lulea University of Technology, Sweden, ١٩٩٩.

[٢٢] B. Zhou, B. Fleck, F. Bouak, J. Gauthier, Comparison of swirling effects on ejector performance using four turbulence models, *Canadian Aeronautics and Space Journal* ٤٦ (٤) (٢٠٠٠) ١٧٨-١٨٢.

[٢٣] T. Chuah, J. Gimbut, T.S. Choong, A CFD study of the effect of cone dimensions on sampling aerocyclones performance and hydrodynamics, *Powder Technology* ١٦٢ (٢٠٠٦) ١٢٦-١٣٢.

[٢٤] A. Gupta, R. Kumar, Three-dimensional turbulent swirling flow in a cylinder: Experiments and computations, *International Journal of Heat and Fluid Flow* ٢٨ (٢) (٢٠٠٧) ٢٤٩-٢٦١.

[٢٥] I. Karagoz, F. Kaya, CFD investigation of the flow and heat transfer characteristics in a tangential inlet cyclone, *International Communications in Heat and Mass Transfer* ٣٤ (٩-١٠) (٢٠٠٧) ١١١٩-١١٢٦.

[٢٦] G. Wan, G. Sun, X. Xue, M. Shi, Solids concentration simulation of different size particles in a cyclone separator, *Powder Technology* ١٨٣ (٢٠٠٨) ٩٤-١٠٤.

[٢٧] A.M. Jawarneh, H. Tlilan, A. Al-Shyyab, A. Ababneh, Strongly swirling flows in a cylindrical separator, *Minerals Engineering* ٢١ (٥) (٢٠٠٨) ٣٦٦-٣٧٢.

[٢٨] F. Kaya, I. Karagoz, Performance analysis of numerical schemes in highly swirling turbulent flows in cyclones, *Current Science* ٩٤ (١٠) (٢٠٠٨) ١٢٧٣-١٢٧٨.

[۳۹] A. Secchiaroli, R. Ricci, S. Montelpare, V. D'Alessandro, Numerical simulation of turbulent flow in a Ranque–Hilsch vortex tube, *International Journal of Heat and Mass Transfer* ۵۲ (۲۳-۲۴) (۲۰۰۹) ۵۴۹۶-۵۵۱۱.

[۳۰] B. Zhao, Y. Su, J. Zhang, Simulation of gas flow pattern and separation efficiency in cyclone with conventional single and spiral double inlet configuration, *Chemical Engineering Research and Design* ۸۴ (۲۰۰۶) ۱۱۵۸-۱۱۶۵.

[۳۱] R.B. Xiang, K.W. Lee, Numerical study of flow field in cyclones of different height, *Chemical Engineering and Processing* ۴۴ (۲۰۰۵) ۸۷۷-۸۸۳.

[۳۲] J. Gimbut, T. Chuah, T. Choong, Y. Fakhru'l-Razi, Prediction of the effects of cone tip diameter on the cyclone performance, *Aerosol Science and Technology* ۳۶ (۲۰۰۵) ۱۰۵۶-۱۰۶۵.

[۳۳] J. Gimbut, T.G. Chuah, T.S.Y. Choong, A. Fakhru'l-Razi, A CFD study on the prediction of cyclone collection efficiency, *International Journal for Computational Methods in Engineering Science and Mechanics* ۶ (۳) (۲۰۰۵) ۱۶۱-۱۶۸.

[۳۴] B. Zhang, S. Hui, Numerical simulation and PIV study of the turbulent flow in a cyclonic separator, in: *International Conference on Power Engineering*, Hangzhou, China, ۲۰۰۷.

[۳۵] K. Elsayed, C. Lacor, Optimization of the cyclone separator geometry for minimum pressure drop using mathematical models CFD simulations, *Chemical Engineering Science* ۶۵ (۲۲) (۲۰۱۰) ۶۰۴۸-۶۰۵۸.

[۳۶] K. Elsayed, C. Lacor, The effect of vortex finder diameter on cyclone separator performance and flow field, in: *Fifth European Conference on Computational Fluid Dynamics (ECCOMAS CFD۱۰)*, Lisbon, Portugal, ۲۰۱۰. URL

[۳۷] H. Safikhani, M. Akhavan-Behabadi, M. Shams, M.H. Rahimyan, Numerical simulation of flow field in three types of standard cyclone separators, *Advanced Powder Technology* ۲۱ (۴) (۲۰۱۰) ۴۳۵-۴۴۲.

[۳۸] H. Safikhani, M. Akhavan-Behabadi, N. Nariman-Zadeh, M.M. Abadi, Modeling and multi-objective optimization of square cyclones using CFD and neural networks, *Chemical Engineering Research and Design*, (۲۰۱۰) Corrected Proof, in press

[۳۹] M. Azadi, M. Azadi, A. Mohebbi, A CFD study of the effect of cyclone size on its performance parameters, *Journal of Hazardous Materials* ۱۸۲ (۱-۳) (۲۰۱۰) ۸۳۵-۸۴۱.

[۴۰] M.D. Slack, R.O. Prasad, A. Bakker, F. Boysan, Advances in cyclone modeling using unstructured grids, *Transaction in IChemE* ۷۸ Part A (۲۰۰۰).

[۴۱] Gimbut, J., Chuah, T.G., Choong, T.S.Y., Fakhru'l-Razi, A., ۲۰۰۵. Prediction of the effects of cone tip diameter on the cyclone performance. *Aerosol Sci.* ۳۶, ۱۰۵۶-۱۰۶۵.

-
- [۴۲] Bryant HS, Silverman R, Zenz FA. How dust in gas affects cyclone pressure drop. *Hydrocarbon Process* ۱۹۸۳;۶۲(۴):۸۷-۹۰.
- [۴۳] Stern A, Caplan K, Bush P. Cyclone dust collectors. New York: American Petroleum Institute; ۱۹۵۵.
- [۴۴] Xiang R, Park SH, Lee KW. Effects of cone dimension on cyclone performance. *J Aerosol Sci* ۲۰۰۱;۳۲(۴):۵۴۹-۶۱.
- [۴۵] Zhu Y, Lee KW. Experimental study on small cyclones operating at high flow rates. *J Aerosol Sci* ۱۹۹۹;۳۰:۱۳۰۳-۱۵.
- [۴۶] Chuah T, Gimbin J, Choong TS. A CFD study of the effect of cone dimensions on sampling aerocyclones performance and hydrodynamics. *Powder Technol* ۲۰۰۶;۱۶۲:۱۲۶-۳۲.
- [۴۷] Xiang R, Park SH, Lee KW. Effects of cone dimension on cyclone performance. *JAerosol Sci* ۲۰۰۱;۳۲(۴):۵۴۹-۶۱.
- [۴۸] Barth W. Design and layout of the cyclone separator on the basis of new investigations. *Brennstow-Wärme-Kraft (BWK)* ۱۹۵۶;۸(۴):۱-۹.
- [۴۹] Leith D, Licht W. The collection efficiency of cyclone type particle collectors: a new theoretical approach. *AIChE Symp Ser* ۱۹۷۲;۶۸:۱۹۶-۲۰۶.
- [۵۰] Iozia DL, Leith D. The logistic function and cyclone fractional efficiency. *Aerosol Sci Technol* ۱۹۹۰;۱۲(۳):۵۹۸-۶۰۶.
- [۵۱] M.D. Slack, R.O. Prasad, A. Bakker, F. Boysan, Advances in cyclone modeling using unstructured grids, *Transaction in IChemE* ۷۸ Part A (۲۰۰۰).
- [۵۲] Boysan, F., Ayers, W.H. and Swithenbank, J., ۱۹۸۲. A fundamental mathematical modelling approach to cyclone design. *Transactions of the institution of chemical engineers*, ۶۰(۴), pp.۲۲۲-۲۳۰.
- [۵۳] Hoekstra, A.J., Derksen, J.J. and Van Den Akker, H.E.A., ۱۹۹۹. An experimental and numerical study of turbulent swirling flow in gas cyclones. *Chemical Engineering Science*, ۵۴(۱۳-۱۴), pp.۲۰۵۵-۲۰۶۵.
- [۵۴] Su, Y., Zheng, A., Zhao, B., ۲۰۱۱. Numerical simulation of effect of inlet configuration on square cyclone separator performance. *Powder Technol.* ۲۱۰, ۲۹۳e۳۰۳.
- [۵۵] M.D. Slack, R.O. Prasad, A. Bakker, F. Boysan, Advances in cyclone modeling using unstructured grids, *Transaction in IChemE* ۷۸ Part A (۲۰۰۰).
- [۵۶] Boysan, F., Ayers, W.H. and Swithenbank, J., ۱۹۸۲. A fundamental mathematical modelling approach to cyclone design. *Transactions of the institution of chemical engineers*, ۶۰(۴), pp.۲۲۲-۲۳۰.

[۵۷] Hoekstra, A.J., Derksen, J.J. and Van Den Akker, H.E.A., ۱۹۹۹. An experimental and numerical study of turbulent swirling flow in gas cyclones. *Chemical Engineering Science*, ۵۴(۱۳-۱۴), pp.۲۰۵۵-۲۰۶۵.

[۵۸] Elsayed, Kh, Lacor, Ch, ۲۰۱۱. Numerical modeling of the flow field and performance in cyclones of different cone-tip diameters. *Comput. Fluids* ۵۱, ۴۸۵-۵۹۱.

[۵۹] Xiang RB, Lee KW. Numerical simulation of flow patterns in cyclones of different cone dimensions. *Particle Particle Syst Charact* ۲۰۰۵;۲۲(۳):۲۱۲-۸.

[۶۰] Elsayed K, Lacor C. The effect of cyclone inlet dimensions on the flow pattern and performance. *Appl Math Modell* ۲۰۱۱;۳۵(۴):۱۹۵۲-۶۸.

[۶۱] Iozia DL, Leith D. Effect of cyclone dimensions on gas flow pattern and collection efficiency. *Aer Sci Technol* ۱۹۸۹;۱۰(۳):۴۹۱-۵۰۰.

[۶۲] Kim JC, Lee KW. Experimental study of particle collection by small cyclones. *Aer Sci Technol* ۱۹۹۰;۱۲:۱۰۳-۱۵.

[۶۳] Moore ME, McFarland AR. Performance modeling of single-inlet aerosol sampling cyclones. *Environ Sci Technol* ۱۹۹۳;۲۷(۹):۱۸۴۲-۸.

[۶۴] Bakari MI, Hamdullahpur F. Optimization of the overall performance of cyclone separators. In: ۲nd Trabzon international energy and environment symposium, ۲۶-۲۹ July, Turkey; ۱۹۹۸.

[۶۵] Zhu Y, Lee KW. Experimental study on small cyclones operating at high flow rates. *J Aer Sci* ۱۹۹۹;۳۰:۱۳۰۳-۱۵.

[۶۶] Lim KS, Kim HS, Lee KW. Characteristics of the collection efficiency for a cyclone with different vortex finder shapes. *J Aer Sci* ۲۰۰۴;۳۵(۶):۷۴۳-۵۴.

[۶۷] You-hai J, Guang-qin J, Qing-yun C, Jian-jun W. Numerical simulation of gas phase flow field in vortex finder of cyclone separators. *J China Univ Petrol* ۲۰۰۸;۳۲(۶):۱۰۹-۱۲.

[۶۸] Jian Z, You-hai J. CFD analysis on collection performance of swirl tube with different vortex finder geometries. *J Syst Simul* ۲۰۰۹;۲۱(۴):۱۲۱۴-۷.

[۶۹] Ficici F, Ari V, Kapsiz M. The effects of vortex finder on the pressure drop in cyclone separators. *Int J Phys Sci* ۲۰۱۰;۵(۶):۸۰۴-۱۳.

[۷۰] Elsayed, K. and Lacor, C., ۲۰۱۳. The effect of cyclone vortex finder dimensions on the flow pattern and performance using LES. *Computers & Fluids*, ۷۱, pp.۲۲۴-۲۳۹.

۷۱ Safikhani, H., Akhavan-Behabadi, M.A., Shams, M. and Rahimyan, M.H., ۲۰۱۰. Numerical simulation of flow field in three types of standard cyclone separators. *Advanced Powder Technology*, ۲۱(۴), pp.۴۳۵-۴۴۲.

Abstract :

In this research three dimensional hybridization simulation was performed for 14 different modes using fluent software.

Then with the help of the surface method (response surface model).

An optimization problem was defined to extract the dimensions of optimal geometry to achieve maximum pressure drop.

The simulation results are in good agreement with the actual results.

The error rate in the industrial sample compared to the simulated sample for efficiency and for the cutting diameter was 7% and 8% respectively.

The Reynolds model of stress in the best designed model for simulating rotational flows such as the flow inside the cyclone.

This model has the highest accuracy compared to $k-\epsilon$ models.

For stability and resolution in the fast convergence of the presto model selection for pressure gradients and also the use of fine grid is proposed simulation results showed that the pressure in the cyclone center is less than the other points also in this space the fluid flow is inversely proportional and the fluid moves from bottom to top.

Optimal dimensions of the cyclone to reach the maximum.

The size of the cyclone is

$(D_x/D=0.614, b/D=0.243, a/D=0.634, L_e/D=1.74, L_i/D=1.08, B_c/D=0.43, S/D=0.59, h/D=1.713, H_t/D=4.44)$

to achieve the highest efficiency and the Lowest pressure drop.

Key words: Hydrocyclone-Dimensional optimization-Method of response-Reynolds



Energy Institute For Higher Education
Faculty Of Engineering
Department Of Mechanical Engineering-Energy Conversion
Thesis For
Degree Of Master Of Science (M.Sc)

Title:

**Simulation of dehydration from gas
hydrocarbons in
Hydrocyclones by fluent**

Supervisor:

Dr Ghafari

Dr Yasi

Advisor:

By:

Mostafa Kamandi

September/۲۰۱۸

